GEFÖRDERT VOM
Bundesministerium
für Bildung
und Forschung

UNICAR*agil* news

Juli 2020

Jetzt online abonnieren:
www.unicaragil.de/newsletter

Disruptive modulare Architektur für agile automatisierte Fahrzeugkonzepte

Sonderausgabe

GEFÖRDERT VOM

Bundesministerium
für Bildung
und Forschung

Vorwort

Sehr geehrte Damen und Herren,

wir freuen uns sehr, Ihnen zur Halbzeit unseres im Februar 2018 gestarteten Projekts diese Sonderausgabe des UNICARagil-Newsletters zu präsentieren. Zu diesem Anlass wollen unsere Wissenschaftler*innen ihre bisher erarbeiteten Ergebnisse präsentieren und zur Diskussion stellen.

Den Rahmen dafür sollte ursprünglich eine öffentliche Veranstaltung am 24. März 2020 an der TU München bilden. Allerdings wurden auch wir von der schnellen Ausbreitung der Covid-19-Pandemie überrascht, die mit Kontaktbeschränkungen und auch der Absage unserer Veranstaltung einherging.

Nichtsdestotrotz möchten unsere Projektmitarbeiter*innen, die größtenteils im Home-Office arbeiten, ihre Erkenntnisse mit Ihnen teilen. Dazu bieten wir Ihnen ein mediales Ersatzformat an, dessen Ergebnis Sie nun vor sich haben. Auf den folgenden Seiten finden Sie fachlich tiefgehende Interviews, Poster und Erklärungen zu all unseren Forschungsthemen rund um die Mobilität der Zukunft. Die Inhalte gliedern sich in Themen, die das Gesamtprojekt betreffen, sowie die Domänen Sicherheit, Mechatronik, Softwarearchitektur, Automatisiertes Fahren und Geometrie.

Begleitet wird diese schriftliche Zusammenfassung der Ergebnisse von einer medialen Aufbereitung auf unserer Projektwebseite:

www.unicaragil.de/hzevent

Dort finden Sie ergänzende Videos und Podcasts, die weitere Einblicke in die Arbeit und Ergebnisse unserer Wissenschaftler*innen geben. Auch auf den folgenden Postern werden Ihnen Verweise auf ergänzende Online-Inhalte begegnen.

Da uns der fachliche Austausch besonders am Herzen liegt, laden wir Sie außerdem herzlich dazu ein, uns über das Kontaktformular auf der Webseite Feedback, Anregungen und Fragen zukommen zu lassen. Wir freuen uns auf Ihre Nachrichten und einen regen Austausch!

Thomas Rachel | Parlamentarischer Staatssekretär bei der Bundesministerin für Bildung und Forschung

In UNICARagil können führende deutsche Universitäten im autonomen Fahren ohne Rücksicht auf bestehende Produktlinien völlig neue Konzepte angehen. Im Fokus des mit 26 Mio. Euro vom Bundesministerium für Bildung und Forschung geförderten Projekts stehen die Erforschung und der prototypische Aufbau von vier fahrerlosen Fahrzeugen, die für Taxi-Dienste, innerstädtische Kleinbusse, Cargo-Fahrzeuge und für die Individualnutzung angepasst sind. UNICARagil zeigt uns die Zukunftsperspektiven des autonomen Fahrens.

Die Wurzeln des vom Bundesministerium für Bildung und Forschung geförderten Projektes UNICARagil liegen bereits einige Jahrzehnte zurück. Bereits vor 40 Jahren forschten vier Universitäten im Projekt UNI-CAR gemeinsam an einer Vision für den Pkw des Jahres 2000. Schon damals standen die zentralen Anliegen der Automobilindustrie – der Umweltschutz und die Verkehrssicherheit – im Fokus. Viele der erforschten Konzepte finden sich in heutigen Serienfahrzeugen wieder.

Dies nahmen sich die Mitglieder des Vereins UniDAS e. V. zum Vorbild und haben mit weiteren Partnern aus der deutschen Hochschullandschaft und Unternehmen dieses Projekt beantragt, um das Auto von morgen gänzlich neu zu denken. Im deutschlandweit einzigartigen Leuchtturmprojekt UNICARagil forschen wir gemeinsam an disruptiven modularen Architekturen für agile automatisierte Fahrzeugkonzepte. Dabei werden vollautomatisierte und fahrerlose Fahrzeuge erforscht und prototypisch dargestellt.

Mit der Erforschung eines Baukastensystems soll ein neutrales Fundament für die Entwicklung automatisierter, vernetzter und elektrischer Fahrzeuge im Autoland Deutschland geschaffen werden, sodass nicht nur die Forschung und Lehre von den Ergebnissen profitiert, sondern auch die Bürgerinnen und Bürger.

Über 100 Projektmitarbeiter und 14 Professoren forschen seit dem erfolgreichen Projektstart im Februar 2018 an innovativen Konzepten für fahrerlose Fahrzeuge und deren Umsetzung. Die Zusammenführung der Kompetenzen der verschiedenen Projektpartner auf ihren jeweiligen Fachgebieten hat maßgeblich dazu beigetragen, die komplexen Fragestellungen des fahrerlosen Fahrens aus verschiedenen Perspektiven zu betrachten und neue Lösungsansätze zu identifizieren und umzusetzen. So wurde in der ersten Projektphase eine geschichtete Architektur erarbeitet, die eine funktionale, informationstechnische, mechatronische und geometrische Sicht sowie die Vernetzung dieser Ebenen umfasst. Erste Kernelemente der erarbeiteten Konzepte wurden bereits umgesetzt und zahlreiche wissenschaftliche Veröffentlichungen stellen die daraus gewonnenen Erkenntnisse vor.

Wir wünschen viel Spaß beim Lesen.

Juli 2020

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Lutz Eckstein
Gesamtkoordinator im Namen des Steuerkreises

UNSER STEUERKREIS

INHALTSVERZEICHNIS

Allgemeines zum Projekt UNICARagil

Was passiert in UNICARagil? Ein Überblick. ..... S. 16
Interview
Timo Woopen, RWTH Aachen University
Projektleiter

Use-Cases der Fahrzeugausprägungen
autoSHUTTLE ..... S. 22
autoTAXI ..... S. 24
autoCARGO ..... S. 26
autoELF ..... S. 28

Info-Biene ..... S. 30
Dr. Norbert Siepenkötter, RWTH Aachen University

Sicherheit

Vorstellung der Domäne Sicherheit ..... S. 34
Interview
Torben Stolte, TU Braunschweig

Sicherheitskonzept ..... S. 38
Torben Stolte, TU Braunschweig
Robert Graubohm, TU Braunschweig
Prof. Dr. Markus Maurer, TU Braunschweig

Selbstwahrnehmung in der Automatisierung ..... S. 40
Inga Jatzkowski, TU Braunschweig
Prof. Dr. Markus Maurer, TU Braunschweig

Sicheres Anhalten ..... S. 44
Stefan Ackermann, TU Darmstadt
Prof. Dr. Hermann Winner, TU Darmstadt

Modulare Netzwerkabsicherung ..... S. 46
Kai-Björn Gemlau, TU Braunschweig

Modulare Absicherung ..... S. 50
Moritz Lippert, TU Darmstadt
Björn Klamann, TU Darmstadt

IT-Sicherheit ..... S. 52
Prof. Dr. Stefan Katzenbeisser, Universität Passau
Dominik Püllen, Universität Passau

Mechatronische Gestaltung

Vorstellung der Domäne Mechatronische Gestaltung ..... S. 56
Interview
Dr. Dan Keilhoff, Universität Stuttgart

E/E-Architektur ..... S. 58
Dennis Niedballa, Universität Stuttgart
Dorsa Zaheri, Universität Stuttgart

Das Stammhirn ..... S. 60
Dennis Niedballa, Universität Stuttgart

Thermisches Bordnetz ..... S. 64
Daniel Gehringer, Universität Stuttgart

Das Energiebordnetz ..... S. 68
Marcus Goth, Universität Stuttgart
Matthias Hisung, Universität Stuttgart

Softwarearchitektur

Vorstellung der Domäne Softwarearchitektur ..... S. 72
Interview
Dr. Bassam Alrifaee, RWTH Aachen University

Dienste-orientierte Software Architektur ..... S. 74
Alexandru Kampmann, RWTH Aachen University
Armin Mokhtarian, RWTH Aachen University

Cloud Architektur ..... S. 76
Alexandru Kampmann, RWTH Aachen University
Armin Mokhtarian, RWTH Aachen University

UNICARagil Newsletter | Sonderausgabe Halbzeitevent

Automatisiertes Fahren

Vorstellung der Domäne Automatisiertes Fahren ..... S. 80
Interview
Dr. Michael Buchholz, Universität Ulm

Sensormodul: Hardware ..... S. 84
Matti Henning, Universität Ulm
Markus Horn, Universität Ulm

Sensormodul: Datenverarbeitung ..... S. 86
Andreas Danzer, Universität Ulm
Manuel Herzog, Universität Ulm
Christian Kinzig, Karlsruher Institut für Technologie

Großhirn: Fahrzeugumgebungsmodell ..... S. 88
Fabian Gies, Universität Ulm
Marcus Schön, Universität Ulm

Verhaltens- und Trajektorienplanung ..... S. 92
Danial Kamran, Karlsruher Institut für Technologie
Lingguang Wang, Karlsruher Institut für Technologie

Lokalisierung & Bewegungsregelung ..... S. 94
Grischa Gottschalg, Technische Universität Darmstadt
Tobias Homolla, TU Darmstadt
Dr. Jürgen Graf, iMAR Navigation GmbH

Leitwarte ..... S. 98
Dr. Frank Diermeyer, TU München
Johannes Feiler, TU München
Simon Hoffmann, TU München

Cloud-Dienste ..... S. 100
Bastian Lampe, RWTH Aachen University

Geometrische Gestaltung und Mensch-Maschine-Interaktion

Vorstellung der Domäne Geometrische Gestaltung ..... S. 104
Interview
Torben Böddeker, RWTH Aachen University

Skalierbarer modularer Strukturbaukasten ..... S. 110
Torben Böddeker, RWTH Aachen University

autoSHUTTLE ..... S. 118
Philip Westerkamp, RWTH Aachen University

autoTAXI ..... S. 124
Ferdinand Schockenhoff, TU München
Manuel Kipp, TU München

autoCARGO ..... S. 128
Kai Markert, Karlsruher Institut für Technologie

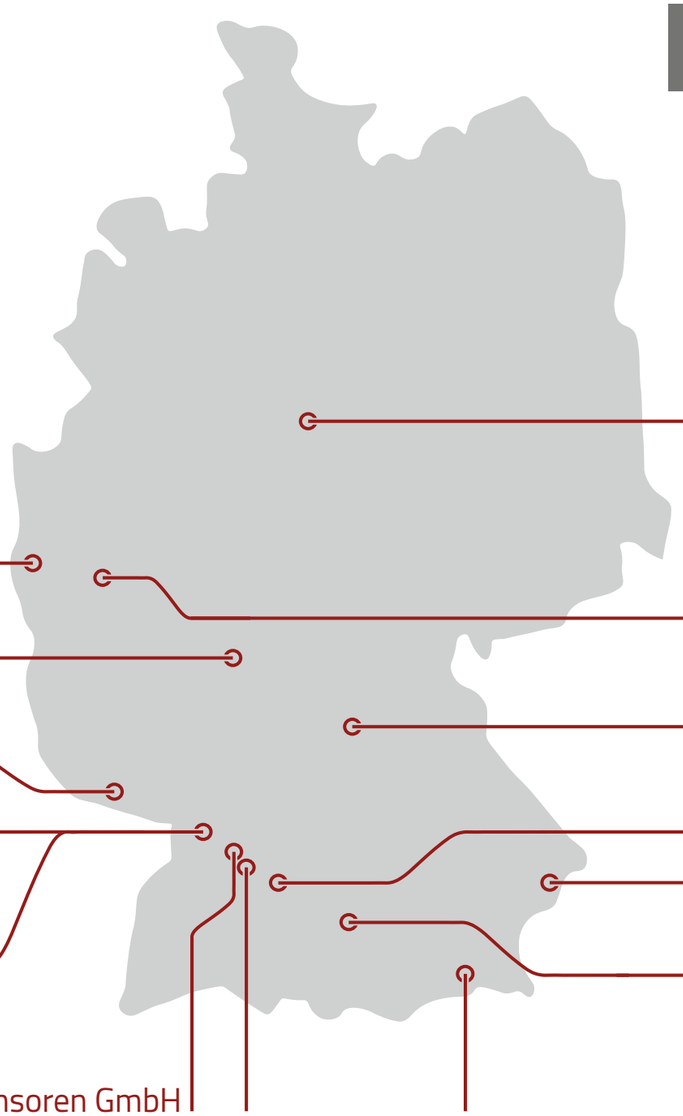
autoELF ..... S. 132
Tobias Schräder, TU Braunschweig
Prof. Dr. Markus Maurer, TU Braunschweig

Externe Kommunikation autonomer Fahrzeuge ..... S. 136
Johannes Schwiebacher, TU München

Türsystem ..... S. 138
Alexander Koch, TU München
Adrian König, TU München
Ferdinand Schockenhoff, TU München

Dynamikmodul ..... S. 140
Michael Struth, RWTH Aachen University

PARTNER



UNICARagil Newsletter | Sonderausgabe Halbzeitevent

Kick-Off-Veranstaltung
mit Parl. Staatsskretär Thomas Rachel
März 2018

Projektübergreifende Informationen

Timo Woopen - Projektleiter - im Interview

UNICARagil ist ein sehr umfangreiches Projekt. Was macht dieses Projekt so einzigartig?

Das Projekt UNICARagil vereint Geschichte mit dem Blick in die Zukunft. Alles beginnt mit dem Projekt unicar bereits 1979. Mit der Neuauflage in UNICARagil zeigen die führenden deutschen Universitäten auf dem Gebiet des automatisierten Fahrens, wie die Architekturen von zukünftigen automatisierten oder autonomen Fahrzeugen aussehen können. In einem Punkt sind wir uns alle einig: Die vorherrschenden Architekturen bieten aktuell keine ausreichenden Update- und Upgradefähigkeiten, um den beschleunigten Entwicklungszyklen, auch in der Automobilindustrie, gerecht zu werden.

In UNICARagil arbeitet ein engagiertes Team aus jungen, motivierten Wissenschaftler*innen gemeinsam mit langjährigen Expert*innen auf den jeweiligen Fachgebieten zusammen. Der interdisziplinäre Austausch und die Zusammenarbeit der verschiedenen Universitäten und Industrieunternehmen machen dieses Projekt so spannend.

Durch den Ansatz des Projektes ist es möglich, neue Konzepte und Architekturen ohne Altlasten zu denken und zu entwickeln. Wir starten quasi auf der grünen Wiese und haben neue Freiheiten in der Forschung. Gleichzeitig steht das Team aus den Projektpartnern vor einer ambitionierten, aber auch motivierenden Aufgabe.

Wer sind diese Partner und wo liegen die verschiedenen Aufgaben?

Die Projektlandkarte auf Seite 12 und 13 zeigt, dass in UNICARagil Partner aus ganz Deutschland aktiv werden. Dabei umfasst das Projektkonsortium sechs Professoren aus dem Netzwerk des Uni-DAS e. V., die das Projekt initiiert haben. Hinzu kommen weitere Partner aus der Wissenschaft sowie Firmen aus den Bereichen Antrieb, Simulation, IT-Sicherheit, eingebettete Software und Systeme, Kommunikation, Kartierung und Lokalisierung, Logistik und Elektromobilität.

Die RWTH Aachen University ist mit drei Instituten am Projekt UNICARagil beteiligt. Das Institut für Kraftfahrzeuge koordiniert das Projekt, ist für die Strukturauslegung, die Dynamikmodule und Cloud-Funktionalitäten verantwortlich und baut den Use-Case autoSHUTTLE auf. Das Institut für Flugsystemdynamik, welches die Info-Biene, unser fliegendes Sensorcluster, umsetzt, und der Lehrstuhl für Informatik 11, der die Dienste-orientierte Softwarearchitektur sowie die Cloud-Architektur verantwortet, sind die weiteren Partner aus Aachen.

Die Kollegen der Technischen Universität Braunschweig legen im Projekt den Fokus auf das Thema Sicherheit. Beteiligt sind das Institut für Regelungstechnik, das die Sicherheit auf Gesamtfahrzeugebene und den Anwendungsfall des autonomen Familienfahrzeugs autoELF verantwortet, und das Institut für Datentechnik und Kommunikationsnetze, das die Zuverlässigkeit und Echtzeitfähigkeit der Kommunikation der verteilten Systeme prüft.

Mit dem Fachgebiet Fahrzeugtechnik der TU Darmstadt sind Experten auf dem Gebiet der Fahrzeugregelung an Bord, die außerdem das Sichere Anhalten umsetzen. Das Fachgebiet Physikalische Geodäsie und Satellitengeodäsie verantwortet die Inertial- und Radsensorik zur hochgenauen Eigenzustandsschätzung.

Die Interaktion zwischen Mensch und Maschine wird im Projekt durch den Lehrstuhl für Ergonomie der Technischen Universität München betrachtet. Der ebenfalls dort ansässige Lehrstuhl für Fahrzeugtechnik verantwortet die Leitwarte und den Use-Case autoTAXI.

Die mechatronische Architektur der Fahrzeuge, die dediziert entwickelte Stammhirnhardware und die Energieversorgung inklusive thermischer Konditionierung sind die Aufgabengebiete des Instituts für Fahrzeugtechnik Stuttgart der Universität Stuttgart.

Das Institut für Mess-, Regel- und Mikrotechnik der Universität Ulm hat sich in UNICARagil die Umsetzung der generischen Sensormodule sowie die Fahrzeugumfeldmodellierung inklusive Verhaltensgenerierung zur Aufgabe gemacht.

Unterstützt werden sie durch das Institut für Mess- und Regelungstechnik des Karlsruher Instituts für Technologie, die das Großhirn, die visuelle Wahrnehmung und die Bewegungsplanung beisteuern. Das Institut für Fördertechnik und Logistiksysteme aus Karlsruhe verantwortet den Use-Case autoCARGO und setzt die automatisierte Handhabungstechnik um.

Die Universität Passau und der Lehrstuhl für technische Informatik kam durch einen personellen Wechsel nachträglich zum Konsortium hinzu und beschäftigt sich mit der IT-Sicherheit.

Unsere Industriepartner Schaeffler, Maxion Wheels und Valeo unterstützen uns bei den Radnabenantrieben, den speziell benötigten Rädern und der Ultraschallsensorik, die für einen besonderen Anwendungsfall angepasst werden muss. Vires und IPG unterstützen mit ihrer Simulationssoftware sowohl in der Entwicklung der Fahrzeugregelung, als auch in der Funktionsentwicklung in der Cloud. Das Start-Up Atlatec ist bekannt für seine digitalen Karten und unterstützt UNICARagil zusätzlich durch eine kamerabasierte Lokalisierung. Die Firma iMAR enwickelt ein hierzu redundantes Lokalisierungssystem.

Das Start-Up flyXdrive unterstützt bei der Umsetzung der Info-Biene.

Warum sind im Konsortium keine namhaften deutschen Autobauer vertreten?

Das Projektkonsortium verzichtet bewusst auf große Fahrzeughersteller, um auf einer grünen Wiese zu starten, ohne dabei auf proprietäre Baukästen oder Herangehensweisen angewiesen zu sein. Ziel von UNICARagil ist es aufzuzeigen, wie das automatisierte Fahren in seiner Architekur wie neu gedacht werden kann. Das Ergebnis soll einen nachhaltigen Beitrag zur deutschen Forschungslandschaft leisten, sodass Universitäten, aber auch kleine Start-Ups oder Firmen die Architekturen für zukünftige Entwicklungen im Bereich automatisiertes und vernetztes Fahren nutzen können.

Die verschiedenen Partner arbeiten an vielen verschiedenen Themen. Wie stehen diese im Zusammenhang?

In UNICARagil werden verschiedene Bereiche der Entwicklung automatisierter Fahrzeuge und vor allem deren Architekturen betrachtet. Das Gesamtkonzept von UNICARagil lässt sich mit Hilfe der Skizze auf Seite 22 und 23 zusammenfassen. Die Basis für die spätere Umsetzung von vier prototypischen Fahrzeugen bildet ein modularer Strukturbaukasten. Damit können Fahrzeuge realisiert werden, die in ihren Abmaßen skalierbar sind. Der Gesamtaufbau unterteilt sich in die modulare Fahrplattform und unsere verschiedenen Aufbaumodule.

Die Plattform wird durch vier Dynamikmodule erweitert, die den Antrieb, die Bremse, die Lenkung und die Federung und Dämpfung bereitstellen. Hauptmerkmal dieser Module sind die einfache Wartung durch unser 48 V Antriebskonzept und die hohen Lenkwinkel von bis zu 90°. Die Fahrzeuge können daher völlig neuartige Fahrmanöver darstellen und sich agil im Straßenverkehr bewegen.

Damit die Fahrzeuge automatisiert und fahrerlos im Straßenverkehr bewegt werden können, benötigen sie natürlich Sensoren zur Umgebungswahrnehmung. Auch hier verfolgen wir einen modularen Ansatz, in dem unsere Sensormodule als abgeschlossene Einheit realisiert werden.

Im späteren fahrerlosen Betrieb wird, wie der Name erahnen lässt, kein Fahrer an Bord des Fahrzeugs sein. Dennoch werden wir auch in Zukunft menschliche Entscheider benötigen, die dann in Zukunft ganze Fahrzeugflotten begleiten könnten. Diese nennen wir „Lotsen“ und ihr Einsatzgebiet ist die Leitwarte. Auch die Umsetzung einer solchen Leitwarte ist Teil von UNICARagil.

UNICARagil Newsletter | Sonderausgabe Halbzeitevent

Schauen Sie sich auch das Video an.

Die UNICARagil Fahrzeuge sind aber nicht nur mit der Leitwarte vernetzt, sondern auch untereinander und mit der Cloud. So können in der Cloud Informationen von verschiedenen Fahrzeugen, aber auch von anderen Infrastrukturelementen oder unbemannten Luftfahrzeugen kombiniert werden. Auch die Entwicklung solcher Cloud-Funktionalitäten und einer Info-Biene, die als unbemanntes Flugobjekt (kurz UAV) autonom fliegend Verkehrsdaten immer dort bereitstellen kann, wo sie benötigt werden, ist Teil unseres Projektes.

So viel in aller Kürze. Alle verschiedenen Inhalte werden noch einmal detailliert im weiteren Verlauf des Newsletters, oder auf unserer Homepage in Video und Audio-Form erläutert.

Zum Ende des Projektes sollen also vier verschiedene Fahrzeugprototypen aufgebaut werden. Was macht diese Fahrzeuge aus?

Genau, am Ende des Projektes realisieren wir vier Use-Cases. Das sind im Endeffekt vier Varianten unserer modularen Strukturplattform, die verschiedene Anwendungszwecke erfüllen werden. Um die Variabilität des Ansatzes aufzuzeigen, werden wir zwei größere und zwei kleinere Fahrzeuge aufbauen. Als große Fahrzeuge werden wir das autoSHUTTLE und das autoCARGO präsentieren. Die Namen geben hier bereits einen Hinweis auf die Einsatzgebiete der Fahrzeuge, also ein automatisiertes Shuttle zur Ergänzung des ÖPNV mit einer Kapazität von ca. 8 Personen und ein autonomes Lieferfahrzeug, das Pakete bis zur Haustür auch dann ausliefern kann, wenn niemand zu Hause ist. Ein Beispiel für ein kleineres Fahrzeug wird das autoTAXI sein, das im speziellen Anwendungsfall des „Working-Taxis" maximal vier Personen komfortabel transportieren kann. Im Gegensatz zu diesen drei, sich vermutlich in Zukunft in Besitz von Flottenbetreibern befindlichen Fahrzeugen, geht die autoELF einen anderen Weg. Auch automatisierte und fahrerlose Fahrzeuge könnten weiter im Privatbesitzt bleiben. Hier spielt vor allem Inklusion und Individualisierbarkeit eine treibende Rolle. Dadurch können Personen, die aktuell nicht individuell mobil sein können, unterstützt werden.

Zur besseren Veranschaulichung der verschiedenen Ausprägungen haben wir für jeden Use-Case kurze Stories erstellt, die den typischen Tagesablauf im Leben mit den Fahrzeugen aufzeigen. Auf unserer Homepage gibt es hierzu Videos, in diesem Newsletter einen kleinen Comic.

Wie wird die Arbeit in einem solchen Projekt koordiniert. Alle arbeiten ja an einem gemeinsamen Ziel, da gibt es bestimmt viel Abstimmungsbedarf.

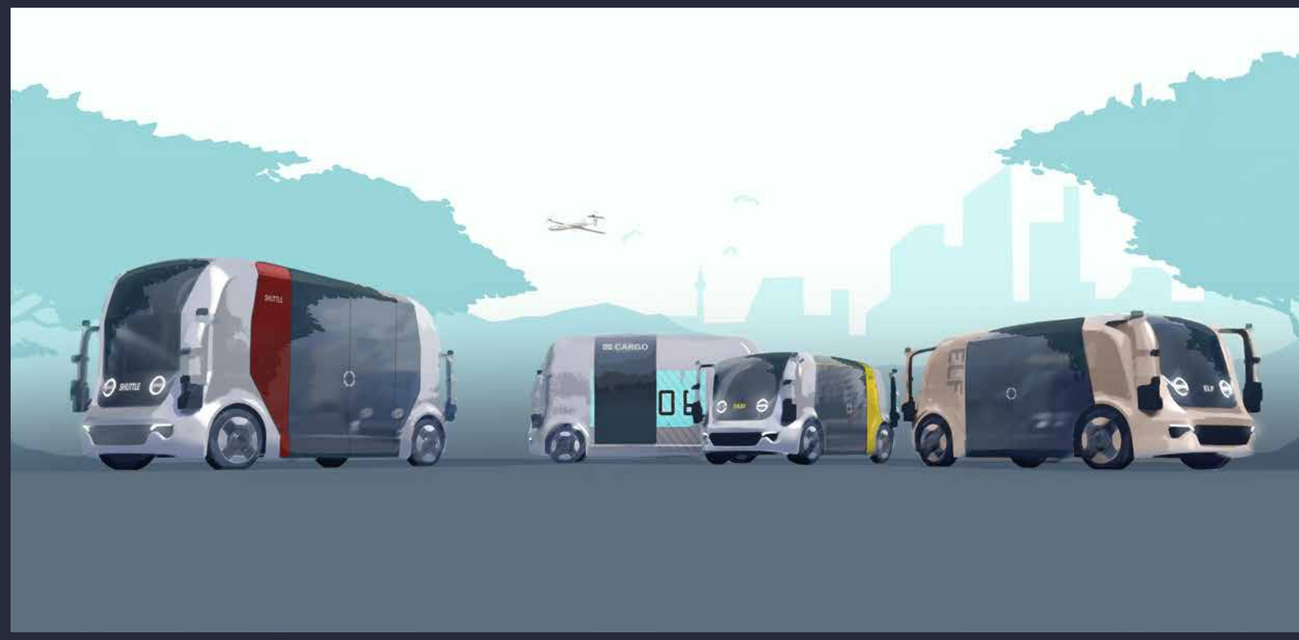
Bei mittlerweile über 100 Projektmitarbeiter*innen und vielen miteinander verwobenen Themen ist es schwierig den Überblick zu behalten. Daher sind die Arbeiten zunächst in sechs Arbeitspaketgruppen mit insgesamt 32 Arbeitspaketen unterteilt, die größtenteils parallel verlaufen. Da diese Arbeitspakete aber viele Schnittstellen über ihre Gruppengrenzen hinaus haben, gibt es außerdem sogenannte Domänen, die von verschiedenen Kollegen koordiniert werden. Diese dienen dem Abgleich von Schnittstellen zwischen den verschiedenen Arbeitspaketen. Wir haben uns in UNICARagil dafür entschieden, die Arbeiten in die Domänen Sicherheit, Funktion/Automatisiertes Fahren, Software, Mechatronik und Geometrie zu unterteilen. So unterschiedlich diese Inhalte aber zunächst erscheinen, desto mehr gemeinsame Themen entstehen auch zwischen diesen Domänen. Eine kontinuierliche Abstimmung ist daher trotzdem sehr wichtig.

Wann können wir denn mit den ersten Fahrzeugen rechnen?

Die Fahrzeuge bestehen aus vielen einzelnen Modulen. Diese sind teilweise bereits aufgebaut oder befinden sich noch im Aufbau. Die ersten Plattformen wurden Ende letzten Jahres an die Universität Stuttgart ausgeliefert (siehe S. 64 und 65). Dort werden aktuell die verschiedenen Bordnetze, die im weiteren Verlauf des Newsletters detailliert beschrieben werden, integriert. Parallel werden in Aachen die Dynamikmodule und beim Prototypenbauer die Aufbaumodule aufgebaut. Erste montierte Fahrzeuge können wahrscheinlich Ende 2020 bis Anfang 2021 fertiggestellt werden. Ein Großteil der Arbeit beginnt jedoch erst dann. Die Integration der Sensorik und Rechnerinfrastruktur sowie die Inbetriebnahme der Automatisierung werden

UNICARagil Newsletter | Sonderausgabe Halbzeitevent

Schauen Sie sich auch das Video an.



von dort an einen Großteil der restlichen Projektlaufzeit in Anspruch nehmen.

Diese Ziele zu erreichen ist bestimmt mit hohen Kosten verbunden. Von wem wird das Projekt gefördert?

Das Projekt wird vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) mit einer Gesamtfördersumme von über 23. Mio. Euro gefördert. Es ist im Rahmenprogramm „Mikroelektronik aus Deutschland – Innovationstreiber der Digitalisierung" angesiedelt.

Gibt es weitere Informationen zum Projekt oder Möglichkeiten zu diesem beizutragen?

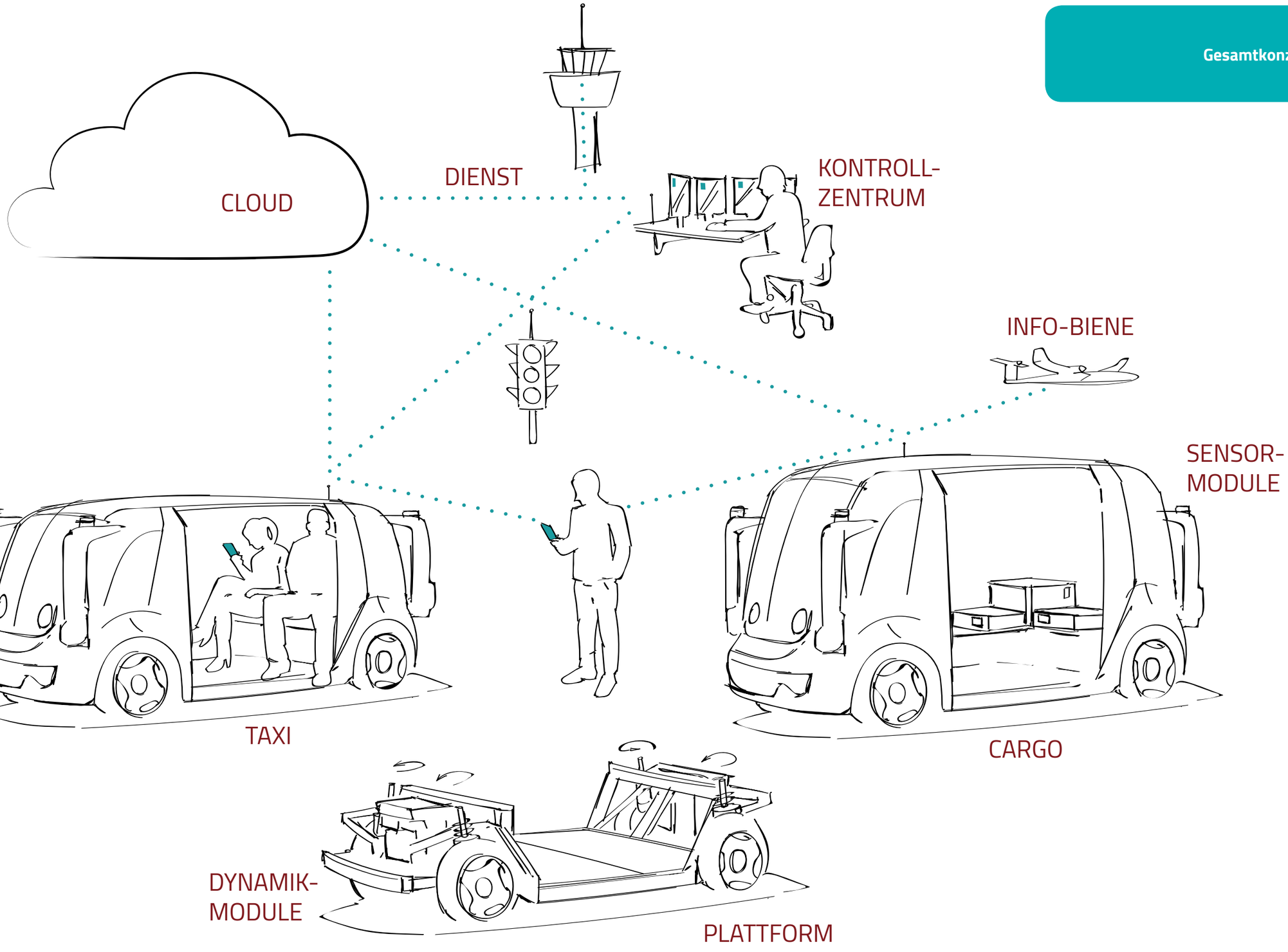
Als öffentlich gefördertes Forschungsprojekt haben wir in UNICARagil den Vorteil, offen über Forschungsergebnisse und Ansätze sprechen zu können. Unser Ziel ist daher auch ein Dialog mit allen Interessierten aus Öffentlichkeit und Industrie. Wir sind daher stets für Anregungen, Feedback oder auch Fragen offen und freuen uns über Teilhabe aller Interessierten rund um das Thema automatisiertes Fahren.

Neue Informationen aus dem Projekt gibt es regelmäßig auf den Social-Media-Kanälen wie LinkedIn oder Twitter unter #UNICARagil. Auf unserer Homepage gibt es neben allen Projektinformationen auch weiteres aufbereitetes Material zum digitalen Halbzeitevent. Hier können Sie auch Fragen oder Feedback direkt an uns richten.

Mit dem Projekt UNICARagil möchten wir zeigen, dass der Forschungs- und Wissenschaftsstandort Deutschland beim automatisierten Fahren nicht nur vorne dabei ist, sondern Wege aufzeigt, die Mobilität der Zukunft effizient, komfortabel und sicher zu gestalten.

UNICARagil Newsletter | Sonderausgabe Halbzeitevent

Gesamtkonzept



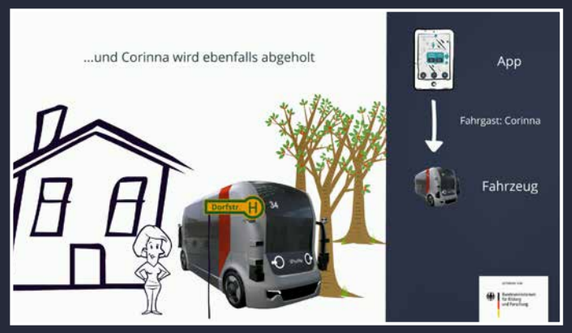
autoSHUTTLE

Auf den nachfolgenden Seiten stellen wir Ihnen die vier UNICARagil Fahrzeugausprägungen im Projekt anhand einiger Anwendungsbeispiele aus dem Alltag vor. Die UNICARagil-Fahrzeuge sind speziell auf ihren jeweiligen Anwendungsfall, auch Use-Case genannt, angepasst. Im Projekt zeigen wir, wie Fahrzeuge für vier verschiedene wichtige Use-Cases aussehen können. Mit unserer modularen Architektur sind aber viele weitere Varianten denkbar!

Hier beginnen wir mit unserer Idee des ÖPNV von morgen - dem autoSHUTTLE. Es folgt das autoTAXI. Die verschiedenen Mottotaxis bieten für jeden Reisegrund das passende Innenraumkonzept.

Anschließend stellen wir das autoCARGO, unser automatisiertes Abhol- und Lieferfahrzeug, sowie die autoELF, ein vollständig individualisierbares und privates Familienfahrzeug vor.

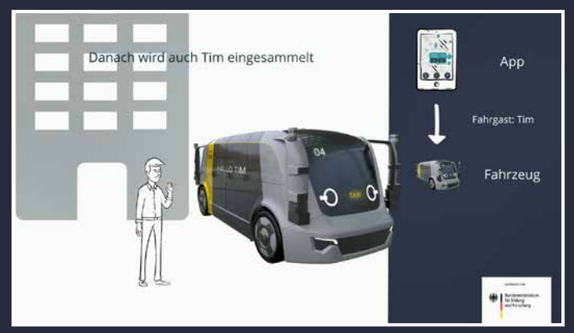
Schauen Sie sich auch das Video an.

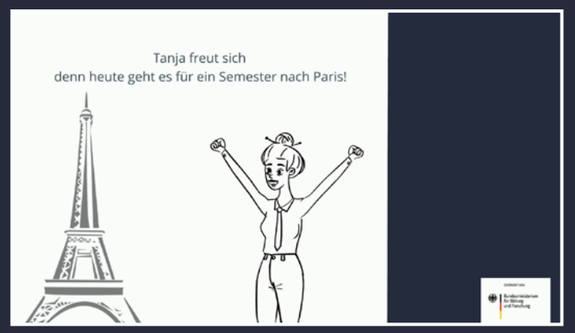


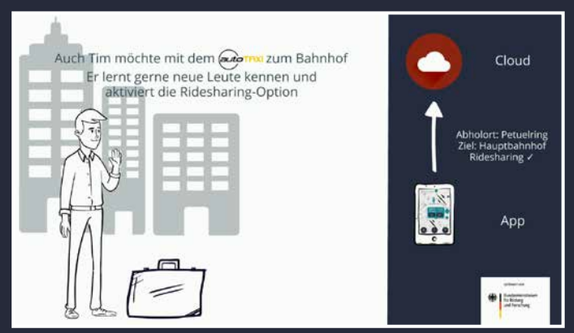
UNICARagil Newsletter | Sonderausgabe Halbzeitevent

autoTAXI

Schauen Sie sich auch das Video an.



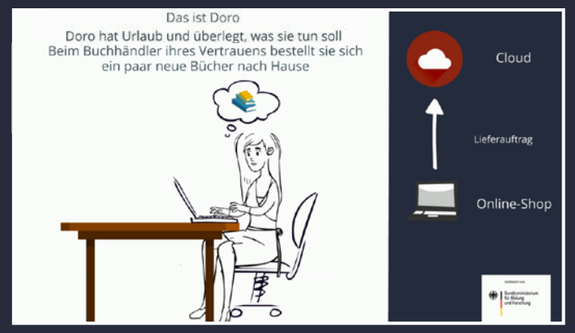


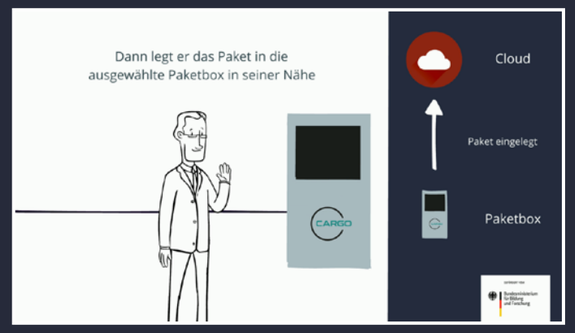


UNICARagil Newsletter | Sonderausgabe Halbzeitevent

autoCARGO

Schauen Sie sich auch das Video an.

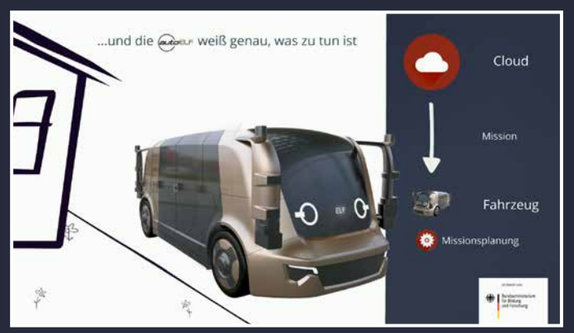


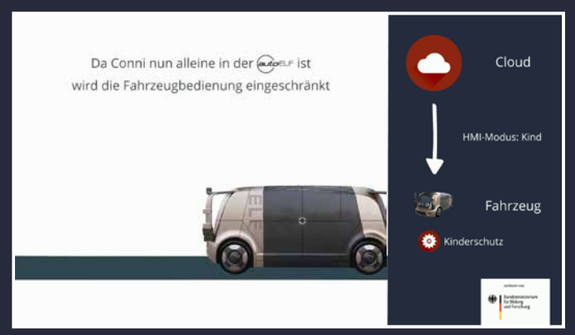


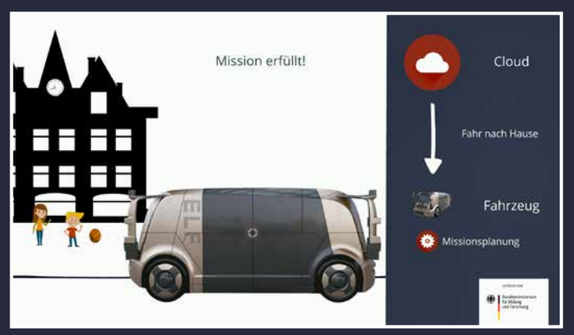
UNICARagil Newsletter | Sonderausgabe Halbzeitevent

autoELF

Schauen Sie sich auch das Video an.







Info-Biene

Luftgestützte Verkehrsüberwachung

Motivation

Erweiterung des externen Umfeldmodells mit dem „Blick von oben“ unabhängig vom Straßenverkehr

Generiert z. B. Informationen über:

- Blockierte Fahrspuren nach einem Unfall
- Umgeknickte Bäume auf Landstraßen nach Unwetter
- Freie Parkplätze

Kippflügelfluggerät

Senkrechtstart und -landung

- Unabhängig von Landebahn
- Stützpunkt in der Stadt

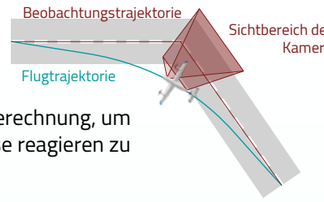
Reiseflug im effizienten Flächenflug

- Hohe Flugzeit / Reichweite
- Hohe Fluggeschwindigkeit bis 100 km/h
- Schnelle Informationsgewinnung

Automatisierung

Beobachtungsoptimale Flugbahn

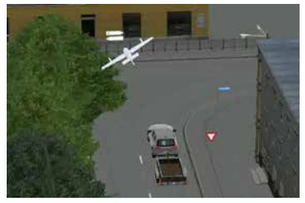
- Spline-basierte Flugtrajektorie für stetige Steuervorgaben
- Dazu passende Trajektorie für Beobachtungspunkt
- Effiziente Onboard-Berechnung, um schnell auf Hindernisse reagieren zu können

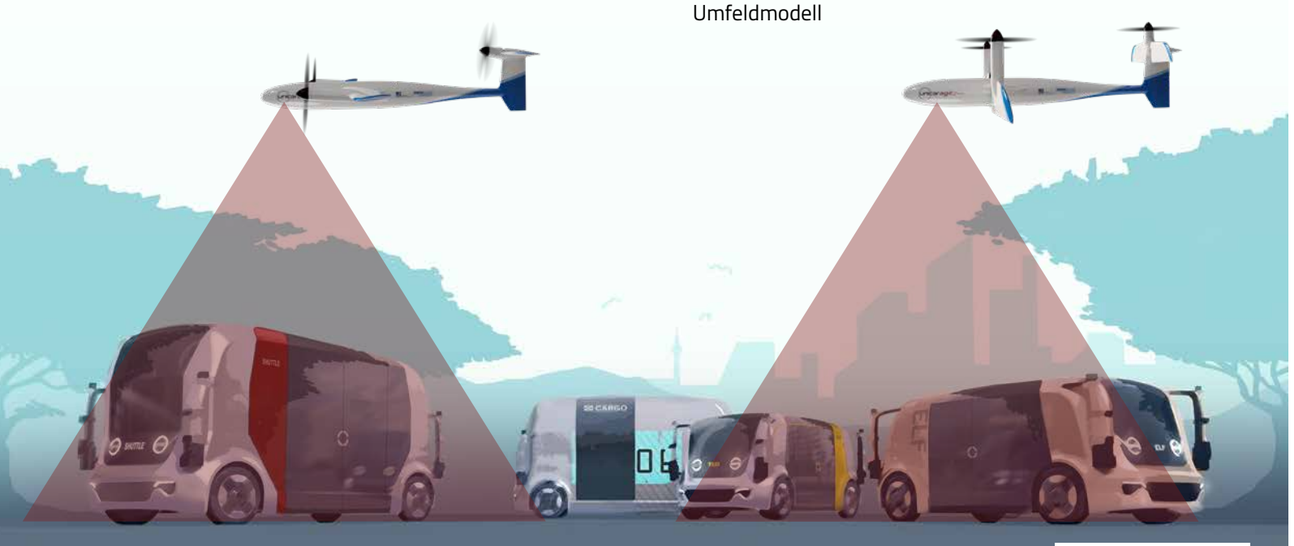


Ablauf

Cloud generiert Liste abzufliegender Gebiete / Anforderung durch Leitwarte

- Kontrollrechner generiert Flugauftrag
- Fluggerät berechnet optimale Flugtrajektorie und fliegt diese ab
- Kamerabilder werden vorverarbeitet und in die Cloud gesendet
- Cloud integriert die Daten in das externe Umfeldmodell





Kontakt

Dr.-Ing. Norbert Siepenkötter
flyXdrive GmbH

Nicolai Voget, M.Sc. M.Sc.
Institut für Flugsystemdynamik
RWTH Aachen

GEFÖRDERT VOM
Bundesministerium für Bildung und Forschung

Info-Biene

Nicolai Voget | RWTH Aachen University, Institut für Flugsystemdynamik

Dr. Norbert Siepenkötter | flyXdrive GmbH

Hören Sie auch den Podcast zum Poster.

Eine wichtige Voraussetzung für die Routen- und Verhaltensplanung automatisierter Fahrzeuge ist das Wissen über den aktuellen Zustand des Straßennetzes und der eigenen Umgebung. Bei UNICARagil greifen die einzelnen Fahrzeuge dabei auf das Kollektive Verkehrsgedächtnis zu, das mit den Daten aller Fahrzeuge angereichert wird. Zusätzlich wird das Verkehrsgedächtnis mit Daten aus anderen externen Quellen gefüllt.

Hier kommt die Info-Biene ins Spiel: Ausgestattet mit einer Kamera fliegen UAVs über der Stadt, um bedarfsgerecht Informationen zu erfassen. Die Informationen können dabei unterschiedlichster Art sein. So können sowohl längerfristige Zustände – wie die Sperrung einer Fahrspur durch eine Baustelle – als auch kurzlebige Informationen – beispielsweise freie Parkplätze – abgebildet werden. Die Aufträge an die Info-Biene kommen aus der Cloud. Sei es, weil die geplante Route eines Fahrzeugs Straßen beinhaltet, zu denen keine aktuellen Informationen vorliegen, oder weil nach einem Sturm Landstraßen durch umgeknickte Bäume zu zeitraubenden Sackgassen werden können. Auch durch einen Unfall blockierte Straßen können erfasst werden und Fahrzeuge kurz vor ihrer Ankunft am Zielort bei der Parkplatzsuche unterstützt werden.

Info-Biene während der Transition

Der Einsatz eines Fluggeräts erlaubt es dabei, schnell zum jeweils relevanten Zielgebiet zu gelangen, denn die Info-Biene kann sich in direkter Luftlinie zum Ziel begeben. Darüber hinaus ist sie nicht an Geschwindigkeitsbegrenzungen gebunden und kann auch über Ampeln und Staus mit 100 km/h hinweg fliegen. In Aachen beispielsweise kann damit vom Dach des Instituts für Flugsystemdynamik jeder Punkt der Stadt innerhalb von zwei Minuten erreicht werden.

Die Info-Biene ist ein sogenannter Kippflügler, bei dem Tragfläche und Höhenleitwerk um die Querachse gekippt werden können. Dadurch kann die Info-Biene einerseits im Schwebeflug starten und landen sowie andererseits im Flächenflug hohe Geschwindigkeiten und Flugzeiten erzielen.

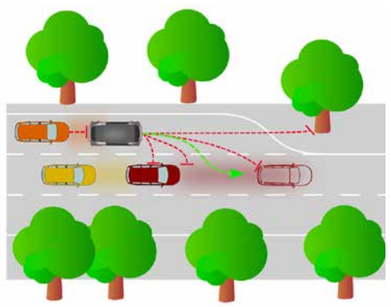
Zur Seite gerichtete Kamera

Durch die speziell konstruierte Aufhängung in der Nase kann die Kamera in jede Richtung gedreht werden, sodass die Straße auch bei seitlichem Versatz der Info-Biene im Bildmittelpunkt bleibt. Damit kann die Info-Biene bei Kreuzungen eine weite Kurve fliegen, ohne die Geschwindigkeit verringern zu müssen. Die Koordinierung der Kameraausrichtung mit der Bewegung des Fluggeräts erfolgt dabei über zwei aufeinander abgestimmte Trajektorien. Die Flugtrajektorie gibt den genauen zeitlichen Verlauf der Fluggeräteposition vor. Synchron dazu wird der Kamerazielpunkt entlang der Beobachtungstrajektorie bewegt.

Wir vom Institut für Flugsystemdynamik und unser Teilprojektpartner flyXdrive freuen uns darüber, mit den Arbeiten zur Datenerfassung aus der Luft einen wichtigen Beitrag zum Gesamtkonzept des autonomen Fahrens zu leisten.

Sicherheit

Demonstrator zur Erprobung von IT-Security-Mechanismen



Darstellung eines Szenarios aus der Gefährdungsanalyse

Torben Stolte - Domänenkoordinator für den Bereich Sicherheit - im Interview

Wo liegen die Kernherausforderungen der Fahrzeugautomatisierung aus Sicherheitsperspektive, gerade bei Automatisierungsgraden, in denen der Mensch nicht mehr als Korrekturfaktor vorgesehen ist, z. B. Level 4?

Der Mensch ist in der Regel sehr gut darin, sich im öffentlichen Straßenverkehr zu bewegen. Wenn man es genau betrachtet, erbringt er dabei phantastische Leistungen. Er bewegt sich in einer offenen Welt mit einer enormen Komplexität, keine Situation ist wie die andere, und es treten immer wieder Situationen auf, die ein Mensch so noch nicht erlebt hat. Trotzdem ist der Mensch in der Lage, sich anzupassen und neue Situationen sicher zu beherrschen.

In der gleichen komplexen Umgebung sollen die automatisierten Fahrzeuge eingesetzt werden. Dabei müssen sie mit zahlreichen Unsicherheiten umgehen können. Diese treten zum einen während des Betriebs der Fahrzeuge auf. Die maschinelle Wahrnehmung unterliegt physikalischen Grenzen der Sensoren und die Interpretation der Sensordaten in Echtzeit bringt weitere Unsicherheiten mit sich. Die Verhaltensentscheidung wiederum trifft Entscheidungen auf Basis der unsicherheitsbehafteten Wahrnehmung. Zudem ist auch das zukünftige Verhalten anderer Verkehrsteilnehmer schwer vorherzusagen. Weitere Unsicherheiten treten zum anderen bereits in der Forschungs- und Entwicklungsphase auf. Eine vollständige Anforderungsformulierung ist nicht möglich. Zudem können die sehr zahlreichen Anforderungen in Konflikt zueinander stehen und sind schwer zu formalisieren, sprich in ein rechnerlesbares Format zu überführen, das es ermöglicht Anforderungen automatisiert zu überprüfen. Darüber hinaus kann während der Verifikation und Validierung der Anforderungen nur eine begrenzte Menge der theoretisch unendlich vielen Testfälle durchlaufen werden.

Und deswegen wird Sicherheit in UNICARagil so zentral betrachtet?

Genau. Insgesamt resultiert aus diesen Unsicherheiten ein dem automatisierten Fahren inhärentes Risiko. Nebenbei gesagt: Auch Menschen gehen, wenn sie herkömmlich Auto fahren, für den Nutzen, mobil zu sein, immer Risiken durch die Teilnahme am Straßenverkehr ein. Ein Beispiel: Wir fahren in vielen Situationen schneller als angemessen wäre, um unseren Nutzen, früher ans Ziel zu kommen, zu erhöhen. Gleichzeitig erhöht sich dadurch natürlich unser Risiko.

Es stellt sich also die Frage: Welches Sicherheitsniveau müssen wir erreichen?

Richtig. Es muss mindestens ein Sicherheitsniveau erreicht werden, das dem menschlicher Fahrer*innen entspricht. Es ist jedoch valide anzunehmen, dass der Anspruch an die Sicherheit automatisierter Fahrzeuge höher sein wird. Dieses Sicherheitsniveau muss bei Markteinführung solcher Fahrzeuge nachgewiesen werden können. Somit ist Sicherheit einer der Schlüssel für die Markteinführung von automatisierten Fahrzeugen.

Während des automatisierten Betriebs der Fahrzeuge wird kein Mensch korrigierend eingreifen können. Das ist unser Anspruch und unsere Herausforderung zugleich. In der Konsequenz müssen alle Überwachungs- und Eingriffsaufgaben durch die Fahrzeugautomatisierung selber abgedeckt werden, während sie in herkömmlichen Fahrzeugen mit Fahrerassistenzsystemen vom Menschen ausgeführt werden.

Aber das zu erreichende Sicherheitsniveau ist noch nicht bekannt. Wie kann UNICARagil hier beitragen?

Typischerweise wird die Sicherheitsargumentation bei Automobilherstellern erst während der Serienentwicklung erzeugt. In dieser Phase sind viele Entscheidungen zum System bereits getroffen. Gleichzeitig können oftmals Sicherheitskonzepte von bestehenden Fahrzeugen übernommen werden. Stehen diese Entscheidungen dann in Konflikt mit dem notwendigen Sicherheitsniveau, sind sie nur noch schwer zu korrigieren. Weiterhin ist die detaillierte Sicherheitsstrategie der Hersteller aus Gründen der Geheimhaltung nicht öffentlich verfügbar. Eine gesellschaftliche Diskussion des notwendigen Sicherheitsniveaus und – damit verbunden – des inhärenten Risikos automatisierter Fahrzeuge ist somit nur begrenzt möglich. Dass diese Diskussion notwendig ist, zeigen bekannt gewordene Unfälle in Zusammenhang mit automatisierten Fahrfunktionen, die in den Medien breit diskutiert wurden.

UNICARagil bietet die Chance, die Sicherheit automatisierter Fahrzeuge konsequent zu betrachten. Die Sicherheitsaspekte werden bereits in der Forschungsphase systematisch aufgegriffen und adressiert. Auch unterliegen die Ergebnisse der Sicherheitsbetrachtungen nicht den Beschränkungen der Geheimhaltung. Die Projektergebnisse können somit für eine intensive Diskussion zur Sicherheit automatisierter Fahrzeuge aber auch zur transparenten Diskussion des Risikos automatisierter Fahrzeuge genutzt werden, sowohl innerhalb der internationalen Forschungsgemeinschaft als auch mit der Gesellschaft.

UNICARagil Newsletter | Sonderausgabe Halbzeitevent

Hören Sie sich das Interview online an!

Was sind also die Kernaufgaben der Domäne „Sicherheit"?

Die Kernaufgabe der Domäne Sicherheit ist die Begleitung der Forschungs- und Entwicklungsaktivitäten in UNICARagil aus Sicherheitsperspektive. In UNICARagil sind (fast) alle Gewerke von Sicherheitsfragestellungen betroffen, da die Automatisierung einen sehr hohen Grad an Komplexität mit sich bringt. Zur Komplexität trägt des Weiteren der modulare Ansatz von UNICARagil bei. Gleichzeitig bietet er natürlich auch Chancen.

Entsprechend sind die Aktivitäten der Domäne Sicherheit sehr stark mit den Aktivitäten der anderen Domänen vernetzt, natürlich dem Automatisieren Fahren, aber auch Mechatronik, Softwarearchitektur und Geometrie. Sicherheit ist also eine emergente Eigenschaft, die standort- und bauteilübergreifend betrachtet wird. Gleichzeitig finden die Forschungs- und Entwicklungsaktivitäten in einem kleinen und motivierten Team agil und stark parallelisiert statt. Insgesamt erfordert dies einen hohen Grad der Sensibilisierung und Abstimmung.

Innerhalb der Domäne Sicherheit werden die Sicherheitsaktivitäten koordiniert und die Kompatibilität der Sicherheitsmechanismen der einzelnen Gewerke sichergestellt. Zudem werden im Rahmen der Domäne zentrale Sicherheitsfunktionalitäten wie die Selbstwahrnehmung und das Sichere Anhalten sowie Methoden zur Komplexitätsbeherrschung – z. B. zur Untersuchung des Timing-Verhaltens – entwickelt. Systematische Sicherheitsbetrachtungen in Anlehnung an die Konzeptphase im Sinne der ISO 26262 sowie Beiträge zur Verifikation und Validierung rahmen diese Aktivitäten ein. Integriert in diese Aktivitäten ist ferner das Thema IT-Sicherheit. Letztendlich erfolgt innerhalb der Domäne Sicherheit auch die Sicherheitsdokumentation.

Ich verweise an dieser Stelle gerne an die weiterführenden Poster und Podcasts aus der Domäne Sicherheit, unter anderem zu den Themen Modulare Absicherung, Sicheres Anhalten, IT-Sicherheit, Sicherheitskonzeption, Selbstwahrnehmung, sowie Abhängigkeitsanalyse und Timing.

Was sind die von Ihnen erwähnten Chancen, die sich aus dem modularen Ansatz von UNICARagil ergeben?

Eine Chance, die sich aus dem modularen Ansatz ergibt, findet sich im Bereich der Verifikation und Validierung. Ein Fokus hierbei ist die modulare Absicherung. Hier profitieren wir vom modularen Ansatz bei Software- und Hardwarekomponenten.

Modularität ist seit jeher ein wichtiges Thema in der Automobilindustrie. Wir wollen uns die Modularität jedoch speziell beim Nachweis der Sicherheit zu Nutze machen. Wir untersuchen in UNICARagil, ob und wie anstelle des Gesamtsystems die darin enthaltenen Module, also Gruppierungen aus Software- und Hardwarekomponenten, separat abgesichert werden können. Daran ist man bisher gescheitert, da die Komponenten trotz Modularisierung noch starke und zumeist unbekannte Abhängigkeiten zueinander besitzen, die man üblicherweise nur durch Gesamtsystemtests aufdeckt.

In UNICARagil bauen wir hingegen ein konsequent modulares System auf, dessen Module von vornherein eindeutige Schnittstellen und bekannte Abhängigkeiten zueinander haben. Ziel der Arbeiten ist es, dass man nicht mehr auf Tests eines Moduls in Kombination mit allen anderen Komponenten eines Fahrzeugs angewiesen ist. Die individuell abgesicherten Module können dann für unterschiedlichste Fahrzeugvarianten verwendet werden, ohne dass man sie erneut für jede Variante aufwendig testen muss. Das bedeutet gleichzeitig, dass Updates einzelner Module einfacher werden. Module, die ein Update bekommen, müssen zwar selbst wieder abgesichert werden, alle anderen Module jedoch nicht. Hierdurch wird der Testaufwand bei solchen Updates deutlich reduziert.

Beispielhaft kategorisiertes Streckennetz

Ein weiterer Ansatz der modularen Absicherung ist es, Streckenabschnitte eines Straßennetzes in Anforderungskategorien zu klassifizieren, sodass nur solche Abschnitte befahren werden, für die eine ausreichende Leistungsfähigkeit des Fahrzeugs vorliegt. Die Verifikations- und Validierungstätigkeiten können so anfangs auf Streckenabschnitte fokussiert werden, die geringere Anforderungen an die Fähigkeiten der Fahrzeuge stellen. Dies ermöglicht es, solche Aktivitäten früher zu starten als es möglich wäre, wenn von vornherein das gesamte Streckennetz betrachtet wird.

Das klingt nach einer Menge Arbeit. Kann man denn mit den Rahmenbedingungen in UNICARagil eine vollständige Absicherung erreichen?

Es ist aufgrund der Komplexität der Aufgabe des Konsortiums in der Tat viel Arbeit. Klar ist, dass aufgrund der begrenzten Projektlaufzeit und Projektressourcen keine vollständige Absicherung der Automatisierung in dem Sinne gelingen kann, dass wir mit den Fahrzeugen auf allen öffentlichen Straßen an den Standorten des Konsortiums werden fahren können. Dennoch soll am Projektende der fahrerlose Betrieb mit den Fahrzeugen demonstriert werden. Deshalb erfolgen die Sicherheitsaktivitäten einerseits in eine konzeptuelle Richtung, in der die notwendigen Konzepte und Anforderungen für einen Serieneinsatz betrachtet werden. Andererseits verfolgen wir zusätzliche Aktivitäten, um eine sichere fahrerlose Demonstration der Fahrzeuge am Projektende gewährleisten zu können.

Kann ich mich in den UNICARagil-Fahrzeugen entspannt zurücklehnen oder muss ich jederzeit in das Geschehen eingreifen können?

Der erste Teil der Frage beschreibt schon ganz gut den angestrebten Automatisierungsgrad der Fahrzeuge. Es wird für mitfahrende Personen keine Möglichkeit geben, direkt in das Geschehen einzugreifen. Entsprechend hoch sind die Ansprüche an die Sicherheit der Fahrzeuge und ihre Funktionen.

Und was passiert, wenn dann doch mal Teile der Elektronik ausfallen?

Das Verhalten des Fahrzeugs hängt in diesem Fall davon ab, welche Teile der Elektronik ausfallen. Die Sicherheitsmechanismen zielen darauf ab, dass die Sicherheit der Fahrzeuge gewährleistet ist. Zentral dabei ist, dass die Ausfälle durch das Fahrzeug erkannt werden. Die Selbstwahrnehmung schätzt auf Basis des erkannten Ausfalls die aktuelle Leistungsfähigkeit des Fahrzeugs ein. Je nach Bewertung kann es sein, dass die Passagiere keine oder geringe Einschränkungen der Funktionalität der Fahrzeuge bemerken.

Bei größeren Ausfällen – zum Beispiel der Wahrnehmung oder der Verhaltensplanung – wird das Sichere Anhalten aktiviert. Dieser spezielle Betriebsmodus dient als Rückfallebene der Fahrzeuge. Er sorgt dafür, dass die Fahrzeuge bei größeren Ausfällen sicher angehalten werden können. Im Sicheren Anhalten reduziert das Fahrzeug seine Geschwindigkeit stark und folgt einer zuvor geplanten besonders risikoarmen Notfallbahn. Zudem verfügt das Sichere Anhalten über eine eigene Sensorik, die eine Hinderniserkennung auf der Notfallbahn ermöglicht. Ziel ist es, das Fahrzeug dort anzuhalten, wo sowohl die Fahrzeuginsassen als auch alle anderen Verkehrsteilnehmer nicht gefährdet werden.

Damit wären zumindest Ausfälle abgedeckt. Wie garantieren Sie aber jederzeit ein sicheres Verhalten?

Eine Garantie sicheren Verhaltens ist aufgrund der eingangs bereits beschriebenen Unsicherheiten und des daraus resultierenden inhärenten Risikos der Fahrzeugautomatisierung nicht möglich. Unser Bestreben in allen Entwicklungstätigkeiten ist es, das Risiko so gering wie möglich zu halten. Zudem werden wir die Randbedingungen bei einer Demonstration so konkret einschränken, dass wir uns der Wirksamkeit der implementierten Sicherheitsmechanismen gewiss sein können.

Und wie schützen Sie sich vor Hackern?

Angriffe auf die Fahrzeuge können vor allem durch das Eindringen in die Kommunikation oder durch das Einschleusen von Schadsoftware in die Steuergeräte der Fahrzeuge erfolgen. Der Schutz gegen solche Angriffe erfolgt maßgeblich durch die Absicherung der Kommunikation in den Fahrzeugen, aber auch nach Extern sowie durch Sicherstellung der Software-Integrität durch State-of-the-Art-Mechanismen.

Wie schätzen Sie die Sicherheitsaktivitäten im Vergleich zur Industrie ein?

Eine Einschätzung der Sicherheitsaktivitäten im Vergleich zur Industrie ist nur auf Basis der öffentlich verfügbaren Informationen möglich. Naturgemäß sind solche Informationen über die Industrieaktivitäten aus Geheimhaltungsgründen nur teilweise veröffentlicht. Das Beispiel Waymo – derzeit auf dem Gebiet der Fahrzeugautomatisierung vermutlich technologisch führend – zeigt, dass es dort sicherlich dedizierte Sicherheitsbetrachtungen gegeben haben muss. So hat Waymo einen Safety Report veröffentlicht, der einen Überblick über Waymos Sicherheitsaktivitäten gibt. Weiterführende Details sind jedoch nicht öffentlich verfügbar.

Zwar kann UNICARagil es nicht mit der Finanzkraft und der Personalstärke großer Unternehmen aus dem Silicon Valley oder hiesiger OEMs aufnehmen. Jedoch können wir als Forschungsprojekt im Gegensatz zu Unternehmen offen über die Chancen und Risiken der Fahrzeugautomatisierung sprechen und damit einen wichtigen Beitrag zum gesellschaftlichen Dialog leisten. Auch kann UNICARagil eine öffentlich verfügbare Blaupause zur konsequenten sicherheitsorientierten Entwicklung und zur Beherrschung der Komplexität in agilen sowie zeitlich begrenzten Entwicklungen liefern. Wir suchen auch den gezielten Austausch mit der Community, zum Beispiel organisieren wir zum dritten Mal einen Workshop „Ensuring and Validating Safety for Automated Vehicles" im Rahmen des Intelligent Vehicle Symposiums, einer der wichtigsten Konferenzen in unserem Feld.

Fassen wir zusammen: Was ist das Besondere an der Sicherheit in UNICARagil?

Zusammengefasst lässt sich sagen: Wir betrachten das Thema Sicherheit konsequent bereits in der Forschungsphase. Dabei fokussieren wir nicht nur Teilaspekte, sondern betrachten Sicherheit aus vielen Perspektiven und führen diese zu einem gesamten Sicherheitskonzept zusammen. Dieses Vorgehen ermöglicht es uns, wichtige Beiträge zur Sicherheit automatisierter Fahrzeuge zu liefern. Da wir ein öffentlich gefördertes Konsortium sind, haben wir als weitere Besonderheit die Möglichkeit, öffentlich über die Herausforderungen bei der Absicherung automatisierter Fahrzeuge zu sprechen und in den Dialog mit Gesellschaft und Wissenschaftsgemeinschaft einzutreten.

UNICARagil Newsletter | Sonderausgabe Halbzeitevent

Technische Universität Braunschweig

Sicherheitskonzept

Betrieb fahrerloser Fahrzeuge

unicaragil

Sicherheitsaspekte

- **Verhaltenssicherheit:** Nach außen sichtbares Verhalten des Systems im Straßenverkehr
- **Funktionale Sicherheit** (insbesondere ISO 26262)
- **Gebrauchssicherheit**
- **IT-Security**
- **Passive Sicherheit**

(Vgl. Waymo (2018). Waymo Safety Report – On the Road to Fully Self-Driving)

Sicherheitsaktivitäten in UNICAR*agil*

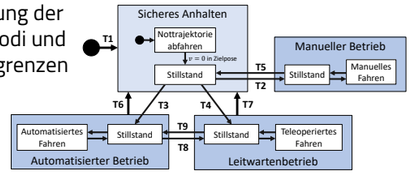
- Realisierung ganzheitlicher Konzepte durch Aufteilung relevanter Sicherheitsschwerpunkte im Projekt, z.B.:
  - RWTH Aachen: **Fail-safe Corner-Module**, Simulative Strukturvalidierung
  - TU Darmstadt: **Modulare Absicherung**, **Sicheres Anhalten** und **fähigkeitenbasierte Streckenfreigabe**
  - Universität Stuttgart: Funktional **sicheres Fahrzeugnetzwerk** (Energie & Daten), **ausfallsicheres Stammhirn**
  - Universität Passau: **IT-Security**

TU Braunschweig: **Sicherheitskonzept für das Gesamtfahrzeug**

- Sicherheitsanalysen für den Betrieb der Fahrzeuge
  - Städtische Umgebung & Vielzahl möglicher Strecken
  - Abbildung vorliegender Unsicherheiten in Anforderungen an Hardware und Software
  - Synergien zwischen Anwendungsfällen durch gemeinsame Fahrfunktion und weitere geteilte Komponenten
- Dokumentation in der Entwicklung und in den Prototypen umgesetzter Anforderungen und Sicherheitsmechanismen

Item Definition der Fahrfunktion

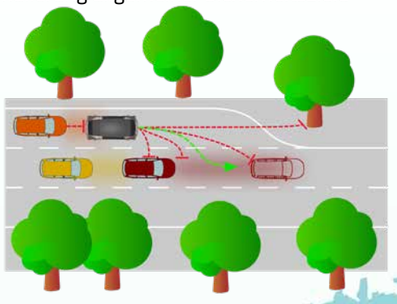
- Fahrfunktion in großem Maße sicherheitsrelevant: Übergang der Verantwortung vom Menschen auf das technische System
- Beschreibung der Betriebsmodi und Funktionsgrenzen



- Festlegung der erwarteten Einsatzumgebung
- Vorstellung abgestimmter besonders relevanter Betriebsszenarien für anschließende Sicherheitsanalysen

Gefährdungsanalysen

- **Technologieunabhängige Gefährdungsidentifikation:** Betrachtung generischen Fehlerverhaltens in repräsentativen Betriebsszenarien
- Bewertung der Risiken
- Formulierung allgemeiner Sicherheitsziele



Kontakt

Robert Graubohm, Torben Stolte & Markus Maurer
Technische Universität Braunschweig, Institut für Regelungstechnik
{graubohm,stolte,maurer}@ifr.ing.tu-bs.de

GEFÖRDERT VOM
Bundesministerium für Bildung und Forschung

Sicherheitskonzept

Hören Sie auch den Podcast zum Poster.

Torben Stolte
Technische Universität Braunschweig
Institut für Regelungstechnik

Robert Graubohm
Technische Universität Braunschweig
Institut für Regelungstechnik

Prof. Dr. Markus Maurer
Technische Universität Braunschweig
Institut für Regelungstechnik

Der Einsatz fahrerloser Fahrzeuge im öffentlichen Raum wird – genau wie der Einsatz konventioneller Fahrzeuge – niemals vollkommen frei von Risiken sein. Es ist entsprechend die Aufgabe der Entwickelnden, die Basis für eine gesellschaftliche Akzeptanz der neuen Technologie zu schaffen, indem Risiken grundsätzlich vermieden und bestehende Restrisiken quantifiziert sowie öffentlich kommuniziert werden. Entsprechend ist Sicherheit ein zentraler Bestandteil des Projekts UNICARagil: Sicherheitsaspekte werden in zahlreichen Arbeitspaketen an verschiedenen Standorten und aus verschiedenen architektonischen Sichtweisen heraus untersucht. Die Sicherheitsaktivitäten werden an der TU Braunschweig koordiniert und zu einem Gesamtsicherheitskonzept zusammengefügt.

Folgt man dem Waymo Safety Report, strebt das fahrzeugweite Sicherheitskonzept für die Automatisierung der Fahraufgabe insbesondere die Verhaltenssicherheit an. Das Vorgehen folgt dabei einem stringenten Top-down-Ansatz in Anlehnung an die ISO 26262, in dem erste Schritte weitestgehend technologieunabhängig sind. Weitere Arbeiten der verteilten Fahrzeugneuentwicklung in UNICARagil adressieren aber auch die etablierten Sicherheitssichten: Funktionale Sicherheit, Gebrauchssicherheit, IT-Sicherheit und Passive Sicherheit.

Als Startpunkt der Entwicklung dient die sogenannte Item Definition. Sie definiert den Funktionsumfang der automatisierten Fahrfunktion, ihre Betriebsmodi und Funktionsgrenzen (z. B. Geschwindigkeits- und Beschleunigungsgrenzen), aber auch Wetterbedingungen und angestrebte Einsatzgebiete. Darüber hinaus erfolgt in UNICARagil die Definition weniger, im Konsortium identifizierter besonders relevanter Szenarien für die frühen Sicherheitsanalysen.

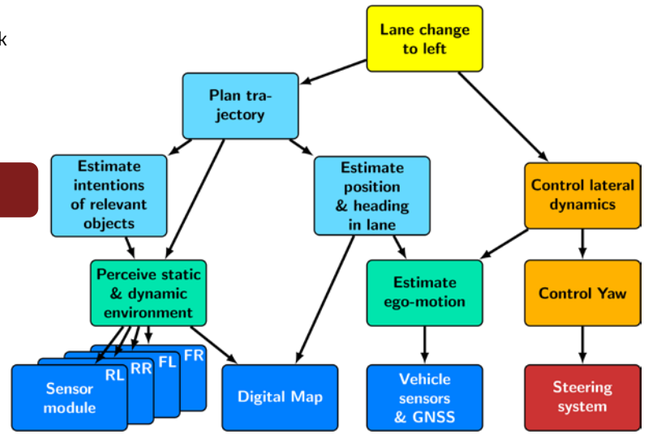
Bei der Sicherheitsanalyse der Automatisierung wird in UNICARagil gezielt das von außen sichtbare Verhalten der Fahrzeuge betrachtet. Dies bietet den Vorteil, nicht auf eine frühe, möglicherweise unvollständige Liste möglicher Fehlfunktionen angewiesen zu sein. Stattdessen wird betrachtet, welche Gefährdungen aus möglichen Abweichungen vom Sollverhalten resultieren – unabhängig von deren funktionalen Ursachen.

Dies kann am Beispiel eines endenden Fahrstreifens illustriert werden: Das betrachtete Fahrzeug soll am Ende des Fahrstreifens einen Fahrstreifenwechsel vornehmen und zwischen zwei Fahrzeugen auf dem Nachbarfahrstreifen einscheren. Fehlerhaftes Verhalten in diesem Beispiel wäre, dass das Fahrzeug den Fahrstreifenwechsel zu früh oder zu spät vornimmt oder einfach geradeaus weiterfährt. Die Risikobewertung ergibt sich anschließend aus der Kombination der möglichen Folgen, der Häufigkeit des Auftretens des Szenarios sowie aus der Frage, wie gut andere Verkehrsteilnehmer einen Unfall abwenden können. Gleichzeitig lassen sich hieraus Sicherheitsanforderungen auf Fahrzeugebene benennen, die weiter in Anforderungen an die für die Automatisierung notwendigen Funktionen heruntergebrochen werden können.

Selbstwahrnehmung in der Automatisierung

Was kann die Fahrzeugautomatisierung aktuell leisten?

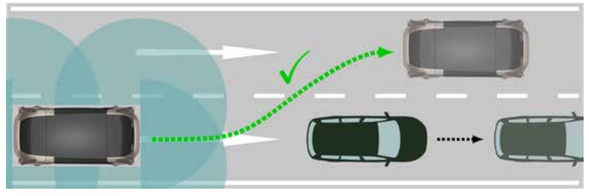
Inga Jatzkowski, Markus Maurer
Technische Universität Braunschweig, Institut für Regelungstechnik
{jatzkowski,maurer}@ifr.ing.tu-bs.de



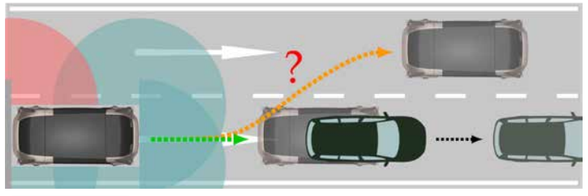
Warum Selbstwahrnehmung?

- Kein*e Sicherheitsfahrer*in mehr vorhanden in einem fahrerlosen Fahrzeug [1]
- Fahrzeug überwacht eigenständig die aktuelle Qualität seiner Fähigkeiten [2]
- Fahrzeug reagiert selbstständig auf mögliche auftretende Degradation

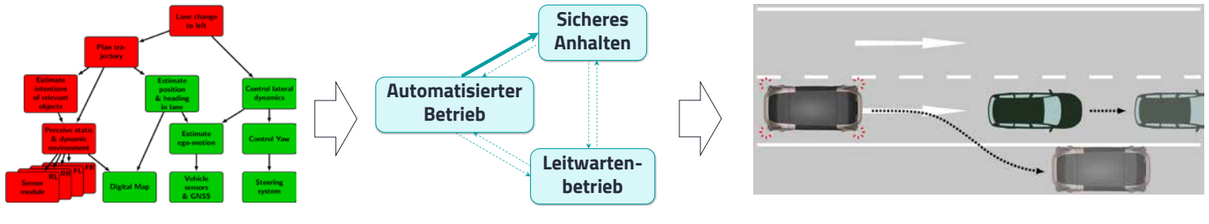
Volle Funktionalität



Beispiel: Sensordegradation



Degradation sicherheitskritischer Komponenten → Einleiten des Sicheren Anhaltens



Quellen:
[1] SAE, „J3016: Taxonomy and Definitions for Terms Related to On-Road Motor Vehicle Automated Driving Systems", Standard, 2018.
[2] A. Reschka, „Fertigkeiten- und Fähigkeitengraphen als Grundlage des sicheren Betriebs von automatisierten Fahrzeugen im öffentlichen Straßenverkehr in städtischer Umgebung", Dissertation, Technische Universität Braunschweig, Braunschweig, 2017.

GEFÖRDERT VOM
Bundesministerium für Bildung und Forschung

Selbstwahrnehmung in der Automatisierung

Hören Sie auch den Podcast zum Poster.

Die vier UNICARagil-Fahrzeuge sind als fahrerlose Fahrzeuge konzipiert. Es steht also kein*e Fahrer*in mehr zur Verfügung, welche*r die korrekte und sichere Ausführung der Fahraufgabe überwachen und im Notfall eingreifen kann. Ein solches Fahrzeug muss also zusätzlich zur Automatisierung der Fahraufgabe auch die Überwachung dieser übernehmen.

Diese Selbstüberwachung des Systems trägt dabei zur Sicherheit automatisierter Fahrzeuge bei, indem sie ein Gesamtbild der Fahrzeuggesundheit erstellt, auf das die Entscheidungsinstanzen des Fahrzeugs zugreifen können. Diese Selbstüberwachung ist daher ein zentraler Bestandteil des Sicherheitskonzepts der UNICARagil-Fahrzeuge.

Die Selbstüberwachung umfasst dabei unterschiedliche Aspekte. Ein Aspekt ist die Überwachung des Fahrzeugverhaltens. Dabei kann das Verhalten allerdings nicht ex-post, also nach dessen Ausführung bewertet werden, sondern es muss sicheres Fahrzeugverhalten prädiziert werden, also eine ex-ante Bewertung durchgeführt werden. Daher wird eine Möglichkeit benötigt, um die Voraussetzungen, die für ein sicheres Fahrzeugverhalten erfüllt sein müssen, zu modellieren.

Für diese Modellierung wurden am Institut für Regelungstechnik der TU Braunschweig sogenannte Fertigkeitengraphen entwickelt. In diesen werden die Fertigkeiten, die das Fahrzeug besitzt, und ihre Abhängigkeiten untereinander modelliert und für jede Fertigkeit wird über die Verknüpfung mit den Diensten, die diese Fertigkeit realisieren, die aktuelle Qualität bestimmt, mit der diese zur Verfügung steht. Im Normalfall sind alle Fahrzeugfertigkeiten in vollem Umfang verfügbar und es gibt keine Einschränkungen bzgl. des Fahrzeugverhaltens. Tritt jedoch eine Degradation auf, ändern sich die Qualitäten der Fahrzeugfertigkeiten. An diese veränderte Qualität der Fertigkeiten kann nun das Fahrzeugverhalten angepasst werden, indem etwa bestimmte Manöver nicht mehr durchgeführt werden oder die Fahrzeuggeschwindigkeit angepasst wird.

Inga Jatzkowski
Technische Universität Braunschweig
Institut für Regelungstechnik

Prof. Dr. Markus Maurer
Technische Universität Braunschweig
Institut für Regelungstechnik

Dies ist hier in vereinfachter Form verdeutlicht am Manöver „Fahrstreifenwechsel" und den dafür benötigten Fahrzeugfertigkeiten. Im Normalfall ist die Qualität aller Fahrzeugfertigkeiten gut und die Automatisierung besitzt volle Funktionalität. Tritt nun durch eine Degradation beispielsweise eine Qualitätsänderung in einem Sensormodul auf, pflanzt sich diese durch den Fertigkeitengraphen bis zur Manöverfertigkeit fort. Das Manöver ist jetzt unter Umständen nicht mehr in vollem Umfang verfügbar und die Verhaltensplanung muss abwägen, ob ein Fahrstreifenwechsel noch durchgeführt werden sollte.

Bei einer Degradation von sicherheitskritischen Komponenten oder etwa einem Verbindungsverlust zum Großhirn, und damit dem Verlust von Umfeldwahrnehmung und Verhaltensentscheidung, muss das Fahrzeug eigenständig auf den Verlust der damit verbundenen Fertigkeiten reagieren. Kann ein sicherer automatisierter Betrieb nicht mehr aufrechterhalten werden, wird in den Betriebszustand „Sicheres Anhalten" umgeschaltet und das Fahrzeug steuert einen sicheren Halteort an.

Konsortialworkshop
Wissenschaftszentrum Schloss Reisensburg
Mai 2019

Sicheres Anhalten

Stefan Ackermann M. Sc.
Fachgebiet Fahrzeugtechnik
Technische Universität Darmstadt
stefan.ackermann@tu-darmstadt.de

Prof. Dr. rer. nat. Hermann Winner
Fachgebiet Fahrzeugtechnik
Technische Universität Darmstadt
hermann.winner@tu-darmstadt.de

Assoziierter Partner:
Valeo Schalter und Sensoren GmbH

GEFÖRDERT VOM
Bundesministerium für Bildung und Forschung

Aufgaben

- Sicheres Anhalten [1] ist die Rückfallebene der fahrerlosen UNICAR*agil*-Fahrzeuge
- Aktiviert wird die Rückfallebene bei Ausfall relevanter Fahrzeugkomponenten
- Die Rückfallebene führt ein risikominimales Anhaltemanöver basierend auf einer vorausberechneten Notbahn aus
- Die Notbahn enthält den örtlichen Verlauf der Sollposen (Position und Orientierung) bis zu einem risikominimalen Ort und ein ortsabhängiges Geschwindigkeitsprofil
- Eine unabhängige Umfelderfassung sichert die Ausführung des risikominimalen Anhaltemanövers ab

Bausteine

- Umfelderfassung mit eigenständiger Umfeldsensorik
  - 24 Ultraschallsensoren
  - 4 Kameras mit Fischaugenobjektiven
  - 2 Radarsensoren
- Umfeldüberwachung
  - Prüft Notbahnverlauf auf potenzielle Kollisionsobjekte [2]
- Trajektoriengenerierung
  - Erzeugt kollisionsfreie Solltrajektorien der aus vorausberechneter Notbahn und den detektieren Kollisionsobjekten

Hardwarearchitektur

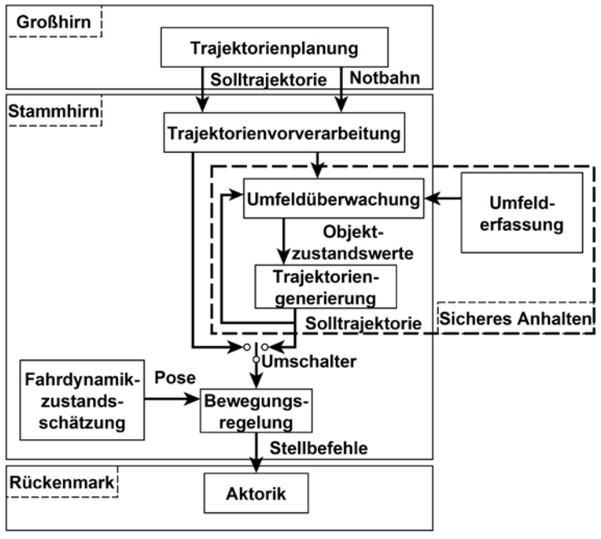
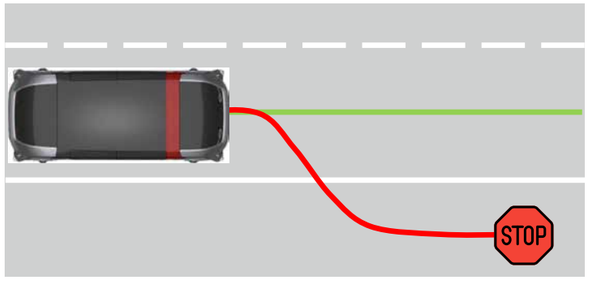


Abb. 1: Zuordnung der relevanten Bausteine der Rückfallebene „Sicheres Anhalten" zur Hardwarearchitektur der Fahrzeuge

Notbahn



Icons: www.flaticon.com

Abb. 2: autoSHUTTLE mit örtlichen Verläufen einer Solltrajektorie (grün) und einer Notbahn (rot)

Veröffentlichungen

[1] S. Ackermann, H. Winner, Systemarchitektur und Fahrmanöver zum sicheren Anhalten modularer automatisierter Fahrzeuge, Workshop Fahrerassistenzsysteme, Walting, 2020.

[2] S. Ackermann et al., Modul und Verfahren zur Absicherung von Solltrajektorien für automatisiertes Fahren, Deutsche Patentanmeldung, Anmeldenummer: 10 2019 125 401.9, 2019.

Sicheres Anhalten

Hören Sie auch den Podcast zum Poster.

Stefan Ackermann
Technische Universität Darmstadt
Fachgebiet Fahrzeugtechnik

Maschinelle Systeme übernehmen in den fahrerlosen Fahrzeugen des Projekts UNICARagil die dynamische Fahraufgabe. Was ist aber, wenn die Funktionalität eingeschränkt ist, sei es durch einen Ausfall oder durch funktionale Degradation, und somit die Fahraufgabe nicht weiter erfüllt werden kann?

Dafür ist in UNICARagil die Rückfallebene „Sicheres Anhalten" [1] vorgesehen, die zu jeder Zeit mit eigener Sensorik über eine vorgeplante Notfallbahn einen risikominimalen Zustand anfahren kann.

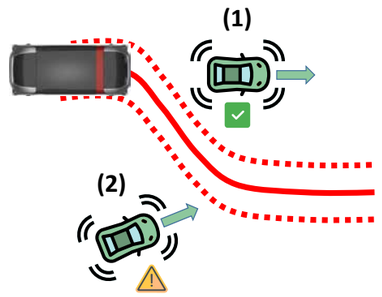
Das risikominimale Anhaltemanöver, das von der Rückfallebene „Sicheres Anhalten" im Stammhirn ausgeführt wird, basiert auf einer vorausberechneten Notbahn. Diese wird im Großhirn zehnmal pro Sekunde parallel zur Solltrajektorie berechnet. Sie enthält den örtlichen Verlauf der Sollposen (Position und Orientierung) und ein ortsabhängiges Geschwindigkeitsprofil zur Abfahrt der Notbahn und endet an einem risikominimalen Ort, der sich möglichst außerhalb des fließenden Verkehrs befindet.

Das Sichere Anhalten arbeitet im „Hot Standby"-Betrieb und wird durch den Konfigurator aktiviert, wenn die Selbstwahrnehmung diese Umschaltung für notwendig befunden hat. Das Fahrmanöver beginnt mit einer Anpassung auf eine niedrigere Fahrzeuggeschwindigkeit. Die Abfahrt der Notbahn bis zu ihrem Ende erfolgt auf Basis eines örtlichen Geschwindigkeitsprofils, sofern nicht ein Hindernis im „Fahrschlauch" detektiert wird.

Diese Absicherung erfolgt mit eigenständiger Umfeldsensorik, die zwar nicht die Bahnplanung ermöglicht, aber die Absicherung der Fahrt durch einen vorgegebenen Korridor.

Die für die Ausführung dieses Fahrmanöver benötigten Funktionen werden in Form von Diensten in der modularen dienstbasierten Softwarearchitektur der UNICARagil Fahrzeuge, der ASOA (vgl. S. 74), implementiert. Der „Hot Standby"-Betrieb minimiert die Latenz bei der Umschaltung und ermöglicht eine permanente Funktionsüberprüfung.

Die Fahrzeuge erlauben eine 360°-Bewegungsrichtung, wobei vorausgesetzt wird, dass die maximalen Geschwindigkeiten in Fahrzeuglängsrichtung auftreten (vor- und rückwärts). Die 360°-Anforderung an die Umfelderfassung wird durch 24 Ultraschallsensoren und vier Kameras mit Fischaugenobjektiven erfüllt, die für die höhere Geschwindigkeit jeweils durch einen Radarsensor in Fahrzeugfront und –heck ergänzt werden.



Icons: www.flaticon.com

Notbahnverlauf mit detektierten Objekten.
Objekt (2) ist potenzielles Kollisionsobjekt [2]

Die Umfeldüberwachung prüft die Notbahn auf mögliche Kollisionsobjekte. Mit dem Wissen über den örtlichen Verlauf der Notbahn und dem geplanten Geschwindigkeitsprofil kann die eigene zukünftige Fahrzeugpose vorausberechnet und geprüft werden, inwieweit die von der Umfelderfassung detektierten Objekte und deren Prädiktionen mit dem zukünftigen Fahrschlauch überlappen und somit Kollisionen verursachen würden [2].

Die Trajektoriengenerierung erzeugt kollisionsfreie Solltrajektorien aus dem vorgegeben örtlichen Verlauf der Notbahn, dem dazugehörigen örtlichen Geschwindigkeitsprofil und den detektierten Kollisionsobjekten. Die Solltrajektorie entspricht im Aufbau exakt der Solltrajektorie, die von der Planungsebene berechnet wird, sodass der Bewegungsregler auch hierfür eingesetzt werden kann. Das Fahrzeug wird am Ende der Notbahn angehalten, wodurch die Übergabe an die Leitwarte (vgl.S. 98) ermöglicht wird.

Technische Universität Braunschweig

IDA INSTITUT FÜR DATENTECHNIK UND KOMMUNIKATIONS-NETZE

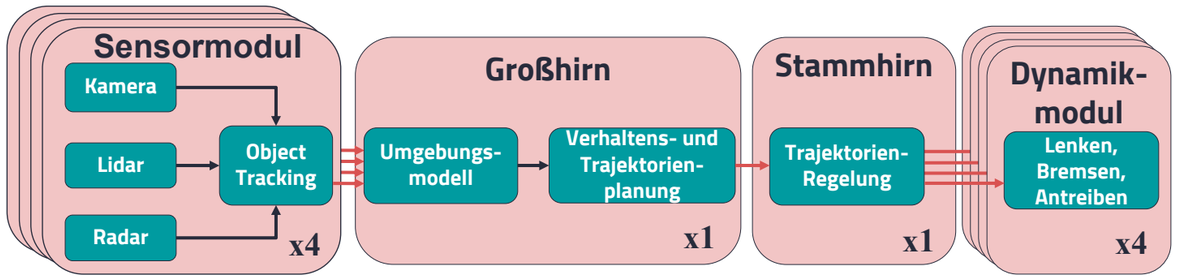
Modulare Netzwerkabsicherung

Auflösung von Abhängigkeiten im und über das Netzwerk

Kai-Björn Gemlau, Jonas Peeck, Mischa Möstl, Johannes Schlatow, Prof. Dr.-Ing. Rolf Ernst
Institut für Datentechnik und Kommunikationsnetze (TU Braunschweig)

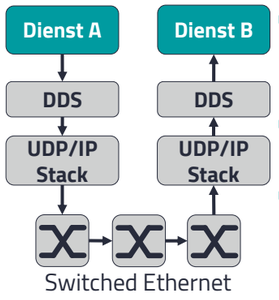
GEFÖRDERT VOM
Bundesministerium für Bildung und Forschung

Wirkkette „Automatisiertes Fahren" – Betrachtung des kritischen Pfads

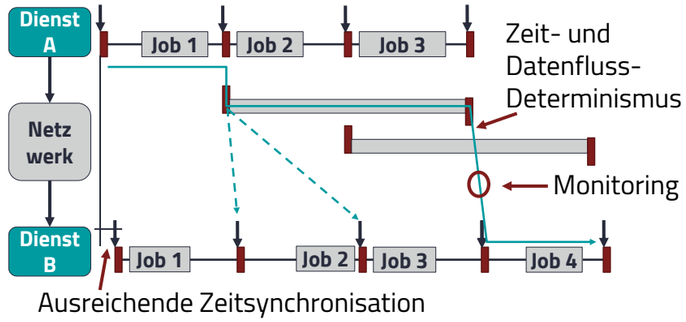


- Sicherheitskritische Ende-zu-Ende Latenz
- Kommunikation großer Datenmengen über dasselbe Netzwerk →

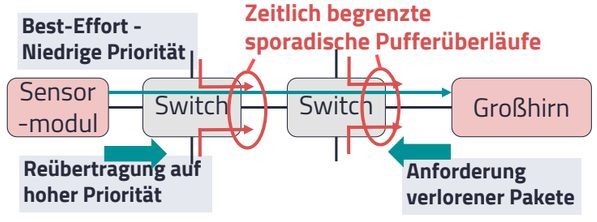
System-Level Logical Execution Time (SL-LET)



- Periodische Dienste (z.B. Regelung)
- Objekt-übertragung
- Ereignis-gesteuertes Netzwerk mit hohem Jitter

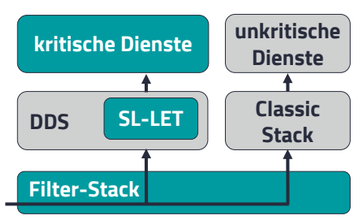


Abhängigkeitsanalyse im Netzwerk



- **Identifikation** von Abhängigkeiten
- **Quantifizierung** von Abhängigkeiten
- **Sendewiederholung** bei verlorenen Paketen

COM-Stack Design



- Reduktion des Netzwerk-Stacks durch Synergie mit Middleware und SL-LET
- Prioritätsbasiert

- Deterministische und niedrige Latenz für kritische Dienste durch geringe Komplexität
- Auch geeignet für kleine Mikrocontroller

unicaragil

RWTH AACHEN UNIVERSITY · Technische Universität Braunschweig · TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT · TUM · KIT · uulm · Universität Stuttgart · UNIVERSITÄT PASSAU · atlatec · fly drive · IMAR · IPG · SCHAEFFLER · MAXION WHEELS · Valeo

Modulare Netzwerkabsicherung

Hören Sie auch den Podcast zum Poster.

Kai-Björn Gemlau
Technische Universität Braunschweig
Institut für Datentechnik und Kommunikationsnetze

Automatisiertes Fahren beinhaltet unterschiedlichste Dienste wie die typischerweise periodische Erfassung von Kameradaten, deren Transformation in ein Fahrzeugumfeldmodell und eine darauf basierende Planung und Regelung der Trajektorie. Die logische Verschaltung dieser Dienste zu Wirkketten ermöglicht es Fahraufgaben unter gegebenen Randbedingungen sicher zu bewältigen. Hierzu muss insbesondere ein korrektes Ende-zu-Ende Zeitverhalten der Wirkketten sichergestellt werden. Durch gemeinsam genutzte Ressourcen entstehen Abhängigkeiten zwischen den Wirkketten, die diese Vorhersage erschweren. Zentrale Punkte sind hier die Kommunikation über ein gemeinsam genutztes Ethernet Netzwerk sowie das dazu benötigte Ethernetz-Netzwerk, welches parallel zu den Diensten auf den Steuereinheiten ausgeführt wird.

Eine zentrale technische Sicherheitsanforderung der Funktionalen Sicherheit ist es, eine unbeschränkte Beeinflussung zwischen den Wirkketten zu verhindern. Hierzu müssen zunächst Abhängigkeiten identifiziert und reduziert werden. Sollte eine gegenseitige Beeinflussung nicht vollständig auszuschließen sein, muss diese quantifizierbar und bis zu einer oberen Grenze hin abschätzbar sein. Ein Beispiel hierfür sind Überlast-Situationen im Netzwerk, die zu Pufferüberläufen in den Ethernet-Switches führen. Ist erkennbar, dass Pakete beim Empfänger durch die Überlast nicht rechtzeitig eintreffen oder verloren gegangen sind, kann eine erneute Übertragung einzelner Pakete mit einer hohen Priorität sicherstellen, dass das Zeitverhalten der gesamten Übertragung nach wie vor nicht beeinträchtigt wird, d.h. die maximale Latenzanforderung unverletzt bleibt.

Neben der maximalen Latenz unterliegt auch der Jitter, d.h. die Schwankung der Übertragungslatenz von Daten, komplexen Abhängigkeitsbeziehungen und kann zudem entlang einer Wirkkette propagieren. Hierbei ist insbesondere das Konzept der „System-Level Logical Execution Time" eine Möglichkeit solche Abhängigkeitspropagationen aufzulösen, indem es das zeitliche Verhalten der Netzwerk-Kommunikation abstrahiert. Der Jitter, der durch die ereignisgesteuerte Übertragung im Netzwerk entsteht, wird dabei auf der Empfängerseite maskiert. Dies ist möglich, indem die übertragenen Daten gepuffert und zu deterministischen Zeitpunkten an den empfangenden Dienst weitergegeben werden. Eine Propagation des Netzwerk-Jitters auf die Dienste wird somit unterbunden und die bestehende Abhängigkeit aufgelöst.

Durch die explizite Beschreibung des Zeitverhaltens mit SL-LET kann zudem die Komplexität des Kommunikations-Stacks auf ein Minimum reduziert werden. Die daraus resultierende deterministische Ausführung des Stacks ermöglicht es Abhängigkeiten zu den Diensten quantifizierbar zu machen.

Beiratssitzung beim BMBF in Bonn
September 2019

TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT

FZD FAHRZEUGTECHNIK TU DARMSTADT

Modulare Absicherung

unicaragil

Moritz Lippert M. Sc.
Fachgebiet Fahrzeugtechnik
Technische Universität Darmstadt
moritz.lippert@tu-darmstadt.de

Björn Klamann M. Sc.
Fachgebiet Fahrzeugtechnik
Technische Universität Darmstadt
bjoern.klamann@tu-darmstadt.de

Prof. Dr. rer. nat. Hermann Winner
Fachgebiet Fahrzeugtechnik
Technische Universität Darmstadt
hermann.winner@tu-darmstadt.de

GEFÖRDERT VOM
Bundesministerium für Bildung und Forschung

Kategorisierung von Streckenabschnitten

Aufgaben
- Anforderungskategorisierung von Streckenabschnitten
- Klassifikation von Fähigkeiten des automatisierten Fahrzeugs
- → Ordnung des Parameterraums
- → Kategorisierung der ODD
- → Schrittweise Absicherung

Konzept
- Abgleich von Anforderungen der Streckenabschnitte mit Fahrfähigkeiten des automatisierten Fahrzeugs
- Freigabe von Abschnitten bei Erfüllung der zugehörigen Anforderungskategorien

Vorgehensweise
- Streckennetz wird in Kanten und Knoten unterteilt
- Definition eines Verhaltensraums für Kanten, Knoten und deren Übergänge
- Verhaltensraum beschreibt notwendiges Fahrverhalten
- Der mehrdimensionale Verhaltensraum leitet sich aus den Szenerien-Elementen und den Verkehrsregeln ab
- Ableitung von Anforderungen auf Basis des Verhaltensraums und Gruppierung zu Kategorien
- Definition von äquivalenten Fähigkeitsklassen für Abgleich

Anwendung im Projekt
- Kategorisierung der Einsatzgebiete für schrittweise Absicherung und Freigabe
- Online-Routing: Berechnung der Route auf Basis der aktuellen Fahrfähigkeiten des Fahrzeugs und Anforderungen der Streckenabschnitte

Abb. 1: Beispielhaft kategorisiertes Streckennetz

Modulare Absicherung

Aufgaben
- Kontrollierbarkeit des Parameterraums erhöhen
- Individuelle Absicherung der Module und Verzicht auf Gesamtsystemtests

Konzept
- Reduktion des Freigabeaufwands bei Änderungen an einzelnen Komponenten
- Wiederverwendbarkeit von Modulen ohne Sicherheitsnachweis des Gesamtsystems

Vorgehensweise
- Definition von Modulen mit klaren relativ unabhängigen Schnittstellen
- Schaffung der Äquivalenz zwischen Architektursichten
- Identifikation der Abhängigkeiten zwischen Modulen und zur Umgebung
- Eindeutige Ableitung von Anforderungen und Risiken vom Gesamtsystem auf Modulebene
- Durchführung der Tests mit spezifizierten Stimuli in SiL und HiL-Aufbauten

Anwendung im Projekt
- Entwicklung neuer Methoden zur Identifikation relevanter Modulinformationen
- Anwendung auf Module für die Automatisierung
- Validierung der Methode durch Gesamtsystemtests

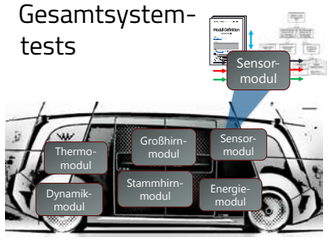


Abb. 1: Freischneiden und Absichern von Modulen

Modulare Absicherung

Hören Sie auch den Podcast zum Poster.

Moritz Lippert
Technische Universität Darmstadt
Fachgebiet Fahrzeugtechnik

Björn Klamann
Technische Universität Darmstadt
Fachgebiet Fahrzeugtechnik

Kategorisierung von Streckenabschnitten

Der Einsatzbereich eines automatisierten, fahrerlosen Fahrzeugs wird in der Operational Design Domain (ODD) festgelegt. Diese soll kategorisiert werden, sodass Teileinsatzbereiche Schritt für Schritt getestet und abgesichert werden können. Für diese Kategorisierung ist eine Klassifikation der Fahranforderungen von Streckenabschnitten sowie der Fahrfähigkeiten des automatisierten Fahrzeugs notwendig.

Grundgedanke der Kategorisierung ist ein Abgleich zwischen streckenspezifischen Fahranforderungen und Fahrfähigkeiten automatisierter, fahrerloser Fahrzeuge. Ziel ist die Klassifizierung von Streckenabschnitten hinsichtlich der Fahranforderungen in Anforderungskategorien, sodass eine Zuordnung von Fahrfähigkeiten möglich wird. Dazu werden die fahrzeugspezifischen Fähigkeiten in Fähigkeitsklassen korrespondierend zu den Anforderungskategorien organisiert. Erfüllen die Fahrfähigkeiten eines Fahrzeugs die Anforderungen eines Streckenabschnitts, kann dieser zum Befahren freigegeben werden. Die Absicherung einer Kategorie ist darüber hinaus für alle zugehörigen Streckenabschnitte gültig.

Für eine Streckenkategorisierung wird ein zu befahrendes Streckennetz zunächst in Kanten und Knoten unterteilt. Somit werden sowohl Streckenabschnitte als auch deren Verbindungselemente, die Kreuzungen bzw. Kreisverkehre, berücksichtigt. Auf Basis von Szenerie und Verkehrsregeln werden ein mehrdimensionaler Verhaltensraum und darauf aufbauende Anforderungen abgeleitet. Ein Verhaltensraum beschreibt das minimal notwendige Verhalten, das zum regelkonformen Befahren eines Straßenabschnitts notwendig ist. Streckenabschnitte werden in Kategorien gruppiert, sodass die Fahranforderungen aller Abschnitte innerhalb einer Kategorie gleich sind. Für den späteren Abgleich werden äquivalente Fähigkeitsklassen zur Erfüllung dieser Anforderungskategorien definiert.

Modulare Absicherung

Die Absicherung von Fahrzeugen wird heute vorwiegend auf Gesamtsystemebene geführt. Dies stellt das gewünschte Zusammenspiel aller Komponenten sicher, verursacht aber enorme Aufwände, insbesondere bei der Absicherung automatisierter Fahrzeuge.

In UNICARagil wird daher von Grund auf eine konsequente modulare Architektur verfolgt. Diese schafft eine klare Trennung der Funktionen mit definierten Schnittstellen bei Software- und Hardwarekomponenten. Hierdurch wird es möglich Module eines Fahrzeugs mit identifizierten Abhängigkeiten untereinander und zur Umgebung individuell zu testen und den enormen Aufwand heutiger Integrations- und Systemtests zu vermeiden. Der geringere Parameterraum solcher dekomponierten Elemente sorgt für eine höhere Kontrollierbarkeit der Tests. Zudem sind Module in mehreren Fahrzeugmodellen verwendbar, ohne dass eine erneute Absicherung durch neu komponierte Module notwendig ist. Es entfällt der Aufwand für die Absicherung von n-1 Modulen bei Änderung bzw. Update eines einzelnen Moduls. Daraus ergeben sich verringerte Integrationsaufwände und somit für Modulhersteller neue Wertschöpfungsmöglichkeiten.

Mit der generierten modularen Architektur konnten im Projekt Module definiert werden, die eine hohe Spezifizier- und Testbarkeit aufweisen. Diese wurden anschließend mit Funktions- und Verhaltensarchitektur soweit synchronisiert, dass Anforderungen, Verhaltenskompetenzen und Risiken vom Gesamtsystem bzw. der jeweiligen Streckenabschnitte auf die Module ableitbar sind. Hierfür werden in UNICARagil Methoden zur Aggregation der Informationen auf Modulebene entwickelt und daraufhin in enger Zusammenarbeit mit den Entwicklern angewendet. Basierend auf letztlich durchgeführten Systemtests zur Überprüfung der Methodik wird das Konzept der modularen Absicherung angepasst und für eine möglichst allgemeine Anwendung konzipiert.

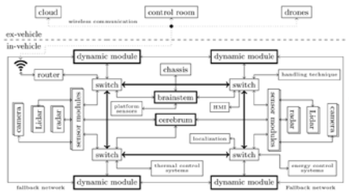
IT-Sicherheit
Schutz vor digitalen Angreifern

Dominik Püllen
Universität Passau
dominik.puellen@uni-passau.de

Prof. Dr. Stefan Katzenbeisser
Universität Passau
stefan.katzenbeisser@uni-passau.de

„No Safety Without Security"

Risikoanalyse nach ISA-62443



Bedrohungen Schwachstellen Angreifer

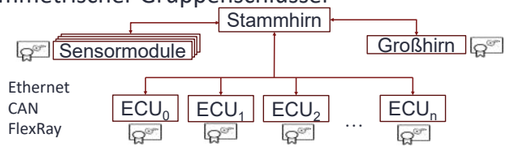
Risikoanalyse nach ISA-62443

- Authentifizierung der Steuerbefehle
- Integrität der Steuergeräte im Fahrzeug
- Verhaltensbeobachtung
- Trennung safety-kritischer Daten von Nutzerdaten

Authentifizierung von Steuerbefehlen

- Angreifer können durch Manipulation des Netzwerkverkehrs Einfluss auf das Fahrverhalten nehmen.
- Lösungsansatz: Authentifizierung safety-kritischer Datenströme

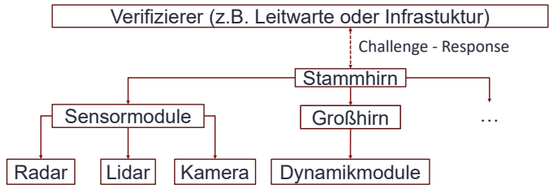
- Protokoll zur effizienten Erstellung und Verteilung symmetrischer Gruppenschlüssel



1. **Authentifizierungsphase:** Identifizierung legitimer Steuergeräte anhand physikalischer Eigenschaften
2. **Zertifizierungsphase:** Ausstellung impliziter Zertifikate für geprüfte Steuergeräte
3. **Schlüsselberechnungsphase:** Berechnung von Gruppenschlüsseln (z.B. pro ASOA-Dienst)

Integrität der Steuergeräte

- Angreifer können durch Manipulation von Steuergeräten Einfluss auf das Fahrverhalten nehmen.
- Lösungsansatz: Hierarchische Attestierung der Steuergeräte vor dem Fahrzeugstart mithilfe eines "Challenge-Response" - Verfahrens



- Remote Attestierung:
  - Geräte haben unterschiedliche Voraussetzungen hinsichtlich Hardware-Unterstützung
  - Unterscheidung zwischen "simple", "medium" und "advanced" Geräten
- Verifizierer veröffentlicht Schlüsseltoken nach erfolgreichem Attestierungsvorgang, das für die fahrzeuginterne Kommunikation notwendig ist.

Weitere Maßnahmen

- Bewertung von Sicherheitsvorfällen nach Safety-Kriterien und Einleitung entsprechender Maßnahmen
  - z.B. reduzierte Geschwindigkeit, sicherer Halt, Meldung an Passagiere
- Regelbasierte Zugangsüberwachung zwischen fahrzeuginterner und -externer Umgebung
- sichere Firmware-Updates der fahrzeuginternen Steuereinheiten

GEFÖRDERT VOM
Bundesministerium für Bildung und Forschung

IT-Sicherheit

Hören Sie auch den Podcast zum Poster.

Dominik Püllen
Universität Passau
Lehrstuhl für Technische Informatik

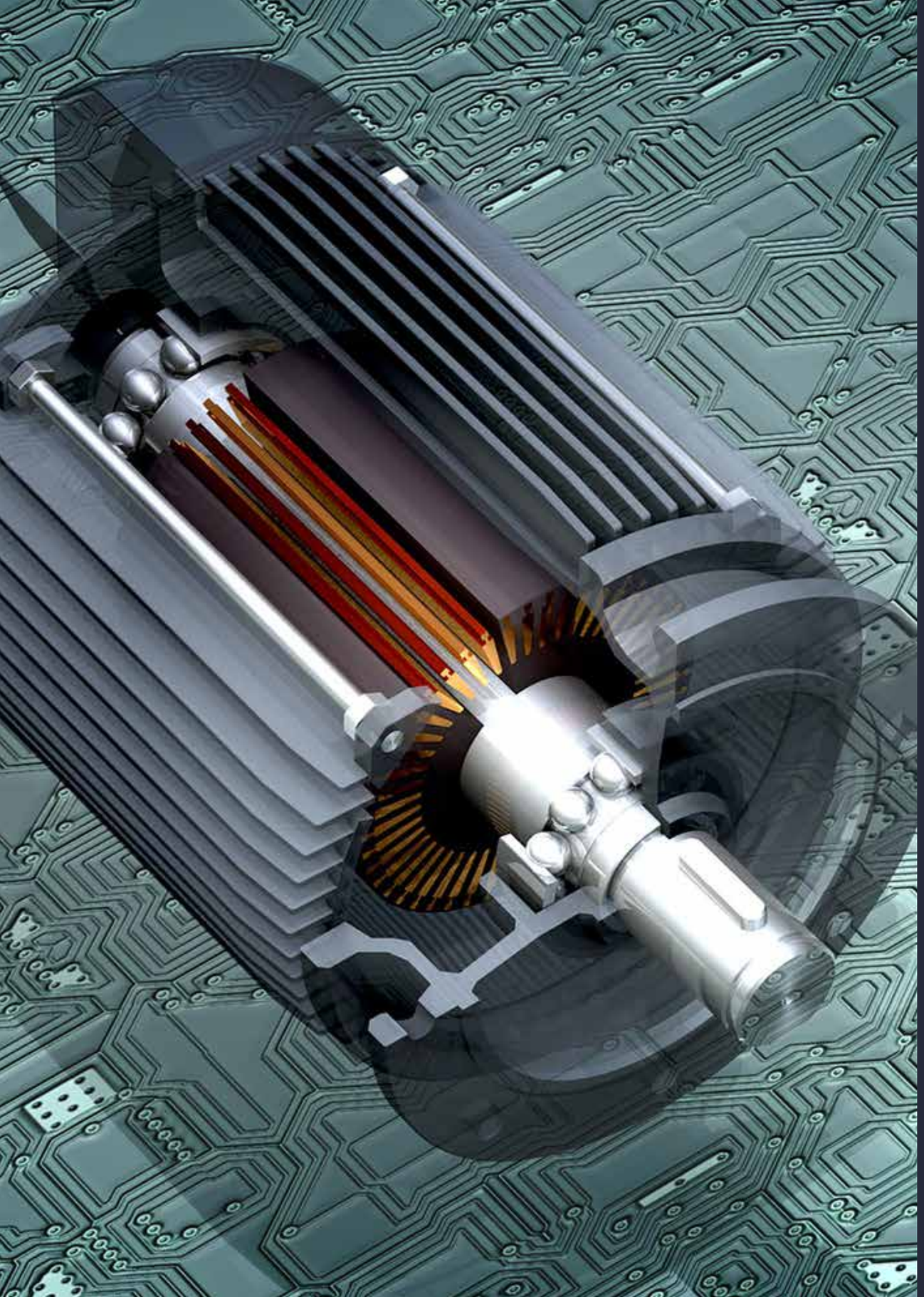
Prof. Dr. Stefan Katzenbeisser
Universität Passau
Lehrstuhl für Technische Informatik

Der hohe Automatisierungsgrad und die damit verbundene Vernetzung der UNICARagil-Fahrzeuge sowie die modulare Gestaltung der Kommunikation birgt neben einer Vielzahl funktionaler Vorteile auch eine signifikante Erhöhung der digitalen Angriffsfläche. In den Verantwortungsbereich der Universität Passau fällt die Entwicklung eines Maßnahmenpakets, um Angriffe abzuwehren und dadurch letztlich die Passagiersicherheit zu gewährleisten. Aufgrund des hohen Komplexitätsgrades wurde zunächst anhand des ISA-62443 Standards eine Bedrohungsanalyse durchgeführt, die Risiken aus IT-Sicherheitssicht identifiziert und bewertet. Dazu wurden die UNICARagil-Fahrzeuge sowie die Infrastruktur, bestehend aus Leitwarte, Cloud und Info-Bienen, in Zonen gleicher IT-Sicherheitsanforderungen unterteilt. Die identifizierten Bedrohungen wurden diesen Zonen zugeordnet und sodann auf Vektoren abgebildet, deren Dimensionen Sicherheitsanforderungen numerisch ausdrücken. Dadurch konnten zielgenau konkrete Abwehrziele abgeleitet und im nächsten Schritt entsprechende Maßnahmen entwickelt werden.

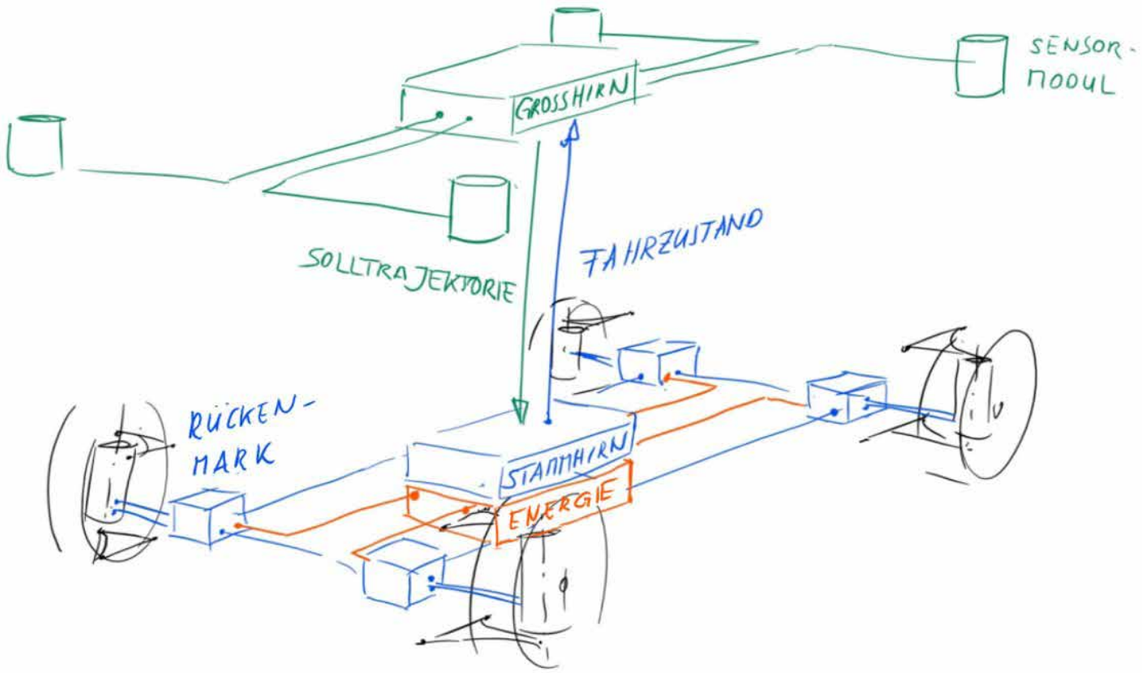
Ein Ergebnis der Analyse beschreibt die besondere Notwendigkeit, die fahrzeuginterne Kommunikation zu schützen, sodass ausschließlich authentifizierte und autorisierte Dienste Einfluss auf die Fahrdynamik nehmen können. Aus dieser Anforderung ging ein dreistufiges Protokoll zum effizienten Schlüsselaustausch zwischen autorisierten Steuereinheiten hervor. In der Authentifizierungsphase werden anhand physikalischer Eigenschaften Steuergeräte identifiziert, für welche im Anschluss implizite Zertifikate ausgestellt werden. Diese auf elliptischen Kurven basierenden kryptografischen Konstrukte werden verwendet, um in der dritten Protokollphase effizient symmetrische Gruppenschlüssel verteilt zu berechnen. Diese werden dann für die Authentifizierung der service-basierten Kommunikation verwendet. Obwohl der Großteil des internen Datenaustauschs auf Ethernet basiert, haben wir das Sicherheitskonzept auch für herkömmliche Protokolle erweitert, da diese unserer Einschätzung nach entweder weiter zum Einsatz kommen (CAN) oder für besonders sicherheitskritische Anwendungen (FlexRay) verwendet werden.

Ein weiteres Resultat der Bedrohungsanalyse ist die Anforderung an eine Integritätsverifikation besonders sicherheitskritischer Steuergeräte, da Angreifer auch über deren Korrumpierung trotz Netzwerkauthentifizierung in das Fahrzeug eindringen und Schaden anrichten können. Hierfür wurde ein hierarchisch strukturiertes Attestierungsprotokoll entwickelt, das beim Fahrzeugstart den validen Zustand der Software des Stamm- und Großhirns sowie der Sensor- und Dynamikmodule prüft und eine fahrzeuginterne Kommunikation nur bei positivem Ergebnis zulässt. Damit kann sich das Fahrzeug nur in Bewegung setzen, wenn ein sicherer Zustand vorliegt.

Sowohl die Kommunikations- als auch die Geräteintegrität standen in den ersten zwei Projektjahren im Fokus der Forschung. Die entwickelten Konzepte wurden für die wichtigsten Steuergeräte implementiert und hinsichtlich Sicherheit, Zeitverhalten und Skalierbarkeit evaluiert. Dabei konnten wir demonstrieren, wie im laufenden Betrieb typische Angriffe auf Fahrzeuge erkannt und verhindert werden können. In der zweiten Projekthälfte werden weitere Anforderungen, die durch die Bedrohungsanalyse identifiziert wurden, adressiert. Zu diesen zählt neben der stringenten Trennung sicherheitskritischer und unkritischer Daten auf dem Fahrzeugbus die Fragestellung, wie Anomalien beim laufenden Betrieb festgestellt werden. Deren Echtzeitbewertung soll die kontinuierlich neu ausgewerteten Fahrzeugfähigkeiten beeinflussen, sodass Sicherheitsvorfälle gemäß ihrer Kritikalität behandelt werden können.



Mechatronische Gestaltung



Schematische Darstellung der Hirnstruktur in UNICARagil © ika, RWTH Aachen University

Dr. Dan Keilhoff - Domänenkoordinator für den Bereich Mechatronische Gestaltung - im Interview

Was ist die Kernaufgabe der Domäne „Mechatronische Gestaltung?

Die Domäne „Mechatronische Gestaltung“ hat drei Kernaufgaben. Erstens muss die Energieversorgung für alle Verbraucher gewährleistet sein. Da einige Verbraucher sicherheitskritisch sind, muss das auch ausfallsicher geschehen. Hier sind insbesondere die Sensoren zur Umgebungserfassung und die Dynamikmodule zu nennen.

Zweitens muss das Kommunikationsnetzwerk im Fahrzeug aufgebaut werden. Es besteht hauptsächlich aus Ethernet- und CAN-Verbindungen. Die Ethernet-Verbindungen sind zur Umsetzung des ASOA-Ansatzes (vgl. S. 74) erforderlich. Auf Grund der Verfügbarkeit sind einige Komponenten aber klassisch per CAN an das Netzwerk angebunden.

Drittens müssen die Komponenten sowie der Innenraum temperiert werden. Bei den Komponenten sind insbesondere die E-Maschinen sowie die Rechner für die Verarbeitung der Sensordaten betroffen. Bei der Temperierung des Innenraumes geht es zum einen um den Passagierkomfort sowie um die Temperierung des Laderaumes des autoCARGO.

Wie unterscheiden sich die UNICARagil-Fahrzeuge von konventionellen Elektrofahrzeugen?

Das Fahrzeug verfügt über mehrere Bordnetze, die miteinander verschaltet werden können. Im Fehlerfall können sie aber unabhängig voneinander betrieben werden, sodass auch beim Ausfall eines Teilnetzes die Grundfunktionen des Fahrzeugs, also Antreiben, Bremsen und Lenken, immer noch gegeben sind. Darüber hinaus operiert das Fahrzeug nur mit 12- bzw. 48-V-Batterien. Es gibt also keine Hochvoltbatterien.

Des Weiteren demonstrieren wir die Fähigkeit des automatisierten induktiven Ladens. Das Fahrzeug kann die Primärspule im Boden lokalisieren und sich dann ohne menschlichen Eingriff darüber positionieren. Der Ladevorgang startet ebenfalls automatisch. Damit ist der gesamte Nachladevorgang automatisiert, was eine deutlich verbesserte Flexibilität bei der Bewältigung der Fahraufgabe mit sich bringt.

Was kann man sich unter der „Hirnstruktur“ in den Fahrzeugen vorstellen und warum wurde die Analogie zum menschlichen Nervensystem gewählt?

Im Hinblick auf die Funktion und die Sicherheit ist das menschliche Hirn in Kombination mit dem Nervensystem ein gutes Vorbild. Das Hirn funktioniert am besten als Gesamtgebilde, in dem es Informationen von den verschiedenen Sinnesorganen aufnimmt, in spezialisierten Hirnarealen verarbeitet und dann Impulse an die Muskeln sendet. Wenn nun einzelne Areale ausfallen, dann kann der menschliche Körper meist die lebenswichtigen Funktionen aufrechterhalten. Es ist sogar möglich, dass Hirnareale Aufgaben erlernen, für die sie ursprünglich gar nicht gedacht waren. Außerdem nutzt unser Körper das Rückenmark, um sehr zeitkritische Aktionen auszulösen, ohne den Weg über das Hirn zu nutzen – Stichwort Reflexe.

Diese Fähigkeiten haben uns dazu bewogen, durch die Aufteilung bestimmter Aufgaben auf verschiedene Steuergeräte und deren Verschaltung die abgebildete Struktur aufzubauen. Das Großhirn führt die Informationen der Sensormodule zusammen, berechnet die Trajektorie und übergibt sie an das Stammhirn. Dort werden die entsprechenden Stellgrößen für jedes Dynamikmodul berechnet. Gleichzeitig sind auf dem Stammhirn die Selbstwahrnehmung und Sicherheitsebene beheimatet. Das Stammhirn weiß also jederzeit, in welchem Zustand das Fahrzeug gerade ist und meldet dies dem Großhirn zurück. Die Dynamikmodule setzen schließlich die Vorgaben des Stammhirns um. Dabei können sie untereinander kommunizieren und bilden damit eine Rückfallebene – ähnlich dem Rückenmark.

UNICARagil Newsletter | Sonderausgabe Halbzeitevent

Hören Sie sich das Interview online an!

48-Volt-Akkumodule im eingebauten Zustand

Universität Stuttgart

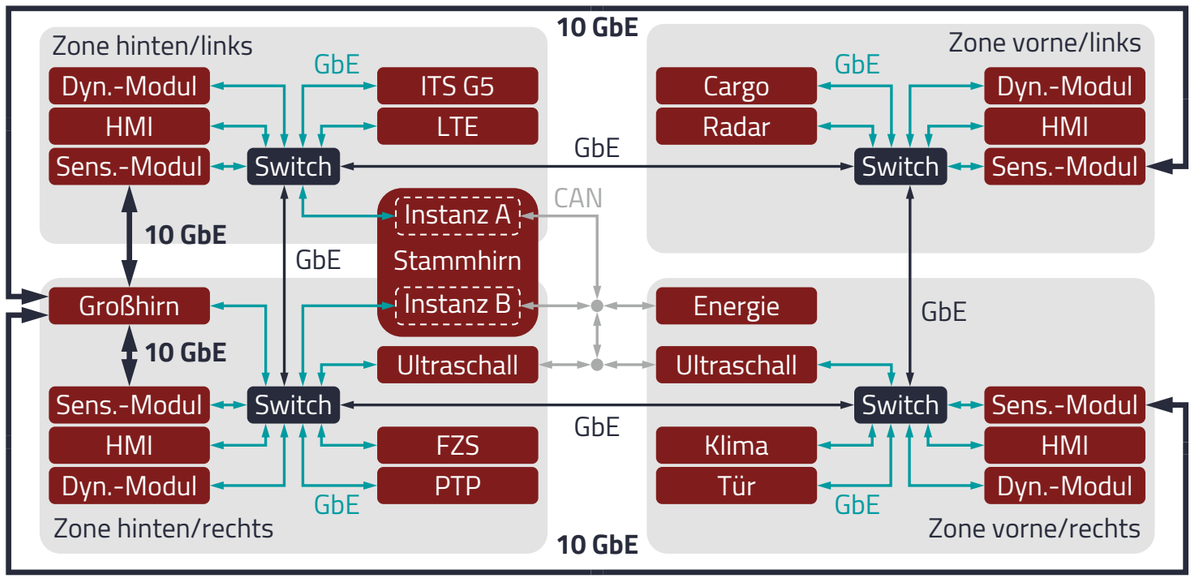
Die E/E-Architektur

Ausfallsicher, Redundant, ASOA-ready

Dennis Niedballa, Dorsa Mohammad Zaheri, Dan Keilhoff
Universität Stuttgart

GEFÖRDERT VOM
Bundesministerium für Bildung und Forschung

Schematische Darstellung des Kommunikationsnetzes



Die wichtigsten Merkmale

- 4-Zonen-Architektur
- Kommunikation erfolgt größtenteils via Gigabit-Ethernet
- Je Zone ein Switch
- Switches bilden ein Backbone-Netzwerk in Ring-Topologie
- Sicherheitskritische ECUs sind an zwei Switches angeschlossen, hier: Stammhirn

Messungen der Konvergenzzeit in ms

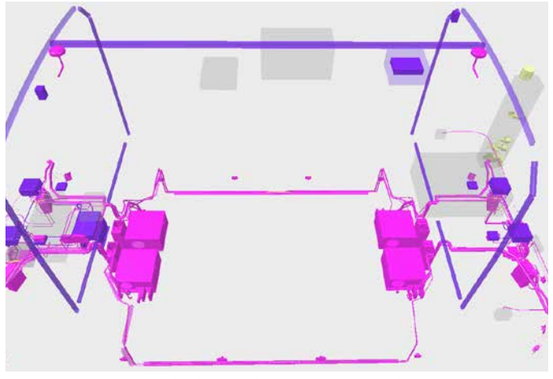
E/E-Architektur

Hören Sie auch den Podcast zum Poster.

Dennis Niedballa
Universität Stuttgart
Institut für Fahrzeugtechnik Stuttgart

Dorsa Mohammad-Zaheri
Universität Stuttgart
Institut für Fahrzeugtechnik Stuttgart

UNICARagil ist ein multidisziplinäres Projekt, das alle Aspekte zukünftiger Straßenfahrzeuge abdeckt, angefangen vom automatisieren Fahren selbst über das mechanische Design, Infotainment, Batteriemanagement, elektrische Antriebe, E/E- und Softwarearchitektur bis hin zur funktionalen Sicherheit. Um die Zusammenarbeit zwischen den Teilnehmern sowie die Wiederverwendbarkeit für zukünftige Forschungsprojekte zu optimieren, sollen in allen betroffenen Technologien offene Standards eingesetzt werden. Hardwarekomponenten aus dem Consumer-, Server-, Industrie- und Automobilmarkt müssen reibungslos miteinander kommunizieren. Softwarekomponenten aus zahlreichen Umgebungen wie FreeRTOS, Linux, ROS und der serviceorientierten Middleware ASOA (vgl. S. 74) erfordern ein flexibles, universelles Netzwerk, in das jederzeit zusätzliche Soft- und Hardwarekomponenten integriert werden können. Das service-orientierte Paradigma erfordert eine vollständig flache Hierarchie, in dem alle Knoten gleichermaßen Zugriff auf das Netzwerk haben. Zuletzt erfordert das Sicherheitskonzept angesichts der hohen Sicherheits-Kritikalität des Netzwerks ein hohes Maß an Echtzeitfähigkeit und Fehlertoleranz.



3D-Ansicht der IT-Infrastruktur von UNICARagil

Unsere Untersuchungen haben gezeigt, dass die optimale Topologie in so einem Fall ein sogenannter Stern-Ring ist. Dabei bilden mehrere Switches ein ringförmiges Backbone-Netzwerk, während sich die Endknoten sternförmig von diesen Switches abzweigen. Diese Topologie ist in den Domänen Industrie und Telekommunikation seit langer Zeit etabliert und wird nun in den Automobilbereich übertragen. In unserem Fall befindet sich in jeder der vier Ecken des Fahrzeugs ein Ethernet-Switch und bietet allen Steuergeräten in seiner Zone einen Netzwerkzugang an. Dieses Zonenkonzept erstreckt sich auch auf das Energiebordnetz, sodass jeder der vier Switches über eine unabhängige Spannungsversorgung verfügt.

In der schematischen Darstellung des Kommunikationsnetzes sind neben dem allgemeinen Gigabit-Ethernet-Netzwerk zusätzlich 10 GbE und CAN-Verbindungen zu sehen. Diese tragen besonderen Anforderungen einzelner Steuergeräte in Bezug auf Bandbreite und Konnektivität Rechnung und ermöglichen den flexiblen Einsatz vorhandener Hardware.

Bei Ausfall einer Netzwerkkomponente muss das verbleibende Netzwerk rekonfiguriert werden, um einen störungsfreien Betrieb aufrechtzuerhalten. Das Diagramm unten rechts zeigt die Dauer vom Eintritt der Störung bis zur Wiederaufnahme des Netzwerkbetriebs. Bei Tests konnten wir unser Backbone-Netzwerk mit Hilfe von Protokollen wie dem neuen Turbo Ring v2 in unter 20 ms wiederherstellen. Zum Vergleich: Die Latenzzeit zwischen Netzhaut und Sehrinde beträgt bei einem durchschnittlichen Menschen etwa 100 ms und selbst Olympia-Athleten erreichen am Startblock keine Reaktionszeit unter diesem Wert. Dies zeigt, dass wir in UNICARagil auf bestimmte technische Defekte erheblich schneller reagieren können als es der schnellste Mensch jemals könnte.

Universität Stuttgart

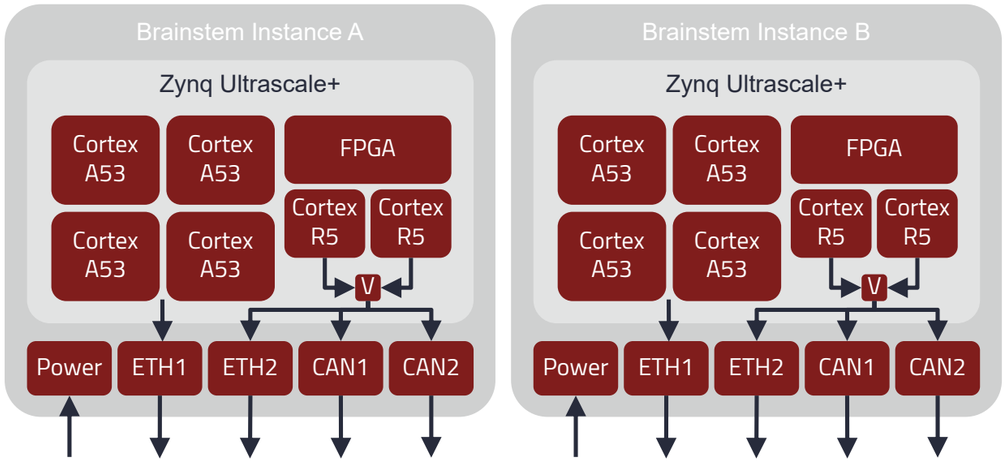
Das Stammhirn

Fail-Operational, Echtzeitfähig, Leistungsstark

Dennis Niedballa
Universität Stuttgart

GEFÖRDERT VOM
Bundesministerium für Bildung und Forschung

Schematische Darstellung des Stammhirns



Die wichtigsten Merkmale

- Duo-Duplex Architektur
- Hauptrecheneinheit: Zynq Ultrascale+ ZU3EG SoC von Xilinx auf einem TE0820 Rechnermodul von Trenz Electronic
- Quad-Core ARM Cortex-A53
- Dual-core ARM Cortex-R5
- 2 GB DDR4 SDRAM
- 128 MB QSPI-Boot Flash
- 8 GB e.MMC
- 2x Gbit Eth. , 2x CAN
- 48 V DC Spannungsversorgung

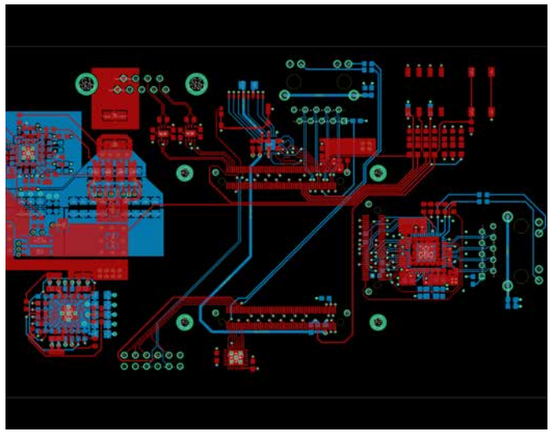
Aktueller + nächster Prototyp

Das Stammhirn

Hören Sie auch den Podcast zum Poster.

Dennis Niedballa
Universität Stuttgart
Institut für Fahrzeugtechnik Stuttgart

Das Stammhirn stellt den zentralen Knoten für Real-time, Safety und Security in UNICARagil dar. Hier sind zahlreiche Dienste wie Fahrdynamikregelung, Sicheres Anhalten, Selbstwahrnehmung oder Authentifizierung angesiedelt. Im Falle eines Fehlers im Großhirn/Sensormodul-Bereich übernimmt das Stammhirn die Kontrolle über das Fahrzeug und bringt es in einen sicheren Zustand. Das soll auch in komplexen Verkehrssituationen noch möglich sein. Dementsprechend leistungsfähig, vielseitig und sicher muss seine Hardware sein. Die Zynq Ultrascale+ Plattform von Xilinx bietet hierfür die passende Grundlage. Ein Multiprocessor-System-on-Chip (MPSoC), bestehend aus 4 ARM Cortex-A53, 2 ARM Cortex-R5 Kernen, programmierbarer Logik sowie zahlreichen weiteren Bausteinen, ermöglicht sowohl die Ausführung relativ rechenintensiver Applikationen als auch kleiner Services mit hohen Echtzeitanforderungen.



Layout von Version 4 des Stammhirns

Das Stammhirn verfolgt in Bezug auf Fehlertoleranz ein Duo-Duplex- bzw. 2oo2-Konzept (2-out-of-2). Solche Systeme bestehen aus zwei redundanten Modulen, die wiederum zwei redundante Untermodule besitzen. Insgesamt gibt es demnach vier parallele Rechenknoten, von denen jeweils zwei im Lockstep-Modus laufen, also synchron. Tritt in diesem Lockstep-Betrieb eine Ergebnisdifferenz auf, liegt ein Fehler vor, das Untermodul wird deaktiviert und das andere Paar tritt an seine Stelle. Das Fehlerverhalten des Untermoduls nennt man „fail-silent", das des Gesamtsystems „fail-operational".

Eine echtzeitfähige Variante von PetaLinux stellt die softwaretechnische Basis auf Seiten des Cortex-A-Kerns dar, auf dem Cortex-R-Kern haben wir uns für FreeRTOS mit einem lwIP-Stack entschieden. Auf beiden setzt die serviceorientierte Middleware ASOA auf (vgl. S. 74).

Jede Instanz des Stammhirns besitzt zwei Gigabit-Ethernet-Schnittstellen (1000BASE-T), die jeweils die Services auf den Cortex-R und Cortex-A-Kernen mit dem Backbone-Netzwerk des Fahrzeugs verbinden. Zusätzlich ist über zwei CAN-Schnittstellen die Kompatibilität zu Steuergeräten möglich, die über keine Ethernet-Schnittstelle verfügen. Ein Wide-Range-Power-Supply-System erlaubt die Versorgung mit 48 V und ist robust selbst gegenüber großen Spannungseinbrüchen. Das kompakte Aluminiumgehäuse ist mechanisch überaus robust, gewährt EMV-Schutz und ermöglicht dank passiver Wärmeabführung einen geräuschlosen Betrieb.

In kontinuierlichen Entwicklungsschritten wird das Stammhirn weiterentwickelt. Zunächst wurde auf Basis des Entwicklerboards TE0701-06 von Trenz Electronic das Konzept evaluiert. Anschließend wurde in einem nächsten Schritt eine prototypische Stammhirnimplementierung auf Basis des besser geeigneten Boards TE0706 dem Konsortium als Entwicklungsplattform zur Verfügung gestellt. In Schritt 3 wurde diese Basis hardwaretechnisch erweitert und in das Fahrzeug integriert. Derzeit befinden wir uns in Phase 4, in der das Entwicklerboard TE0706 durch eine optimierte Eigenentwicklung abgelöst wird.

Anlieferung der Plattform in Stuttgart
November 2019

Universität Stuttgart

Thermisches Bordnetz

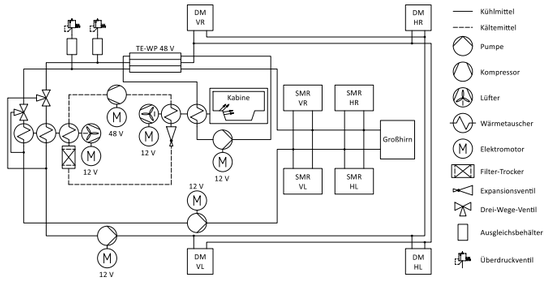
Kühlsystem und Innenraumklimatisierung

Daniel Gehringer M.Sc.
Universität Stuttgart

GEFÖRDERT VOM
Bundesministerium für Bildung und Forschung

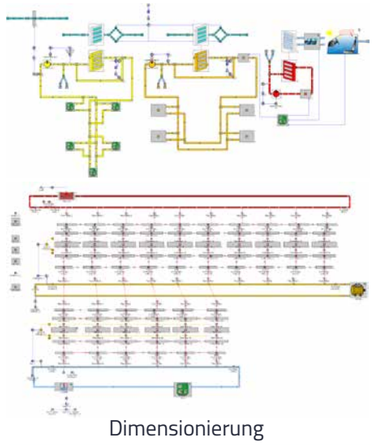
Eckdaten des Thermomanagements

- Rechenleistung der autonomen Fahrfunktionen erfordert ein leistungsfähiges Kühlsystem
- Sensormodulrechner müssen in einem engen Temperaturbereich betrieben werden
- Radnabenantriebe an allen vier Rädern führen zu komplexem Kühlsystem
- Entwicklung einer dreistufigen thermoelektrischen Wärmepumpe

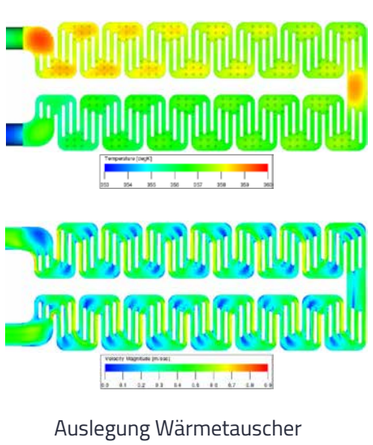


Kühlsystemtopologie

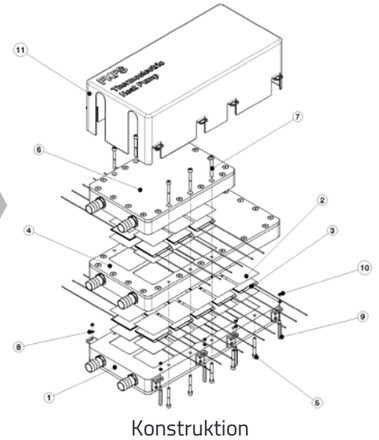
Entwicklung der thermoelektrischen Wärmepumpe



Dimensionierung



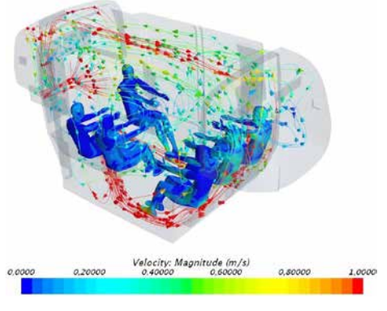
Auslegung Wärmetauscher



Konstruktion

Innenraumklimatisierung und thermischer Insassenkomfort

- Thermische Strömungssimulation der Innenraumkonzepte
- Optimierung der Positionen von Luftausströmern
- Sicherstellung des thermischen Insassenkomforts
- Flächenheizelemente zur gezielten und effizienten Beheizung des Innenraums
- Modularer Aufbau des HVAC-Systems zur Anpassung auf die verschiedenen Fahrzeugausprägungen



unicaragil

RWTH AACHEN UNIVERSITY · TU Braunschweig · TU Darmstadt · TUM · KIT · uulm · Universität Stuttgart · Universität Passau · atlatec · fly drive · iMAR · IPG · VIRES · SCHAEFFLER · MAXION WHEELS · Valeo

Thermisches Bordnetz

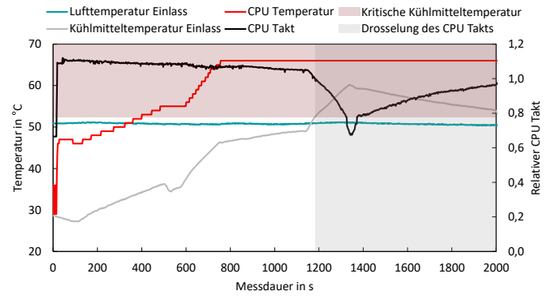
Hören Sie auch den Podcast zum Poster.

Daniel Gehringer
Universität Stuttgart
Institut für Fahrzeugtechnik Stuttgart

Die Fahrzeugkonzepte in UNICARagil erfordern auch auf dem Gebiet des Thermomanagements neue Ansätze. Durch die Verwendung von Radnabenantrieben sowie Lenkungsstellern an allen vier Rädern ist ein deutlich komplexeres Kühlsystem als bei herkömmlichen Fahrzeugen nötig. Die automatisierten Fahrfunktionen erfordern zudem eine hohe Rechenleistung, diese wird durch die vier Sensormodulrechner sowie das Großhirn bereitgestellt. Hier fällt eine hohe Abwärme auf einem relativ geringen Temperaturniveau an. Die Kühlung dieser Recheneinheiten ist sicherheitskritisch, da bei einem Ausfall der Komponenten die automatisierte Fahrfunktion nicht mehr sichergestellt werden kann. Deshalb wird im Kühlsystem von UNICARagil ein eigenständiger Kühlkreis für die sensible Rechentechnik bereitgestellt. Der zweite Kühlkreis beinhaltet die Radnabenantriebe sowie deren Leistungselektroniken und Lenkungssteller. Jeder Kühlkreis ist eigenständig und kann unabhängig vom jeweils anderen betrieben werden.

Um die anfallende Abwärme effizient zu nutzen wird im Rahmen des Projekts eine mehrstufige thermoelektrische Wärmepumpe entwickelt. Durch sie ist es möglich die Abwärme aus den Antriebs- und Rechentechnikkühlkreisen auf ein höheres Temperaturniveau anzuheben und sie so zur Beheizung des Fahrgastraums nutzbar zu machen. Hier werden deutlich höhere Wirkungsgrade als mit aktuell in Elektrofahrzeugen eingesetzten PTC-Zuheizern erreicht. Durch die Ausnutzung des thermoelektrischen Effekts und Verwendung von dotierten Halbleiterelementen kommt die Wärmepumpe ohne bewegte Teile aus. Die Leistung kann dabei auf verschiedene Fahrzeugkonzepte skaliert werden. So ist ein effizientes Heizen von Kleinwagen bis hin zu Bussen oder Shuttles möglich.

Ein weiteres Arbeitsgebiet des thermischen Bordnetzes ist die Innenraumklimatisierung und damit Sicherstellung des Insassenkomforts. Jede der vier Fahrzeugausprägungen besitzt ein individuelles Innenraumkonzept. Es werden hier thermische Strömungssimulationen der Konzepte durchgeführt, um beispielsweise die Positionierung der Luftausströmer zu optimieren. Zusätzlich zum Klimatisierungsansatz mithilfe direkter Luftheizung bzw. –kühlung kommen auch Flächenheizungen zum Einsatz. So kann durch den gezielten Eintrag der Heizleistung bei einer Teilbesetzung des Fahrzeugs Energie eingespart werden.



Thermische Absicherung eines prototypischen Sensormodulrechners

Das Nutzungsprofil herkömmlicher Fahrzeuge mit Fahrerarbeitsplatz weist einen hohen Standanteil auf. Wird ein Fahrzeug beispielsweise zum Pendeln verwendet ergeben sich zwischen den Fahrtwegen lange Standzeiten. Hier werden vor allem in den Winter- und Sommermonaten extreme Temperaturen in der Fahrzeugkabine erreicht. Ein signifikanter Anteil der Klimatisierungsleistung wird zum anfänglichen Heizen oder Kühlen und Erreichen der gewünschten Komforttemperatur im Innenraum aufgewendet. Durch die Use-Cases der verschiedenen Fahrzeugausprägungen in UNICARagil sind neue Betriebsstrategien für das Thermomanagement möglich. So ist beispielsweise eine Überkonditionierung des Innenraums beim Ladevorgang ohne Passagiere und die Nutzung von Wetterdaten aus der Cloud denkbar.

Arbeiten an der Plattform
Dezember 2019

Das Energiebordnetz

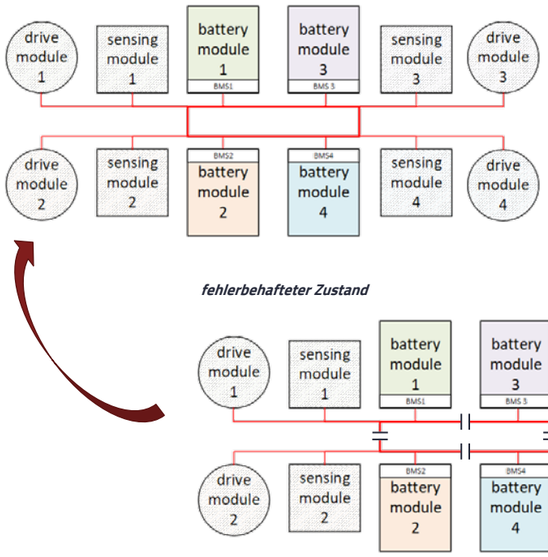
Ausfallsicher, Redundant

Marcus Goth, Matthias Hisung
Universität Stuttgart

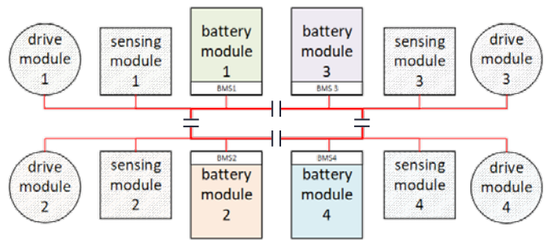
GEFÖRDERT VOM
Bundesministerium für Bildung und Forschung

Schematische Darstellung des Energiebordnetzes

fehlerfreier Zustand



fehlerbehafteter Zustand



Bordnetzbatterie

Die wichtigsten Merkmale

- 4-fach redundantes 48V- und 12V-Energiebordnetz
- Symmetrische Ringarchitektur, die vier Teilnetze verknüpft
- Fehlerisolierung bei auftretenden Fehlern in einem der Teilnetze
- Vier Bordnetzbatterien mit insgesamt 48 kWh Energiegehalt und 134 kW Peakleistung
- Passiv gekühltes Batteriesystem mit jeweils eigenem Batteriemanagementsystem

Lademöglichkeiten

- AC-Laden mit 3,3 kW über 230V-Steckdose
- DC-Laden mit 10 kW über mobile DC-Ladesäule (s.u.)
- Induktives Laden mit 3,3 kW und intelligenter Spulenpositionserkennung

DC-Ladesäule

Das Energiebordnetz

Hören Sie auch den Podcast zum Poster.

Marcus Goth
Universität Stuttgart
Institut für Fahrzeugtechnik Stuttgart

Matthias Hisung
Universität Stuttgart
Institut für Fahrzeugtechnik Stuttgart

Im Forschungsprojekt UNICARagil werden vier automatisiert-fahrende Fahrzeuge mit unterschiedlichen Ausprägungen aufgebaut. Alle vier automatisierte Fahrzeuge in unterschiedlichen Ausprägungen weisen jedoch die gleichen Ansprüche an die Energieversorgung auf. Diese muss dezentral und ausfallsicher gestaltet sein, sodass ein einzelner Fehler nicht zum Ausfall des gesamten Fahrzeugs führt. Weiterhin muss die Energieversorgung skalierbar sein, sodass die unterschiedlichen Ausstattungsmerkmale der verschiedenen Fahrzeugausprägungen berücksichtigt werden können. Weiterhin wird aus Gründen des Berührschutzes ein Systemspannungslevel von 48 V gefordert.

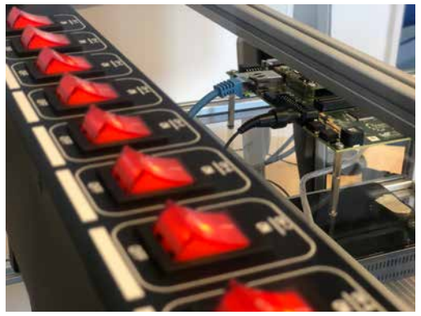
Um diesen Anforderungen zu entsprechen, wurde eine Ringarchitektur für das 48-V-Hauptnetz entwickelt. Jeweils ein Viertel dieses Hauptenergieringes stellt ein für sich vollfunktionsfähiges Teilnetz dar, das mit einer Bordnetzbatterie ausgestattet ist. Redundante und sicherheitskritische Verbraucher wie Sensormodule oder Antriebe werden auf diese vier Teilnetze derart verteilt, dass ein Teilnetz ausfallen kann, ohne dass die Versorgungssicherheit für sicherheitskritische Verbraucher gefährdet wird. Dies geschieht mit Hilfe von vier Hauptschützen und Sicherungen, die alle vier Teilnetze verbinden und absichern. Im Fehlerfall werden die Hauptschütze geöffnet, sodass ein Fehler in einem Teilnetz isoliert wird.

Als Energiespeicher kommen vier Lithium-Ionen-Batterien zum Einsatz, die jeweils 12 kWh an elektrischem Strom speichern. Die Gesamtkapazität liegt somit bei 48 kWh. Jedes Batteriemodul besitzt zudem ein eigenes Batteriemanagementsystem. Dadurch sind die Batteriemodule in sich mit voller Funktionalität ausgestattet. Ein Ausfall eines einzelnen Batteriemoduls zieht somit nicht den Ausfall weiterer Batteriemodule nach sich. Die Batterien selber sind passiv gekühlt. Die Peak-Leistung des gesamten Batteriesystems beziffert sich auf 134 kW. Der Gedanke der dezentralen Energieversorgung wird auch bei der 12-V-Spannungsversorgung weitergeführt. So speist jedes 48-V-Teilnetz ein eigenes 12-V-Spannungsnetz.

Zum Laden der Batterien gibt es drei Möglichkeiten: DC-Laden, AC-Laden und induktives Laden. Das AC-Laden funktioniert über einen 3,3 kW On-Board-Lader, sodass das Fahrzeug über eine Haushaltssteckdose geladen werden kann. DC-Laden an einer gängigen Ladesäule ist auf Grund der unüblichen Systemspannung nicht möglich. Aus diesem Grund wurde für das DC-Laden eine eigene mobile Ladesäule entwickelt, mit der das Fahrzeug mit einer Leistung von bis zu 10 kW geladen werden kann. Zu guter Letzt lassen sich die Batterien auch induktiv laden. Bei diesem Ladeverfahren kommt eine intelligente Positionserkennung der Primärspule zum Einsatz, sodass das Fahrzeug ideal darüber positioniert werden kann. Sowohl beim DC-Laden als auch beim Induktivladen wird auf kabellose Kommunikation gesetzt.

Softwarearchitektur

UNICARagil Newsletter | Sonderausgabe Halbzeitevent



Prüfstand

Entwicklung der Cloudarchitektur

IEEE ITSC 2019, Neuseeland

Prüfstand - automatisierte Latenzmessungen

Dr. Bassam Alrifaee - Domänenkoordinator für den Bereich Softwarearchitektur - im Interview

Was ist die Kernaufgabe der Domäne „Softwarearchitektur “?

Die Domäne Softwarearchitektur teilt sich in drei Kernbereiche auf. Erstens entwickeln und implementieren wir ein Konzept für eine Dienst-orientierte Softwarearchitektur (ASOA), die in allen UNICARagil-Fahrzeugen zum Einsatz kommen wird. Zweitens koordinieren und unterstützen wir die Projektpartner bei der Umsetzung ihrer Funktionen im Rahmen der ASOA. Zu diesem Zweck hat der i11 unter anderem ein webbasiertes Architektur-Tool entwickelt. Dieses Tool ermöglicht den Entwurf von verschiedenen Architektursichten (z. B. Funktional, Software, Mechatronik) und verknüpft sie zu einer Gesamtsystemarchitektur. Der dritte Aufgabenbereich umfasst die Gestaltung der Cloud-Infrastruktur und -Dienste sowohl auf der Hardware- als auch auf der Software-Ebene. Die ASOA, das Architekturtool und die Cloud-Infrastruktur bilden die Grundlage zur Umsetzung der angestrebten Modularität im Projekt, d. h. des Sicherheitskonzepts, der mechatronischen Gestaltung sowie der automatisierten Fahrfunktionen.

Wie unterscheidet sich die Softwarearchitektur der UNICARagil-Fahrzeuge von denen konventioneller Fahrzeuge, z. B. AUTOSAR?

Die ASOA unterscheidet sich in vielen Punkten fundamental von existierenden Softwarearchitekturen wie der aktuell in der Automobilindustrie gängigen AUTOSAR-Architektur. Ein Aspekt dabei ist die dynamische und adaptive Systemintegration zur Laufzeit, die durch die konsequente Dienstorientierung ermöglicht wird. Das bedeutet, dass Dienste so kombiniert werden, dass eine gewünschte Funktionalität in den Fahrzeugen bestmöglich umgesetzt werden kann. Dies wird durch die explizite Bewertung der aktuellen Dienstqualität unterstützt, die ebenfalls neuartig in der ASOA ist. Als hoheitliche Komponente der Architektur bestimmt der sogenannte Orchestrator das Zusammenspiel der Dienste, indem er den Lebenszyklus der Dienste sowie die Verknüpfung der Schnittstellen steuert. Auf technischer Ebene unterscheidet sich die ASOA zudem durch den konsequenten Einsatz von Ethernet zur Kommunikation zwischen den Steuergeräten. Dies steht im Gegensatz zu heutigen Architekturen, die durch den Einsatz von verschiedenen Kommunikationsprotokollen, wie z. B. CAN und LIN, gekennzeichnet sind. In heutigen, starren Architekturen werden die Abhängigkeiten und Interaktionen zwischen Softwarekomponenten zur Entwicklungszeit festgelegt, wodurch die resultierenden Systeme nur schwer adaptierbar sind. Neben vielen anderen Aspekten ist insbesondere die Updatefähigkeit der Softwarearchitektur für automatisierte Fahrzeuge wichtig.

Wofür steht ASOA?

ASOA steht für Automotive Service-oriented Software Architecture. Dienst-orientierte Architekturen sind seit den 90er Jahren im Web- und Businessbereich weitverbreitet und eignen sich insbesondere zur Entwicklung komplexer und verteilter Systeme. Wir übertragen diesen Ansatz unter Berücksichtigung der besonderen Anforderungen, wie Echtzeitfähigkeit und Unterstützung eingebetteter Systeme, in die Fahrzeugdomäne. Zur Unterstützung eingebetteter Systeme haben wir mit embeddedRTPS eine Implementierung des Real-Time Publish-Subscribe (RTPS) Protokolls geschaffen. Diese Implementierung kann im Übrigen auch im Kontext von ROS2 und AUTOSAR Adaptive eingesetzt werden. Zudem haben wir einen Prüfstand zur frühzeitigen Erprobung der Architektur aufgebaut.

Was sind die Vorteile dieser neuen Softwarearchitektur?

Die ASOA basiert auf modularen Diensten, die updatefähig und wiederverwendbar sind. Somit können sowohl bestehende Funktionen schnell aktualisiert als auch neue Funktionen realisiert werden. Dadurch ist diese Architektur geeignet, um mit den kurzen Lebens- und Entwicklungszyklen aufkommender technologischer Trends mitzuhalten. Weiterhin eignet sich die ASOA, im Gegensatz zu monolithischen Architekturen, aufgrund der Modularität und der dynamischen Systemintegration, zur agilen Entwicklung.

Welche Herausforderungen ergeben sich bei der Umsetzung einer solchen Architektur?

Eine der vielen Herausforderungen bei der Entwicklung der UNICARagil-Fahrzeuge sind Latenzen. Höhere Latenzen können zu längeren Reaktionszeiten auf potentielle Gefahrensituationen oder Instabilitäten in der Fahrdynamikregelung führen. Neben vielen anderen Einflussfaktoren hat auch die ASOA Einfluss auf die Latenz, da diese für den Transport der Daten zwischen den Diensten verantwortlich ist. Um diesen Einfluss auch ohne die fertigen Fahrzeuge einschätzen zu können, haben wir am i11 einen Prüfstand aufgebaut, der die Steuergeräte der UNICARagil-Fahrzeuge abbildet. Mit diesem Prüfstand sind wir in der Lage, automatisiert die Latenzen, die durch die ASOA erzeugt werden, für verschiedene Zusammenstellungen der Dienste abzuschätzen. Diesen Prüfstand haben wir mittels Continuous Integration in den Entwicklungsprozess der ASOA eingebunden und erhalten somit kontinuierlich Rückmeldung während der Entwicklung.

Im Projekt kommt auch eine Cloud zum Einsatz. Welche Rolle spielt hier die Softwarearchitektur?

Eine Service-orientierte Architektur kommt nicht nur innerhalb der Fahrzeuge zum Einsatz, sondern auch in der Cloud. Service-orientierte Architekturen sind schon jetzt für Cloud-basierte Anwendungen weitverbreitet, da diese die Skalierung und Erweiterbarkeit vereinfachen können. Zudem können Cloud-basierte Dienste dank Virtualisierung bei erhöhtem Nutzungsaufkommen oder gestiegenem Rechenbedarf schnell skaliert werden. Die Herausforderung im Projekt UNICARagil ergibt sich allerdings durch die Interaktion der automatisierten Fahrzeuge mit der Cloud, die besonders latenzarm gestaltet werden muss. Einige Funktionen, wie beispielsweise das kollektive Verkehrsgedächtnis, sind auf Input aus der gesamten UNICARagil-Flotte angewiesen und sind nur in einer latenzarmen Architektur sinnvoll. Zudem bildet die Cloud die Schnittstelle zwischen den Nutzern und den UNICARagil-Fahrzeugen.

Hören Sie sich das Interview online an!

Die Dienste-orientierte Software Architektur

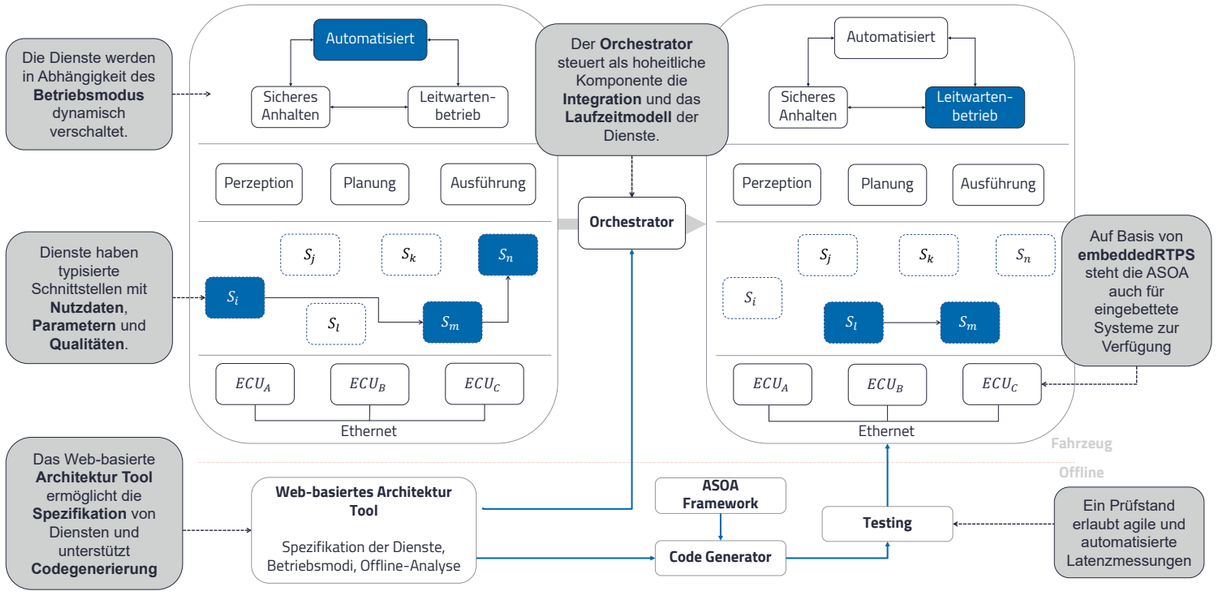
Derzeitige Softwarearchitekturen

- Funktions- und Steuergeräte orientiert
- Starre Systemintegration zur **Entwicklungszeit**
- Softwarekomponenten nicht updatefähig oder wiederverwendbar
- Realisierung automatisierter Fahrzeuge problematisch

Dienste-orientierte Architektur

- Dynamische Systemintegration zur **Laufzeit** auf Basis modularer **Dienste**
- Dank Updatefähigkeit auf dem neusten Stand-der-Technik
- Begünstigung kurzer technologischer Entwicklungs- und Lebenszyklen
- Verbesserte Funktionsumsetzung dank **Qualitätsbeschreibungen**

Elemente der Architektur



Veröffentlichungen

- A. Kampmann, B. Alrifaee, M. Kohout, A. Wüstenberg, T. Woopen, M. Nolte, L. Eckstein, and S. Kowalewski. A Dynamic Service-Oriented Software Architecture for Highly Automated Vehicles. In *2019 IEEE Intelligent Transportation Systems Conference (ITSC)*, pages 2101–2108, Oct 2019.
- A. Kampmann, A. Wüstenberg, B. Alrifaee, and S. Kowalewski. A Portable Implementation of the Real-Time Publish-Subscribe Protocol for Microcontrollers in Distributed Robotic Applications. In *2019 IEEE Intelligent Transportation Systems Conference (ITSC)*, pages 443–448, Oct 2019.
- A. Kampmann, A. Mokhtarian, B. Alrifaee, J. Rogalski and S. Kowalewski. Agile Latency Estimation for a Real-time Service-oriented Software Architecture. In *21st IFAC World Congress (to appear)*

Alexandru Kampmann, Armin Mokhtarian, Bassam Alrifaee, Stefan Kowalewski
Lehrstuhl Informatik 11 – RWTH Aachen

GEFÖRDERT VOM
Bundesministerium für Bildung und Forschung

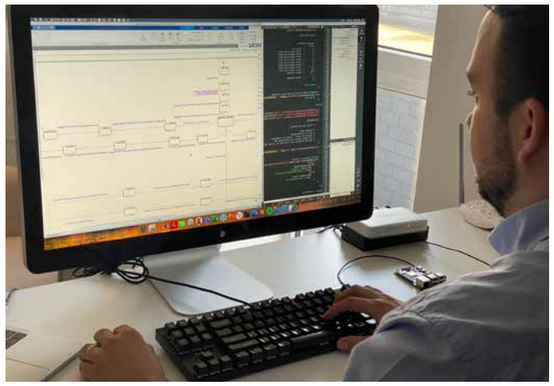
Die Dienste-orientierte Software Architektur

Hören Sie auch den Podcast zum Poster.

Alexandru Kampmann
RWTH Aachen University
Informatik 11 - Embedded Software

Armin Mokhtarian
RWTH Aachen University
Informatik 11 - Embedded Software

Die Softwarearchitekturen, die in heutigen Serienfahrzeugen zum Einsatz kommen, sind nur bedingt zur Realisierung vernetzter und automatisierter Fahrzeuge geeignet. In heutigen Architekturen werden die Abhängigkeiten und Interaktionen zwischen Softwarekomponenten zur Entwicklungszeit festgelegt, wodurch die resultierenden Systeme schwer adaptierbar sind. Neben anderen Aspekten ist insbesondere die Updatefähigkeit der Softwarearchitektur für das automatisierte Fahren wichtig. Nicht nur, um die Komponenten der Automation auf dem neusten und sichersten Stand der Technik zu halten, sondern auch um neue Funktionen schnell in sich bereits in Betrieb befindliche Fahrzeuge nachzuladen.



Arbeiten an der ASOA

Im Projekt UNICARagil wird daher eine Automotive-taugliche Service-orientierte Softwarearchitektur (ASOA) eingesetzt, die am Lehrstuhl Informatik 11 (i11) der RWTH Aachen University entwickelt wird. Diese Architektur besteht aus modularen Diensten, deren Zusammenspiel dynamisch zur Laufzeit so festgelegt wird, dass das gewünschte Fahrverhalten möglichst optimal realisiert wird. Durch die Modularität der Dienste und die Tatsache, dass die Systemintegration erst zur Laufzeit erfolgt, entsteht die Möglichkeit, Dienste nachzuladen, zu aktualisieren und neue Funktionen unter Wiederverwendung bestehender Dienste umzusetzen. Hierzu verfügen Dienste über ein digitales Datenblatt, welches die Schnittstellen maschinenlesbar beschreibt. Zudem beschreiben Dienste kontinuierlich die Qualität, mit der sie ihre Arbeit verrichten. Als hoheitliche Komponente der Architektur bestimmt der Orchestrator das Zusammenspiel der Dienste. Unter anderem baut er hierzu Verbindungen zwischen Diensten dynamisch auf oder ab und steuert den Zustand der Dienste. Erprobt wird die Architektur derzeit mit einem Prüfstand, der u. a. automatisierte Latenztests erlaubt.

Als Basis zur Implementierung der Dienste wird der Data Distribution Service (DDS) eingesetzt. Dieser von der Object Management Group entwickelte Middleware-Standard kommt unter anderem auch in ROS2 und AUTOSAR Adaptive zum Einsatz. Für die eingebetteten Plattformen in den UNICARagil-Fahrzeugen wurde am i11 mit embeddedRTPS eine portable und Ressourcen-schonende Implementierung dieses Protokolls geschaffen, die als Open-Source-Software zur Verfügung steht.

Auf Grund der interdisziplinären Natur des Projekts und der verteilten Entwicklung an verschiedenen Standorten, ist die gemeinschaftliche Ausgestaltung der Architekturen eine besondere Herausforderung. Um diesen Prozess zu unterstützen, haben wir ein webbasiertes Architektur-Tool entwickelt, das die Entwicklung verschiedener Architekturen unterstützt, u. a. durch Codegenerierung und automatische Architekturanalysen.

Cloud Architektur

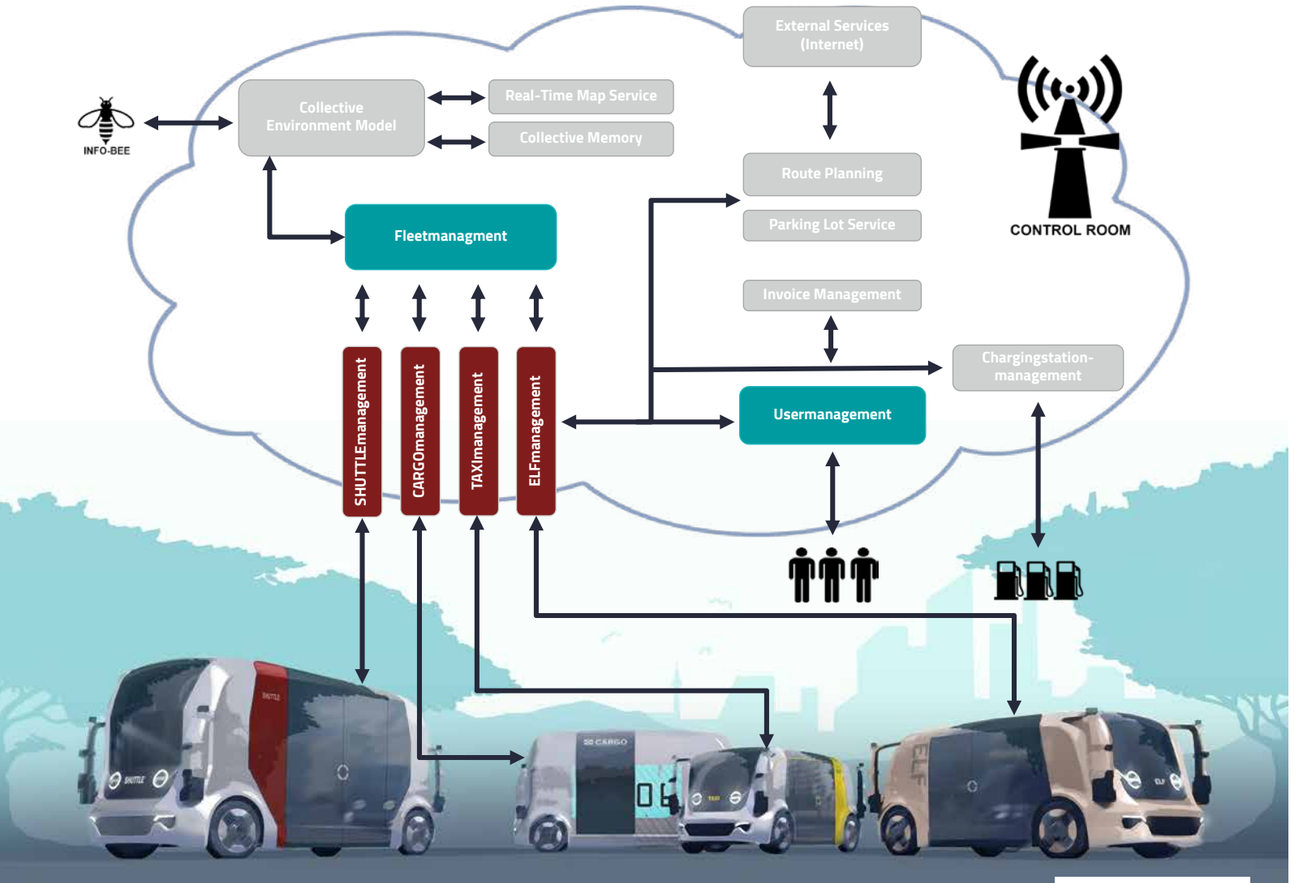
Funktionen

- Zentrale Verwaltungseinheit
- Externer Input für automatisiertes Fahren
- Kollektives Umfeldmodell
  - Speichern, analysieren und anbieten von Verkehrsinformationen
- Interatkionsschnittstelle zum Nutzer

Vorgehen

1. Use Case Umfrage
2. Funktionale Anforderungen herleiten
   - Mit kontrollierter natürlicher Sprache
3. Einteilung in Dienste
4. Schnittstellen der Dienste definieren
5. Code generieren

Gesamtkonzept



Kontakt Armin Mokhtarian, Alexandru Kampmann, Bassam Alrifaee, Stefan Kowalewski
RWTH Aachen University | Informatik 11- Embedded Software

GEFÖRDERT VOM
Bundesministerium für Bildung und Forschung

Cloud Architektur

Hören Sie auch den Podcast zum Poster.

Armin Mokhtarian
RWTH Aachen University
Informatik 11 - Embedded Software

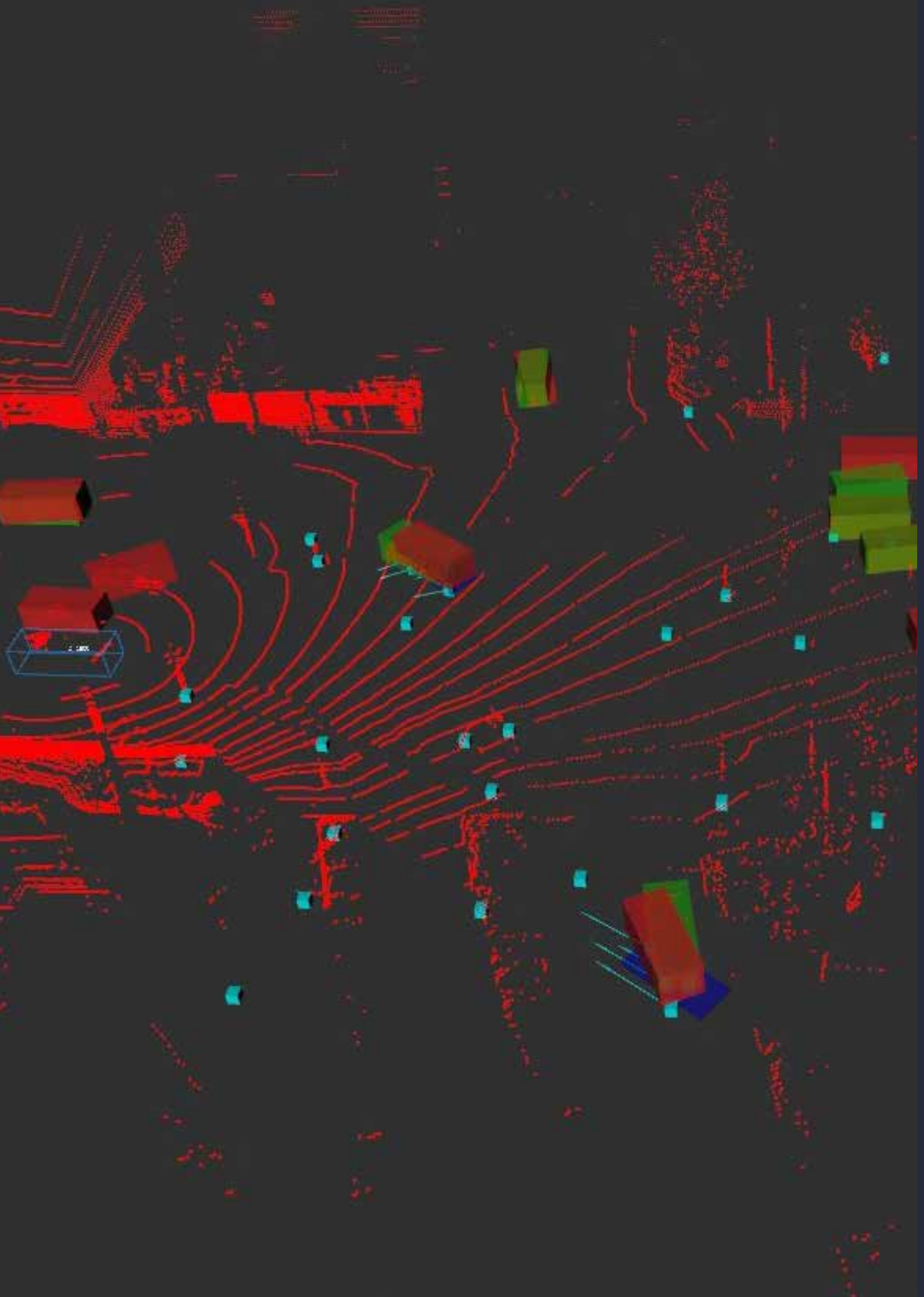
Alexandru Kampmann
RWTH Aachen University
Informatik 11 - Embedded Software

Im Bereich der Automobilindustrie ist „Connected Car" ein zentraler Begriff. Die großen Fahrzeughersteller bieten bereits jetzt Dienste an, welche dem Fahrer assistieren und dabei zahlreiche Informationen über das Fahrzeug sowie das Umfeld anzeigen. Besonders für das Automatisierte Fahren spielt die Vernetzung von Fahrzeugen und Verkehrsinfrastruktur eine bedeutende Rolle. Durch diese Vernetzung wird eine Vielzahl neuer Möglichkeiten geschaffen. Fahrzeuge können auf Abruf bestellt, kritische Verkehrslagen entspannt und die Sicherheit sowie das Fahrgefühl optimiert werden. Cloud-Computing ist ein Konzept zur Realisierung von vernetzten Fahrzeugen und kann als zentrale Verwaltungseinheit dienen. Dies hat gegenüber anderen Konzepten wie einer Fahrzeug-zu-Fahrzeug-Kommunikation oder Edge-Computing den Vorteil, dass Daten aller Beteiligten (Fahrzeuge, Infrastruktur und Nutzer) zentral fusioniert werden, um dadurch bestmögliche Informationen (z. B. Umfeldinformationen) an die Fahrzeuge zu liefern. Zusätzlich können, mithilfe von leistungsstarker Hardware, Informationen in Echtzeit verarbeitet werden.

Innerhalb des Projektes UNICARagil wird am Lehrstuhl Informatik 11 (i11) der RWTH Aachen University eine Cloud Architektur entwickelt, welche eine Vielzahl von Funktionen für alle vier Fahrzeugtypen ermöglicht. Die Cloud Architektur wurde im Hinblick auf eine hohe Modularität und Agilität entworfen, wodurch Anforderungsänderungen mit minimalem Aufwand umgesetzt werden. Insgesamt verzeichnet die Cloud Architektur 14 Dienste, davon vier Echtzeitdienste, und vernetzt mithilfe dieser die Fahrzeuge von UNICARagil, Nutzer und Infrastruktur miteinander. Alle vier Fahrzeuge sind in Echtzeit mit den Cloud-Diensten verbunden und tauschen Informationen über das Umfeld und ihren Standort aus. Mit diesen Informationen organisiert und verwaltet die Cloud die Fahrzeuge sowie automatisierte Ladestationen und Paketboxen. Nutzer können über eine mobile Applikation Fahrzeuge wie ihre private autoELF rufen und Pakete verschicken. Der Dienst Benutzerverwaltung nimmt Nutzeranfragen entgegen und initiiert die Fahrt, indem das Elfmanagement benachrichtigt wird. Das Logistikmanagement kümmert sich um den Versand von Paketen, indem es die automatisierten autoCARGOs mobilisiert. Die von Fahrzeugen und Info-Bienen erfassten Verkehrsinformationen werden im Kollektiven Umfeldmodell fusioniert und für alle Fahrzeuge bereitgestellt.

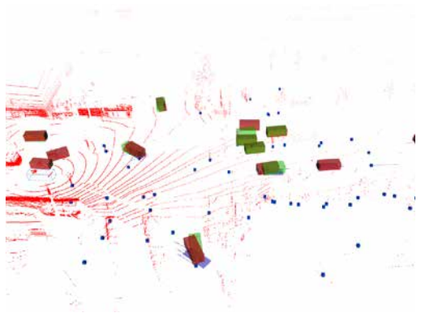
Als Verbindungsprotokoll für die Echtzeitkommunikation kommt der Data Distribution Service (DDS) zum Einsatz, welcher einen Datenaustausch mit hoher Bandbreite und geringer Latenz ermöglicht. Für alle weiteren Kommunikationen wird das Hypertext Transfer Protocol (HTTP) verwendet. Hierbei werden Schnittstellen mithilfe der maschinenlesbaren OpenAPI Spezifikation dokumentiert. Dadurch können Endpunkte generiert, der Implementierungsprozess beschleunigt sowie nachträgliche Schnittstellenanpassungen ermöglicht werden.

Auf Grund der interdisziplinären Natur des Projekts und der verteilten Entwicklung an verschiedenen Standpunkten, ist die gemeinschaftliche Ausgestaltung der Architektur eine besondere Herausforderung. Um diesen Prozess zu unterstützen, haben wir das webbasierte Architektur-Tool, welches ursprünglich für die Automotive-taugliche Service-orientierte Softwarearchitektur (ASOA) im UNICARagil Projekt entwickelt wurde, für die Cloud Architektur erweitert.

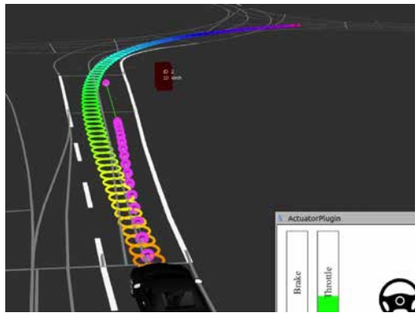


Automatisiertes Fahren

UNICARagil Newsletter | Sonderausgabe Halbzeitevent



Lidar- und Radardaten mit Objektdetektionen



Simulation des Trajektorienplaners

Simulation der Regelung zum seitlichen Einparken

Ansicht des Teleoperators in der Leitwarte

Dr. Michael Buchholz - Domänenkoordinator für den Bereich Automatisiertes Fahren - im Interview

Was ist die Kernaufgabe der Domäne „Automatisiertes Fahren“?

Die Domäne Automatisiertes Fahren umfasst die Funktionen der UNICARagil-Fahrzeuge, die in herkömmlichen Fahrzeugen der Fahrer und gegebenenfalls Assistenzsysteme übernehmen. Neben diesen Fahrfunktionen im Fahrzeug gehören zur Domäne zudem externe Dienste, die über Funkkommunikation angebunden sind, wie die Leitwarte oder das Kollektive Gedächtnis. Als „Anwendungsdomäne“ werden dabei auch die in den anderen Domänen erforschten Konzepte eingesetzt bzw. auf diese aufgebaut.

Zunächst zu den Funktionen im Fahrzeug: Welche Funktionen werden hier benötigt bzw. umgesetzt?

Zusammenfassen lässt sich das mit dem bekannten Sense-Plan-Act-Schema: Das Fahrzeug muss seinen eigenen Zustand und die Umgebung wahrnehmen und die aktuelle Situation analysieren (Sense), darauf aufbauend das Verhalten der anderen Verkehrsteilnehmer vorhersagen und seine eigene Handlung planen (Plan) sowie schließlich die geplante Handlung ausführen (Act).

Beginnen wir mit der Wahrnehmung des eigenen Zustands: Was passiert da alles in einem UNICARagil-Fahrzeug?

Neben der Selbstwahrnehmung aus der Domäne Sicherheit muss konkret auch der eigene Bewegungszustand des Fahrzeugs erfasst werden. Dies geschieht mittels der Messdaten von einem GNSS-Empfänger, zweier inertialer Messeinheiten (engl. IMU) und der Odometrie-Sensorik (also Raddrehzahlen und Lenkwinkel der vier Räder). Zwei Datenfusionsfilter zur Schätzung des Fahrdynamikzustands werden von zwei unabhängigen Entwicklergruppen erarbeitet. Damit wird die Wahrscheinlichkeit des gleichzeitigen Auftretens von verborgenen Designfehlern minimiert. Ein sogenannter Voter entscheidet aufgrund von Qualitätskriterien, die die Filter ausgeben, welcher der beiden Werte für die weitere Verarbeitung verwendet wird.

Wie wird das Verkehrsgeschehen um das Fahrzeug erfasst?

Für die Umgebungserfassung werden Kameras, Radar- und Lidarsensoren in sogenannten Sensormodulen eingesetzt, von denen jeweils eines an jeder Fahrzeugecke verbaut ist. Jedes dieser Sensormodule ist mit allen drei genannten Sensorprinzipien ausgestattet und verarbeitet die Rohdaten der Sensoren zu einem lokalen Umgebungsmodell des Sensormoduls. Dieses Umgebungsmodell deckt dabei einen Blickbereich von 270° an der jeweiligen Fahrzeugecke mit allen drei Sensorprinzipien ab. Zusätzlich zu dieser Redundanz durch die Abdeckung mit verschiedenen Sensorprinzipien wird durch den großen Blickbereich der Sensormodule jeder Bereich um das Fahrzeug von mindestens zwei Sensormodulen erfasst, wodurch weitere Redundanz entsteht.

Ergänzend dazu gibt es zur Umsetzung des Sicheren Anhaltens aus der Domäne Sicherheit eine zusätzliche, unabhängige Sensorik in der Fahrzeugplattform, die einfache Kameras, Radar- sowie Ultraschallsensoren umfasst.

Wie sehen die Umgebungsmodelle der Sensormodule aus? Und wo und wie kommen die Informationen der einzelnen Sensormodule dann zusammen?

Die lokalen Umgebungsmodelle in den Sensormodulen umfassen zwei Arten der Umgebungsrepräsentation. Zum einen wird eine Belegungsrasterkarte, eine sogenannte Grid-Map, erstellt. Zudem werden erkannte Verkehrsteilnehmer in Objektlisten repräsentiert. Für die Objektdetektion aus den Rohdaten der jeweiligen Sensoren werden moderne Deep-Learning-Verfahren eingesetzt. Diese Objektdetektionen aus den einzelnen Sensoren werden in einem Multi-Objekt-Trackingverfahren fusioniert und über die Zeit gefiltert. Schlussendlich erhält man einen präzise geschätzten Zustand, z. B. die Position und Geschwindigkeit, für jeden erfassten Verkehrsteilnehmer in der Umgebung. Zudem findet eine videobasierte Lokalisierung relativ zu einer hochgenauen Karte in jedem Sensormodul statt.

Die vier lokalen Umgebungsmodelle der Sensormodule werden im Großhirn zu einem Fahrzeugumgebungsmodell fusioniert, wobei aus den fusionierten statischen Belegungskarten zusätzlich noch eine dynamische Belegungskarte berechnet wird, die auch Geschwindigkeitsinformationen enthält.

Und auf Basis des Fahrzeugumgebungsmodells wird dann das Fahrmanöver geplant?

Genau. Aufbauend auf dem Fahrzeugumgebungsmodell und dem aktuellen Fahrzeugzustand werden unter Nutzung der Karteninformationen für den aktuellen Abschnitt der Route das Manöver und die zugehörige Trajektorie geplant. Die Trajektorie ist dabei die für die nächsten Sekunden geplante Bahn der Fahrzeugbewegung. Dazu wird die erkannte Verkehrssituation in die Zukunft prädiziert, um auf Basis der aktuellen und erwarteten Bewegungen der anderen Verkehrsteilnehmer die eigene Bewegung zu planen.

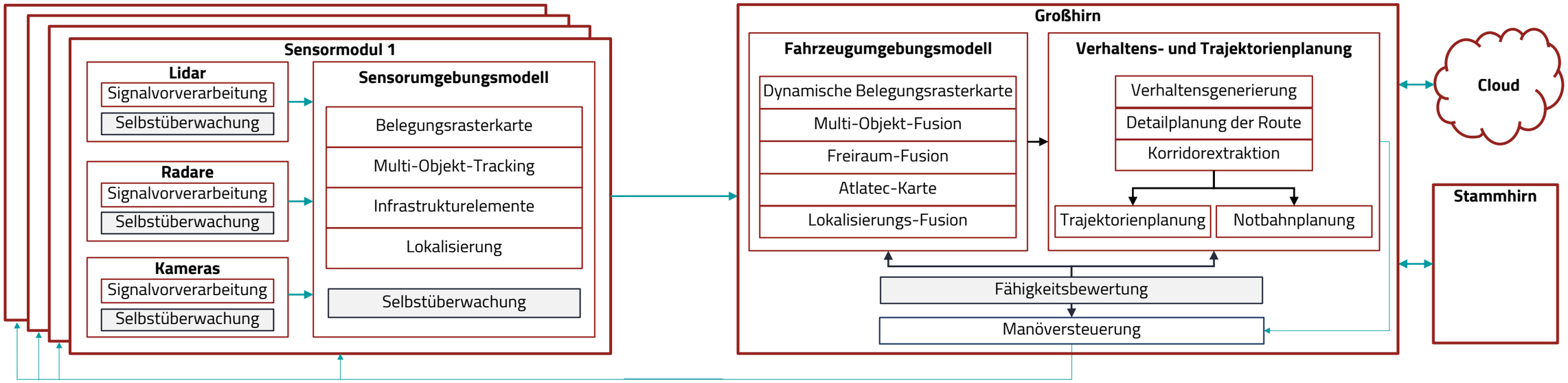
Neben der normalen Trajektorie wird jedes Mal auch eine Notbahn berechnet. Diese stellt die aktuell beste Möglichkeit dar, das Fahrzeug an einer geeigneten Stelle, beispielsweise am Fahrbahnrand, zum Stillstand zu bringen. Beide Varianten, also normale Trajektorie und Notbahn, werden dann an die unterlagerte Trajektorienregelung im Stammhirn übergeben.

Wie erfolgt die Umsetzung der geplanten Bewegung im Stammhirn?

Im Normalfall wird dabei stets die normale Trajektorie verwendet. Im Vergleich zu konventionellen Fahrzeugen haben die UNICARagil-Fahrzeuge einen zusätzlichen Freiheitsgrad. Dieser resultiert aus den Dynamikmodulen, mit denen jedes einzelne Rad beschleunigt, gebremst und gelenkt werden kann. Dadurch können völlig andere Manöver umgesetzt werden. Die Trajektorienregelung im Stammhirn berechnet dabei aus der Trajektorie die notwendigen Vorgaben für jedes einzelne Dynamikmodul.

Die Notbahn dient nur für den Fall, wenn die Leistungsfähigkeit des Fahrzeugs stark eingeschränkt

UNICARagil Newsletter | Sonderausgabe Halbzeitevent



ist, beispielweise bei einem Ausfall mehrerer Sensormodule oder des Großhirns. Dies würde dann von der Selbstwahrnehmung erkannt und im Stammhirn der Betriebsmodus Sicheres Anhalten aktiviert. Mithilfe der Sensorik in der Fahrzeugplattform würde dann die aktuelle Notbahn abgefahren und so das Fahrzeug an der geplanten Position abgestellt. Dies ist eines der gemeinsamen Themen der Domänen Sicherheit und Automatisiertes Fahren.

Gibt es da noch weitere gemeinsame Themen mit dieser oder weiteren Domänen?

Ein weiteres Beispiel für ein gemeinsames Thema ist die Ablaufsteuerung im Fahrzeug. Diese stellt beispielsweise sicher, dass das Fahrzeug nur losfahren kann, wenn die Türen geschlossen sind, oder umgekehrt sich die Türen nur öffnen, wenn das Fahrzeug auch im Stillstand ist. Dies ist ebenfalls ein gemeinsames Thema mit der Domäne Sicherheit.

Auch mit allen weiteren Domänen gibt es gemeinsame Themen: Mit der Domäne Geometrische Gestaltung wurde beispielsweise die Gestaltung der Sensormodule gemeinsam erarbeitet. Die Automatisierung nutzt die ASOA (Automotive Service-oriented Software Architecture) der Domäne Softwarearchitektur. Unsere Steuergerätestruktur und Energieversorgung wurde mit der Domäne Mechatronische Gestaltung abgestimmt.

Nun noch zu den Funktionen der Automatisierung, die außerhalb des Fahrzeugs implementiert werden. Was gehört da dazu?

Die Fahrzeuge sind alle mit einer Leitwarte verbunden. Die Leitwarte koordiniert die Fahrzeuge und gibt ihnen die Routen vor. Zudem dient die Leitwarte als weitere Rückfallebene für die fahrzeugseitige Automatisierung. Sollte in speziellen Situationen beispielsweise keine gültige Trajektorie zur Weiterfahrt gefunden werden können, bleibt das Fahrzeug stehen und informiert die Leitwarte. Dort kann dann ein Operator die Steuerung des Fahrzeugs übernehmen oder dem Fahrzeug manuell eine Trajektorie vorgeben.

Zudem gibt es mit der Info-Biene eine Art „externes Sensormodul". Die Info-Biene, eine mit Sensoren ausgestattete Drohne, kann eingesetzt werden, um dem Fahrzeug oder der Leitwarte zusätzliche Informationen zum Verkehrsumfeld zu liefern.

Schließlich gibt es mit dem Kollektiven Gedächtnis noch eine Informationsquelle in der Cloud, in der Erfahrungen der Fahrzeuge über Fahrmanöver aggregiert und dann für zukünftige Fahrmanöver als Wissensbasis bereitgestellt werden.

Abschließende Frage: In welcher Stufe des automatisierten Fahrens bewegen sich die UNICARagil-Fahrzeuge mit dem geschilderten Konzept?

Das entwickelte Konzept entspricht dem Level 4, sowohl nach dem Schema der BASt als auch dem der SAE. Die Demonstration mit den Prototypen am Ende des Projekts wird mit zusätzlichen Maßnahmen abgesichert, sodass der Einsatz dort dem Level 2 entspricht.

Hören Sie sich das Interview online an!

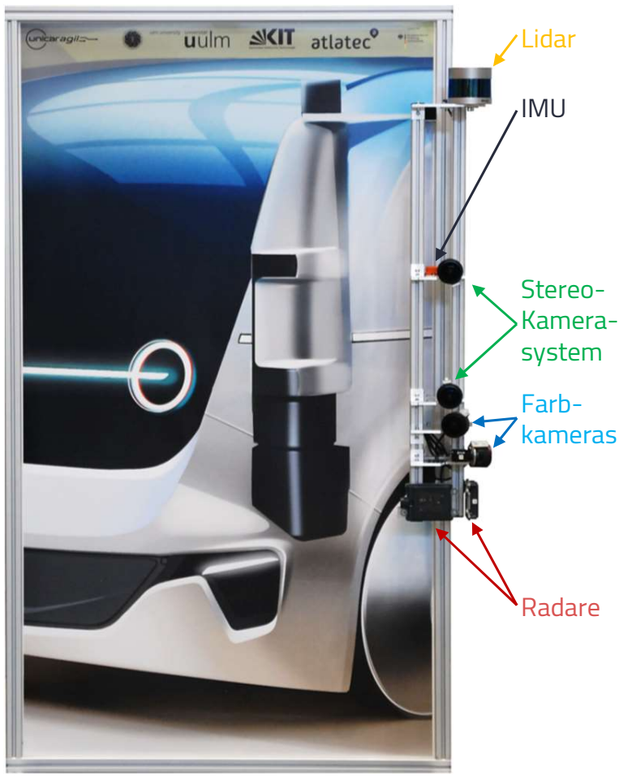
Sensormodul: Hardware

M. Buchholz, A. Danzer, K. Dietmayer, F. Gies, M. Henning, C. Hermann, M. Herzog, M. Horn, N. Rexin, M. Schön – *Universität Ulm, Institut MRM*
C. Fernandez Lopez, J. Janosovits, D. Kamran, C. Kinzig, M. Lauer, E. Molinos, C. Stiller, L. Wang – *Karlsruher Institut für Technologie, Institut MRT*
H. Lategahn, J. Ziegler – *Atlatec GmbH*

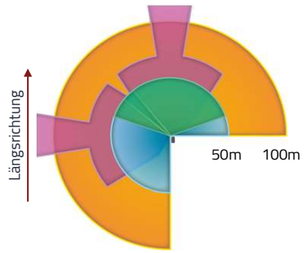
GEFÖRDERT VOM
Bundesministerium für Bildung und Forschung

Sensormodul

- Modulare Konstruktion und Software
- Redundanzen durch unterschiedliche Sensortypen und überlappende Sichtbereiche
- Erfassung von Objekten im Nah- und Fernbereich



Sichtbereich



Lidar

Radare

Stereo-Kamera-system

Farbkameras

- 270° horizontaler Sichtbereich je Sensormodul
- Ein Sensormodul an jeder Fahrzeugecke
- Vollständiger Wahrnehmungsbereich des Fahrzeugs selbst bei Ausfall eines Moduls

Steuerung und Prozessierung

- Jedes Sensormodul besitzt einen leistungsfähigen Sensormodulrechner
- (Vor-)Verarbeitung der Sensorrohdaten auf dem Sensormodul
- Erzeugung eines unabhängigen Sensormodulumgebungsmodells
- Hochgenaue, zeitsynchrone Steuerung der Sensorik per Triggerbox

Sensoren

- 1x Lidar: Velodyne VLP-32C Ultra Puck
- 1x Inertiale Messeinheit (IMU): Xsens MTi-100
- 4x Kameras: FLIR Blackfly S USB3 8.9MP
- 2x Radare: Continental ARS 408-21 Premium

Sensormodul: Hardware

Hören Sie auch den Podcast zum Poster.

Matti Henning
Universität Ulm
Institut für Mess-, Regel- und Mikrotechnik

Markus Horn
Universität Ulm
Institut für Mess-, Regel- und Mikrotechnik

Eine Kernherausforderung der Fahrzeugautomatisierung liegt im Einsatz automatisierter Fahrzeuge in einer offenen Welt mit enormer Komplexität. Die Wahrnehmung dieser hochkomplexen Umgebung ist dabei ein zentrales Thema mit hohen Anforderungen: sie muss sicher, stabil und performant sein und gleichzeitig flexibel und applikabel bleiben. Nur so kann eine exakte Wahrnehmung von Verkehrsteilnehmern und Infrastruktur im Nah- und Fernbereich realisiert werden.

Die UNICARagil-Fahrzeuge sind deshalb mit speziell auf diese Anforderungen angepassten Sensormodulen ausgestattet. Jedes eigenständige Modul besteht aus Sensoren und einer Prozessiereinheit und ist unabhängig von der zentralen Datenverarbeitung der Leitwarte und des Fahrzeugs, an dem es montiert ist. Das modulare Design von Konstruktion und Software ermöglichen höchste Einsetzbarkeit in allen Anwendungsbereichen des Projekts. Die Qualität der Umgebungswahrnehmung jedes Moduls ist durch Redundanzen in der Verwendung von Sensoren unterschiedlicher Messprinzipien und durch überlappende Sichtbereiche gesichert.

Das Sensormodul selbst ist als Pfeiler aus übereinander angebrachten Sensoren aufgebaut. So kann eine maximale Überdeckung der Sensorsichtbereiche mit einem horizontalen Sichtbereich von ca. 270° erreicht werden. Die primäre Bewegungsrichtung entlang der Längsachse ist als weitere Redundanz mit höherer Auflösung, jedoch geringerem Sichtbereich zusätzlich durch ein Stereo-Kamerasystem abgedeckt. Außerdem decken Radarsensoren Fernbereiche in Front- und Querrichtung ab.

Durch die Anbringung eines Moduls an jeder Fahrzeugecke ergibt sich insgesamt ein Wahrnehmungsbereich von 360°, da die toten Winkel eines Moduls jeweils durch benachbarte Module abdeckt werden. Selbst bei vollständigem Ausfall eines Sensormoduls bleibt die Rundum-Abdeckung gewährleistet.

Die verwendeten Sensoren sind nach den hohen Anforderungen an Genauigkeit, Verfügbarkeit und Sichtbereich ausgewählt. Dazu wurde explizit auf die Verwendung aller gängigen Messprinzipien wie Lidar, Radar, Kamera und Inertialsensorik zurückgegriffen. Die zeitliche Synchronisation der Sensoren, ein essentieller Bestandteil der Datenverarbeitung, wird von einer Triggerbox umgesetzt.

Die so erzeugten Datenströme müssen in Echtzeit von der Prozessiereinheit verarbeitet werden. Diese ist mit frei verfügbaren high-end-IT-Produkten ausgestattet, so kann die Realitätsnähe demonstriert und die Hardware-Verfügbarkeit gewährleistet werden.

Es wird ein unabhängiges Sensormodulumgebungsmodell aus den Sensorrohdaten erzeugt. So sind Echtzeitfähigkeit und Unabhängigkeit der Sensormodule gewährleistet und die Datenströme zwischen Modulen und Großhirn minimiert.

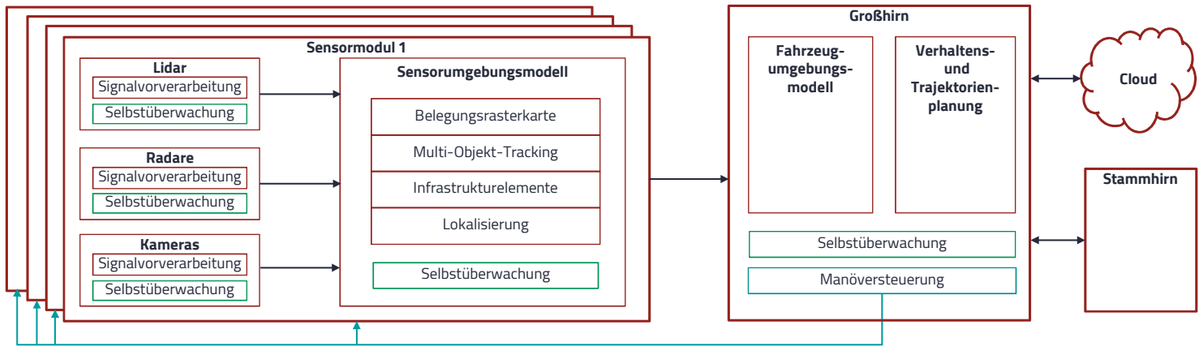
Zusammengefasst: Das Sensormodul ist als essentieller Teil des Projekts UNICARagil für die Umgebungswahrnehmung verantwortlich. Durch den Einsatz mehrerer Sensormodule am Fahrzeug kann eine sichere Wahrnehmung in allen Fahrzuständen gewährleistet werden, um alle Fahraufgaben zu meistern.

Sensormodul: Datenverarbeitung

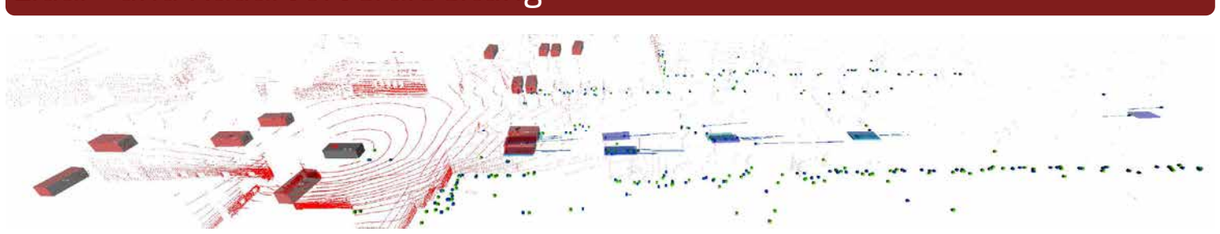
M. Buchholz, A. Danzer, K. Dietmayer, F. Gies, M. Henning, C. Hermann, M. Herzog, M. Horn, N. Rexin, M. Schön – *Universität Ulm, Institut MRM*
C. Fernandez Lopez, J. Janosovits, D. Kamran, C. Kinzig, M. Lauer, E. Molinos, C. Stiller, L. Wang – *Karlsruher Institut für Technologie, Institut MRT*
H. Lategahn, J. Ziegler – *Atlatec GmbH*

GEFÖRDERT VOM
Bundesministerium für Bildung und Forschung

Funktionale Systemarchitektur



Lidar- und Radarvorverarbeitung



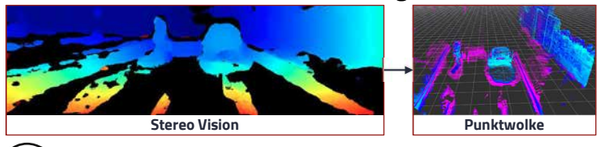
- Echtzeitfähige 3D-Objektdetektion in dichten Lidarpunktwolken
- Boxschätzung mit PointNets und CNNs

- Echtzeitfähige 2D-Objektdetektion in hochauflösenden Radardaten
- Klassifikation, Segmentierung und Boxschätzung für Objekte mit PointNets

Kameravorverarbeitung

- Farbkamera-Bildverarbeitung

- Stereo-Kamera-Bildverarbeitung



Sensordatenfusion

- Zusammenführen der vorverarbeiteten Sensordaten
- Reduktion der zu transportierenden Daten
- Rasterbasierte und objektbasierte Modellierung
  - Belegungsrasterkarte und Freiraum
  - Objektliste getrackter Verkehrsteilnehmer
- Videobasierte Lokalisierung
- Sicherheit durch Redundanz und Fähigkeitsbewertung

Sensormodul: Datenverarbeitung

Hören Sie auch den Podcast zum Poster.

Andreas Danzer
Universität Ulm
Institut für Mess-, Regel- und Mikrotechnik

Manuel Herzog
Universität Ulm
Institut für Mess-, Regel- und Mikrotechnik

Christian Kinzig
Karlsruher Institut für Technologie
Institut für Mess- und Regelungstechnik

Die **Funktionale Systemarchitektur** zeigt die hierarchische und modulare Einbettung der Sensormodule. Jedes der vier Sensormodule umfasst einen Sichtbereich von 270° mit jedem der typisch eingesetzten physikalischen Sensorprinzipien, d. h. Kameras, Lidare und Radare. Es kann daher einen Ausfall von Einzelsensoren durch integrierte Redundanzprinzipien sowie Selbstüberwachung vollständig kompensieren. Aus den multisensoriellen Daten berechnet jedes Sensormodul ein lokales, konsistentes Umgebungsmodell einschließlich Unsicherheiten und leitet dieses an das Großhirn weiter. Die dort durchgeführte Fusion zu einem 360°-Umgebungsmodell wird durch die Redundanz der Sichtbereiche selbst beim Ausfall eines Komplettmoduls durchgeführt. Eine manöverabhängige Steuerung wesentlicher Verarbeitungsschritte erlaubt den effizienten Einsatz vorhandener Rechenhardware.

Die **Lidar- und Radarvorverarbeitung** liefert jeweils eine Liste von Objektdetektionen und damit von Objekthypothesen in Form von Bounding-Boxen. Die verwendeten Objektdetektoren basieren auf tiefen neuronalen Netzen, die in Realzeit implementiert sind. Sie setzen die sensorspezifischen, teils komplementären Messeigenschaften der unterschiedlichen Sensorprinzipien, wie hohe Messpunktdichte bei Lidaren und damit gute Größen- und Orientierungsschätzung (rote Boxen) sowie die zusätzliche Verfügbarkeit von Geschwindigkeitsinformationen bei Radaren (blaue und grüne Boxen) bei deutlich geringerer Auflösung, ideal um.

Die **Kameravorverarbeitung** umfasst eine Mono-Farbkamera-Bildverarbeitung sowie eine Stereo-Monochromkamera-Bildverarbeitung. Die Bilder der beiden Farbkameras werden zunächst zu einem Gesamtbild für den Erfassungsbereich von 270° zusammengerechnet. Anschließend wird ein künstliches neuronales Netz zur pixelweisen semantischen Segmentierung sowie zur Objektdetektion auf das Gesamtbild eingesetzt. Bei der semantischen Segmentierung erfolgt die Zuordnung jedes Pixels im Bild zu einer Objektklasse. Die parallel laufende Objektdetektion extrahiert Bounding-Boxen im Bild mit einer zugehörigen Objektklasse. Parallel werden durch das Stereo-Kamera-System ein Tiefenbild und daraus eine 3D-Punktwolke berechnet. Zudem erfolgt auf Basis der Kamerabilder eine videobasierte Selbstlokalisierung mithilfe einer Karte.

Die **Sensordatenfusion** berechnet aus den vorverarbeiteten Daten ein Umgebungsmodell mit folgenden Komponenten:

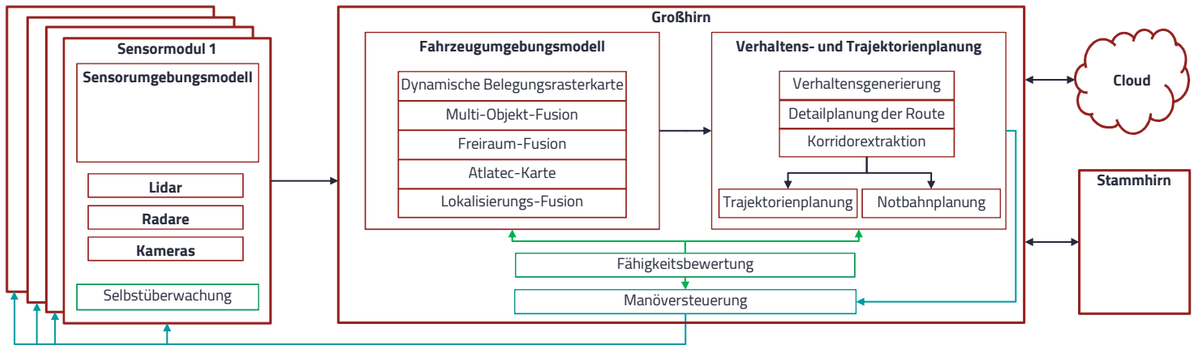
- Eine gridbasierte Umgebungsrepräsentation in Form einer statischen Belegungsrasterkarte, die statische Hindernisse, Freiraum und unbekannte Bereiche modelliert.
- Eine objektbasierte Umgebungsrepräsentation durch ein Multi-Objekt-Tracking auf Basis eines Random-Finite-Set-Filters, die bewegliche Objekte in der Umgebung des Fahrzeugs repräsentiert.
- Eine videobasierte Selbstlokalisierung auf der digitalen Karte.
- Eine Fähigkeitsbewertung berechnet kontinuierlich Informationen über die Performance aller unterschiedlichen Komponenten des Sensormoduls und dient als Schnittstelle zur Domäne „Sicherheit".

Großhirn: Fahrzeugumgebungsmodell

M. Buchholz, A. Danzer, K. Dietmayer, F. Gies, M. Henning, C. Hermann, M. Herzog, M. Horn, N. Rexin, M. Schön – *Universität Ulm, Institut MRM*
C. Fernandez Lopez, J. Janosovits, D. Kamran, C. Kinzig, M. Lauer, E. Molinos, C. Stiller, L. Wang – *Karlsruher Institut für Technologie, Institut MRT*
H. Lategahn, J. Ziegler – *Atlatec GmbH*

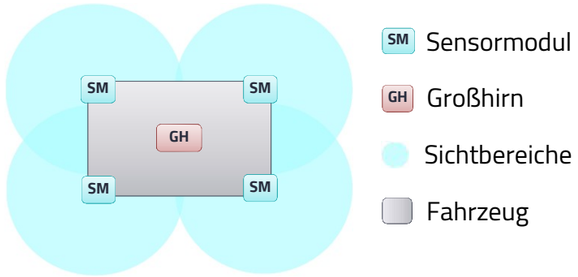
GEFÖRDERT VOM
Bundesministerium für Bildung und Forschung

Funktionale Systemarchitektur

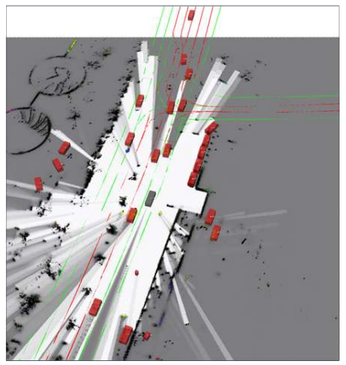


Wahrnehmungsbereich

- Ein Sensormodul an jeder Fahrzeugecke mit jeweils 270° Sichtbereich
- Datenvorverarbeitung und –fusion auf jedem Sensormodul
- Redundanz durch Überlappung der Wahrnehmungsbereiche
- Vollständiger Wahrnehmungsbereich selbst bei Ausfall eines Sensormoduls



Fahrzeugumgebungsmodell



- Fusion von Daten der vier Sensormodule
  - Sensormodul-Objektlisten zu einer gemeinsamen Objektliste
  - Sensormodul-Lokalisierungen zur Fahrzeuglokalisierung
  - Sensormodul-Belegungsrasterkarten zur dynamischen Belegungsrasterkarte
- Fähigkeitsbewertung ermöglicht sichere Datenfusion
- Servicearchitektur ermöglicht dynamische, manövergesteuerte Anpassung der Wahrnehmung
- Verarbeitung der Daten von Fahrzeugumgebungsmodell, Cloud und Stammhirn in der Verhaltens- und Trajektorienplanung

Großhirn: Fahrzeugumgebungsmodell

Hören Sie auch den Podcast zum Poster.

Fabian Gies
Universität Ulm
Institut für Mess-,Regel- und Mikrotechnik

Markus Schön
Universität Ulm
Institut für Mess-,Regel- und Mikrotechnik

Funktionale Systemarchitektur

Für die automatisierte Fahrfunktion der UNICARagil Fahrzeuge sind in der funktionalen Systemarchitektur die Sensormodule, das Großhirn, das Stammhirn und die Cloud essenziell.

Für die 360° Wahrnehmung der Umgebung wird im Großhirn das Fahrzeugumgebungsmodell berechnet. Hierzu werden die teilweise redundanten Sensorumgebungsmodelle der vier Sensormodule per 10 GBit/s Ethernet Verbindung an das Großhirn übertragen und im Fahrzeugumgebungsmodell fusioniert. Auf Basis des Ist-Zustands der Umgebung wird nachgelagert in der Verhaltens- und Trajektorienplanung das Fahrmanöver geplant und an das Stammhirn übermittelt. Zusätzlich zum Fahrzeugumgebungsmodell kann die Cloud weitere Informationen für eine vorausschauende Verhaltensplanung liefern. Die Fähigkeitsbewertung überwacht dabei die Qualität der einzelnen Dienste. Die Manöversteuerung kann abhängig von der aktuellen Situation eine Rückmeldung an die Sensormodule senden.

Wahrnehmungsbereich

Die vier Sensormodule sind an den Fahrzeugecken angebracht, wodurch jedes einen Sichtbereich von ca. 270° besitzt und sich zum Großteil mit benachbarten Sensormodulen überlappt. Werden alle vier Sensormodule im Fahrzeugumgebungsmodell fusioniert, ergibt sich eine Rundumabdeckung von 360° um das Fahrzeug. Durch die redundante Abdeckung wird gewährleistet, dass eine genauere Fusion ermöglicht wird. Zudem kann das Fahrzeugumgebungsmodell dadurch auch bei Ausfall eines Sensormoduls weiterhin bereitgestellt werden.

Fahrzeugumgebungsmodell

Das Fahrzeugumgebungsmodell besteht aus mehreren Teilkomponenten zur objektbasierten und rasterbasierten Repräsentation der Umgebung.

- Die Ergebnisse des Multi-Objekt-Trackings der einzelnen Sensormodule werden zu einer gemeinsamen Objektliste fusioniert. Diese enthält für jedes Objekt eine eindeutige ID, die dynamischen Eigenschaften des Objektes (Pose, Geschwindigkeit, Beschleunigung), die Objektausdehnung (Länge, Breite, Höhe), den Objekttyp, sowie eine Existenzwahrscheinlichkeit.
- Die videobasierte Lokalisierung der einzelnen Sensormodule werden zu einer Fahrzeuglokalisierung fusioniert. Mit der Lokalisierung können Elemente aus der digitalen Karte für die nachgelagerte Verhaltens- und Trajektorienplanung berücksichtigt werden. Die digitale Karte beinhaltet Infrastrukturelemente wie Fahrspuren, Stopplinien, Zebrastreifen, Ampeln und Verkehrszeichen.
- Die dynamische Belegungsrasterkarte wird durch Fusion der statischen Belegungsrasterkarten der einzelnen Sensormodule berechnet. Für die Detektion der dynamischen Bereiche wird ein Partikelfilter angewendet, der für jede Zelle, neben der Belegungswahrscheinlichkeit, eine Geschwindigkeit durch Einsatz des Constant-Velocity-Modells schätzt. Die dynamische Belegungsrasterkarte ermöglicht somit eine Detektion von dynamischen und statischen Hindernissen sowie die Bestimmung des befahrbaren Freiraums.

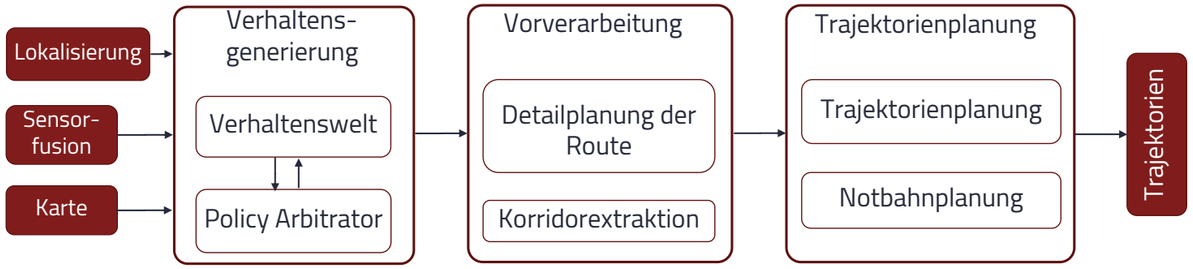
Plattformintegration
Universität Stuttgart
März 2020

Verhaltens- und Trajektorienplanung

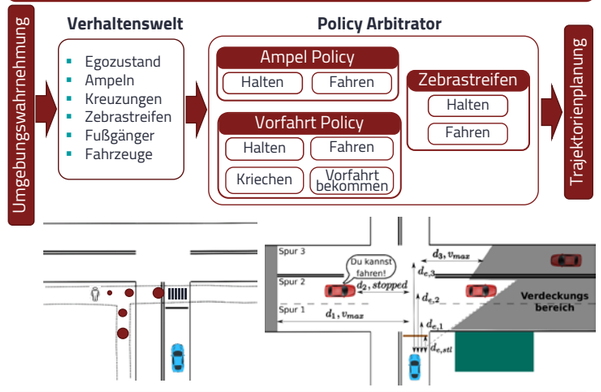
Lingguang Wang, Danial Kamran, Eduardo Molinos, Martin Lauer, Carlos Fernandez Lopez
Karlsruher Institut für Technologie, Institut für Mess- und Regelungstechnik

GEFÖRDERT VOM
Bundesministerium für Bildung und Forschung

Systemarchitektur

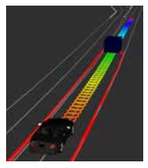


Verhaltensgenerierung

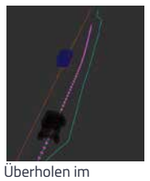


Trajektorienplanung

- Eingänge:
  - Egoposition, Objektliste, Route
  - Fahrdynamische Grenzen, gewählte Aktion der Verhaltensgenerierung
- Ausgang: 2d-Trajektorie

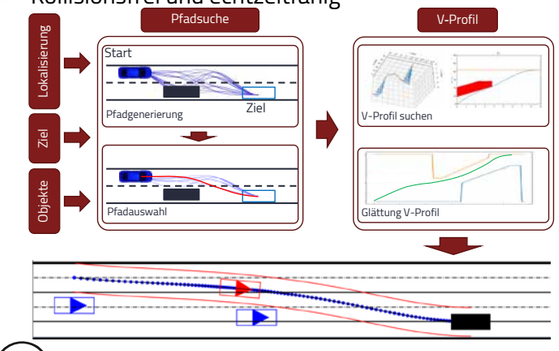

Folgefahren

Abbiegen


Überholen im eigenen Fahrstreifen

Notbahnplanung

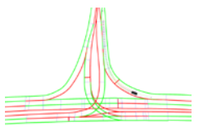
- Planung einer Bewegung in den sicheren Stillstand
- Kollisionsfrei und echtzeitfähig



OADF

Open Automated Driving Framework

- Modulares Softwareframework: Module können einzeln ausgetauscht und getestet werden
- Integration mehrerer Simulatoren


CoInCar-Simulator

CarMaker-Simulator

CARLA-Simulator

Verhaltens- und Trajektorienplanung

Hören Sie auch den Podcast zum Poster.

Danial Kamran
Karlsruher Institut für Technologie
Institut für Mess- und Regelungstechnik

Lingguang Wang
Karlsruher Institut für Technologie
Institut für Mess- und Regelungstechnik

Systemarchitektur

Die Verhaltens- und Trajektorienplanung funktioniert wie folgt:

- Eingang des Moduls ist die Position des Ego-Fahrzeugs und das Umfeldmodell.
- Die Verhaltensgenerierung wählt, abhängig von der aktuellen Situation, eine Verhaltens-Aktion aus verschiedenen Optionen aus, z. B. an einem Zebrastreifen anzuhalten.
- In der Vorberechnung wird die Referenztrajektorie für das Fahrzeug gewonnen. Sie besteht aus einer Folge von Fahrstreifenabschnitten, die das Fahrzeug befahren soll. Diese Abfolge berücksichtigt Hindernisse und Verkehrsregeln.
- Der letzte Schritt ist die Berechnung der eigentlichen Trajektorie. Zwei Modi werden unterschieden: Ein Normalmodus, der komfortable Trajektorien plant und ein Notfallmodus, in dem ein sicheres Anhalten für außergewöhnliche Situationen geplant wird.

Verhaltensgenerierung

Im Policy-Arbitrator gibt es eine Reihe von Aktionen, die für verschiedene Verkehrsszenarien verwendet werden, z. B. „Halten vor roter Ampel" oder „Halten vor Zebrastreifen für einen Fußgänger". Es gibt auch Szenarien, in denen das automatisierte Fahrzeug aufgrund verdeckter Bereiche langsam und vorsichtig fahren muss. Die Verhaltensgenerierung analysiert die Situation und wählt eine geeignete Aktion aus.

Trajektorienplanung

Die Trajektorienplanung berechnet eine Weg-Zeit-Linie (Trajektorie), entlang derer sich das Fahrzeug bewegen soll. Zunächst wird im Modul „Korridor-Extraktion" der befahrbare Raum ermittelt. Dies geschieht auf Basis der Karteninformationen, der im Umfeld befindlichen Objekte und deren Prädiktion. Anschließend wird eine Trajektorie berechnet. Die Berechnung basiert auf einem Optimierungsproblem, das gleichzeitig mehrere Ziele modelliert: Das Fahrzeug soll ausreichend Abstand zu anderen Objekten halten, mit angemessener, zügiger Geschwindigkeit fahren und hohe Beschleunigungen vermeiden.

Notbahnplanung

Ein vollständiges System für autonomes Fahren sollte immer einen „Plan B" haben, um im Fehlerfall sicher anhalten zu können. Hierzu muss ein sicherer Ort zum Anhalten sowie eine Notbahn zu diesem Ort bestimmt werden. Zunächst generiert der Planer eine Reihe von Bahnen zum Anhalteort. Aus den kollisionsfreien Bahnen wird diejenige ausgewählt, die am komfortabelsten ist. Anschließend berechnet der Planer ein Geschwindigkeitsprofil, das am Ende der Bahn die Geschwindigkeit 0 erreicht. Schließlich kann dem Stammhirn die Notbahn bereitgestellt werden.

Open Automated Driving Framework

Das Open Automated Driving Framework (OADF) ist ein in diesem Projekt entwickeltes Konzept, um die Entwicklung von Algorithmen zum automatisierten Fahren zu standardisieren. Wichtig ist die Modularität des Ansatzes: jede Komponente des automatisierten Fahrens kann ausgetauscht werden, sofern die Schnittstelle erhalten bleibt. Zudem arbeitet der Ansatz mit veschiedenen Fahrzeug-Simulatoren zusammen, z. B. CoInCar, Carla und CarMaker

Lokalisierung & Bewegungsregelung

Grischa Gottschalg M. Sc.
Prof. Dr.-Ing. Matthias Becker
FG Phys. Geodäsie und Satellitengeodäsie
Technische Universität Darmstadt
grischa.gottschalg@tu-darmstadt.de

Tobias Homolla M. Sc.
Prof. Dr. rer. nat. Hermann Winner
Fachgebiet Fahrzeugtechnik
Technische Universität Darmstadt
tobias.homolla@tu-darmstadt.de

Dr.-Ing. Jürgen Graf
Leiter R&D
iMAR Navigation GmbH
j.graf@imar-navigation.de
www.imar-navigation.de

GEFÖRDERT VOM
Bundesministerium für Bildung und Forschung

Fahrdynamikzustandsschätzung (FZS)

Aufgaben

- Bestimmung des Ist-Zustands der Fahrzeugbewegung
- Ausgabe von Qualitätskriterien zu Genauigkeit und Integrität
- Bereitstellung des Ist-Zustands über ASOA [1] u. a. an FTR

Hardware und Sensorik

- FZS-Steuergerät mit vier integrierten µController-Boards
- Fusion von Messdaten aus
  - zwei MEMS-IMUs
  - einem GNSS-Empfänger
  - Odometriesensorik

Software und Signalverarbeitung

- Zwei dissimilare Fusionsfilter von verschiedenen Entwicklergruppen
- Fusionsfilter verarbeiten Teilmengen der Sensordaten (siehe Abb. 1)
- Voter entscheidet anhand der von den Fusionsfiltern berechneten Qualitätskriterien zu Genauigkeit und Integrität über Ausgabegrößen
- Beispielhafte Darstellung von Fusionsfilter 1 durch Blockdiagramm in Abb. 2

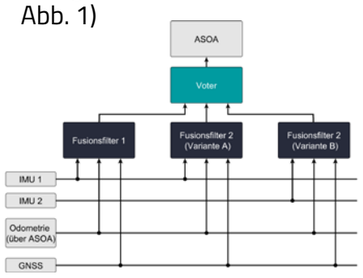


Abb. 1: Zuordnung der Fusionsfilter und Sensoren

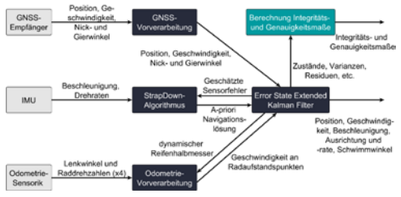


Abb. 2: Fusionsfilter 1 – Blockschaltbild (angelehnt an [2])

Fahrdynamik- und Trajektorienregelung (FTR)

Aufgaben

- Umsetzung der Soll-Trajektorie durch Generierung von Stellbefehlen für die Einzelradaktorik (Lenkung, Antrieb, Bremse)
- Sicherstellung der Fahrzeugstabilität
- Schätzung der fahrdynamischen Grenzen des Fahrzeugs als Rückmeldung an die Trajektorienplanung

Konzept

- Zwei-Freiheitsgrade-Struktur mit beschleunigungsbasierter Vorsteuerung und Zustandsrückführung
- Regelung der Pose sowie der beiden zeitlichen Ableitungen
- Funktionale Trennung der Trajektorienregelung von der Planung der Soll-Trajektorie
- Keine Kenntnis der Quelle der Soll-Trajektorie (Großhirn, Sicheres Anhalten, Leitwarte) notwendig

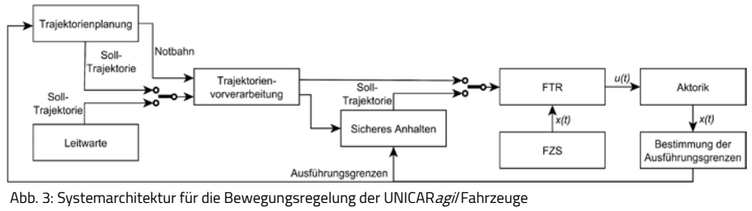


Abb. 3: Systemarchitektur für die Bewegungsregelung der UNICAR*agil* Fahrzeuge

Quellen

[1] T. Woopen et al., UNICARagil - Disruptive modulare Architektur für agile, automatisierte Fahrzeugkonzepte, 2018.

[2] B. Reuper et al., Benefits of Multi-Constellation/Multi-Frequency GNSS in a Tightly Coupled GNSS/IMU/Odometry Integration Algorithm, Sensors (Basel, Switzerland), vol. 18, no. 9, 2018.

Lokalisierung & Bewegungsregelung

Hören Sie auch den Podcast zum Poster.

Die Fahrdynamikzustandsschätzung (FZS) sowie die Fahrdynamik- und Trajektorienregelung (FTR) nutzen sowohl die dedizierte Stammhirn-Hardware (vgl. S. 60) als auch ein separates Steuergerät der Firma iMAR Navigation. Beide Funktionen verbinden die Planung im Großhirn mit der Aktorik im Rückenmark und setzen die im Großhirn geplanten Trajektorien um. Dabei werden die mechatronischen Besonderheiten der Fahrzeuge, wie die elektrische Einzelradaktorik und die hohen Lenkwinkel von bis zu 90°, genutzt, wodurch der Schwimmwinkel der Fahrzeuge ein unabhängiger Freiheitsgrad wird.

Die Aufgabe des Moduls **Fahrdynamikzustandsschätzung (FZS)** ist die Bestimmung des momentanen Ist-Zustands der Fahrzeugbewegung, bestehend aus Position, Geschwindigkeit, Beschleunigung, Ausrichtung (jeweils dreidimensional) und deren Rate sowie dem Schwimmwinkel und Zusatzparametern. Die Schätzergebnisse werden kontinuierlich mit Angaben zu den Qualitätskriterien Genauigkeit und Integrität versehen. Über die ASOA (vgl. S. 74) wird der Ist-Zustand u. a. der FTR zur Verfügung gestellt.

Die FZS wird auf eigener Hardware, dem FZS-Steuergerät mit vier integrierten µController-Boards (CPU: ARM Cortex-A8), ausgeführt und fusioniert Messdaten aus zwei integrierten diversitären MEMS-IMUs (IMU 1: mid performance, IMU 2: commercial grade), einem integrierten GNSS-Empfänger (NovAtel OEM7720: RTK, zwei Antennen, Multikonstellationen, Multifrequenz) sowie der Odometrie-Sensorik (Dynamikmodule senden Lenkwinkel & Raddrehzahlen für vier Räder über ASOA).

Auf Seiten der Software verarbeiten zwei dissimilare Fusionsfilter jeweils Teilmengen der Sensordaten und geben Genauigkeits- und Integritätsmaße aus, die ein Voter zur Entscheidung über die Ausgabegrößen verwendet (siehe Abb. 1 des Posters). Die Datenfusionsfilter werden von verschiedenen Entwicklergruppen parallel entwickelt, um die Wahrscheinlichkeit des gleichzeitigen Auftretens von verborgenen Designfehlern zu minimieren. Beispielhaft ist auf dem Poster in Abb. 2 das Blockdiagramm von Fusionsfilter 1 dargestellt.

Grischa Gottschalg
Technische Universität Darmstadt
FG Phys. Geodäsie und Satellitengeodäsie

Tobias Homolla
Technische Universität Darmstadt
Fachgebiet Fahrzeugtechnik

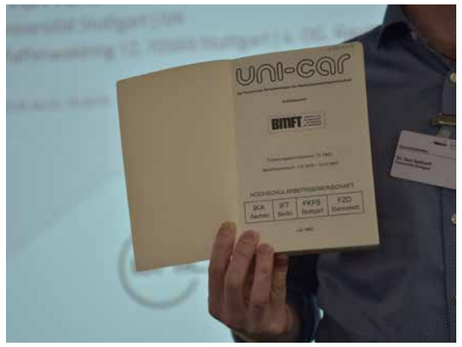
Dr. Jürgen Graf
iMAR Navigation GmbH
Leiter R&D

Die **Fahrdynamik- und Trajektorienregelung (FTR)** hat in erster Linie die aus verschiedenen Quellen (Großhirn, Sicheres Anhalten, Leitwarte) stammenden Soll-Trajektorien durch Ansteuerung der Dynamikmodule umzusetzen. Eine direkte Steuerung durch die Leitwarte wird ebenfalls angeboten. Bei allen Aufgaben ist die Stabilität des Fahrzeugs zu garantieren.

Die Aufgaben des Trajektorienplaners (im Regelfall Großhirn) sind von der Posenregelung getrennt, sodass die Planung grundsätzlich von der in früheren Schritten berechneten Sollpose ausgehen kann. Dafür wiederum benötigt die FTR eine zum Planer konsistente Zustandsschätzung, die von der FZS bereitgestellt wird. Ferner sind für die zukünftigen Planungen die fahrdynamischen Grenzen zu senden, sodass Regelung und Planung stimmige Trajektorien mit sehr geringen Abweichungen voneinander erzielen.

Für die Umsetzung der FTR wird eine Zwei-Freiheitsgrade-Struktur mit Vorsteuerung und Zeitkonstanten-gewichteter Zustandsrückführung (Pose, Geschwindigkeit und Beschleunigung) gewählt. Die überaktuierte Struktur ermöglicht die Integration sekundärer Zielsetzungen (z. B. Erhöhung der Kraftschlussreserve). Anstatt einer konventionellen Antriebsschlupfregelung werden radindividuelle Drehzahlgrenzen berechnet, die bei der Motorregelung in den Dynamikmodulen berücksichtigt werden.

Konsortialtreffen
Universität Stuttgart
September 2019



Technische Universität München

Leitwarte

Teleoperations- und Servicearbeitsplatz

Johannes Feiler M. Sc.
Lehrstuhl für Fahrzeugtechnik (FTM)
Technische Universität München
feiler@ftm.mw.tum.de

Simon Hoffmann M. Sc.
Lehrstuhl für Fahrzeugtechnik (FTM)
Technische Universität München
hoffmann@ftm.mw.tum.de

Dr. Frank Diermeyer
Lehrstuhl für Fahrzeugtechnik (FTM)
Technische Universität München
diermeyer@ftm.mw.tum.de

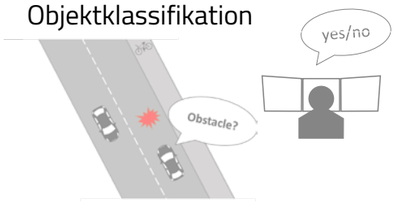
GEFÖRDERT VOM
Bundesministerium für Bildung und Forschung

Aufgaben der Leitwarte

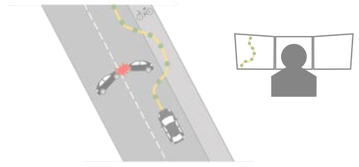
- Nofallkontakt zu Passagieren
- Erreichbarkeit für lokale Notfalldienste
- Flottenplanung
- Missions- und Routenplanung
- Fahrzeug Status Monitoring
- Fahrzeug erkennt Systemgrenze
- Anfrage bei Leitwarte
- Teleoperation über unterschiedliche Modi

Modi der Teleoperation

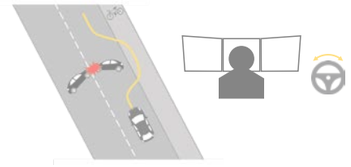
Objektmodifikation
Teleoperator beurteilt die Richtigkeit der Objektklassifikation



Pfadplanung
Teleoperator gibt einen Pfad vor und überwacht die Ausführung



Direkte Steuerung
Teleoperator gibt Lenkradwinkel und Geschwindigkeit vor



Teleoperationsoberfläche

- Beliebig konfigurierbare Videostreams
- Darstellung und grafische Überlagerung von Kamera und Lidardaten
- Auswahl unterschiedlicher Eingabegeräte
- Latenzreduktion und Latenzmessung

Leitwartenbedienoberfläche

- Iterative Entwicklung nach ISO 9241-210
- Darstellung von Fahrzeugflotte auf Karte
- Auswahl der Fahrzeuge zum Monitoring technischer Details

Leitwarte

Hören Sie auch den Podcast zum Poster.

Der Leitwarte kommt insofern eine hohe Bedeutung zu, als sie den Betrieb der automatisierten Fahrzeuge verantwortet. Die Leitwarte erfüllt dabei drei Aufgabenbereiche:

- das **Fahrzeug-Status-Monitoring**,
- die **Erreichbarkeit** für Kunden und Notfalldienste
- und die **Fernbehebung technischer Schwierigkeiten**.

Beim **Fahrzeug-Status-Monitoring** werden kontinuierlich Informationen wie die Position oder allgemein die Gesundheit des Fahrzeugs bewertet. Abweichungen oder technische Einschränkungen werden bei ihrem Auftreten entdeckt. Es können entsprechende Maßnahmen wie die Teleoperation eingeleitet werden.

Die Leitwarte steht als **zentraler Ansprechpartner** für Kunden und Notfalldienste zur Verfügung. Über einen Notfallknopf – wie sie in Zügen oder Aufzügen verbaut sind – kann aus den UNICARagil-Fahrzeugen eine Kommunikation mit der Leitwarte initiiert werden.

Die **Teleoperation** ist ein fester Konzeptbestandteil des automatisierten Mobilitätssystems. Die Teleoperation kommt zum Einsatz, wenn die automatisierten Fahrfunktionen eine Systemgrenze erreichen und eine sichere Weiterfahrt nicht mehr gewährleistet werden kann. In diesen Situationen bremst das automatisierte Fahrzeug ab und zieht im Stillstand die Leitwarte zur Unterstützung hinzu. Dort analysiert die Person am Servicearbeitsplatz die Situation und unterstützt anschließend über verschiedene Teleoperationsmodi das Fahrzeug.

Der menschliche Operator kann die **Objektklassifikation** des Fahrzeugs **modifizieren**, wenn eine zuverlässige und sichere Objektklassifikation nicht gewährleistet werden kann. In dieser Situation kann vom Fahrzeug nicht eindeutig entschieden werden, ob das vorliegende Objekt überfahren werden kann. Beispiele dafür sind ein zusammengeknülltes Zeitungspapier, ein Ast oder Objekte, die gar nicht vorhanden sind, also sogenannte Geisterobjekte.

Dr. Frank Diermeyer
Technische Universität München
Lehrstuhl für Fahrzeugtechnik

Johannes Feiler
Technische Universität München
Lehrstuhl für Fahrzeugtechnik

Simon Hoffmann
Technische Universität München
Lehrstuhl für Fahrzeugtechnik

Falls dem automatisierten Fahrzeug mit Hilfe der Objektmodifikation das Weiterkommen nicht ermöglicht werden kann, greift der Operator auf andere Steuerungsarten zurück. Diese sind im UNICARagil-Projekt eine **pfadbasierte Steuerung** und eine **direkte Steuerung**. Bei der pfadbasierten Steuerung gibt der Operator Wegpunkte vor und überwacht anschließend die fahrzeugseitige Bewegung entlang der Wegpunkte. Die direkte Steuerung ist die letzte Rückfallebene und wird nur eingesetzt, falls das Fahrzeug nicht mehr ausreichend Fähigkeiten für eine pfadbasierte Steuerung besitzt. Der Grund dafür können Einschränkungen der fahrzeugseitigen Lokalisierung sein. Der Operator bedient das Fahrzeug über Lenkrad und Pedalerie. Es wird dabei nur im langsamen Geschwindigkeitsbereich gefahren.

Um den Operator während der direkten und latenzbehafteten Steuerung mit den notwendigen Informationen zu versorgen, wurde ein latenzreduziertes Operatorprogramm zur grafischen Überlagerung von Kamera- und Lidardaten entwickelt. Ebenfalls wird die Leitwartenbedienoberfläche zur Darstellung der Fahrzeugflotte und deren Status realisiert.

Cloud-Dienste

Kollektives Umfeldmodell und Kollektives Gedächtnis

Bastian Lampe, Timo Woopen, Till Beemelmanns, Raphael van Kempen
Institut für Kraftfahrzeuge (ika) – RWTH Aachen University
{Vorname.Nachname}@ika.rwth-aachen.de

GEFÖRDERT VOM
Bundesministerium für Bildung und Forschung

Übergeordnete Ziele

Vermeidung kritischer Situationen

- Erweiterung der Wahrnehmung
- Quantifizierung und Verbesserung der Zuverlässigkeit der Prädiktion und Perzeption

Kooperatives Lernen

- Kontinuierliches Sammeln von Daten
- Kombinieren der Daten zur Modellbildung
- Modelle zur Prädiktion und Perzeption

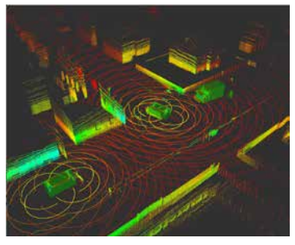
Collective Environment Model

- **Kombinieren** von Daten zu Umfeldmodellen, Fahrzeugzuständen und zur Verhaltensplanung
- **Durchführen** von kooperativer **Objekterkennung**, kooperativem **Multi-Objekt Tracking** und kooperativer **Verhaltensprädiktion**

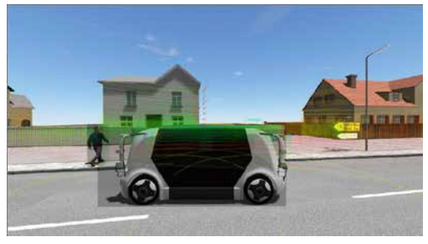
Collective Memory

- **Erkennen** relevanter Szenarien zum Lernen
- **Sammeln** von Daten zu Umfeldmodellen, Fahrzeugzuständen und zur Verhaltensplanung
- **Lernen** von Prädiktions- und Perzeptionsmodellen aus relevanten Szenarien

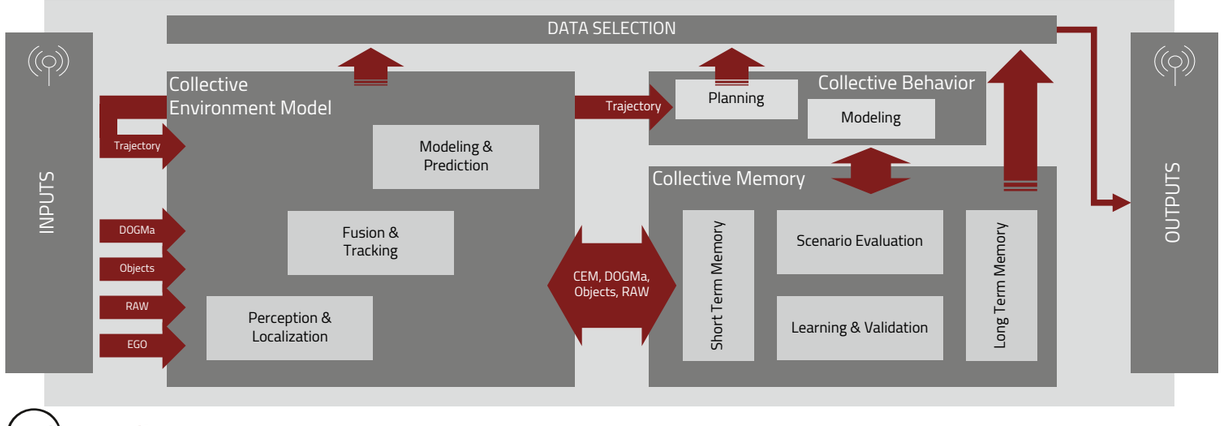
Simuliertes Szenario mit verdecktem Fußgänger



Sensorsimulation zweier autoSHUTTLEs an einer Kreuzung



Das autoSHUTTLE lässt den Fußgänger passieren



Cloud-Dienste

Hören Sie auch den Podcast zum Poster.

Bastian Lampe
RWTH Aachen University
Institut für Kraftfahrzeuge

Die Software-Komponenten Collective Environment Model und Collective Memory stellen Cloud-Dienste bereit, die Fahrzeuge bei der automatischen Durchführung der Fahraufgabe unterstützen können.

Dabei werden zwei zentrale Ziele verfolgt. Erstens sollen kritische Situationen nicht nur gut gemeistert werden, sondern im besten Fall gar nicht erst auftreten. Zweitens soll es einer Flotte von Fahrzeugen ermöglicht werden, automatisiert aus Erfahrungen zu lernen.

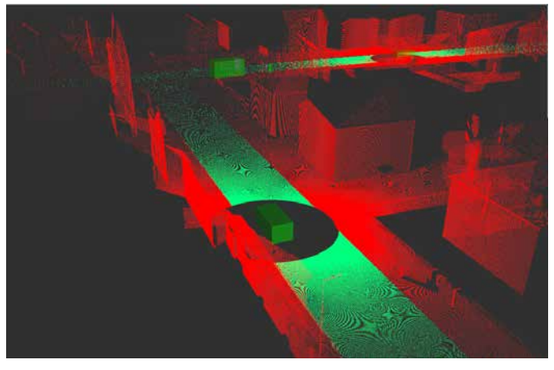
Das Collective Environment Model verfolgt vor allem das erste Ziel, die Vermeidung von kritischen Situationen. Es erweitert die Wahrnehmung einzelner Fahrzeuge, indem es Daten verschiedener Fahrzeuge kombiniert. Ein Objekt, das für ein automatisiertes Fahrzeug verdeckt ist, ist für ein anderes möglicherweise gut sichtbar. Das Collective Environment Model ist in der Lage, die Wahrnehmung beider Fahrzeuge zu kombinieren. Auch das Kombinieren von Sensordaten ist denkbar, sobald eine hinreichend schnelle Übertragung und Prozessierung technisch möglich sind. Dafür wird vor allem das 5G Mobilfunknetz benötigt.

Das Collective Memory verfolgt vor allem das zweite oben genannte Ziel, nämlich das Lernen aus Erfahrungen. Gelernt werden können eine szenarienabhängige optimierte Trajektorienwahl, die Erkennung von Objekten und die Prädiktion von zukünftigem Verhalten. Das Collective Memory profitiert bei diesen Lernprozessen von den großen Datenmengen, die in der Cloud gespeichert werden können. Hierdurch sind Machine-Learning-Methoden anwendbar, welche auf große Datenmengen angewiesen sind. Durch die intelligente Kombination von Daten verschiedener Fahrzeuge können automatisiert Trainingsdaten erzeugt werden, die vorhandene Perzeptions- und Prädiktionsmodelle weiter verbessern.

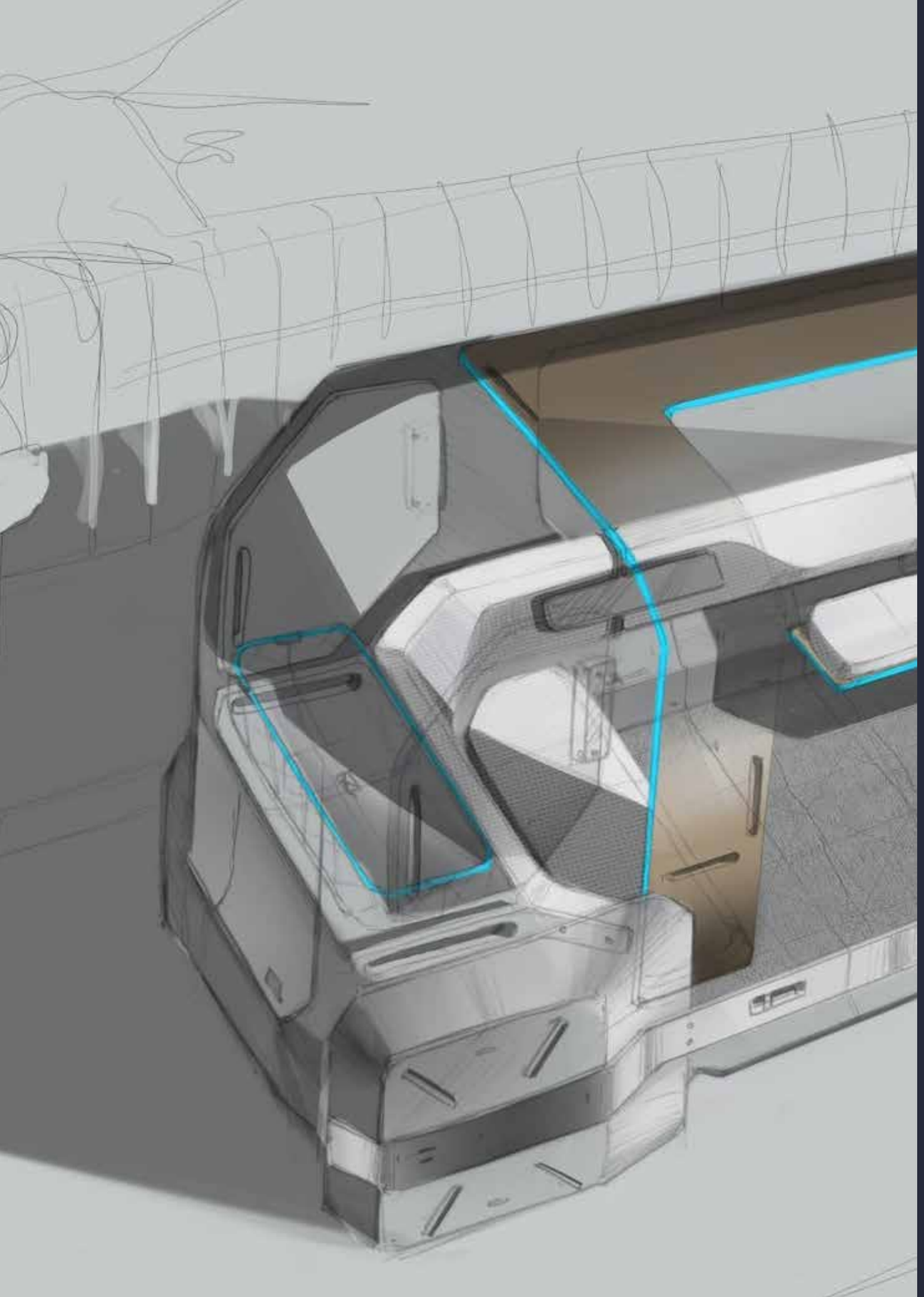
Da auch Cloudspeicher nicht unbegrenzt ist und die Menge an Daten von automatisierten Fahrzeugen in Zukunft weiter zunehmen wird, findet auch im Collective Memory eine Vorauswahl von Daten im sogenannten Short Term Memory statt. Hier wird analysiert, welche Kombination von Daten sich zum Lernen eignet und in das Long Term Memory überführt werden sollte. Durch diese intelligente Vorauswahl ist das Konzept auch auf größere Fahrzeugflotten skalierbar.

Das Erlernen der Trajektorienplanung ist im Collective Memory möglich, indem gefahrene Trajektorien kontinuierlich gespeichert und hinsichtlich Sicherheit, Effizienz sowie Komfort analysiert werden. Eine Auswahl gut bewerteter Trajektorien kann anschließend zur Generierung von szenarienspezifischen Trajektorienempfehlungen genutzt werden.

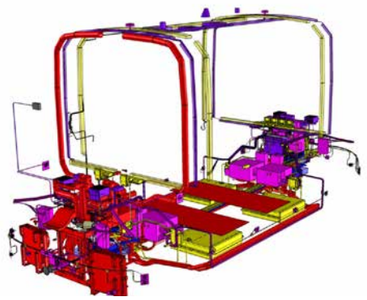
Bei der weiteren Entwicklung stehen neben den Komponenten selbst die Effizienz der Komponenten und die Nutzung von 5G im Vordergrund, um eine latenzarme Anbindung an die UNICARagil-Fahrzeuge zu ermöglichen. Außerdem wird eine Simulationsumgebung entwickelt, mit der das Zusammenspiel der Cloud-Dienste mit verschiedenen Fahrzeugen bereits vor deren Fertigstellung getestet werden kann.



Simulierte Ground-Truth-Punktwolken als Referenzdaten



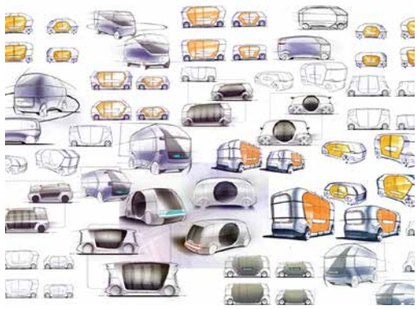
Geometrische Gestaltung und Mensch-Maschine-Interaktion



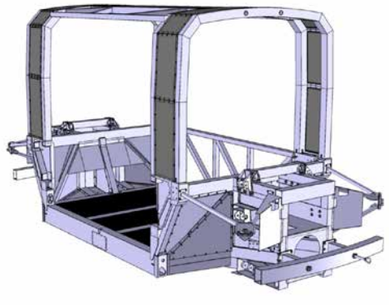
Technisches Package

Interieur Ideation autoELF

UNICARagil Newsletter | Sonderausgabe Halbzeitevent



Exterieurskizzen



Strukturkonstuktion

Torben Böddeker - Domänenkoordinator für den Bereich Geometrie - im Interview

Was ist die Kernaufgabe der Domäne „Geometrische Gestaltung“?

Ziel von UNICARagil ist es, die Architekturen autonomer Fahrzeuge neu zu denken. Somit werden in allen Bereichen – von der Sensorik über die Energieversorgung bis hin zu den Innenraumkonzepten – alle Teilsysteme neu gedacht. Die Kernaufgabe der Domäne Geometrie besteht nun darin, die konzeptionelle Arbeit der einzelnen Gewerke und die daraus resultierenden geometrischen Anforderungen zu koordinieren. Die Herausforderung hierbei ist, die Teilergebnisse in einen Modulbaukasten zu überführen, aus dem dann vier Beispiel-Derivate abgeleitet werden. Daraus ergeben sich für die geometrische Gestaltung folgende Schwerpunkte:

1. Fusionieren der erarbeiteten Konzepte aus geometrischer Perspektive. Das heißt, geometrische Zielkonflikte aufzeigen und auflösen, die Einzelsysteme in ein modulares Package überführen und die Systementwicklungen mit einem agilen Gewichtsmanagement begleiten. Daraus resultieren klare Bauraumdefinitionen und Gewichtsziele für Komponenten und Teilsysteme.

2. Erarbeiten der Fahrzeugausprägungen. Auf Basis von Nutzerstories werden Hauptanforderungen definiert. Über Nutzerworkshops und Kreativmethoden werden Innenraumkonzepte erarbeitet und ergonomisch/technisch ausgelegt. Dies beinhaltet auch innovative Zugangskonzepte. Auf Basis der Ergebnisse werden Interieur-Designs angefertigt. Ergebnisse sind, neben den Innenraumkonzepten der einzelnen Derivate, die Ableitung von geometrisch/strukturellen Anforderungen der einzelnen Fahrzeugausprägungen an den Strukturbaukasten.

3. Entwickeln der individuellen Interieur- und Exterieur-Designs. Parallel zur technischen Konzeptionierung wird früh im Entwicklungsprozess mit einem Designwettbewerb eine grobe Formsprache entwickelt. Diese wird iterativ entlang der Struktur und Innenraumkonzeptionierung ausgearbeitet. Fokus in der Gestaltung liegt auf Modularität und Funktionalität - Maximieren der Gleichteile über alle vier Derivate und bestmögliche Funktionalität der Umfelderfassung als Grundvoraussetzung der Automatisierung.

4. Ausarbeiten eines modularen Strukturbaukastens. Die Innenraumkonzepte und das technische Package bilden hierbei die Basis für das Strukturkonzept.

5. Aufbauen der vier Prototypen. Die vier Derivate werden auskonstruiert, bezogen auf strukturelle Integrität virtuell geprüft und in Hardware aufgebaut.

Sie sprechen von einem Baukastensystem, was genau kann man sich darunter vorstellen?

Ein Baukastensystem bezeichnet in der Konstruktionsmethodik ein System, in dem „die jeweils geforderte Funktionsvariante durch Kombination festgelegter Einzelteile und/oder Baugruppen (Funktionsbausteine) aufgebaut wird.“ (nach Feldhusen, Pahl/Beitz)

Übertragen auf das Projekt UNICARagil heißt dies vereinfacht, verschiedene Fahrzeugausprägungen durch unterschiedliche Kombination von Struktur- und Mechatronikmodulen oder -bauteilen umzusetzen.

Ziel ist es, Modularität auf allen Ebenen der Geometrie zu denken und – wo möglich – Gleichteile zu maximieren. Ausgehend von der mechatronischen Architektur werden die Hardwarekomponenten einzelnen Gewerken/Funktionen (Fahrwerk/Antrieb, Energieversorgung, Umfelderfassung, etc.) zugeordnet und diese dann in klar umgrenzten Bauräumen positioniert. Eine einfache Updatefähigkeit einzelner Hardwaremodule bzw. -funktionen über den Produktlebenszyklus und weiterhin eine einfache Wiederverwendung der Module über die Fahrzeugausprägungen hinweg wird fokussiert.

Können Sie das Prinzip der „modularen“-Gestaltung an ein paar Beispielen am Fahrzeug erläutern?

Exemplarisch können hier die Sensormodule und die Dynamikmodule genannt werden. Die einzelnen Sensoren der Umfelderfassung werden in einem geometrischen Modul mit klaren Schnittstellen zusammengefügt. Dieses Modul kann zum einen innerhalb eines Fahrzeuges als auch in allen abgeleiteten Derivaten eingesetzt werden. Weiter ist es möglich, das Modul auszutauschen und einzeln zu ersetzen. Gleiches gilt für die Dynamikmodule, in denen die Funktionen Antrieb, Lenkung, Federung und Bremsen in ein Modul überführt werden. Auch hier ist über klare Schnittstellen sowohl die Wiederverwendbarkeit als auch eine einfache Updatefähigkeit gegeben.

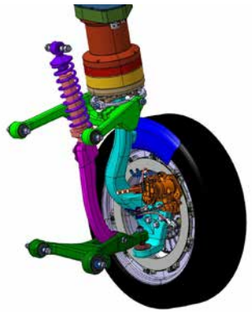
Der Ansatz der Modularität wird auch auf die Außenhaut und das Strukturkonzept übertragen. Vorder- und Hinterwagen der Fahrzeuge sind beispielsweise bis auf die Fahrwerksanbindungspunkte identisch und können als Baugruppen sowohl innerhalb einer Ausprägung als auch über die Fahrzeugausprägungen hinweg wiederverwendet werden. Durch eine Skalierung der zentralen Längsträger kann der Randstand und die Gesamtlänge adaptiert werden. Die Aufbaustruktur ist ebenfalls über Hauptträger in Höhe und Länge skalierbar und in sich doppeltsymetrisch aufgebaut. Somit können sowohl Bauteile innerhalb einer Baugruppe, als auch die Hutstruktur im Gesamten als adaptierte Baugruppe in allen Fahrzeugausprägungen wiederverwendet werden.

Bezogen auf die Fahrzeugaußenhaut werden Hauptbaugruppen definiert, welche in allen vier Fahrzeugen wiederverwendet werden. Zur Komplettierung werden einzelne Sondermodule mit klaren Schnittstellen ergänzt, um die Längen- und Höhenunterschiede der Hauptstruktur in der Außenhaut zu kompensieren.

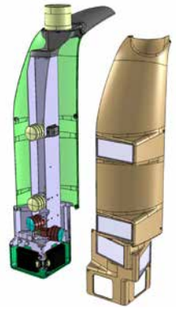
Auch jetzt nutzen Automobilhersteller schon dieselbe Plattform für verschiedene Fahrzeugderivate. Wo liegen die Unterschiede im Vergleich zu UNICARagil?

Es ist schwer, die bestehenden Plattformstrukturen direkt mit dem Ansatz der UNICARagil-Fahrzeuge zu vergleichen. Grundsätzlich ist die Art des Baukastensystems immer eine Folge der existierenden und/oder definierten Rahmenbedingungen. Soll heißen: In der Automobilbranche spielen Anforderungen der

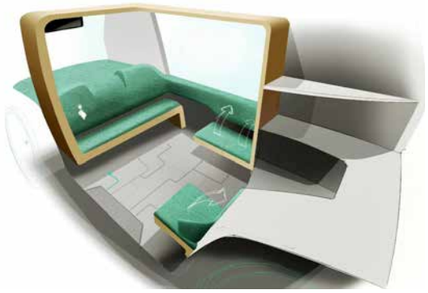
UNICARagil Newsletter | Sonderausgabe Halbzeitevent



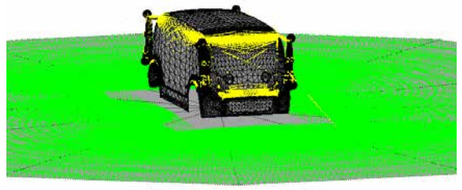
Dynamikmodul



Sensormodul (geöffnet)



Nutzerzentrierte Innenraumgestaltung



Sichtfeldanalyse

Serienfertigung, der individuellen Fertigungstiefe und der Technologieschwerpunkt des Herstellers eine entscheide Rolle. Dies sind alles Faktoren, die im Rahmen des Projektes nicht betrachtet werden. Außerdem muss hier eine klare Differenzierung zwischen Konzeptentwicklung und Prototypenbau gemacht werden. Durch die kurze Projektlaufzeit und die radikale Neuentwicklung nahezu aller technischen Systeme liegt der Schwerpunkt auf einem kosteneffizienten Prototypenbau. Die Potentiale einer systematischen Baukastenentwicklung werden nicht auf einen definierten Zielmarkt hin fokussiert, sondern schwerpunktmäßig auf die Rahmenbedingungen des Prototypenbaus hin optimiert. Dennoch werden alle technischen Systeme und auch die gesamte Struktur unter der Zielsetzung der Modularität entwickelt. Wo wirtschaftlich und vor allem zeitlich möglich, wurden Funktionen isoliert und systematisch in geometrische Module überführt.

Die abweichenden Entwicklungstiefen und die stark divergierenden Fokussierungen machen eine direkte Vergleichbarkeit somit schwierig. Gleichzeitig bietet gerade der Wegfall von konventionellen Rahmenbedingungen große Potentiale innerhalb der eigentlichen Fahrzeugkonzeptionierung.

Sie haben ja bereits von einigen Potentialen gesprochen, die sich aus Ihrem Ansatz ergeben. Können Sie diese näher erläutern?

Eine entscheide Innovation im Vergleich zu klassischen Fahrzeugentwicklungen liegt dabei in dem methodischen Vorgehen. Autonome Fahrzeuge bieten durch den Wegfall der Fahraufgabe ganz neue Freiheiten in der Innenraumgestaltung. Durch die Kombination aus Elektrifizierung und Funktionszusammenführung der fahrdynamikrelevanten Teilfunktionen in den Dynamikmodulen können die Fahrzeuge von innen nach außen neu gedacht werden. Restriktionen durch konventionelle Antriebstopologien oder festgelegte Ergonomievorgaben gibt es nicht mehr. Die Fahrzeuge werden somit um die Nutzer bzw. Nutzung herum entwickelt. Eine zweite Innovation ist getrieben durch die geometrischen Anforderungen der Automatisierung. Auch hier wird die Funktion in den Fokus gestellt. Anstatt die nötigen Sensoren in einen formalen Entwurf zu integrieren – was zu Kompromissen bezüglich des Sichtfeldes führen würde – wird ein Sensorkonzept entworfen und das Design iterativ der Funktion angepasst.

Dominanter Treiber der Fahrzeugentwicklung sind somit nicht imagegeprägtes Design, ergonomische Anforderungen resultierend aus der Fahraufgabe und geometrische Restriktionen der Antriebstopologie, sondern funktionale Gestaltung mit den Schwerpunkten auf Nutzerzentrierung, Automatisierung und Modularität gemäß dem Ansatz „Form Follows Function".

Wo liegen die größten Herausforderungen aus geometrischer Sicht?

Bezogen auf das Projekt UNICARagil bestand die Herausforderung einen Baukasten zu entwickeln, der den Anforderungen vier stark divergierender Fahrzeugausprägungen bestmöglich entspricht. Die strukturellen und ergonomischen Anforderungen eines privaten autmatisierten Pkw unterscheiden sich diametral von denen eines Shuttles oder Lieferwagens.

Weiterhin ergaben sich stark parallelisierte Entwicklungsprozesse. Im Vergleich zu konventionellen Fahrzeugentwicklungen sind nahezu alle Hardwarekomponenten Neuentwicklungen und Vorgängerfahrzeuge als Referenz für Teilsysteme existieren nicht. Im Rahmen des Projektes werden somit alle bauraumrelevanten Teilsysteme parallel zum Design und der Struktur entwickelt. Es ist somit entscheidend, sich von klassischen Entwicklungsmethoden wie dem Wasserfallmodell mit klar definierten Lastenheften zu lösen und iterativ über agile Prozesse die Teilkomponenten in ein geometrisches Gesamtkonzept konvergieren zu lassen.

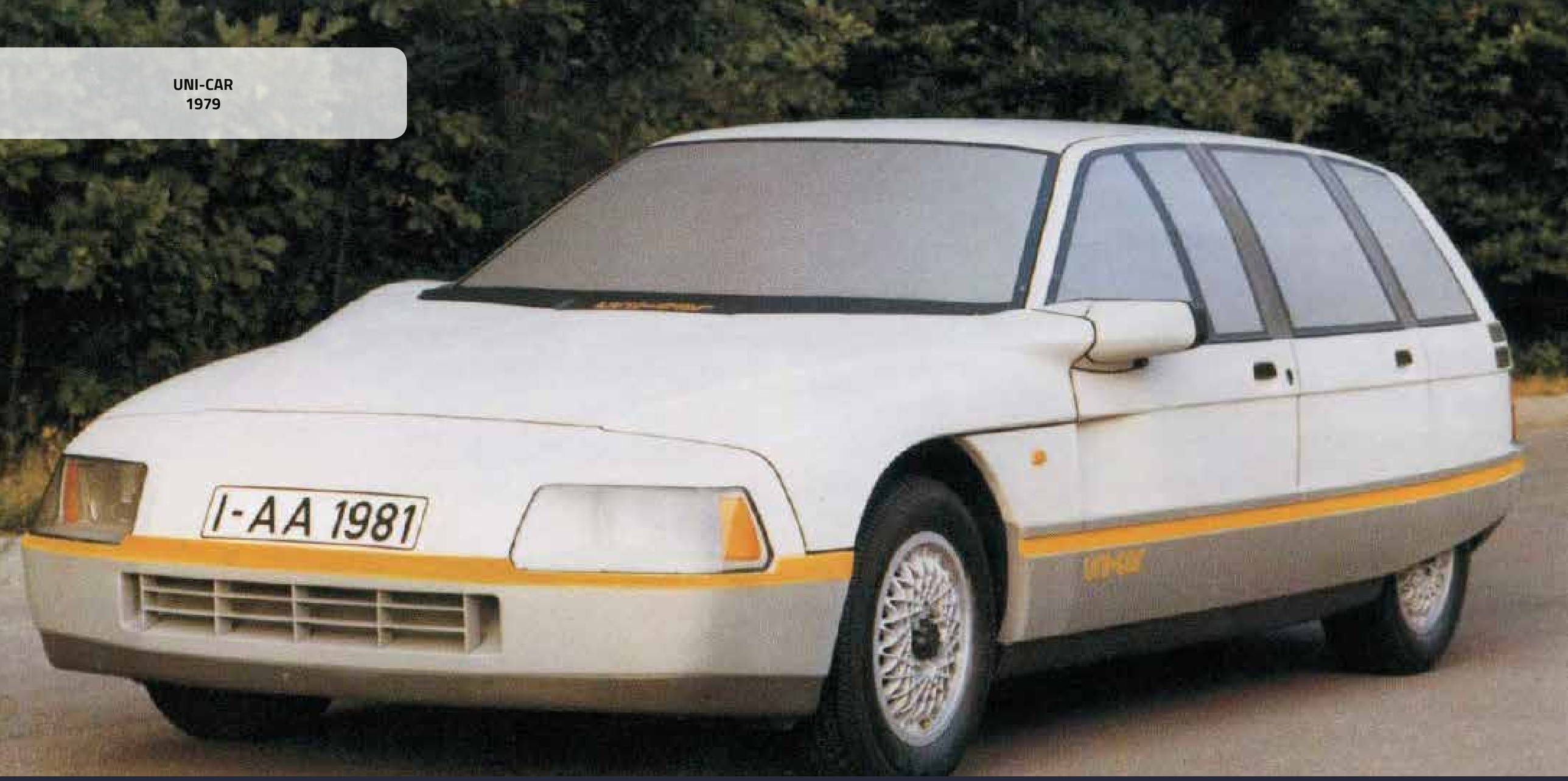
Dritter aber entscheidender Punkt ist der zeitliche Rahmen des Projektes. Vom weißen Blatt Papier bis zur Fertigung der ersten Strukturen waren 14 Monate eingeplant. Es war somit unumgänglich. frühzeitig fundierte Annahmen zu treffen und zielführende Kompromisse zwischen Designfreiheit in der Komponenten- bzw. Funktionsentwicklung und der geometrischen Effizienz im Sinne von Bauraumausnutzung und Leichtbau zu finden. Ziel im Rahmen des Projektes ist immer ein sicherer Betrieb der finalen Fahrzeuge.

Fassen wir zusammen: Was sind die Innovationen aus Perspektive der Domäne Geometrie?

Die Hauptinnovationen sind die Harmonisierung aller technischen und geometrischen Anforderungen, die sich aus den neu gedachten Architekturen und den vom Privat-Pkw bis zum Lieferwagen stark divergierenden Use-Cases ergeben, in einem modularen Strukturbaukasten. Weiter hervorzuheben ist die Funktionszentrierung im Entwicklungsprozess. Die Fahrzeuge werden nutzer- bzw. nutzungszentriert unter den Hauptzielen Automatisierung und Modularität entwickelt.

Hören Sie sich das Interview online an!

UNI-CAR
1979



uni-car

Demonstration automobiltechnischer Forschungsergebnisse in integrierten Gesamtkonzepten von Pkw-Versuchsmodellen

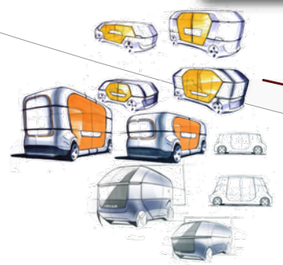
1979 - 1982
32 Mio. DM
4 Universitäten
das Auto für 2000

Skalierbarer modularer Strukturbaukasten

Von der Anforderungsermittlung bis zum Hardwareaufbau

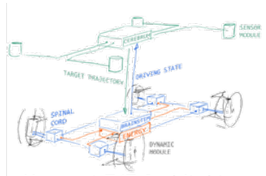
GEFÖRDERT VOM
Bundesministerium für Bildung und Forschung

Anforderungsermittlung | **Konzeptentwurf** | **Konstruktion und Absicherung**



Exterieur Design Wettbewerb

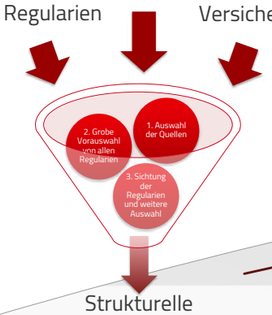
Nutzerzentrierte Innenraumkonzepte



Konzept E/E Architektur

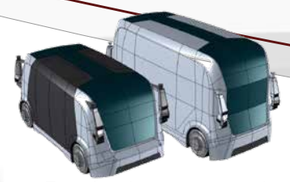
Verbraucherschutz

EU Regularien | Versicherungen



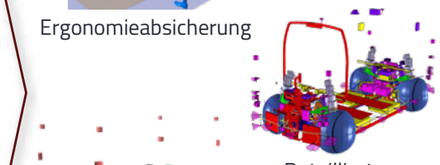
Strukturelle Basisanforderungen

Hutstruktur



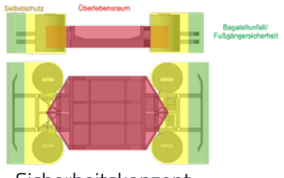
Exterieurflächenentwurf

Ergonomieabsicherung



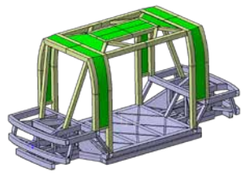
Detailliertes Packagemodell

Packageentwurf

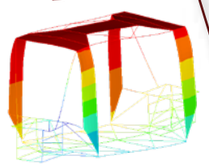


Sicherheitskonzept

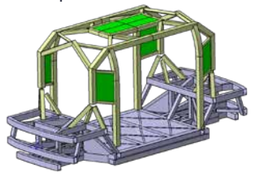
Topologieoptimierung

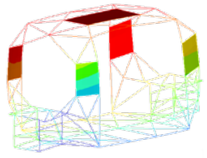


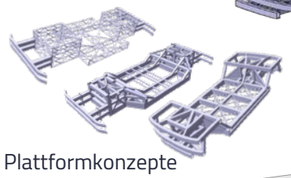
Konzeptkonstruktionen



Optimierung

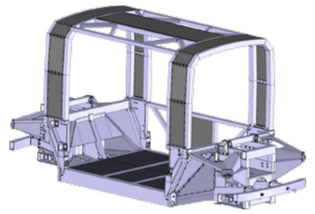






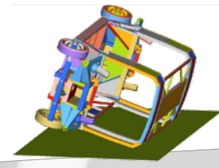
Plattformkonzepte

Plattformstruktur



Finale Tragstruktur

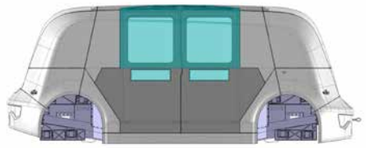
Frontalcrash 30km/h

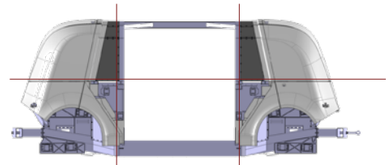


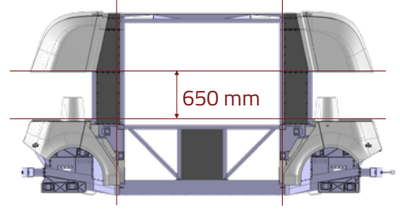
Rollover nach ECE-R66

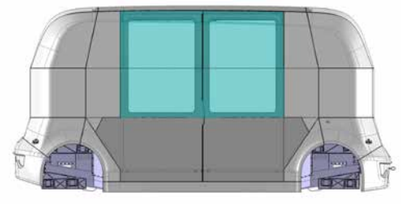
autoELF

autoTAXI









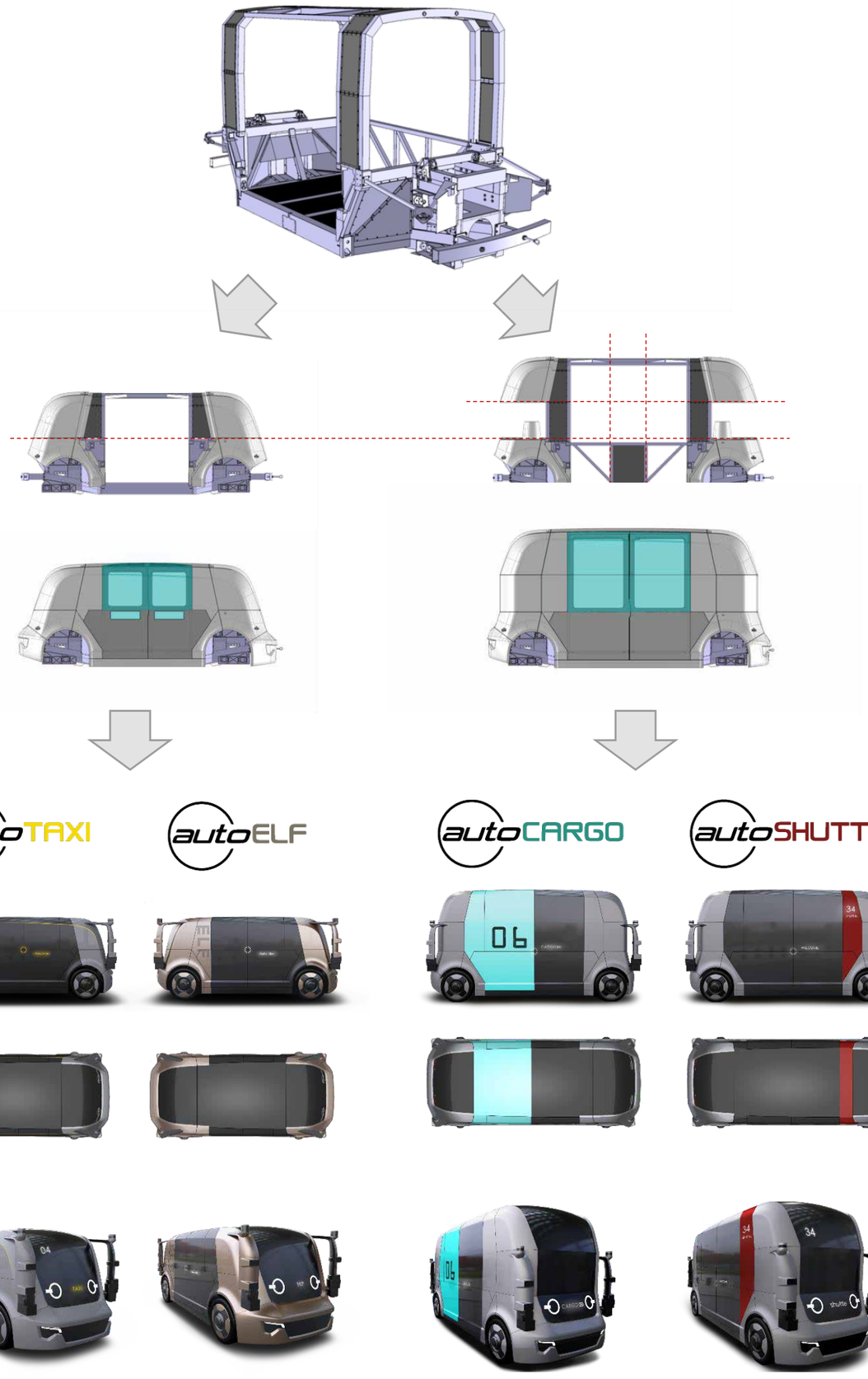
autoCARGO

autoSHUTTLE

Claus Bertram Heinrich Bonerz M. Sc.; Torben Böddeker M. Sc.; Philipp Guthausen, M. Sc.;
Dipl.-Ing. Jan Ludwig; David Merdivan M. Sc.: Andrej Oberdörfer M. Sc.;
Lars Piekenbrinck M. Sc.; Sebastian Spohr, M. Sc.; Dipl.-Ing. Rainer Wolsfeld;
Institut für Kraftfahrzeuge, RWTH Aachen University

unicaragil

RWTH AACHEN UNIVERSITY | Technische Universität Braunschweig | TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT | TUM | KIT | ulm university universität uulm | Universität Stuttgart | UNIVERSITÄT PASSAU | atlatec | fly drive | IMAR | IPG | VIRES | SCHAEFFLER | MAXION WHEELS | Valeo



Skalierbarer modularer Strukturbaukasten

Hören Sie auch den Podcast zum Poster.

Torben Böddeker
RWTH Aachen University
Institut für Kraftfahrzeuge

Im Rahmen des Projektes werden vier Fahrzeuge konzipiert, konstruiert, virtuell erprobt und final in Hardware aufgebaut. Das strukturelle Grundgerüst bildet hierbei ein modularer Strukturbaukasten. Ziel in der Entwicklung ist das Fahrzeug unter den sich verändernden Rahmenbedingungen von Automatisierung konsequent neu zu denken.

Startpunkt der Entwicklung ist eine eingehende Recherche bestehender Anforderungen kommend aus EU Regularien sowie Verbraucher- und Versicherungstests. Die vier Fahrzeuge werden zur ersten Annährung in bestehenden Fahrzeugkategorien eingeordnet und strukturelle Basisanforderungen definiert. Weiter werden die ersten Konzeptideen, kommend auf der Mechatronischen Architektur und den Hardwareanforderungen der Automatisierung, in einen ersten technischen Packagentwurf überführt. Als dritter Grundpfeiler des Strukturentwurfes werden über Nutzerbefragungen sowie Nutzerworkshops die Use-Cases der vier fokussierten Derivate ausdetailliert und ebenfalls strukturelle Anforderungen abgeleitet. Betont sei hier, dass der Strukturentwurf nicht auf die vier definierten Anwendungsfälle limitiert ist, sondern diese vielmehr als Anwendungsbeispiele dienen. Konzeptionell können innerhalb definierter Abmaße eine Vielzahl weiterer Fahrzeugderivate abgeleitet werden. Entscheidende Vorgaben aus der Use-Case Betrachtung sind für die personenbefördernden Fahrzeuge (autoELF, autoTAXI und autoSHUTTLE) die Insassenergonomien sowie Zugangskonzepte (mehr dazu finden Sie in den Kapiteln über die Innenraumkonzepte und der Vorstellung der Türsysteme). Bezogen auf den autoCARGO werden geometrische und strukturelle Anforderungen kommend von der Handhabungstechnik sowie der Be- und Entladestrategie abgeleitet. Als letzten Grundpfeiler sei hier der Exterieurdesignentwurf genannt. Ausgehend von den vier Anwendungsfällen und unter den Hauptzielen Automatisierung und Modularität beginnt die Designfindung von ersten Moodboards über Sketches bis hin zum KeySketch.

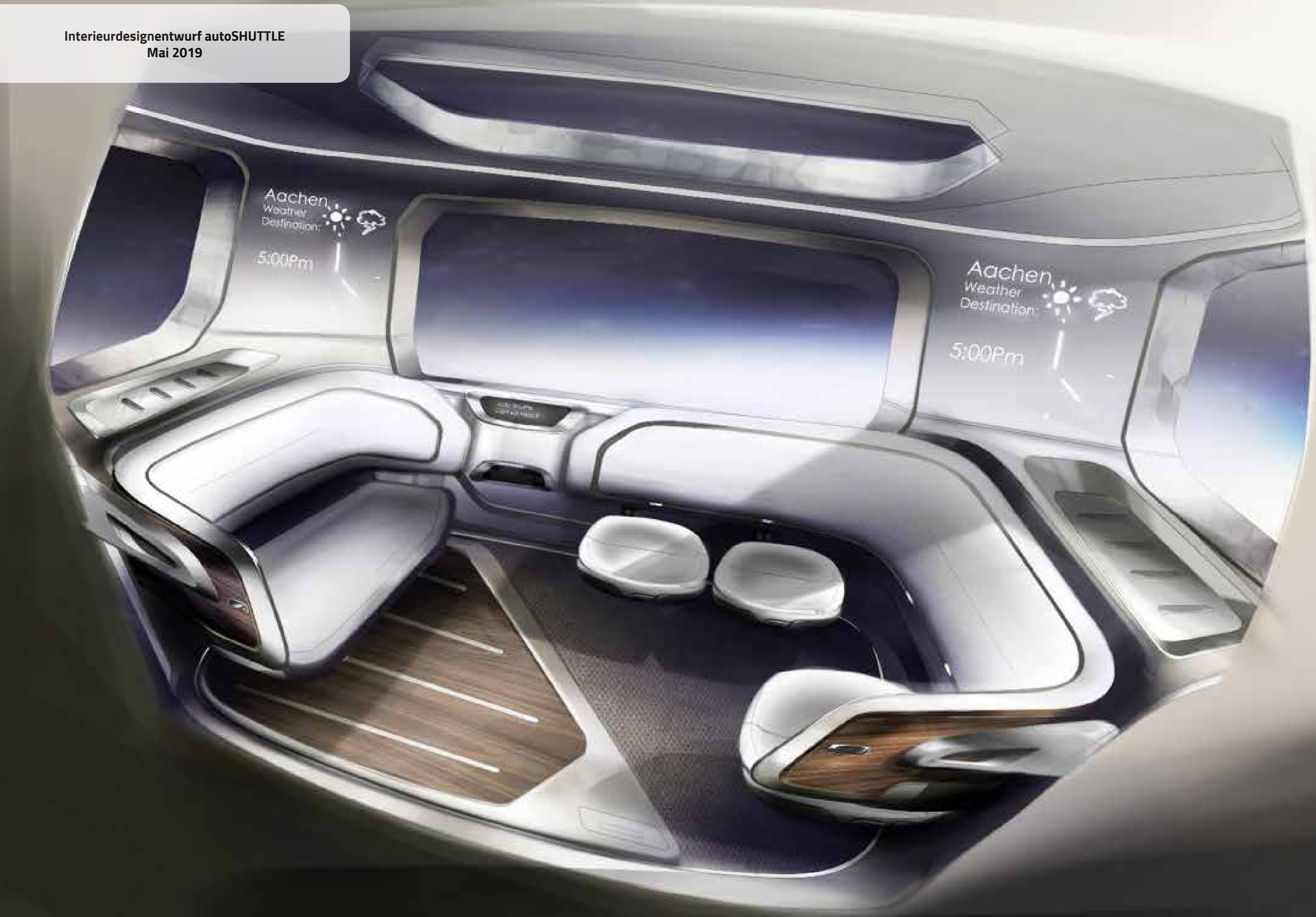
Die strukturellen Anforderungen werden in ein erstes Sicherheitskonzept überführt. Grundmaße für Kompatibilitätsbereiche, Selbstschutz und die Sicherheitszelle werden definiert und bilden somit die Basis für das Maßkonzept. Parallel wird das technische Package dem Entwicklungsstand der Systementwicklungen (Dynamikmodule, Sensormodule, Energieversorgung etc.) iterativ angepasst und über ein agiles Gewichtsmanagement werden Zielkorridore für die Komponentenentwicklung festgelegt. Die Ergonomiekonzepte werden virtuell und über Expertenworkshops abgesichert und das Exterieur Design in einen groben Flächenentwurf überführt.

Ausgehend vom Maßkonzept und dem technischen Package sowie den Anforderungen der Use-Cases werden die Hauptlastpfade der tragenden Plattformstruktur abgeleitet. Ziel in der folgenden Konstruktion ist es, Modularität sowohl auf Gesamtstrukturebene als auch innerhalb einzelner Baugruppen zu denken. Eine systematische Variation von mechanischen Strukturprinzipien (Schubfelder, Fachwerkstrukture etc.) sowie der Materialpaarungen, begleitet von Finite Element basierten Prüfungen, führen zu einem Plattformentwurf. Die Hardpoints der Plattform bilden zusammen mit den Exterieurflächen den Designraum für die Hutstruktur. Mittels Topologieoptimierung werden Hauptlastfade definiert und dann in iterativen Simulationszyklen Profilquerschnitte und Materialpaarungen festgelegt. Ergänzend wird der Designentwurf in ein modulares Außenhautkonzept überführt.

Die Gesamtstruktur wird auskonstruiert und simulativ abgesichert. Ein Fokus liegt hierbei auf den Beanspruchungen der Fahrwerksangriffspunkte sowie den Betriebslasten der Handhabungstechnik im autoCARGO. Weiter werden zum Schutz der Insassen ausgewählte Crashlastfälle geprüft.

Zusammenfassend ist ein Strukturbaukasten entstanden, der die strukturellen Anforderungen vierer stark divergierender Fahrzeugausprägungen vereint. Die tragende Struktur besteht aus wenigen adaptierbaren Modulen, die sowohl innerhalb eines Fahrzeuges als auch über alle Derivate hinweg wiederverwendet werden können.

Interieurdesignentwurf autoSHUTTLE
Mai 2019



autoSHUTTLE

ÖPNV der Zukunft
Adaptive Passagierkapazität
Optimale Routenwahl

autoSHUTTLE

Automatisierter öffentlicher Personennahverkehr

Philip Westerkamp M.Sc.
Institut für Kraftfahrzeuge, RWTH Aachen

GEFÖRDERT VOM
Bundesministerium für Bildung und Forschung

Motivation

- ÖPNV neu definiert
- Optimale Routenwahl in festem Haltestellennetz
- Zwei Modi:
  - Geringes Fahrgastaufkommen: bis zu 6 Personen bequem unterwegs
  - Rush Hour: stehende Passagiere, Gepäck, Fahrräder, Rollstuhl

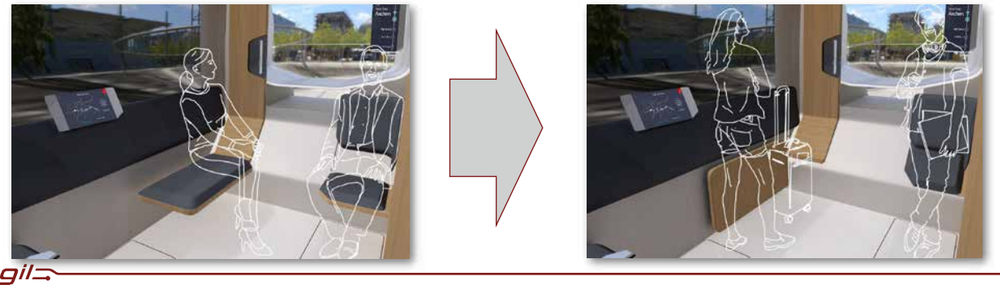
Entwicklungsprozess Interieur

Erste Größenabschätzung & Aufbau Sitzkiste

Probandenworkshops & Festlegung Innenraumkonfiguration

Design-Technik-Konvergenz & technische Ausgestaltung

Variabler Innenraum



Hören Sie auch den Podcast zum Poster.

autoSHUTTLE: Vision und Interieur

Philip Westerkamp
RWTH Aachen University
Institut für Kraftfahrzeuge

Das autoSHUTTLE stellt unsere Vision des zukünftigen öffentlichen Personennahverkehrs dar.

Das Problem vieler heutiger ÖPNV-Systeme ist die Überfüllung der Fahrzeuge zur Rush Hour während zu Zeiten mit geringem Fahrgastaufkommen größtenteils leere Fahrzeuge verhältnismäßig viel Verkehrsfläche einnehmen.

Diesem Trend wirkt das autoSHUTTLE durch zwei Maßnahmen entgegen. Zunächst ist das Fahrzeug kleiner, sodass die reine Variation der Anzahl der sich im Einsatz befindlichen Fahrzeuge eine Anpassung an das Fahrgastaufkommen darstellt. Zusätzlich ist der Innenraum variabel gestaltet. Während im Komfort-Modus bis zu 6 Personen bequem sitzend befördert werden können, wird der Innenraum im Rush-Hour-Modus transformiert, um weitere Nutzungsszenarien zu ermöglichen. Bis zu drei Sitzplätze werden verstaut, um die frei werdende Fläche als Stehplätze nutzen zu können und die Kapazität des Fahrzeugs auf acht Personen zu erhöhen. Dieser Bereich kann außerdem genutzt werden, um sperriges Gepäck zu transportieren, die Fahrradmitnahme zu ermöglichen oder einem Rollstuhlfahrer Platz zu bieten.

Das autoSHUTTLE soll durch ein intelligentes Routing-System die Fahrzeiten im öffentlichen Nahverkehr verkürzen. Dabei werden die Routen der einzelnen Fahrzeuge in einem festen Haltestellennetz so gelegt, dass die Start- und Zielwünsche der Passagiere sinnvoll angefahren werden. Durch die Abkehr von festen Fahrplänen und Streckennetzen wird die jeweils kürzeste und schnellste Route für die aktuellen Passagiere gewählt.

Die Skalierung der verschiedenen Plattformgrößen in UNICARagil basierte unter anderem auf einer Größenabschätzung, wieviel Platz Passagiere in einem öffentlichen Shuttle mindestens benötigen, um sich nicht unwohl zu fühlen. Nach Festlegung der Grundabmaße für die zu befördernde Personenanzahl wurde eine Sitzkiste aufgebaut, in der mehrere Studien zur Innenraumgestaltung durchgeführt wurden. Zunächst wurde in einer Probandenstudie die Position und Orientierung der Sitzplätze erarbeitet. Hierzu konnten die Probanden den zunächst leeren Innenraum nach ihren Wünschen gestalten. Außerdem wurde in einer institutsinternen Expertenstudie untersucht, wie sich stehende Passagiere im Fahrzeug positionieren würden und ob die Fahrzeuggrundfläche auch bei gemischter Besetzung (stehende und sitzende Passagiere) ausreicht.

Aus den entstandenen Entwürfen und Erkenntnissen wurde das finale Konzept abgeleitet. Im hinteren Teil des Fahrzeugs bietet eine in Fahrtrichtung ausgerichtete Bank drei Personen Platz. Im vorderen Teil des Fahrzeugs befindet sich eine quer zur Fahrtrichtung ausgerichtete zweier-Bank sowie ein Einzelsitz entgegen der Fahrtrichtung. Die Sitze im vorderen Fahrzeugteil lassen sich verstauen, sodass in diesem Bereich Stehplätze und/oder Platz für Gepäck und einen Rollstuhlfahrer entstehen. Die Bereiche über dem Packageraum im Vorder- und Hinterwagen werden als Gepäckablagen genutzt.

autoSHUTTLE

Automatisierter öffentlicher Personennahverkehr

Philip Westerkamp M.Sc.
Institut für Kraftfahrzeuge, RWTH Aachen

GEFÖRDERT VOM
Bundesministerium für Bildung und Forschung

Nutzerinteraktion

Buchen per App oder an Infrastruktur: Start- und Zielort festlegen

Infos zu Route/POIs/ Wetter/News im Interieur

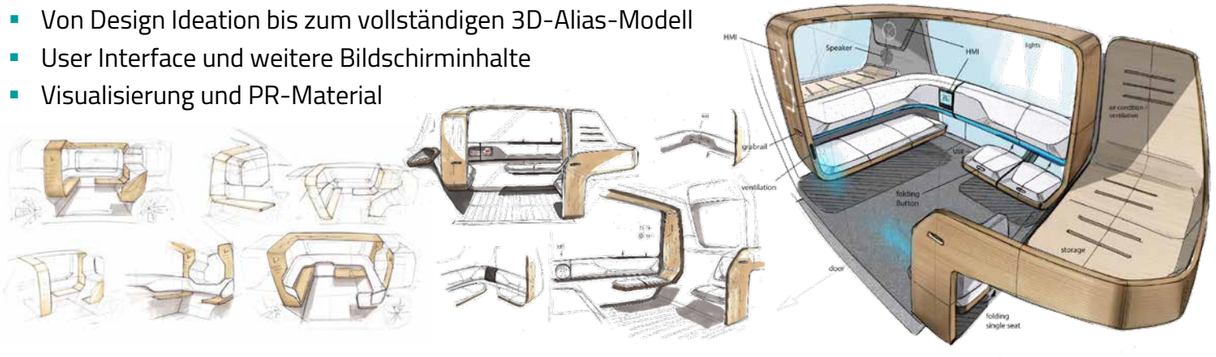
Ändern der Route per App oder auf Interaktionsdisplay

Kontaktieren der Leitwarte jederzeit möglich

Icons by Akshar Pathak, iconSphere, Wilson joseph, RULI, Icon pal, Nicolas LEULIET, Made x Made, Adrien Coquet, allex, Gan Khoon Lay, L Recker shashank singh, Bluetip Design from thenounproject.com

Design-Entwicklung

- 5-köpfiges Team aus Transportation Design Studenten
- Von Design Ideation bis zum vollständigen 3D-Alias-Modell
- User Interface und weitere Bildschirminhalte
- Visualisierung und PR-Material



autoSHUTTLE: Nutzerinteraktion und Design

Hören Sie auch den Podcast zum Poster.

Philip Westerkamp
RWTH Aachen University
Institut für Kraftfahrzeuge

Die Nutzerinteraktion mit dem Fahrzeug kann über das Smartphone erfolgen. Zur Inklusion von weniger technikaffinen Nutzern oder Personen, die nicht über ein mobiles Endgerät verfügen, ist jedoch auch die Bedienung über eine an den Haltestellen installierte Infrastruktur möglich. Zur Buchung ist lediglich die Eingabe von gewünschter Start- und Ziel-Haltestelle nötig.

Im Fahrzeug selbst sind drei Displays installiert. Zwei Informationsdisplays in gegenüberliegenden Ecken des Fahrzeugs zeigen durchgehend die aktuelle Position und geplante Route des Shuttles an. Außerdem können auf diesen Displays Informationen zu Wetter, Points of Interest entlang der Route oder Nachrichten angezeigt werden. Ein Interaktionsdisplay bietet zusätzlich die Möglichkeit, die persönliche Route zu verändern, falls der Nutzer nicht über ein Smartphone verfügt. Außerdem ist es über dieses Display möglich, die Leitwarte zu kontaktieren, falls ein Problem auftritt oder ein Nutzer sonstige Hilfe benötigt. So wird der Wegfall der menschlichen Instanz (z. B. in Form eines Busfahrers oder Schaffners) kompensiert.

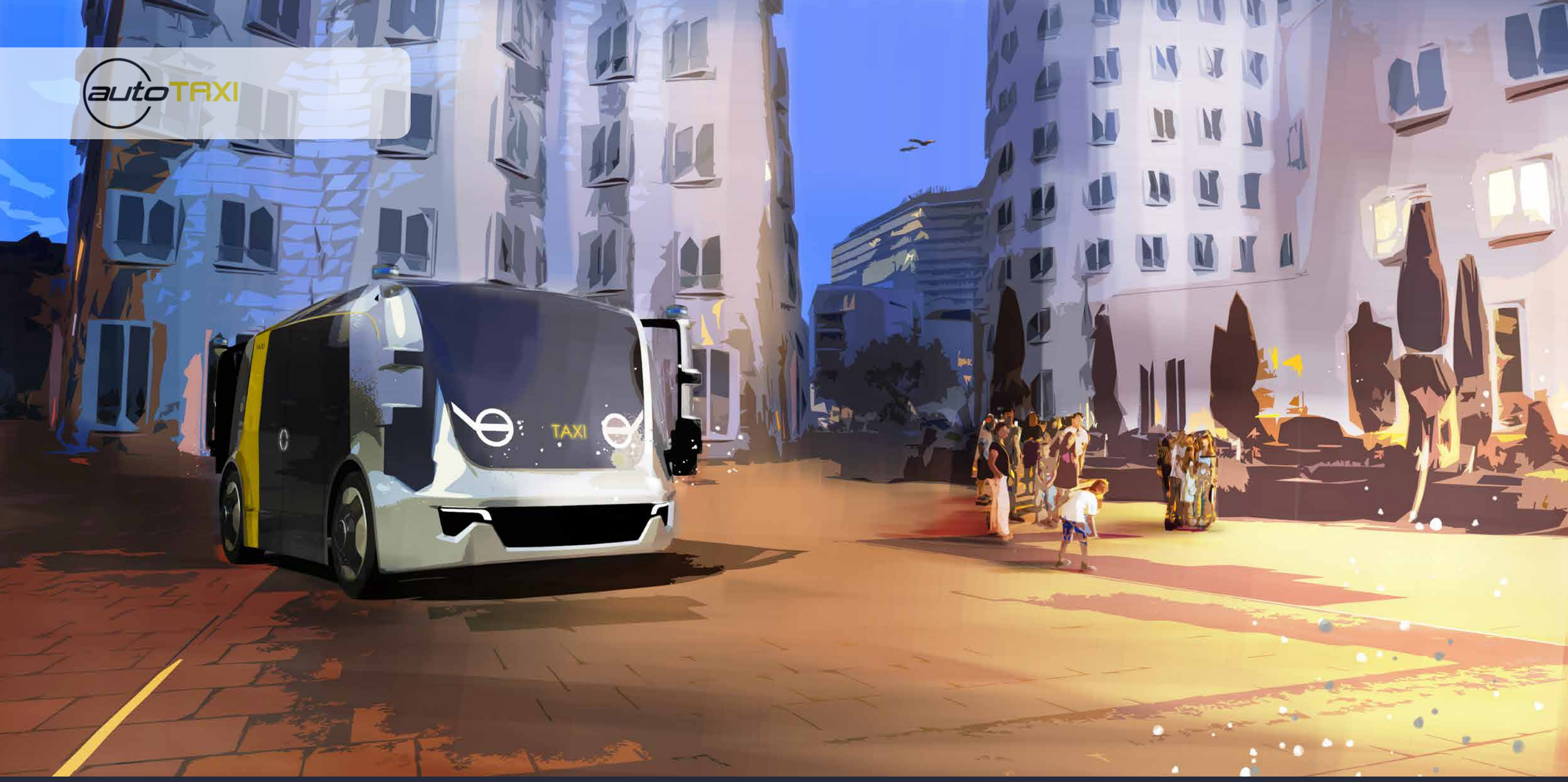
Das Interieur wurde von fünf Transportation Design Studenten während eines fünf-monatigen Praktikums am ika entworfen. Die Studenten wurden schon während des Entwicklungsprozesses eingebunden. Sie konnten dabei im Rahmen der vorgegeben Innenraumabmessungen, Sitzanordnung und Variabilität zur Abdeckung der verschiedenen Modi frei gestalten. So entstanden in enger Zusammenarbeit mit den wissenschaftlichen Mitarbeitern des Instituts sowohl der Innenraum als 3D-Modell als auch ein erster Entwurf der Bildschirminhalte für die Nutzerinteraktion über Smartphone und Infrastruktur.

Ziel bei der Gestaltung des autoSHUTTLE war es, den Innenraum des automatisierten Fahrzeuges clever, wertig und einladend zu gestalten. Für die Arbeit am Interieur war die Inspiration der zeitlos funktionale skandinavische Stil, welcher sich in einer minimalistisch „cleanen" Formensprache ausdrückt.

Dazu kam die Idee, Einflüsse aus der Architektur aufzunehmen, da sich das Fahrzeug vorwiegend im urbanen Raum bewegt. Klare horizontale und vertikale Linien prägen das Design und sorgen für ein ruhiges Innenraumambiente. Dies war wichtig, um ebenfalls eine Verbindung zum bestehenden Exterieur-Design herzustellen.

Farblich lebt das Interieur von hellen Tönen, harmonischen Übergängen, ausgewogenen Proportionen und klar definierten Farb- und Material-Kontrasten.

Beim Blick in den Innenraum fällt als besonderes Highlight das Hauptthema des „Wooden Frame" ins Auge. Ein sich harmonisch in den Innenraum einfügender Rahmen aus Holz nimmt die schwebend erscheinende permanente Sitzbank im hinteren Teil des Innenraumes auf und verläuft in einem Stück bis zur klappbaren Doppelsitzbank im vorderen Bereich des Fahrzeuges. Dieser Wooden Frame bietet neben der eleganten Ästhetik die Integration von Haltegriffen, USB-Anschlüssen und indirekter Beleuchtung. Er ist ein optisches Alleinstellungsmerkmal zu bisherigen Interieurs von automatisierten Fahrzeugen.



autoTAXI

Perfekt für jede Anwendung
Automatisiertes Mottotaxi

Technische Universität München

autoTAXI
Taxi@Work

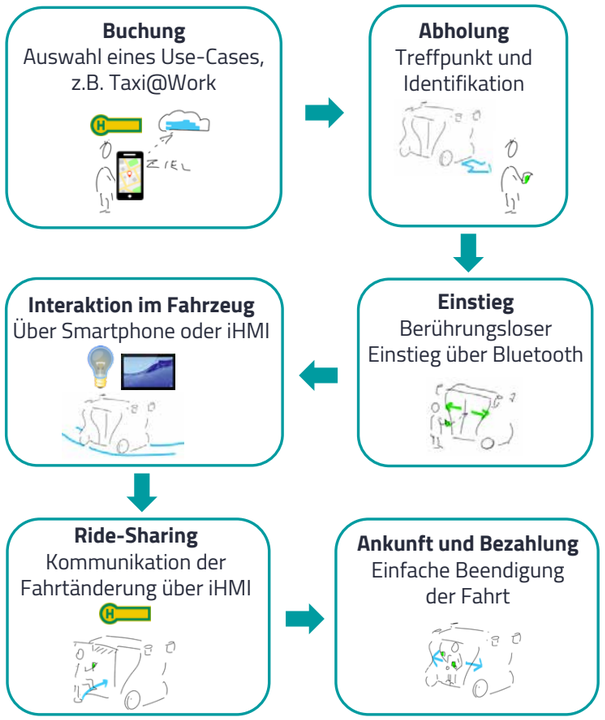
Kontextanalyse

- Unterschiedliche Anwendungsmöglichkeiten je nach Bedürfnis des Nutzers → Fokus auf Taxi@Work mit Möglichkeiten zum Arbeiten
- In aktuellen Taxis meistens nur 1 – 3 Personen → Konzept eines 2+2 Sitzer
- Wegen kurzer Fahrzeiten einfacher Einstieg/Ausstieg → Innovatives Türkonzept

Fahrzeugkonzept

- 2+2 Sitzer mit Vis á Vis
  → Sitzvorzugsrichtung in Fahrzeugrichtung
- Innenraum flexibel und individuell an Nutzer*innen anpassbar (u. a. für Arbeitsmöglichkeiten)
- Gewährleistung von Ablagemöglichkeiten

Nutzerinteraktion



Herausforderungen

- Keine Erfahrungswerte bezüglich ergonomischer Richtlinien bei hochautomatisierten Fahrzeugen
- Keine Neuentwicklungen von Fahrzeugsitzen möglich → Prototypische Entwicklung
- Starke Randbedingungen in Bewegungsraum und Interaktionsmöglichkeiten aufgrund der vorhandenen Innenraumdimensionen

GEFÖRDERT VOM
Bundesministerium für Bildung und Forschung

Ferdinand Schockenhoff, Technische Universität München, Lehrstuhl für Fahrzeugtechnik
Manuel Kipp, Technische Universität München, Lehrstuhl für Ergonomie

autoTAXI

Hören Sie auch den Podcast zum Poster.

Ferdinand Schockenhoff
Technische Universität München
Lehrstuhl für Fahrzeugtechnik

Manuel Kipp
Technische Universität München
Lehrstuhl für Ergonomie

Studien zu automatisierten Fahrzeugen zeigen, dass sich Nutzer während der Fahrt wünschen, Nebentätigkeiten nachkommen zu können. Diese Aussage lässt sich in vollem Umfang auf automatisierte Taxis übertragen, die einen bedeutenden Teil der zukünftigen Mobilität darstellen werden. Nebentätigkeiten in automatisierten Fahrzeugen können grundsätzlich unterschiedlicher Art sein. Denkbare Beispiele sind Schlafen, Arbeiten, Entertainment und Essen.

Diese Ansprüche können nicht über ein einziges Fahrzeug abgedeckt werden. Dementsprechend bedarf es Mottotaxis, die für die einzelnen Nebentätigkeiten ausgestattet sind. Diese Idee verfolgt das autoTAXI. Jeder Nutzer kann sich seinen Bedürfnissen entsprechend ein Fahrzeug bestellen. Im Rahmen des Projekts UNICARagil wird ein Fahrzeug dargestellt, das für Arbeitstätigkeiten (Taxi@Work) genutzt wird.

Aktuell werden bei Taxifahrten ein bis drei Personen befördert. Deshalb braucht das autoTAXI keine höhere Kapazität, was wir in einem 2+2 Sitzer umsetzen. Für den besseren Ein- und Ausstieg haben wir ein innovatives Türsystem entwickelt, das durch das Öffnen des Daches einen aufrechten Einstieg ermöglicht.

Die Sitze sind vis-á-vis angeordnet. Dabei sind die beiden Hauptsitze in Fahrtrichtung und die Klappsitze entgegen der Fahrtrichtung angebracht. Die beiden Hauptsitze erhalten einen Tisch und ein Tablet als Eingabeschnittstelle (iHMI), um den Nutzerbedürfnissen eines Taxi@Work zu genügen.

Der Nutzer kann das autoTAXI per App buchen und Funktionen wie Ridesharing zusätzlich aktivieren. Fahrtdetails wie Start- und Zielort oder die voraussichtliche Fahrtdauer können in der App angezeigt werden. Bei der Abholung hält das Fahrzeug möglichst nahe am Standort des Kunden. Die Türen können per App oder Sensortaster geöffnet werden. Bei aktiviertem Ridesharing können weitere Passagiere zusteigen und der neue Zustiegsort wird auf dem iHMI angezeigt. Der Nutzer hat immer die Möglichkeit, die Route per App oder auf dem Interaktionsdisplay zu ändern.

Entsprechend den unterschiedlichen Nutzerbedürfnissen entwickeln wir erste Ideen für Schnittstellen unter Berücksichtigung zweier Informationsperspektiven: direkt und mobil. Das iHMI-System ist ein zentrales Display, das für die Sitzumgebung der Hauptsitze angebracht wird. Hier können die Fahrgäste Funktionen des Fahrzeuginnenraums steuern. Darüber hinaus können die Fahrgäste während der Fahrt Unterhaltungsfunktionen oder eine interaktive Karte nutzen, um sich über nahegelegene POIs zu informieren. Die mobile Schnittstelle ist eine Anwendung für ein privates mobiles Gerät, die in erster Linie für die Organisation der Reise verwendet wird.

Bei der Auslegung des Innenraumkonzeptes des autoTAXIs ergaben sich Herausforderungen, da wir uns mit der Innenraumauslegung eines automatisierten Taxis auf ein bisher unerforschtes Gebiet begeben. Dementsprechend existieren kaum Erfahrungswerte für die ergonomische Auslegung hochautomatisierter Fahrzeuge. Alle Auslegungs- und Entwicklungskriterien sind für heutige Fahrzeuge konzipiert. Ebenso ergeben sich durch die anderen Projektpartner auch interne Randbedingungen, die die üblichen vorhandenen Innenraumdimensionen begrenzen, da neue Funktionen, Bauteile und Baugruppen in der UNICARagil-Fahrzeugfamilie verbaut sind. Wir möchten mit unserem autoTAXI einen Beitrag leisten, diese Herausforderungen für die Zukunft zu lösen.

autoCARGO

Paketdienst von morgen
Automatisiertes Liefern
Effiziente Lagerung

autoCARGO

Kai Markert, Maximilian Ries, Haohao Hu, Karlsruher Institut für Technologie

Motivation

- Paketzustellung für den urbanen Raum
- Paketübergabe und -abholung an privater oder öffentlicher Paketbox
- Empfang und Versand unabhängig von der Anwesenheit der Kunden
- Elektrischer Betrieb - lokal emissionsfrei
- Paketversand per App buchen
- Induktives Laden, z.B. im Paketzentrum

Paket-Ladecontainer im Paketzentrum wechseln | Fahrzeug-Batterien induktiv laden

Paketlieferung an urbanes, öffentlichres Paketbox-Lager

- Lager und Handhabung statt Interieur für Fahrgäste
- Effiziente Paketlagerung im Fahrzeug
- Transportoptimierte Stapelalgorithmen
- Autonome Pakethandhabung

Ergonomisches Paketbox-Design

Entwicklungslabor CARGOlab

- Vom Fahrzeugentwicklungsstand unabhängige Entwicklung der Lager- und Handhabungstechnik im Labor
- Originalabmessungen des Fahrzeuginnenraums
- Sichere Forschungs- und Testumgebung

Bildverarbeitung

- Pakete im Ladecontainer erkennen und identifizieren
- Lage der Paketbox relativ zum Fahrzeug schätzen
- Liefervorgang überwachen: Eingriffe von außen vermeiden oder geeignet reagieren

Mehrere Farb- und Tiefenkameras (RGBD)

Sensorfusion der Point-Clouds und Segmentierung

GEFÖRDERT VOM
Bundesministerium für Bildung und Forschung

autoCARGO

Hören Sie auch den Podcast zum Poster.

Neben dem Personentransport wird auch die urbane Logistik, die sogenannte „letzte Meile", in Zukunft anders als heute aussehen. Sie wird von den Forschungen und Entwicklungen auf den Feldern des autonomen Fahrens und der Robotik profitieren.

Kai Markert
Karlsruher Institut für Technologie
Institut für Fördertechnik und Logistiksysteme

Motivation

autoCARGO ist unser automatisches Abhol- und Lieferfahrzeug für die Paketzustellung. Es fährt und liefert autonom und elektrisch, ist lokal emissionsfrei und für urbane Räume ausgelegt. Es macht das Empfangen und Versenden von Paketen unabhängig von der Anwesenheit seiner Kunden. Vernetzt mit anderen Fahrzeugen und Informationssystemen kann autoCARGO auf Verkehrsstörungen flexibel reagieren. Auf seiner Route werden alle Paketboxen angesteuert, an die Sendungen geliefert oder von denen sie abgeholt werden sollen. Verschiedene private und öffentliche Paketboxen können einzelne oder auch sehr viele Pakete aufnehmen. Hierzu kann zum Beispiel ein unterirdisches Paketlager an die Paketbox angeschlossen sein. So kann der urbane Raum möglichst effizient genutzt werden.

Über die zugehörige App kann die gewünschte Paketbox für jede Sendung individuell, einfach und flexibel ausgewählt werden. Über die App werden die Kunden auch über zur Abholung bereitliegende Pakete informiert.

Die auszuliefernden Pakete werden außerhalb des Fahrzeugs transportoptimiert, also unter Berücksichtigung der während der Fahrt zu erwartenden Beschleunigungskräfte, in den Ladecontainer gestapelt. Dieser wird im Paketzentrum in das autonome Paketlieferfahrzeug geladen. Auch die Akkus des Fahrzeugs autoCARGO werden im Paketzentrum selbstständig und induktiv geladen.

autoCARGO basiert auf der gleichen Plattform wie das autoSHUTTLE. Die Pakethandhabung und das Lager nehmen im autoCARGO den Raum ein, der im autoSHUTTLE den Passagieren zur Verfügung steht.

Das Gesamt-System besteht aus

- dem eigentlichen Fahrzeug mit wechselbarem Paketlager, dem Ladecontainer,
- dem Paketzentrum
- privaten und öffentlichen Paketboxen zur Abgabe und Abholung von Paketen durch die Kunden,
- der zugehörigen App,
- sowie den Komponenten, die der Fahrzeugfamilie zur Verfügung stehen (Cloud, Info-Bienen, Leitwarte).

Entwicklungslabor CARGOlab

Die Fahrzeuge und die Pakethandhabungstechnik sind komplette Neuentwicklungen. Dies erfordert einen hohen Grad an parallelen Forschungs-, Entwicklungs- und Designprozessen. Um die Hard- und Software der Handhabungstechnik frühzeitig unter möglichst realistischen Bedingungen aufbauen, testen und optimieren zu können, wurde ein 1:1-Modell des Innenraums des autoCARGO aufgebaut: das CARGOlab. Die Arbeiten am Lab sind deutlich einfacher, flexibler und sicherer als am und im fertigen Fahrzeug.

Bildverarbeitung

Im Innenraum wird der Ladecontainer mit den Paketen durch mehrere Farb- und Tiefenbildkameras vermessen. Daraus wird die Position und Lage der einzelnen Pakete errechnet und die Pakete werden identifiziert. Auch der Bereich zwischen Fahrzeug und Paketbox wird per Kamera überwacht, um Fremdeingriffe zu vermeiden oder entsprechend reagieren zu können.

Das System autoCARGO entsteht am Institut für Fördertechnik und Logistiksysteme und am Institut für Mess- und Regelungstechnik des Karlsruher Instituts für Technologie und dem Institut für Mess-, Regel- und Mikrotechnik der Universität Ulm.

autoELF

Individuell
Barrierefrei
Wohnlich

Technische Universität Braunschweig

Institut für Regelungstechnik

autoELF

Entwicklung eines automatisierten Familienfahrzeugs

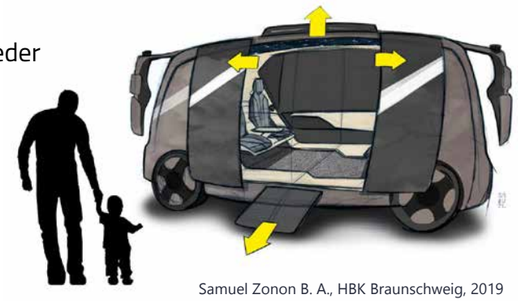
Tobias Schräder, Prof. Markus Maurer
TU Braunschweig, Institut für Regelungstechnik

GEFÖRDERT VOM
Bundesministerium für Bildung und Forschung

Motivation

- automatisiertes Familienfahrzeug für die Nutzung durch verschiedene Generationen einer Familie
- selbstständige Nutzung durch möglichst alle Familienmitglieder für Alltagsfahrten
- Anpassung an Nutzerbedürfnisse durch hohe Individualisierbarkeit, „mobiles Wohnzimmer“

→ **Entfall der Fahrten zum Zweck der Begleitung**
→ **mehr Selbstständigkeit für nicht fahrtüchtige Personen**
→ **Vorzüge eines Privatfahrzeugs**



Samuel Zonon B. A., HBK Braunschweig, 2019

Anforderungen

Ziel: Fahrzeug kompensiert den Entfall einer Begleitperson vollständig

autoELF …
… kann eigenständig von allen Familienmitgliedern betreten und verlassen werden
… ist durch alle Familienmitglieder bedienbar
… kann auch von Kindern sicher und selbstständig benutzt werden
…

Funktionen

- Familienkalenderfunktion zur Koordination der Alltagsfahrten innerhalb einer Familie mit mehreren Generationen
- barrierefreier Zustieg durch automatisierte Einstiegshilfe
- Möglichkeit zur einfachen Verstauung von Rollstuhl, Gehhilfe oder Kinderwagen
- adaptives Bedienkonzept
- Innenraumüberwachung für die sichere Fahrzeugbenutzung durch Kinder und die Erkennung von Notfällen

Samuel Zonon B. A. , HBK Braunschweig, 2019

Inhalte veröffentlicht in: T. Schräder, T. Stolte, I. Jatzkowski, R. Graubohm und M. Maurer, “An Approach for a Requirement Analysis for an Autonomous Family Vehicle,” 30th IEEE Intelligent Vehicles Symposium, Paris, Frankreich, Juni 2019, S. 1597–1603

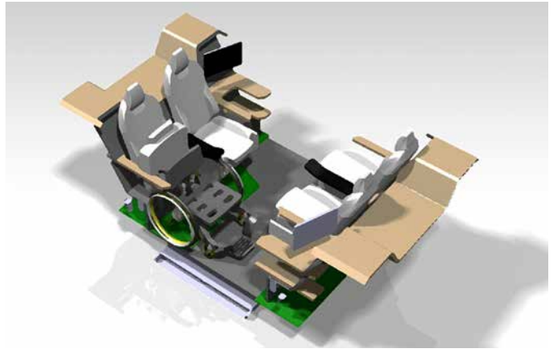
unicaragil

autoELF: Vision

Hören Sie auch den Podcast zum Poster.

Die autoELF ist als automatisiertes Familienfahrzeug das einzige der vier UNICARagil-Fahrzeuge, das für den Privatbesitz entwickelt wird. Sie soll den Komfort eines mobilen Wohnzimmers bieten und die alltäglich anfallenden Fahrten innerhalb einer Familie mit mehreren Generationen durchführen. Eine fahrtüchtige Begleitperson, die für die Fahrt nicht fahrtüchtiger Personen mit einem konventionellen Pkw notwendig ist, soll dabei möglichst nicht mehr erforderlich sein. Die autoElf soll auf diese Weise auch Kindern oder körperlich eingeschränkten Personen zu mehr Selbstständigkeit im Alltag verhelfen und dadurch auch die Angehörigen, die zuvor Fahrten zum Zweck der Begleitung durchführten, entlasten. Es stellt sich dabei nicht nur die Frage, wie ein fahrerloses Fahrzeug gestaltet sein muss, um derartigen Ansprüchen gerecht zu werden, sondern auch, wo die zu erwartenden Grenzen eines derartigen Fahrzeugkonzeptes liegen.

In einem ersten Ansatz wurden mögliche Tätigkeiten einer erforderlichen Begleitperson beschrieben, die bei der Nutzung eines konventionellen Pkw anfallen. Diese sind stark von den Bedürfnissen der begleiteten Person abhängig. Beispielsweise kann angenommen werden, dass einer in ihrer Motorik eingeschränkten Person physische Unterstützung beim Ein- und Ausstieg gegeben wird, wohingegen beim Transport von Kindern eher Tätigkeiten zur Gewährleistung von deren Sicherheit – insbesondere beim Ein- und Ausstieg – erforderlich sind. Auf der Grundlage der Aufgaben einer Begleitperson wurden funktionale Anforderungen an das Fahrzeug formuliert, mit dem Ziel, dass dieses die Abwesenheit einer Begleitperson vollständig kompensiert.



Frühes Konzept zur Platzierung eines Rollstuhls im Fahrzeuginnenraum

Tobias Schräder
Technische Universität Braunschweig
Institut für Regelungstechnik

Prof. Markus Maurer
Technische Universität Braunschweig
Institut für Regelungstechnik

Um mobilitätseingeschränkten Personen einen sicheren Ein- und Ausstieg ohne menschliche Hilfe zu ermöglichen, muss das Fahrzeug beispielsweise über einen barrierefreien Zustieg verfügen. Zusätzlich muss es älteren Personen, die nur mithilfe eines Rollators mobil sein können, die Möglichkeit bieten, diesen selbstständig und sicher zu verstauen. Gleichzeitig ist es erforderlich, dass sich die Bedienoberfläche automatisch an die jeweiligen Nutzenden des Fahrzeugs anpasst, um zum Beispiel den Missbrauch des Fahrzeugs durch Minderjährige zu verhindern. Darüber hinaus sind zahlreiche neue, herausfordernde Szenarien denkbar, die es bei der Nutzung konventioneller Fahrzeuge nicht gibt. So ist es möglich, dass das Fahrzeug aufgrund eines Defektes nicht weitfahren kann und der einzige Passagier ein Kind ist. Vorstellbar ist auch, dass eine ältere Person plötzlich mit der Bedienung des Fahrzeugs überfordert ist. Für den Erfolg eines derartigen Konzeptes müssen daher Möglichkeiten gefunden werden, die verhindern, dass Personen auf irgendeine Weise bei der eigenständigen Nutzung zu Schaden kommen können. Denn dies ist die Voraussetzung dafür, dass potentielle Kunden nicht nur sich selbst, sondern auch ihre Angehörigen der autoELF anvertrauen.

Technische Universität Braunschweig

Institut für Regelungstechnik

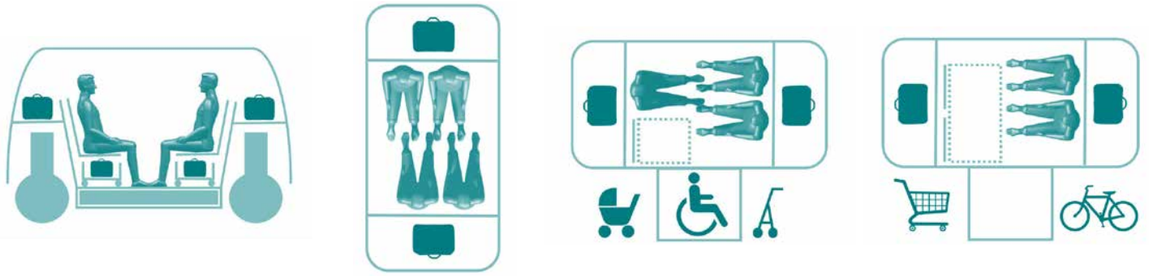
autoELF

Entwicklung eines automatisierten Familienfahrzeugs

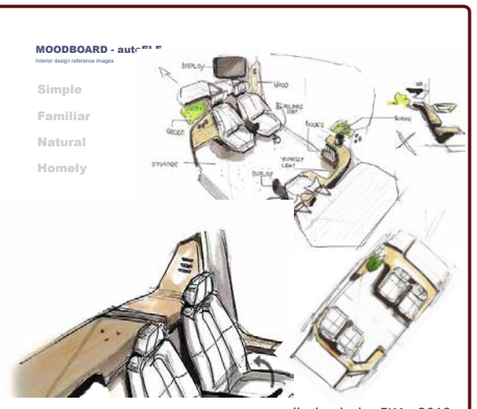
Tobias Schräder, Prof. Markus Maurer
TU Braunschweig, Institut für Regelungstechnik

GEFÖRDERT VOM
Bundesministerium für Bildung und Forschung

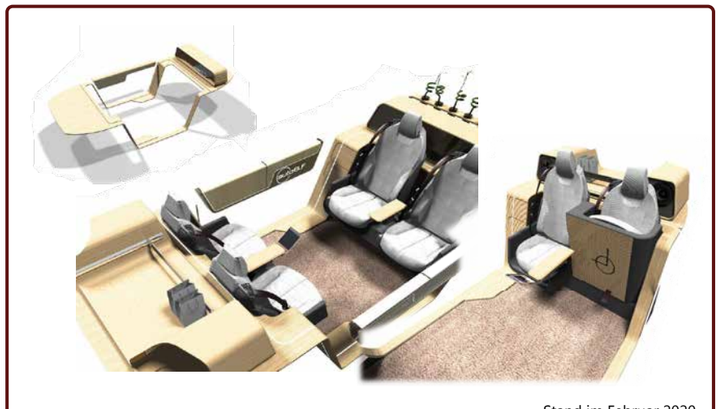
Sitzkonzept



Gestaltung



erstellt durch das FKA , 2019



Stand im Februar 2020

Samuel Zonon B. A., HBK Braunschweig, 2019

Stand im Februar 2020

autoELF: Innenraumkonzept

Hören Sie auch den Podcast zum Poster.

Tobias Schräder
Technische Universität Braunschweig
Institut für Regelungstechnik

Prof. Markus Maurer
Technische Universität Braunschweig
Institut für Regelungstechnik

Das Innenraumkonzept der autoELF sieht zwei gegenüberliegende Sitzreihen mit jeweils zwei Einzelsitzen vor. Zwei dieser Sitze werden so gestaltet, dass sich deren Sitzflächen hochklappen lassen. Der so entstehende Freiraum ermöglicht das Abstellen eines Rollators, eines Rollstuhls, eines Kinderwagens oder eines eigens für das Fahrzeug konstruierten Einkaufswagens. Für den vereinfachten Zugang zur Abstellfläche wurden die Sitzreihen leicht gegeneinander versetzt. Nebenbei ermöglicht der leichte Querversatz der Sitzreihen auch dann einen guten Sitzkomfort, wenn sich besonders groß gewachsene Passagiere gegenübersitzen. Ablagemöglichkeiten für persönliche Gegenstände sorgen darüber hinaus für einen hohen Nutzwert des Innenraums.

Vorschlag zur farblichen Gestaltung des Innenraums, Mai 2020

Bei der Innenraumgestaltung der autoELF wurde das Ziel verfolgt, den Passagieren eine besonders wohnliche Umgebung zu bieten. Diese kennzeichnet sich durch eine entsprechende Materialauswahl und Details, die eher in einem Wohnzimmer als in einem Pkw-Innenraum zu erwarten sind. Hierzu wurden verschiedene Entwürfe angefertigt, die in mehreren Schritten zum heutigen Konstruktionsstand weiterentwickelt wurden.

Ein früher Entwurf der Innenraumgestaltung der autoELF
(Samuel Zonon B.A., HBK Braunschweig, 2019)

Sitzkiste für den Aufbau und die Erprobung von Innenraumkomponenten der autoELF

Für den Aufbau und die Erprobung der Innenraumkomponenten wurde die in der obigen Abbildung gezeigte Sitzkiste gebaut. Diese Sitzkiste stellt die den Innenraum umgebende Struktur dar und ermöglicht dessen prototypische Umsetzung, bevor das eigentliche Fahrzeug dafür bereitsteht. So kann die Sitzkiste bei der Verkabelung und Inbetriebnahme elektrischer Verbraucher im Innenraum als Komponententräger genutzt werden. Darüber hinaus besteht die Möglichkeit, die räumliche Anordnung vieler Innenraumkomponenten frühzeitig zu überprüfen. Dies bietet insbesondere bei der Entwicklung neuartiger Elemente, wie zum Beispiel der Haltevorrichtung für den bereits erwähnten Einkaufswagen, einige Vorteile, um die Gebrauchstauglichkeit des Innenraums sicherzustellen.

Technische Universität München

Externe Kommunikation autonomer Fahrzeuge

GEFÖRDERT VOM
Bundesministerium für Bildung und Forschung

Grundlagen Externe Kommunikation

Weshalb soll kommuniziert werden?

- Erhöhung der Verkehrseffizienz
- Erhöhung der Verkehrssicherheit
- Kooperation im Verkehr

Wie kann kommuniziert werden?

- Implizit – Information in z.B. Verhalten indirekt enthalten
- Explizit – Information wird direkt kommuniziert

Was soll kommuniziert werden?

- Status des automatisierten Fahrzeugs
- Verhalten des Fahrzeugs
- Intention des Fahrzeugs

Beispiele für den Einsatz externer Kommunikation

- Ungewöhnliche Fahrmanöver (z.B. Einsatz von Corner Modulen)
- Kooperatives Verhalten (z.B. zeigen der Halteintention an einem Fußgängerüberweg)

dynamicHMI - implizit

„Beabsichtigte oder unbeabsichtigte Kommunikation von Informationen an Passagiere oder umgebende menschliche Verkehrsteilnehmer über Fahrzeugdynamik" (Bengler et al., 2020)

Ausprägungen:

- translatorische Fahrzeugdynamik (z.B. Geschwindigkeit, Beschleunigung)
- Fahrzeugrotationsdynamik (z.B. aktive Nickbewegungen)

Anforderungen:

- Selbstbeschreibungsfähigkeit
- Erwartungskonformität
- Passagierkomfort sollte erhalten bleiben

external HMI - explizit

„Interfaces, die an der Außenfläche eines Fahrzeugs installiert sind oder aus dieser heraus Informationen projizieren" (Bengler et al., 2020)

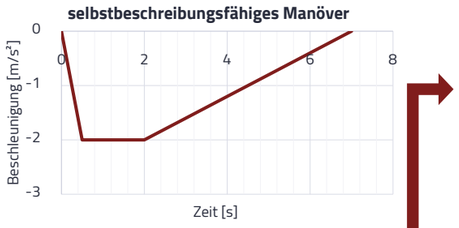
Ausprägungen:

- Auditive Kommunikation (z.B. Lautsprecher, Motorengeräusche)
- Optische Kommunikation (z.B. LED Streifen, LCD Display, LED Matrix)

Anforderungen:

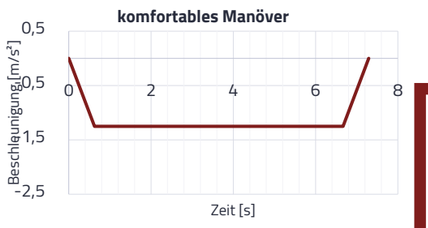
- Erkennbarkeit
- Verständlichkeit (Kulturübergreifend)
- Interpretierbarkeit für Analphabeten o. Kinder

Beispielszenario: geregelte Fußgängerquerung



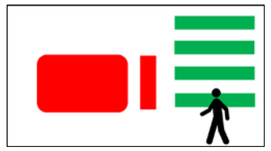
Problem:

- Sicherheit für Passagier (stehend) verringert



Problem:

- Implizite Kommunikation weniger deutlich



Wichtig:

- Konsistenz zur Trajektorie

Quellen:
Bengler, Klaus; Rettenmaier, Michael; Fritz, Nicole; Feierle, Alexander (2020): From HMI to HMIs: Towards an HMI Framework for Automated Driving. In: *Information* 11 (2), S. 61. DOI: 10.3390/info11020061.

Schwiebacher Johannes, M.Sc.
Technische Universität München
Lehrstuhl für Ergonomie

Externe Kommunikation autonomer Fahrzeuge

Hören Sie auch den Podcast zum Poster.

Johannes Schwiebacher
Technische Universität München
Lehrstuhl für Ergonomie

Bei autonomen Fahrzeugen entfällt der Fahrer als Interaktionspartner (beispielsweise über Gestik) für andere Verkehrsteilnehmer. Die Kommunikation mit anderen Verkehrsteilnehmern hat zahlreiche Ziele. Darunter fallen unter anderem die Steigerung der Verkehrseffizienz, der Verkehrssicherheit sowie der subjektiv wahrgenommenen und objektiven Sicherheit von schwachen Verkehrsteilnehmern. Für die Interaktion mit anderen Verkehrsteilnehmern existieren für autonome Fahrzeuge zum jetzigen Zeitpunkt zwei Ansätze. Zum einen das dHMI (dynamic HMI), als auch das eHMI (external HMI), welche beide im Projekt realisiert werden.

Das dHMI wird definiert als eine „beabsichtigte oder unbeabsichtigte Kommunikation von Informationen […] über Fahrzeugdynamik" (Bengler et al. 2020, S. 9). Das dHMI wird über Beschleunigungs- sowie Geschwindigkeitsverläufe realisiert, wobei insbesondere auf die Selbstbeschreibungsfähigkeit sowie die Erwartungskonformität der Kommunikation (Trajektorien) zu achten ist. Kann eine Kommunikation allein über das dHMI nicht realisiert werden, bietet das eHMI als zusätzlicher Kommunikationskanal eine Möglichkeit zur Verdeutlichung der Botschaft. Um Missverständnisse und Fehlinterpretationen zu vermeiden, ist von großer Bedeutung, die Botschaften unterschiedlicher Kommunikationsmittel konsistent zueinander zu halten.

Der Begriff eHMI beschreibt "Interfaces, die an der Außenfläche eines Fahrzeugs installiert sind oder aus dieser heraus Informationen projizieren" (Bengler et al. 2020, S. 8). Das eHMI wird über LED Matrizen realisiert, welche rund um das Fahrzeug angeordnet sind, und sowohl Bilder, als auch Animationen darstellen können. Des Weiteren werden Lautsprecher in der Front sowie im Heck des Fahrzeugs installiert, um die Kommunikationsmöglichkeiten des Fahrzeugs zu erweitern. Bei der Erstellung von Botschaften für eHMIs ist insbesondere auf die Verständlichkeit und Interpretierbarkeit der Informationen zu achten. Desweitern sollten die Grenzen der visuellen Erkennbarkeit unter anderem durch die Einbeziehung der zu erwartenden Sehwinkel berücksichtigt werden.

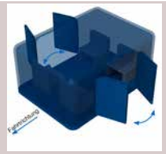
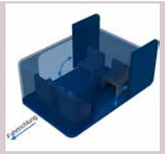
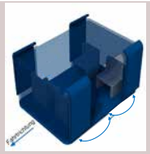
Auf dem Poster ist beispielhaft die Kommunikation zur Ermöglichung einer Fußgängerquerung dargelegt. Ziel des Fahrzeugs ist es, einem Fußgänger zu verdeutlichen, dass es halten wird. Zunächst wäre ein schneller Aufbau der Bremsbeschleunigung wünschenswert (Abbildung links unten), da dies für den Fußgänger am zuverlässigsten wahrzunehmen ist. Da ein schneller Aufbau der Bremsbeschleunigung aber zu einem erhöhten Diskomfort der Passagiere führt und für stehende Passagiere gegebenenfalls Sicherheitsrisiken birgt, ist diese Trajektorie nicht empfehlenswert. Folglich ist ein Kompromiss aus schnellem Aufbau der Beschleunigung und dem Komfort für Fahrzeugpassagiere zu finden (Abbildung Mitte). Da diese Trajektorie für einen Fußgänger jedoch schwerer wahrzunehmen ist, sollte als zusätzlicher Kommunikationskanal das eHMI hinzugezogen werden (Abbildung rechts).

Türsystem
Konzeptionierung

Anforderungen

- Modularität und Skalierbarkeit
- Automatisches Öffnen und Schließen
- Geringer Packagebedarf
- Im Exterieur keine erkennbaren funktionalen Bauteile
- Manuelles Notöffnen
- 2000 mm Türöffnungsbreite für autoCARGO
- Aufrechter Einstieg
- Geringe Öffnungszeit
- Geringe Ausschwenkbewegung

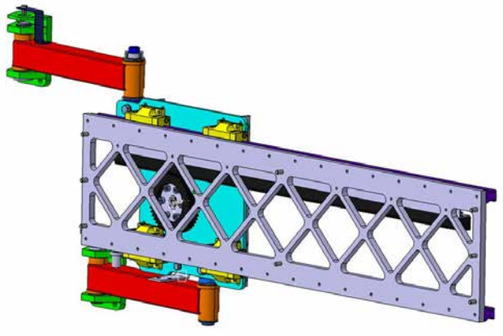
Auswahl Türkonzept

Drehflügeltüre	Scherentüre	Flügeltüre	Schwenktüre	Schiebetüre
				
+ Modularität + Skalierbarkeit - Ausschwenk-bewegung	+ Ausschwenk-bewegung - Notöffnung	- Ausschwenk-bewegung - Notöffnung	+ Modularität + Skalierbarkeit - Ausschwenk-bewegung	+ Modularität + Skalierbarkeit - Schienensystem an Exterieur

Lösung:

- Kombination einer Schwenk- und Schiebekinematik, um Nachteile zu umgehen.
- Zusätzliche Dachöffnung bei kleinen Plattformen mittels eines Viergelenkes, um aufrechten Einstieg bei niedriger Fahrzeughöhe zu ermöglichen

Umsetzung Türkinematik



- Armhalter
- Lagerbuchsen
- Schwingarme des Viergelenks
- Adapterplatte
- Schlitten
- Schienen
- Schienenplatte
- Zahnstangenantrieb

Adrian König, Alexander Koch, Ferdinand Schockenhoff
TU München – Lehrstuhl für Fahrzeugtechnik
adrian.koenig@ftm.mw.tum.de; koch@ftm.mw.tum.de; schockenhoff@ftm.mw.tum.de

GEFÖRDERT VOM
Bundesministerium für Bildung und Forschung

Türsystem

Hören Sie auch den Podcast zum Poster.

Alexander Koch
Technische Universität München
Lehrstuhl für Fahrzeugtechnik

Adrian König
Technische Universität München
Lehrstuhl für Fahrzeugtechnik

Ferdinand Schockenhoff
Technische Universität München
Lehrstuhl für Fahrzeugtechnik

Anforderungen

Die Herausforderung des Türsystems war die Anforderungen von vier Fahrzeugen mit einem möglichst modularen, skalierbaren Türsystem zu erfüllen. Für einen komfortablen Einstieg sowie den autonomen Betrieb des autoCARGO ist ein automatisches Öffnen und Schließen der Türen notwendig. Eine gute Ergonomie soll durch ein geringes Ausscheren der Tür, eine akzeptable Öffnungszeit und einen aufrechten Einstieg erreicht werden. Um die Sicherheit der Passagiere zu gewährleisten ist eine Notöffnung vorzusehen. Fahrzeugseitig sollte der Packageraum minimiert werden sowie keine erkennbaren Funktionsteile, wie z. B. Schienen, im Exterieur auftreten. Eine weitere anspruchsvolle Anforderung war die große Türöffnungsbreite von 2000 mm für das autoCARGO, um ganze Paketcontainer auf einmal austauschen zu können.

Konzeptfindung

Zur Konzeptfindung wurden verschiedene Türkonzepte gegenübergestellt. Die Drehflügeltür hat eine ausgeprägte Ausschwenkbewegung und ist deswegen nicht geeignet. Die erschwerte Notöffnung bei Scheren- und Flügeltüren verbieten diese Konzepte. Die Schwenktür hat bei kleinen Packageanforderungen und großen Türöffnungen das Problem einer weiten Ausschwenkbewegung während die Schiebetür die Anforderung an das Exterieur nicht erfüllt. Um alle Anforderungen zu befriedigen wurde auf eine Kombination von Schwenk- und Schiebekinematik zurückgegriffen. Um den aufrechten Einstieg bei der kleinen Plattform zu ermöglichen, ist das Dach in der kleinen Fahrzeugausprägung teilweise ausfahrbar.

Konzept

Das finale Konzept besteht aus einer Schwenkschiebetür mit zwei Türflügeln pro zu öffnender Fahrzeugseite. Die Türkinematik ist eine Kombination eines Schwenkmechanismus mit einem Verschiebemechanismus. Der Schwenkmechanismus ist als Viergelenk ausgeführt und seitlich über den Reifen am Fahrzeug angeschlagen. Angetrieben wird dieses durch einen elektrischen Getriebemotor, welcher ein Moment auf den unteren Schwingarm aufbringt. Aufgesetzt auf das Viergelenk ist ein Schiebemechanismus bestehend aus zwei Schienen und vier Schlitten. Angetrieben wird dieser durch einen Getriebemotor mit Zahnrad und Zahnstange. Durch die Kombination ist die Länge der Schwenkarme und damit des seitlichen Ausschwenkens der Tür reduziert. Die volle Türöffnungsbreite kann durch den in der Tür integrierten Schiebemechanismus erreicht werden. Um den Dichtungsgegendruck beim Schließen der großen Türflügel zu überwinden, sind je Fahrzeugseite fünf Schlösser mit Zuziehhilfe verbaut. Der Unterschied zwischen kleiner und großer Fahrzeugausprägung besteht nur in der Länge des Schiebemechanismus.

Bei der kleinen Variante wird das Dach durch einen Viergelenkmechanismus angehoben. Der Antrieb geschieht durch den gleichen Motor wie bei der Schwenkkinematik und erfüllt damit die Modularitätsanforderung.

Dynamikmodul

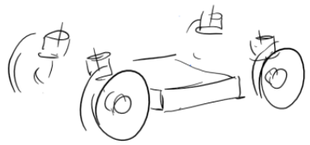
Antrieb, Fahrwerk und Lenkung

Michael Struth, Timm Martens | RWTH Aachen University, Institut für Kraftfahrzeuge (ika)
Sebastian Wielgos, Sven Brandt | Schaeffler
Martin Schlupek | Maxion Wheels Germany Holding GmbH:

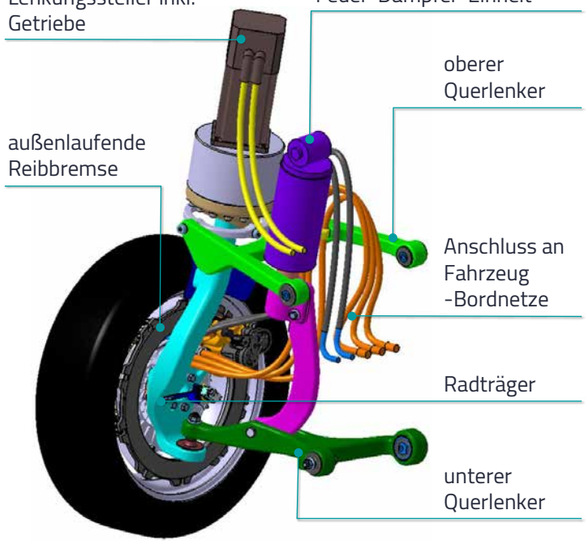
GEFÖRDERT VOM
Bundesministerium für Bildung und Forschung

Hochintegriertes mechatronisches Modul

- Integration von Antrieb, Fahrwerk, Bremse und Lenkung in einer kompakten Einheit
- Radindividuelle Antriebs- und Bremsmomente sowie Lenkwinkel von bis zu 90°
- Verbau von vier identischen Modulen in jeder Fahrzeugausprägung
- Integration der zugehörigen Steuerungseinheit „Rückenmark“
- Realisierung der vorgegebenen Fahrtrajektorien von Stamm- und Großhirn
- Generierung neuartiger funktionaler Potenziale sowie Bewegungsoptionen

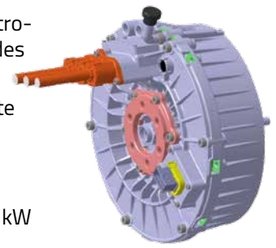


Konstruktion



Radnabenantrieb

- Kombination von 48-Volt Elektromotor mit Getriebe innerhalb des Rads
- Ermöglicht neue Raumkonzepte und höchste Manövrierbarkeit (90° Lenkwinkel)
- Pro Rad 7 kW und 230 Nm dauerhaft, kurzzeitig bis zu 14 kW und 500 Nm

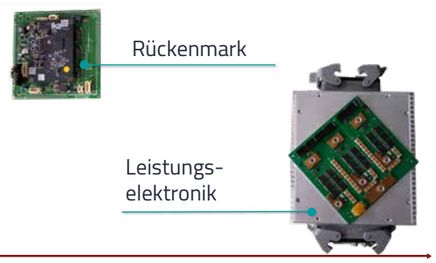


Gewichtsoptimiertes Aluminiumrad

- Eigenentwicklung für UNICAR*agil*
- Anbindung für die Bremsscheibe im Felgenbett
- Individuelles Farbdesign für jede Ausprägung

Rückenmark und Leistungselektronik

- Entwicklung des Rückenmark-Steuergeräts samt Schnittstellen
- Kommunikation über Automotive Ethernet (BroadR-Reach)
- Dienste „Antreiben“, „Bremsen“ und „Lenken“ laufen auf dem Rückenmark
- Stellbefehle im Regelbetrieb vom Stammhirn
- Bei Ausfall des Stammhirns eigenständige, reflexartige Bewegungsregelung
- Entwicklung der 48-Volt Leistungselektronik für den Lenkungssteller
- Elektrische Ausgangsleistung bis ca. 4 kW



unicaragil

RWTH AACHEN UNIVERSITY · TU Darmstadt · TUM · KIT · Universität Ulm · Universität Stuttgart · Universität Passau · atlatec · fly-drive · IMAR · IPG · SCHAEFFLER · MAXION WHEELS · Valeo

Dynamikmodul

Hören Sie auch den Podcast zum Poster.

Michael Struth
RWTH Aachen University
Institut für Kraftfahrzeuge

Die Dynamikmodule bilden den wichtigsten Bestandteil für die eigentliche Bewegung der Fahrzeuge. An jeder Fahrplattform einer UNICARagil-Fahrzeugausprägung sind vier identische Dynamikmodule angebracht. Diese haben die Aufgabe, die von den verschiedenen Recheneinheiten vorgegebenen Trajektorien umzusetzen. Sie bilden also den direkten Kontakt zur Fahrbahn und sind für die Aufgaben des Lenkens, Antreibens und Bremsens zuständig. Jedes Dynamikmodul ist dabei individuell steuerbar und kann Lenkwinkel von bis zu 90° einstellen. Hierdurch lassen sich völlig neue Bewegungsformen im Straßenverkehr realisieren.

Ein Dynamikmodul besteht aus den Aktuatoren für die Bewegung des Fahrzeugs und dem zugehörigen Steuergerät. Das Rad, die Federung, ein integrierter Radnabenmotor, die Reibbremse und ein Lenkungssteller bilden gemeinsam den mechanischen Teil des Moduls. Beide Elektromotoren werden mit einer Spannung von 48 V versorgt und verfügen über eine eigene Leistungselektronik, die jeweils in der Fahrzeugplattform montiert ist. Die kompakten Radnabenmotoren können hierbei eine Peakleistung von je 14 kW und durch eine integrierte Planetenstufe Drehmomente von bis zu 500 Nm am Rad bereitstellen. Das elektrische Lenksystem nimmt in der Spitze ca. 4 kW elektrische Leistung auf und stellt das notwendige Drehmoment am Rad über ein Harmonic Drive Getriebe zur Verfügung. Aufgrund der hohen Steifigkeit und Übersetzung lässt sich der Lenkwinkel sehr genau einstellen. Unterstützt wird dies durch die abtriebsseitige Drehmoment- und Positionsmessung, was zusätzliches Potenzial für die Fahrdynamikzustandsschätzung bietet. Zusätzlich verfügt jedes Dynamikmodul über ein eigenes Steuergerät, das gemeinsam mit den Steuergeräten der restlichen Dynamikmodule zum „Rückenmark“ verschaltet wird. Auf diesem Steuergerät laufen sämtliche zugehörige Regelalgorithmen. Diese Rückenmarksteuergeräte werden eigens im Projekt entwickelt und erfüllen so die spezifischen Anforderungen für das automatisierte Fahren. Dabei wird auf automotive Technologien wie z. B. BroadR-Reach-Ethernet gesetzt, die schnelle und sichere Datenübertragungen gewährleisten.

Das Rückenmark repräsentiert die unterste Schicht der E/E-Architektur. Während des Normalbetriebs empfängt es Stellbefehle vom Stammhirn, überprüft, ob sie im Bereich der aktuellen Fähigkeiten liegen und steuert die verschiedenen Aktuatoren. Zusätzlich stellt das Rückenmark ständig Informationen über seine eigenen Fähigkeiten über die Ethernet-Schnittstelle bereit. Im Falle eines Stammhirnversagens ist das Rückenmark in der Lage, die Signale direkt aus dem Großhirn zu empfangen und das Fahrzeug durch eine eigene Bewegungsstrategie zu steuern, um einer Trajektorienvorgabe zu folgen. Während der Inbetriebnahmephase kann ein menschlicher Fahrer, der einen Sidestick und ein Bremspedal bedient, das Fahrzeug steuern. Die Eingabeschnittstellen des Fahrers sind direkt mit dem Rückenmark verbunden, so dass das Fahrzeug auch ohne Stammhirn und Großhirn betrieben werden kann.

Impressum

Herausgeber
V.i.S.d.P: Prof. Dr. Lutz Eckstein
RWTH Aachen University
Templergraben 55
52056 Aachen

Gesamtkoordinator
Prof. Dr. Lutz Eckstein
RWTH Aachen University, ika
Steinbachstraße 7
52074 Aachen

Projektleiter
Timo Woopen, M.Sc.
RWTH Aachen University, ika
Steinbachstraße 7
52074 Aachen

Projektmanagement und kreative Umsetzung, Layout sowie Realisierung
Miriam Ludwigs, B.Sc.
Projektbüro UNICARagil
RWTH Aachen University, ika
Steinbachstraße 7
52074 Aachen

Druckerei
Image Druck-Medien
Karl-Friedrich-Straße 76
52072 Aachen

Copyright
www.unicaragil.de
Alle Rechte vorbehalten
© Copyright 2020 by RWTH Aachen University

www.unicaragil.de