

GEFÖRDERT VOM



Bundesministerium
für Bildung
und Forschung

UNICAR*agil* news

4. Ausgabe | Februar 2021

Jetzt online abonnieren:
www.unicaragil.de/newsletter

*Das Einmaleins der
Fahrzeugautomatisierung*
Back to School



Liebe Leser*innen,

wir langjährige Autofahrer blicken möglicherweise mit einem Schmunzeln auf die ersten Fahrstunden in einem Auto zurück, in dem noch pure Muskelkraft zum Lenken gefragt war. Es gab in vielen Fahrzeugen noch keine Servolenkung, was heute undenkbar ist. Von Fahrerassistenzsystemen war damals jedenfalls noch keine Rede. Das 1995 in den Markt eingeführte ESP hat das Autofahren sehr viel sicherer gemacht, verfügt aber über keine Sensorik zur Erfassung des Fahrzeugumfelds. Erst der gegen Ende des letzten Jahrhunderts eingeführte Abstandsregeltempomat erfasst andere Fahrzeuge und kann damit als Vorstufe des automatisierten Fahrens verstanden werden.

Heute ist das automatisierte Fahren in aller Munde. Nicht wenige von uns UNICARlern haben zur Erforschung und Entwicklung von immer fortschrittlicheren Fahrerassistenzsystemen beigetragen, die den Fahrer entweder hinsichtlich der Längs- und Querführung entlasten, oder in anspruchsvollen Verkehrssituationen unterstützen. Mit dem automatisierten Fahren wollen wir aber noch deutlich weiter gehen. Unser Ziel ist es, Fahrer*innen von der Fahraufgabe komplett zu entlasten, sodass diese sich zurücklehnen oder anderweitig beschäftigen können und das Fahrzeug vielleicht auch mal ohne Fahrer*in unterwegs sein kann.

Zur Erreichung dieses Ziels müssen noch einige Schritte gegangen werden. Weltweit arbeiten Wissenschaftler und Unternehmen an innovativen Lösungen, sodass sich dieses Forschungsfeld momentan sehr rasant weiterentwickelt.

In diesem Newsletter geben wir einen ersten Einblick in die Themen, die es noch zu erforschen gilt, um automatisierte Fahrzeuge auf die Straße zu bringen. Es gibt noch viele spannende Themen und Aspekte, die unsere Universitäten und viele Unternehmen in den kommenden Jahrzehnten beschäftigen werden. Vielleicht entscheidest auch Du dich nach Deinem Schulabschluss dafür, mit uns die Mobilität von Morgen zu gestalten – ich würde mich freuen.

Es grüßt herzlich
Univ.-Prof. Dr.-Ing. Lutz Eckstein

Automatisiertes Fahren

Seit über 120 Jahren spielt der motorisierte Straßenverkehr eine bedeutsame Rolle. Das Auto ist heute fester Bestandteil der individuellen Mobilität und verschafft seinem Besitzer zumindest theoretisch eine unübertroffene Flexibilität. Die Realität sieht allerdings oft anders aus: Man möchte „nur mal schnell“ zum Sport oder „mal eben etwas erledigen“, wird aber durch einen Stau oder die Parkplatzsuche aufgehalten und kommt möglicherweise zu spät zu einem Termin.

Auf der anderen Seite trägt auch unser heutiges Konsumverhalten nicht gerade zur Entspannung der Verkehrssituation bei. Häufig ist es der komfortabelste oder schnellste Weg, Produkte über den Internethandel zu erwerben. Dies bedeutet jedoch auch, dass die Gütertransportleistung stetig wächst, da die Bestellungen meist bis vor die Haustür transportiert werden müssen. Natürlich bevorzugen einige Konsumenten immer noch das Shopping in der Innenstadt. Um dorthin zu gelangen, kann das eigene Fahrzeug benutzt werden, wobei die Parkplatzsuche in diesem Fall zwangsläufig mit eingeplant werden muss. Möchte man ohne eigenes Auto in die Innenstadt, gibt es zumindest im urbanen Raum verschiedene Möglichkeiten: Der öffentliche Personennahverkehr (ÖPNV) bildet eine unverzichtbare Grundlage der urbanen Mobilität, ist außerhalb der Stoßzeiten allerdings oft nur gering ausgelastet. Das Taxi wird vom Großteil der Bevölkerung aufgrund des hohen Preises nur selten genutzt. Daneben haben sich mittlerweile auch Car-Sharing-Angebote in Deutschland etabliert – allerdings nur für Fahrer*innen mit einem Führerschein. Weitere Möglichkeiten zur individuellen Motorisierung von Menschen außerhalb der Ballungszentren gibt es noch nicht. Somit ist

die zuvor angesprochene Flexibilität des vergangenen Jahrhunderts noch verbesserungsfähig.

Im Projekt UNICARagil erarbeiten wir deshalb Lösungskonzepte für die zukünftige Mobilität. Dabei werden vier Fahrzeugprototypen für verschiedene Anwendungen aufgebaut (Bild auf Seite 6):

- Das autoSHUTTLE ist unsere Ergänzung des ÖPNV. Es plant seine Route flexibel je nach Bedarf, um auch selten benötigte Haltestellen bedienen zu können.
- Unser autoTAXI ist ein automatisiertes Taxi, das je nach Zielgruppe ganz unterschiedlich ausgestattet werden kann. Eine Ridesharing-Option ermöglicht es, Fahrt und Kosten mit anderen Passagieren zu teilen.
- Das autoCARGO ist ein vollautomatisches Lieferfahrzeug, das auf seiner Route private und öffentliche Paketboxen anfährt, um Sendungen auszuliefern und aufzunehmen.
- Als individuelles und barrierefreies Privatfahrzeug vervollständigt die autoELF unsere UNICARagil-Fahrzeugfamilie. Ganz ohne Fahrer*in kann sie zum Beispiel Opa zum Arzt bringen oder die Kinder von der Schule abholen und stellt eine hilfreiche Erweiterung des persönlichen Lebensraums dar.

Alle Fahrzeuge haben eine Gemeinsamkeit: Das vollautomatisierte und fahrerlose sowie vernetzte und elektrische Fahren. Insbesondere die Fahrzeugautomatisierung ermöglicht völlig neue Mobilitätslösungen und hat das Potenzial, Effizienz, Komfort und Sicherheit im Straßenverkehr zu steigern. Der Grad der Fahrzeugautomatisierung lässt sich gemäß der international anerkannten Norm SAE J3016 in sechs Stufen klassifizieren (Seite 5).

Je höher die Automatisierungsstufe eines Fahrzeugs ist, desto mehr Fähigkeiten müssen seine Hardware und Software besitzen, um Aufgaben zu beherrschen, die bisher ein menschlicher Fahrer übernommen hat. Der Prozess der Informationsverarbeitung in einem automatisierten Fahrzeug lässt sich gut mit demjenigen des Menschen beim Autofahren vergleichen.

Zunächst muss der Fahrer sowohl sein Umfeld als auch den Zustand seines Fahrzeugs jederzeit wahrnehmen können. Dazu ist er mit seinen Augen und Ohren, aber auch den weiteren Sinnen wie dem Gleichgewichtsorgan ausgestattet, die mit hochgenauen Sensoren vergleichbar sind. Im nächsten Schritt muss das Gesehene, Gehörte oder Gespürte verarbeitet und die zukünftige Entwicklung der Verkehrssituation prognostiziert werden. Das passiert im Gehirn – genauer gesagt im Großhirn, dem Teil des Gehirns, der unter anderem für die Verarbeitung der Sinnesreize zuständig ist. So wissen wir, welche anderen Fahrzeuge, Fußgänger oder sonstigen potenziellen Hindernisse sich in unserem Umfeld befinden, mit denen wir nicht in Konflikt geraten sollten.

In den meisten Fällen fahren wir natürlich nicht grundlos durch die Gegend, sondern haben ein Ziel, das wir erreichen möchten. Wenn wir uns außerdem darüber im Klaren sind, wo wir uns gerade befinden, können wir eine Route zum Ziel suchen. Dies kann entweder ein Fahrer mit Ortskenntnis selbstständig tun oder mit

Hilfe eines Navigationsgerätes. Dieses hilft uns schon mal dabei, die richtigen Straßen und Abzweigungen zu finden, aber das reicht noch lange nicht aus, um ein Fahrzeug sicher durch den Straßenverkehr zu bewegen. Das Lenken, Abstandhalten von anderen Verkehrsteilnehmern, Wechseln des Fahrstreifens, Setzen der Blinker, Vermeiden von Hindernissen und so weiter erfordern eine Planung des zukünftigen Verhaltens. Bei dieser sogenannten Bahnführungsaufgabe hilft uns die zuvor bereits erwähnte Erfassung unseres Umfeldes.

Nun weiß der Fahrer zwar genau, wo er sein Fahrzeug bewegen möchte, aber ein wesentlicher Schritt fehlt noch: Die Bedienung von Lenkrad und Pedalen, also die Umsetzung der gewünschten Bewegung. Wer schon mal ein Auto gefahren ist weiß, dass dies viel Gefühl erfordert und erst in der Fahrschule trainiert werden muss, bis das ohne Nachzudenken „im Rückenmark“ abläuft.

All diese Aufgaben müssen in einem automatisierten Fahrzeug von Funktionen bzw. Algorithmen übernommen werden, die geschickt in Softwarebausteine übersetzt werden müssen. Diese werden auf entsprechend leistungsfähiger Hardware – also Computern – ausgeführt, um derart anspruchsvolle Aufgaben bewältigen zu können. In den folgenden Kapiteln geben wir einen Überblick über die Herausforderungen und Lösungsmöglichkeiten der einzelnen Aufgaben und führen diese Module dann in ihrer „funktionalen Architektur“ zu einem Gesamtsystem zusammen. Abschließend gehen wir den Fragen nach, was unsere Fahrzeuge sicher macht und warum wir heute noch keine fahrerlosen automatisierten Fahrzeuge auf den Straßen sehen – auch wenn dies von manchen Unternehmen bereits medienwirksam verkündet wird.

Autoren: Timo Woopen, Raphael van Kempen und Miriam Ludwigs | Institut für Kraftfahrzeuge, RWTH Aachen

Automatisierungsstufen

Der Grad der Fahrzeugautomatisierung lässt sich nach der Norm SAE J3016 in sechs Stufen klassifizieren:

0

Keine Automation

Es können unterstützende Systeme wie beispielsweise ein Antiblockiersystem oder ein Notbremsassistent vorhanden sein. Diese greifen allerdings nur kurzzeitig in die Fahrt ein, beispielsweise um einen Unfall zu verhindern. Der Fahrer muss jederzeit Lenkrad und Pedale bedienen.

2

Teilautomatisierung

Die Fahrerassistenzsysteme führen sowohl die Querrichtung (Lenken), als auch die Längsführung (Beschleunigen/Bremsen) des Fahrzeugs aus. Da diese Systeme funktionale Grenzen haben und deshalb nicht in allen Fahrsituationen funktionieren (z. B. in einer Baustelle), muss der Fahrer seine Hände jederzeit am Lenkrad behalten und die Funktion überwachen und ggf. übernehmen.

Zum Beispiel: Aktiver Spurhalteassistent UND „Abstandstempomat“

3

Bedingte Automatisierung

Der Fahrer kann die Steuerung unter klar definierten Randbedingungen, wie z. B. einer Fahrt auf der Autobahn im Stau, an die automatisierte Fahrfunktion abgeben, darf Nebentätigkeiten ausführen aber nicht schlafen, weil er auf Anforderung des Systems innerhalb von wenigen Sekunden in der Lage sein muss, die Steuerung wieder zu übernehmen.

Zum Beispiel: Stauassistent

5

Vollautomatisierung

Das Fahrzeug beherrscht eigenständig alle Situationen, die auch ein menschlicher Fahrer absolvieren könnte, kann also überall und unter allen Umständen fahren. Viele Experten halten das für eine Vision, da dies extrem hohe Anforderungen an die Technologie stellt. Aus unserer Sicht dauert es noch mindestens 20 bis 30 Jahre bis so etwas in Großserie darstellbar sein wird.

1

Assistenzsysteme

Das Fahrzeug verfügt über Funktionen, die nach Aktivierung durch den Fahrer über einen längeren Zeitraum aktiv entweder das Lenken ODER das Beschleunigen/Bremsen des Fahrzeugs unterstützen oder ausführen. Dennoch kann der Fahrer die Fahraufgabe nicht gänzlich an das Fahrzeug delegieren, da er weiterhin den jeweils anderen Teil der Fahraufgabe ausführen muss.

Zum Beispiel: Aktiver Spurhalteassistent ODER „Abstandsregeltempomat“ (ACC)

Fahrerassistenzsysteme

Automatisierte Fahrfunktionen

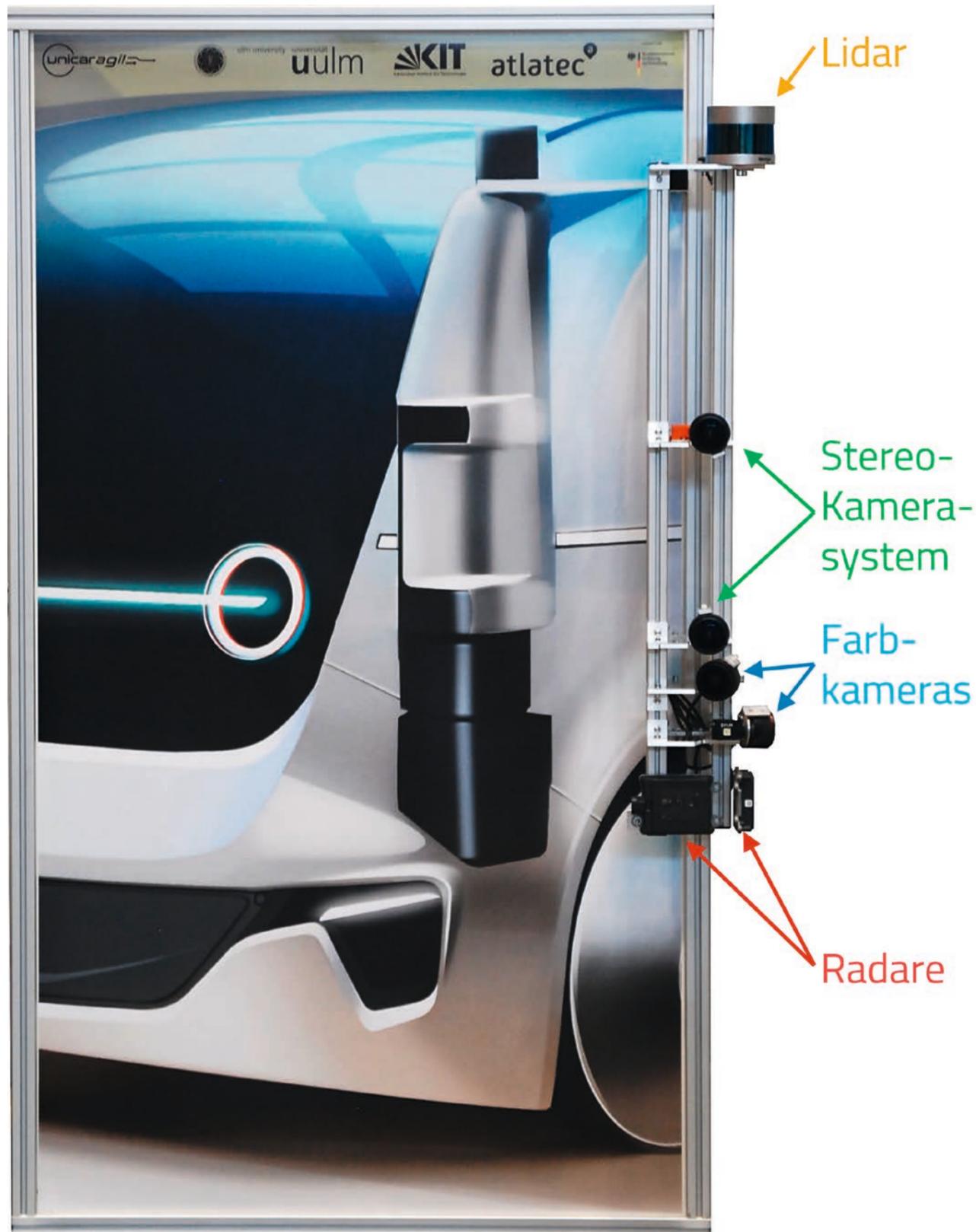
4

Hochautomatisierung

Innerhalb seines festgelegten Anwendungsgebietes (ODD: Operational Design Domain) kann das Fahrzeug sich vollkommen eigenständig bewegen – der Fahrer trägt keine Verantwortung mehr und kann sich anderweitig beschäftigen, ist also eigentlich kein Fahrer mehr, sobald er die Funktion aktiviert hat. Es ist auch denkbar, dass das Fahrzeug kein Lenkrad und keine Pedale mehr hat – dann spricht man von „fahrerlosen“ Fahrzeugen, die jedoch durch eine Leitwarte begleitet werden – wie in der Luftfahrt.

Zum Beispiel: Robo-Shuttle





Sensorik

Wie kann ein automatisiertes Fahrzeug sehen?

Ein automatisiertes Fahrzeug nutzt Sensoren, um seine Umgebung wahrzunehmen. Diese Sensoren können im übertragenen Sinn als die „Sinnesorgane“ des Fahrzeugs betrachtet werden. Dabei werden unterschiedliche Sensorprinzipien miteinander kombiniert, um deren Stärken auszunutzen und Schwächen auszugleichen.

Zu den wichtigsten Sensortypen gehört die Kamera, da der Straßenverkehr auf menschliche Fahrer ausgelegt ist, die Informationen über ihre Augen wahrnehmen. Kameras werden vor allem dafür verwendet, Fahrbahnmarkierungen, Ampeln und andere Verkehrsteilnehmer zu erkennen und einzuordnen. Die genauen Positionen dieser Objekte können jedoch mit anderen Sensoren besser bestimmt werden, da einzelne Kameras nicht in der Lage sind, die Tiefe einer Szene eindeutig zu erfassen. Zwei Kameras gemeinsam können zwar als Stereokamera auch die Tiefeninformation – also den Abstand – liefern, allerdings ist dies aufwändiger und bei großen Entfernungen nicht sehr genau. Außerdem sind die meisten Kameras nur für den Nahbereich bis 50 Meter geeignet.

Die genauen Positionen anderer Verkehrsteilnehmer einschließlich des Abstands können hin-

gegen sehr gut mit einem sogenannten Lidar, einem Laserscanner, bestimmt werden. Dieser Sensor misst mit einem Laserstrahl im Infrarotbereich die Distanz zu einem einzelnen Punkt auf bis zu drei Zentimeter genau – selbst bei großen Entfernungen.

Ein weiterer Sensortyp ist das Radar, welches wie der Lidar elektromagnetische Wellen nutzt, allerdings in anderen Frequenzbereichen. Dieser Sensor hat bei einer Frequenz von ca. 77 GHz einen sehr weiten Sichtbereich mit bis zu 200 Metern und misst den Abstand zu Objekten sehr genau. Des Weiteren können über den sogenannten Doppler-Effekt auch die Relativgeschwindigkeiten zu anderen Fahrzeugen gemessen werden, ähnlich wie es auch ein „Blitzer“ macht.

Im Bild ist ein UNICARagil-Sensormodul zu sehen, welches alle oben beschriebenen Prinzipien nutzt und kombiniert. Jedes Fahrzeug besitzt vier dieser Sensormodule, um die gesamte Umgebung des Fahrzeuges zu erfassen.

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



Kameraverarbeitung: Im linken Bild sieht man die semantische Segmentierung, im rechten Bild die Bounding-Box-Schätzung aus einem Kamerabild. Verschiedene Klassen sind jeweils in verschiedenen Farben dargestellt. Beispielsweise ist die Fahrbahn in lila dargestellt, Fahrzeuge sind hingegen in blau dargestellt.

Umfeldmodellierung

Wie verarbeitet ein automatisiertes Fahrzeug die Sensordaten?

Um sich im Verkehr bewegen zu können, muss ein automatisiertes Fahrzeug die Daten der verschiedenen Sensoren auswerten. Das Ziel dabei ist, die von den Sensoren erfasste Umgebung in eine effiziente Darstellung zu bringen, die das Fahrzeug weiterverwenden kann. Dazu gehört zum einen die statische Umgebung, also unter anderem die Fahrbahn, Ampeln und Schilder. Zum anderen müssen auch die dynamischen Objekte, also zum Beispiel Objekte, wie andere Verkehrsteilnehmer, Autos, Busse und Fußgänger, erkannt werden.

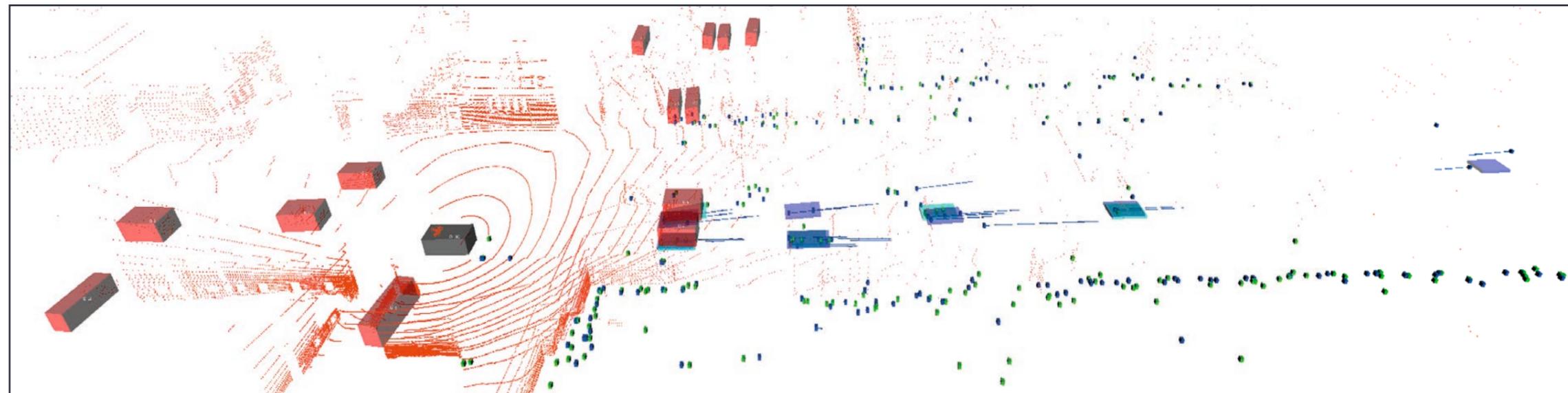
Zur Erkennung der statischen Umgebung verlässt sich das automatisierte Fahrzeug auf eine hochgenaue Karte, welche im Vorhinein aufgenommen und von Menschen überprüft worden ist. Da die hochgenaue Karte nicht immer aktuell ist (zum Beispiel an Baustellen), werden die Informationen auch aus den Sensordaten berechnet. Im Bild links oben sieht man eine sogenannte "semantische Segmentierung" eines Kamerabildes. Bei dieser wird jedem Bildpixel eine Klasse zugeordnet (Straße, Gehweg, Auto, ...).

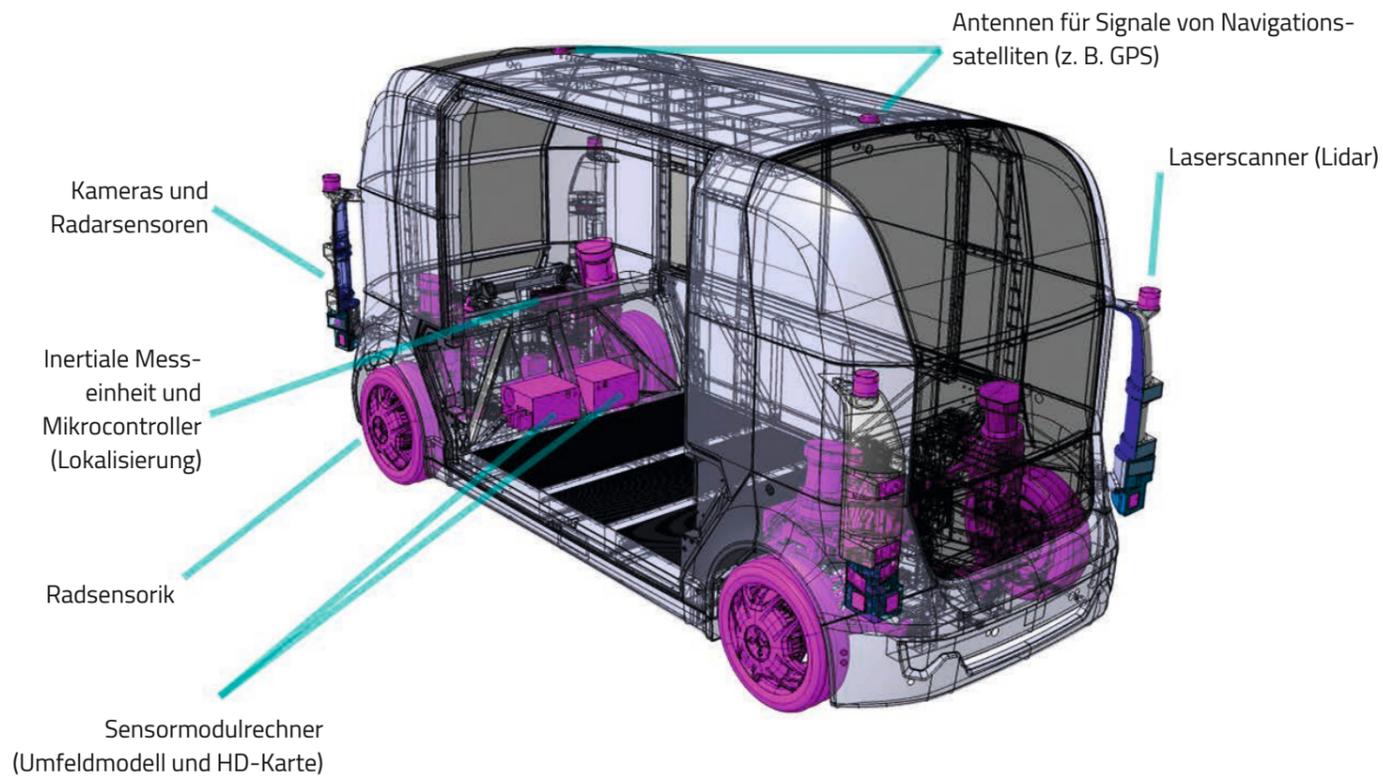
Die Erkennung der Verkehrsteilnehmer wird mit allen Sensoren durchgeführt. Ziel ist es, für jeden Verkehrsteilnehmer Position und Ausdehnung zu bestimmen. Dafür wird ein dreidimensionaler Quader, die sogenannte Bounding-Box, geschätzt, welcher den Verkehrsteilnehmer komplett enthält. Außerdem wird für jeden Verkehrsteilnehmer die Klasse (Pkw, Lkw, ...) sowie die Geschwindigkeit geschätzt. In den Bildern sind Beispiele für Bounding-Box-Schätzungen zu sehen. Die Kamera kann zwar nur zweidimensionale Boxen

schätzen, ist dafür aber sehr gut bei der Klassenzuordnung. Der Lidar kann die dreidimensionale Position sehr gut bestimmen (rote Boxen im unteren Bild), wohingegen das Radar die Geschwindigkeit gut schätzen kann (blaue Boxen im unteren Bild). So ergänzen sich die Sensoren in Ihrer Aufgabe, die Umgebung optimal zu erfassen.

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

Lidar- und Radarverarbeitung: Dieses Bild zeigt die Lidar- und Radar-Sensordaten sowie deren Bounding-Box-Schätzungen. Die roten Boxen zeigen die Lidar-Bounding-Box-Schätzungen, während die blauen beziehungsweise grünen Boxen die Radar-Bounding-Box-Schätzungen zeigen. Das eigene Fahrzeug ist als graue Box dargestellt.





Verwendete Sensorik zur Lokalisierung in UNICARagil-Fahrzeugen. Die Abbildung stammt aus der rechnergestützten Konstruktion (CAD) und zeigt einen Entwicklungsstand des Fahrzeugs, bei dem einige Baugruppen zur besseren Übersicht ausgeblendet wurden. Die Sensorik ist in Magenta eingefärbt.

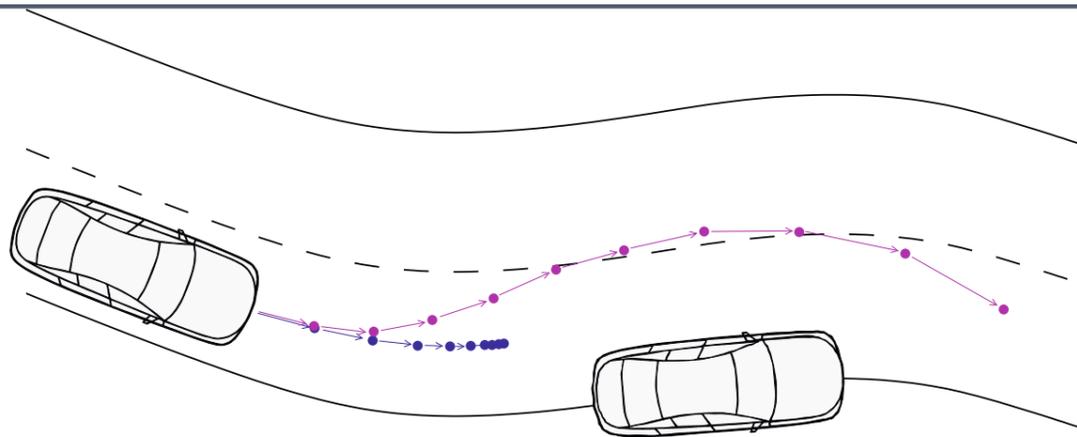
Lokalisierung

Wie weiß das Auto, wo es ist?

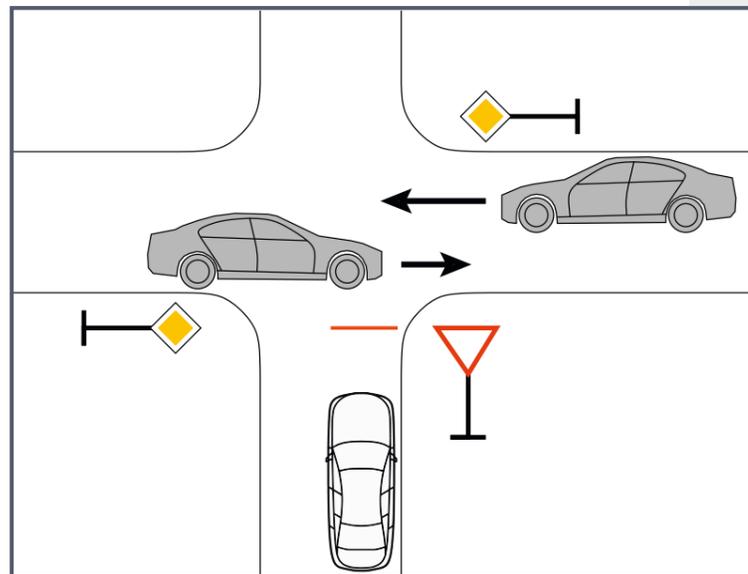
Damit das Fahrzeug sich mit seinen Sensoren auf einer Karte wiederfinden kann, muss es sich lokalisieren. Die genaue Bestimmung von Position und Ausrichtung erfolgt durch die Messung von Signalen der Navigations-satelliten (z. B. GPS). Der Empfänger im Fahrzeug berechnet aus den Signalen die Distanzen des Fahrzeugs zu allen sichtbaren Navigations-satelliten und bestimmt daraus die Position des Fahrzeugs im Idealfall zentimetergenau. Bei dieser Berechnung werden die genannten Distanzen als Radien von Kugeln um die Satellitenpositionen genutzt, deren Schnittpunkt die Position des Fahrzeugs ergibt (räumlicher Bogenschnitt). Im Fall der UNICARagil-Fahrzeuge, die mit zwei Antennen für diese Signale ausgestattet werden, kann zudem die Fahrzeugausrichtung bestimmt werden.

Bei der Fahrt in der Stadt wird der Signalempfang oft durch Bäume, Gebäude oder Tunnel eingeschränkt. Deshalb wird die Positionsbestimmung durch ergänzende Sensoren gestützt: Inertialsensoren liefern Beschleunigungen und Drehraten, Radsensorik stellt Drehraten und Lenkwinkel der Räder bereit. Durch die Kombination dieser Messungen mit den Satellitendaten kann die genaue Position kontinuierlich für die Aufgaben des automatisierten Fahrens zur Verfügung gestellt werden. Durch die Umfellsensorik in UNICARagil mit Kameras, Radarsensoren und Laserscannern (Lidar) und einer digitalen Karte wird dann der Bezug des Fahrzeugs zur Umgebung sehr genau hergestellt.

Autor: Grischa Gottschalg | Fachgebiet Physikalische Geodäsie und Satellitengeodäsie, TU Darmstadt



Beispiel einer Trajektorienplanung. Die violette Trajektorie beschreibt die Bewegung, um an dem parkenden Auto vorbeizufahren. Die Punkte zeigen die Position des Fahrzeugs im Abstand von 0,1 s. Die blaue Trajektorie zeigt eine Bremsung, um hinter dem parkenden Auto anzuhalten.



Entscheidungssituation an einer Kreuzung: Die querenden Fahrzeuge blockieren die Kreuzung, so dass sich das untere Fahrzeug entscheidet, an der roten Linie anzuhalten.

Prädiktion & Planung

Anhalten oder weiterfahren – woher weiß das Auto, wer Vorfahrt hat?

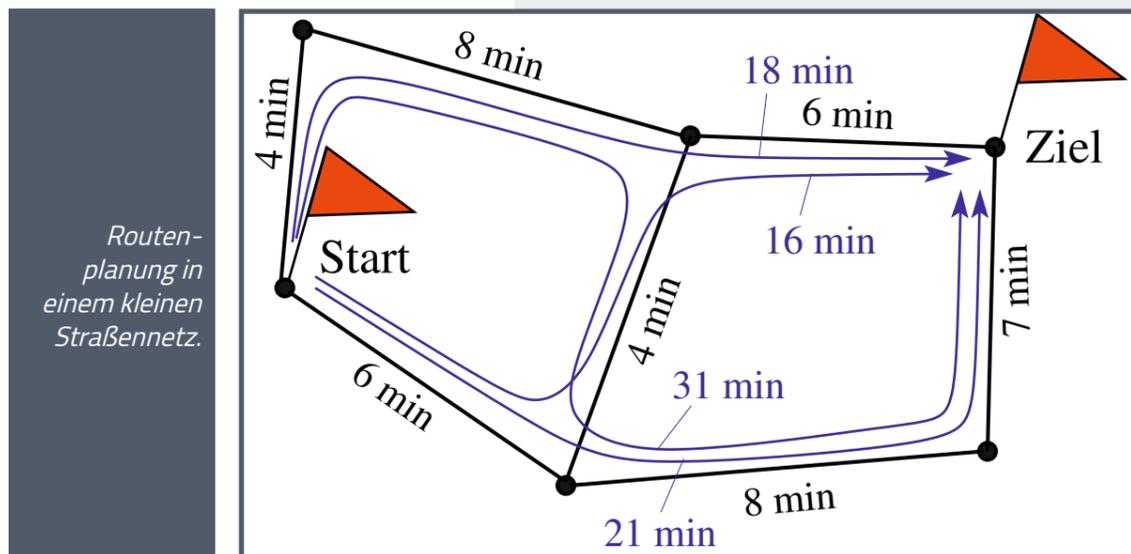
Möchte ein autonomes Fahrzeug zu einem Ziel fahren, muss es zunächst seine Route bestimmen. Dafür verwendet es ein Navigationsgerät. Dieses sucht in einer digitalen Karte alle möglichen Wege, die Start- und Endpunkt miteinander verbinden und schätzt für jeden Weg die Fahrzeit ab. Der schnellste Weg wird ausgewählt. Um die Suche effizient zu gestalten, werden weniger aussichtsreich erscheinende Wege erst dann analysiert, wenn unter den vielversprechenden Wegen kein passender gefunden wurde.

Vorfahrt haben. Aus deren Geschwindigkeit schätzt es ab, wann welches Fahrzeug die Kreuzung überqueren wird und wann die Kreuzung frei ist.

Nun muss das Fahrzeug noch planen, mit welcher Geschwindigkeit es fährt und welcher Bahn es folgen soll. Dazu berechnet sich das Fahrzeug eine Trajektorie, das heißt eine Weg-Zeit-Kurve, die beschreibt, zu welcher Zeit innerhalb der nächsten Sekunden es sich an welchem Ort befinden soll. Unter allen möglichen Trajektorien wählt es eine aus, die möglichst schnell und komfortabel zu fahren ist ohne dabei die Fahrbahn zu verlassen oder mit anderen Objekten zusammenzustoßen.

Kennt das Fahrzeug seinen Weg, kann es seine Fahrt beginnen. Doch wie soll es sich an einer Kreuzung verhalten? Welche Straße Vorfahrt hat, kann das Fahrzeug in seiner digitalen Karte nachschlagen oder durch Überprüfung der Ampeln in den Kamerabildern herausfinden. Anschließend bestimmt es, ob in seiner Umfeldrepräsentation Fahrzeuge eingetragen sind, die

Autor: Dr. Martin Lauer | Institut für Mess- und Regelungstechnik, Karlsruher Institut für Technologie



Routenplanung in einem kleinen Straßennetz.

Ausführung

Weder Lenkrad noch Gaspedal – und wie fahren wir jetzt los?

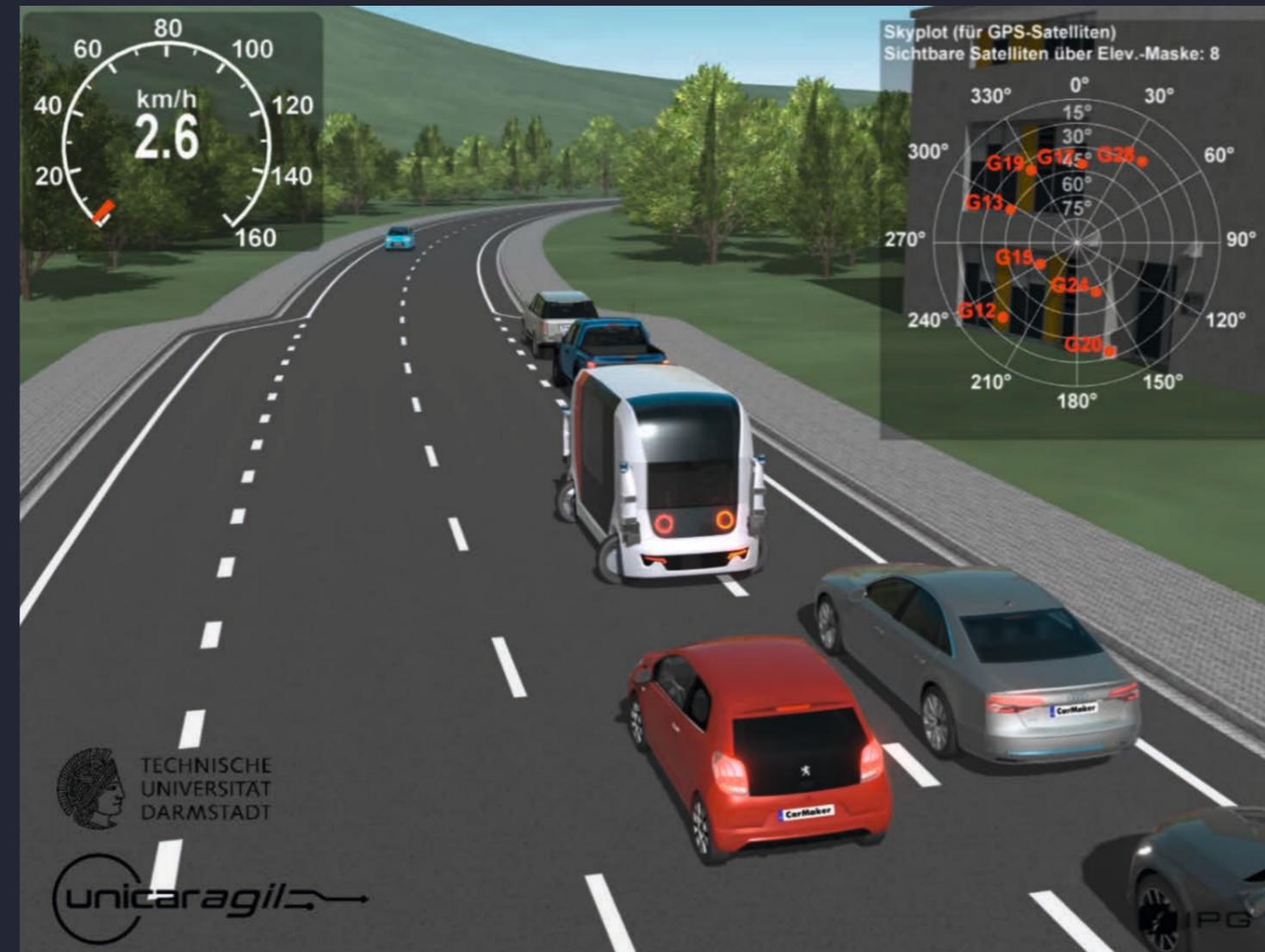
Damit sich ein automatisiertes Fahrzeug wie gewünscht bewegt, sind mehrere Schritte erforderlich. In den vorherigen Abschnitten wurde bereits gezeigt, wie das Fahrzeugumfeld erfasst wird, wie sich die Fahrzeugposition bestimmen lässt und wie das Verhalten geplant wird. Das Ergebnis der Verhaltensplanung besteht aus einer Liste von zeitlich in der nahen Zukunft (hier bis fünf Sekunden) reichenden Positionen, einer sogenannten Trajektorie, die mit jedem Planungszyklus (etwa alle 100 Millisekunden) aktualisiert wird.

Um dieses gewünschte Verhalten in eine reale Bewegung umzusetzen, berechnet eine sogenannte Bewegungsregelung, auf welchen Lenkwinkel die einzelnen Räder gestellt werden sollen und welche Antriebs- oder Bremskräfte die einzelnen Räder bereitstellen sollen, also ganz ohne Lenkrad und Gaspedal. Denn in den Fahrzeugen des Projekts UNICARagil verfügt jedes Rad über je einen eigenen Elektromotor zum Lenken und Antreiben.

Mit einer vorausschauenden Steuerung und einem ständigen Abgleich (bis zu 50 Mal pro Sekunde) zwischen gewünschter und tatsächlicher Position des Fahrzeugs werden im elektronischen Steuergerät die Befehle für die Motoren berechnet, die für die gewünschte Bewegung des Fahrzeugs sorgen. Das funktioniert ohne menschlichen Fahrer und sorgt selbst bei nicht vorhersehbaren Störungen (zum Beispiel Seitenwind) für eine korrekte Erfüllung des „Auftrags“ der Verhaltensplanung.

Mit den individuell steuerbaren Rädern im Projekt UNICARagil können sogar unkonventionelle Manöver wie das dargestellte seitliche Einparken oder auch ein Wenden auf der Stelle durchgeführt werden. Auf diese Weise kann das Fahrzeug auch problemlos in beengten Bereichen (zum Beispiel in der Innenstadt) bewegt werden.

Autor: Tobias Homolla | Fachgebiet Fahrzeugtechnik, TU Darmstadt



Seitliches Einparken eines automatisierten Fahrzeugs im Projekt UNICARagil durch Ansteuerung der in den Rädern verbauten Elektromotoren

Absicherung

Warum fahren automatisierte Fahrzeuge noch nicht im Straßenverkehr?

Seit vielen Jahren wird bereits von den enormen Fähigkeiten automatisierter, fahrerloser Straßenfahrzeuge berichtet. Obwohl manche Versuchsfahrzeuge bereits auf öffentlichen Straßen ohne Fahrer unterwegs sind, gibt es diese bisher (Ende 2020) nicht zu kaufen. Der Grund dafür ist, dass zunächst bewiesen werden muss, dass ein automatisiertes Fahrzeug auch sicher genug und regelkonform fährt.

Im Unterschied zu herkömmlichen Fahrzeugen müssen automatisierte Fahrzeuge ohne einen menschlichen Fahrer zurecht kommen¹. Das automatisierte System ersetzt also den menschlichen Fahrer und sollte daher mindestens genauso sicher fahren. Ob ein Mensch sicher genug fährt, wird über die Führerscheinprüfung entschieden. Diese testet in etwa 45 Minuten jedoch nur einen sehr kleinen Anteil an Situationen, die im Straßenverkehr vorkommen. Der Mensch macht zwar auch Fehler und verursacht Unfälle, kann sich jedoch gut auf neue Situationen einstellen und mit diesen umgehen. Einem automatisierten System fällt dies deutlich schwerer und es ist nicht bekannt, ob es sich in anderen Situationen ebenfalls sicher verhält. Daher muss ein automatisiertes Fahrzeug in möglichst vielen verschiedenen Situationen getestet werden.

Um in einer Art von Führerscheinprüfung zu zeigen, dass die automatisierte Fahrfunktion doppelt so gut fährt wie der Mensch (das heißt nur halb so viele Unfälle verursacht), müsste diese Prüfstrecke über 6 Milliarden Kilometer lang sein². Selbst mit 1.000 Versuchsfahrzeugen würde diese Fahrt etwa 6,8 Jahre am Stück dauern³.

Auf einer Strecke von über 6 Milliarden Kilometern wiederholen sich sehr viele Situationen.

Statt diese unnötig mehrfach zu testen, würde es reichen, diese nur einmal als einzelne Schnipsel zu testen. Diese Schnipsel werden als Szenarien bezeichnet. Ein solches Szenario ist zum Beispiel ein Fahrstreifenwechsel auf der Autobahn, um einen Lkw zu überholen. Tritt ein solches Szenario mehrfach auf, wird auf den mehrfachen Test verzichtet und dadurch Zeit gespart. Allerdings sind die Situationen im Detail mit unterschiedlichen Anfangsbedingungen belegt, beispielsweise den Ausgangsgeschwindigkeiten, weshalb die Zahl der konkreten Testszenarien durch die Kombination dieser Bedingungen schnell sehr hoch wird.

Der Test all dieser Kombinationen in einem realen Fahrzeug ist jedoch wieder sehr aufwendig. Daher werden Tests nicht mehr nur in Realität, sondern auch virtuell durchgeführt. So können die Tests parallelisiert werden und dadurch in kürzerer Zeit ablaufen. Die dafür eingesetzten umfangreichen Simulationsmodelle ähneln Computerspielen. Allerdings muss mit neuen Ansätzen aus der Forschung noch erheblich nachgelegt werden, bis die Modelle so weit sind, dass sie die Umgebung und alle Bauteile des Fahrzeugs so realitätsnah simulieren, dass der virtuelle Test glaubhaft für die Zulassung herangezogen werden kann. Erst dann hat man das Werkzeug, mit dem gezeigt werden kann, ob ein automatisiertes System genauso gut oder sogar besser als der Mensch fahren würde. Die abschließende Aussage erhält man aber trotzdem erst, wenn die Fahrzeuge über etliche Milliarden Kilometer im Einsatz sind.

Autoren: Björn Klamann und Moritz Lippert | Fachgebiet Fahrzeugtechnik, TU Darmstadt und Torben Stolte | Institut für Regelungstechnik, TU Braunschweig

¹ Assistenzfunktionen in heutigen Fahrzeugen fahren zwar lange Strecken automatisiert, müssen aber von einem Menschen überwacht werden.

² Für eine automatisierte Fahrfunktion, die ausschließlich auf Autobahnen eingesetzt wird.

³ Bei täglichem 24-Stunden-Testbetrieb mit einer Durchschnittsgeschwindigkeit von 100 km/h.



Simulationsumgebung für das virtuelle Testen (unten) auf Basis eines Szenarios in der Realität (oben).

Wie kann sichergestellt werden, dass keine Unfälle passieren?

Während im Englischen zwischen Safety und Security unterschieden wird, wird im Deutschen für beide Bereiche der Begriff Sicherheit verwendet. Safety zielt darauf ab, negative Auswirkungen ungewollter Ereignisse zu verhindern oder zumindest abzuschwächen. Das Ziel von Security ist, böswillig herbeigeführte Ereignisse abzuwenden oder zumindest deren Auswirkungen zu reduzieren. Für automatisierte Fahrzeuge sind sowohl Safety als auch Security von hoher Relevanz.

Die Teilnahme am Straßenverkehr ist immer mit einem gewissen Risiko verbunden. Zum Beispiel fahren Menschen nicht beliebig langsam an geparkten Autos vorbei, obwohl jederzeit ein Kind auf die Straße laufen könnte. Menschen akzeptieren für den Nutzen, mobil zu sein, bewusst oder unbewusst ein Risiko. Dieses Risiko besteht auch bei automatisierten Fahrzeugen fort. Um das Risiko möglichst gering zu halten, wird im Rahmen von Sicherheitsanalysen systematisch untersucht, wann Fahrzeuge gefährliches Verhalten zeigen, welche Komponenten ausfallen oder kaputt gehen können und welches Risiko sich daraus ergibt. Darauf aufbauend werden Maßnahmen ergriffen, die das Risiko auf ein akzeptiertes Maß reduzieren.

Der Mensch ist ziemlich gut darin, auf unvorhergesehene Situationen oder Defekte am Fahrzeug zu reagieren. Deshalb liegt in herkömmlichen Fahrzeugen die Sicherheit der Insassen und anderen Verkehrsteilnehmer stark in den Fähigkeiten und dem umsichtigen Agieren des Fahrers/der FahrerIn begründet. Diese Möglichkeit fällt bei automatisierten Fahrzeugen weg und muss vollständig durch Technik ersetzt werden. Aller Wahrscheinlichkeit nach muss die Technik sogar besser fahren können als der Mensch. Ziel eines Sicherheitskonzepts ist deshalb, gefährliches Verhalten von automatisierten Fahrzeugen soweit wie möglich zu vermeiden. Die möglichen Ursachen für gefährliches Verhalten sind jedoch äußerst vielfältig. Sie können schon in der Entwicklung der Fahrzeuge liegen, aber auch während des Betriebs auftreten.

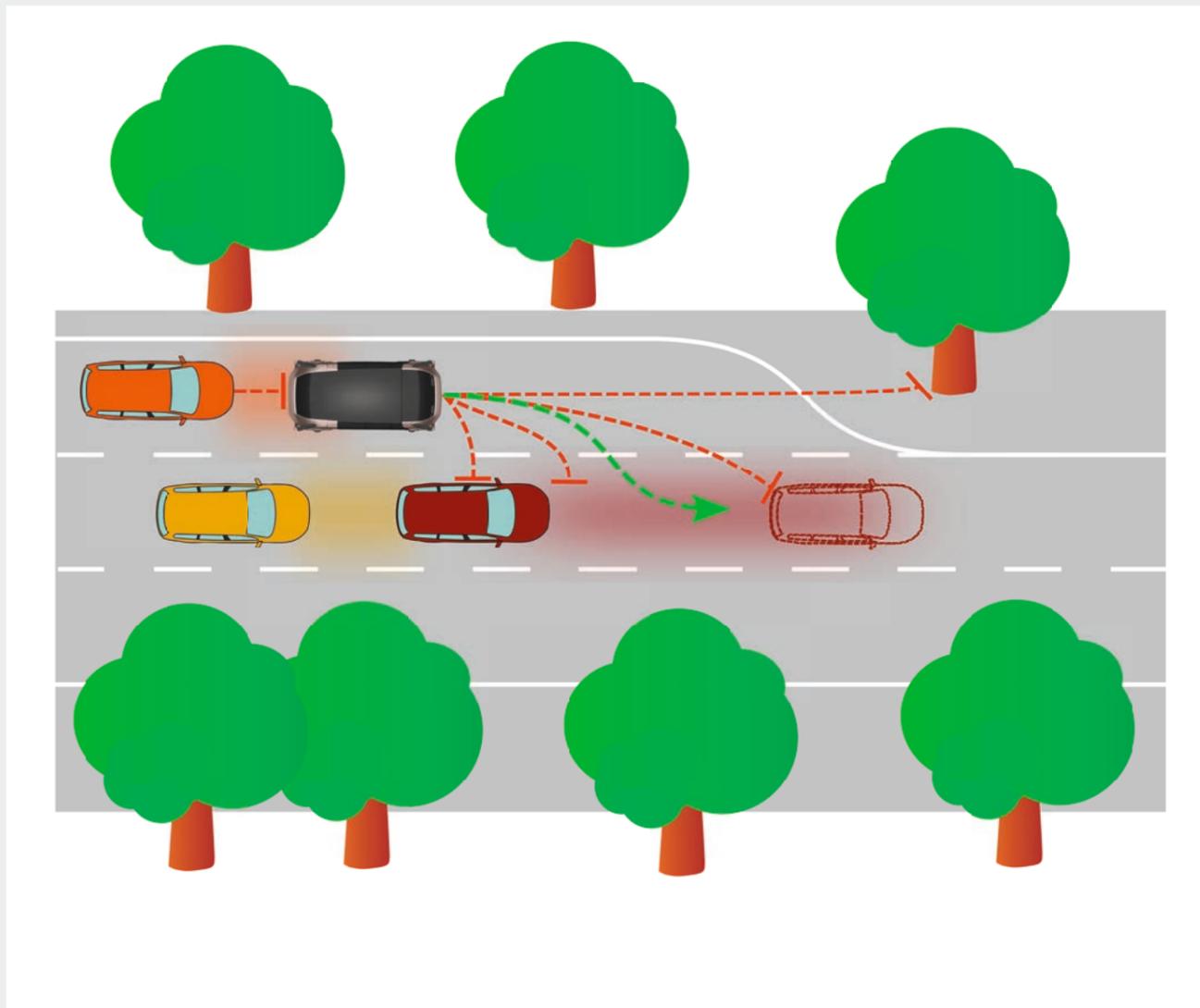
Während der Entwicklung muss dem Fahrzeug sicheres Verhalten beigebracht werden – und zwar in allen Sze-

narien, die das Fahrzeug durchfahren wird. Die Menge an möglichen Szenarien ist theoretisch unendlich groß. Eine möglichst große Anzahl an Szenarien zu untersuchen, ist eine große Herausforderung für die Absicherung, es kann jedoch immer nur eine Teilmenge untersucht werden. Des Weiteren können Entwicklerinnen und Entwickler Fehler bei der Entwicklung von Hard- und Software machen. Automatisierte Fahrzeuge sind hochkomplexe Systeme, bei denen viele Komponenten sehr stark untereinander interagieren. Darüber hinaus altern Komponenten und fallen aus. Die richtige Interaktion sicherzustellen und dabei auch Fehler zu berücksichtigen, ist eine äußerst anspruchsvolle Aufgabe.

Im Betrieb bestehen Ursachen für vorhandene Restrisiken zum einen in den physikalischen Grenzen der Sensorik, die dazu führen, dass das Umfeld nicht perfekt wahrgenommen werden kann. In allen Schritten der Verarbeitungskette (z. B. Umfeldmodellierung, Prädiktion & Planung sowie Ausführung) werden Vereinfachungen gemacht und Annahmen getroffen, damit die Verarbeitung in Echtzeit funktioniert. Die Vereinfachungen und Annahmen können dazu führen, dass wichtige Aspekte des Verkehrsgeschehens nicht oder nur ungenau berücksichtigt werden.

Einen Beitrag zur Sicherheit kann eine Anbindung der Fahrzeuge an das Internet bringen, indem Fahrzeuge Informationen untereinander austauschen, z. B. über den Straßenzustand oder plötzlich auftretende Nebelbänke. Zudem könnten so Updates einfach eingespielt werden. Jedoch ist die Internetanbindung ein mögliches Einfallstor für Hacker, die darüber z. B. an Informationen über die Passagiere gelangen oder gar die Steuerung des Fahrzeugs übernehmen könnten. Hierin zeigt sich auch, dass Safety und Security gegensätzliche Anforderungen haben können und somit gemeinsam betrachtet werden müssen. Während die Internetanbindung zur Safety beitragen kann, stellt sie für Security eine Herausforderung dar.

Autoren: Torben Stolte und Robert Graubohm | Institut für Regelungstechnik, TU Braunschweig



*Mögliches Verhalten eines automatisierten Fahrzeugs am Ende eines Fahrstreifens
(grün: sicheres Verhalten; rot: unsicheres Verhalten)*



UNICAR*agil*

Disruptive modulare Architektur für agile automa tisierte Fahrzeugkonzepte

Gesamtkonzept

Wer bereits ein Haus gebaut hat weiß, dass ein guter Architekt die wichtigste Voraussetzung für den erfolgreichen Hausbau ist. Eine sinnvolle Aufteilung des Grundrisses, ein gelungener technischer Ausbau und nicht zuletzt die optische Gestaltung steigern das spätere Wohlbefinden in dem Haus. Auch bei der Entwicklung von Fahrzeugen kommt der Architektur eine große Bedeutung zu. Architekturen können auf verschiedenen Ebenen betrachtet werden.

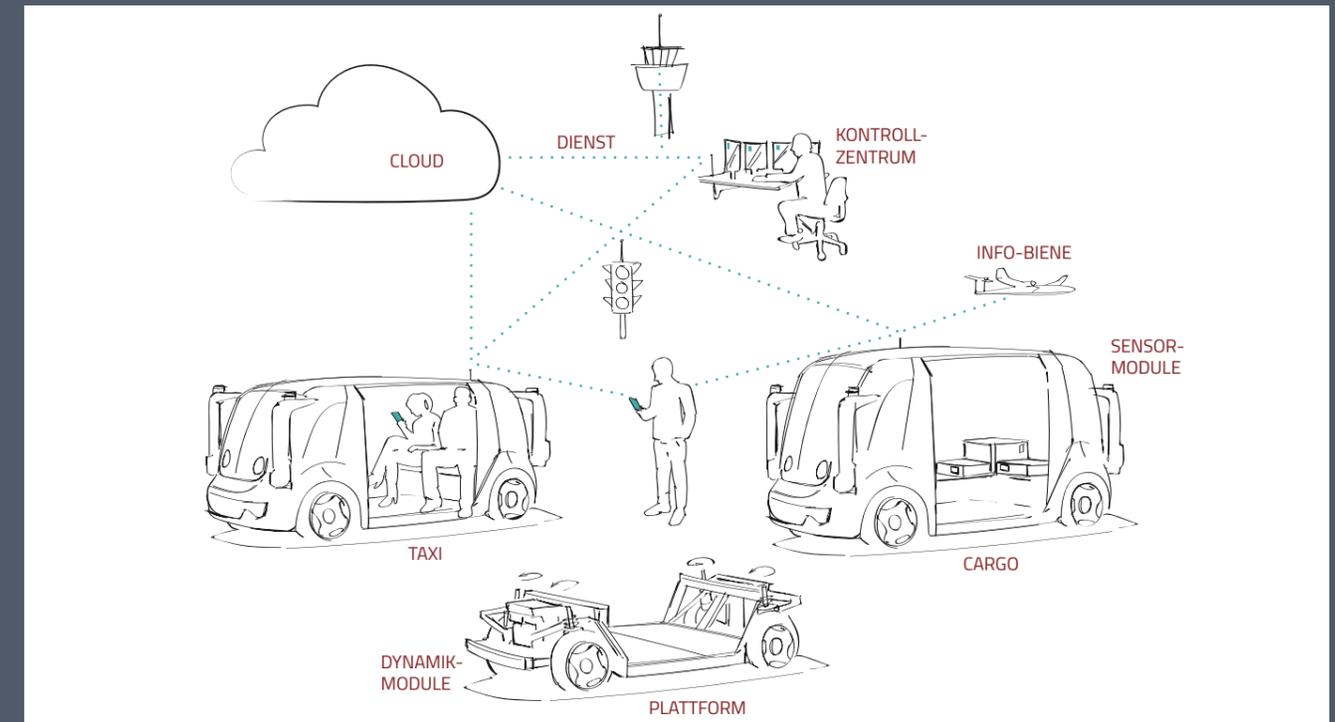
Die **geometrische Architektur** beschreibt, welche Form einzelne Bauteile haben und wie diese zusammenpassen. Die Fahrzeuglänge ist ein Beispiel für eine Information aus dieser Ebene. Die **Elektrik/Elektronik-Architektur** beschreibt die Energieversorgung und Computerinfrastruktur. Welche Kapazität die Akkus eines Fahrzeugs haben sollen, würde auf dieser Ebene beschrieben werden. Die **Softwarearchitektur** beschreibt, wie die Computerprogramme auf den Computern im Fahrzeug (sog. Steuergeräte) grundsätzlich aufgebaut sein sollen und wie sie untereinander kommunizieren können. Hier würde beispielsweise beschrieben werden, welches Betriebssystem (z. B. Linux) genutzt wird. Die **funktionale Architektur** beschreibt, welche Funktionen konkret durch die Hard- und Software abgebildet werden sollen. Objekterkennung ist

beispielsweise eine notwendige Funktion im automatisierten Fahrzeug.

Im Projekt UNICARagil verfolgen wir einen disruptiven Ansatz, in dem alle Architekturebenen im Fahrzeug – aber auch außerhalb – ohne Altlasten völlig neu und ganzheitlich gedacht werden. Dabei wird stark auf das Konzept der **Modularität** gesetzt. Dies bedeutet, dass alle Architekturebenen jeweils aus kleinen Bausteinen aufgebaut werden, deren Schnittstellen gut definiert sind. Dies erlaubt eine einfache Austauschbarkeit, was besonders hilfreich ist, wenn noch viele Weiterentwicklungen in näherer Zukunft zu erwarten sind. Dann kann man einzelne Module einfach mit einem **Update** oder einem **Upgrade** versehen.

Mit den oben beschriebenen Architekturkonzepten entwickeln wir im Projekt vier verschiedene Fahrzeuge. Dank der Modularität können diese auf viele gleiche Module zurückgreifen, weisen aber ganz unterschiedliche Eigenschaften und Fähigkeiten auf, die sich teilweise in ihren Namen direkt widerspiegeln: **autoTAXI** und **autoELF** sowie **autoCARGO** und **autoSHUTTLE**.

Autor: Bastian Lampe | Institut für Kraftfahrzeuge, RWTH Aachen



Die Skizze zum Gesamtkonzept in UNICARagil zeigt unter anderem den modularen physischen Aufbau der Fahrzeuge auf. Diese bestehen jeweils aus einer Fahrplattform und einem Aufbaumodul wie beispielsweise dem für ein Taxi oder für ein Lieferfahrzeug. Dabei basieren autoTAXI und autoELF sowie autoCARGO und autoSHUTTLE jeweils auf einer baugleichen, aber in ihrer Länge skalierten, Fahrplattform. Weiterhin zeigt die Abbildung, dass Verkehrsteilnehmer wie Kraftfahrzeuge, Fußgänger und Fahrräder über Mobilfunk mit der UNICARagil Cloud verbunden sind. Eine Kommunikation mit Infrastrukturelementen wie Ampeln und den ebenfalls im Projekt entwickelten Info-Bienen sowie der Leitwarte findet ebenfalls statt.

Funktionale Architektur

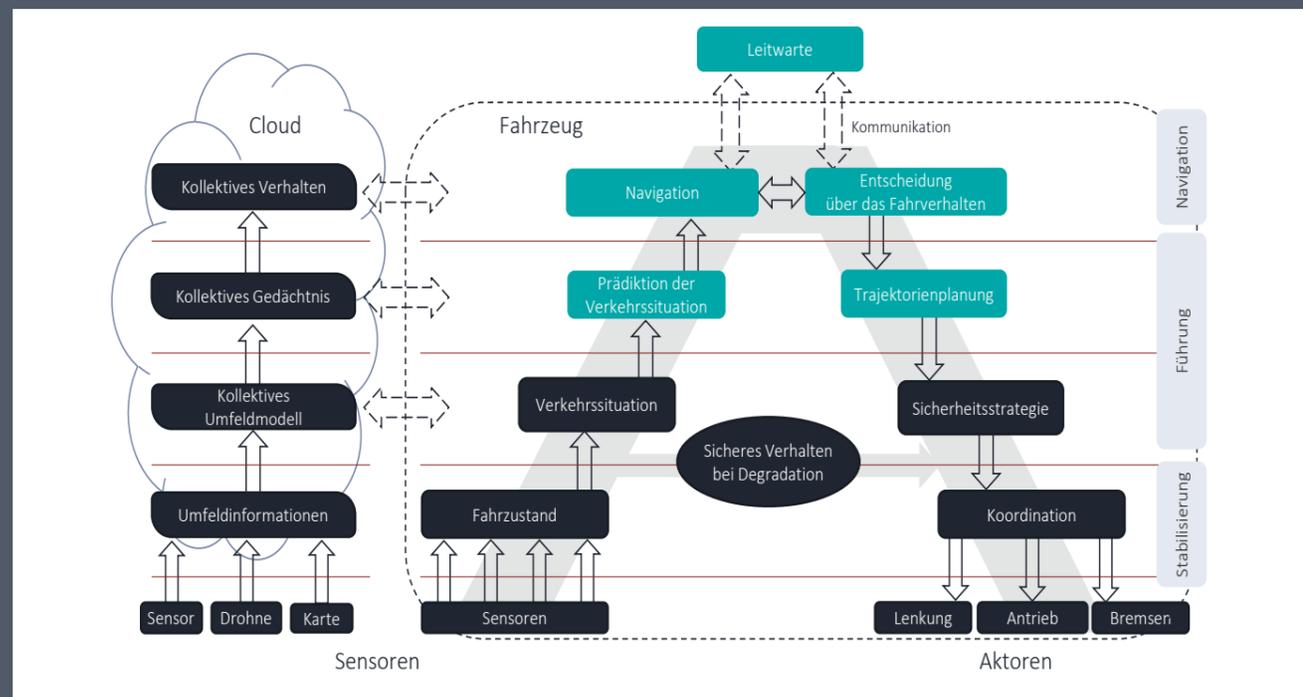
Die Erfüllung der Fahraufgabe automatisierter Fahrzeuge ist hochkomplex – von der Umfeldwahrnehmung durch die Sensoren bis zur Ansteuerung der Aktoren sind einige Verarbeitungsschritte notwendig. Diese wurden in den vorherigen Kapiteln bereits vorgestellt. Das sogenannte **A-Modell** (vgl. Abbildung) veranschaulicht das Zusammenwirken dieser Funktionen in ihrer funktionalen Architektur.

Das A-Modell bildet Funktionen im Fahrzeug **chronologisch von links nach rechts** ab und ist vertikal in mehrere **Ebenen** gegliedert: Auf unterster Ebene befinden sich die durch **Sensorik und Aktorik** des Fahrzeugs ausgeführten Funktionen. Darüber befindet sich die **Stabilisierungsebene**, deren Funktionen auch im Fehlerfall ein sicheres Verhalten ermöglichen. Auf der nächsthöheren Ebene findet die **Fahrzeugführung** statt, worauf wiederum die **Navigation** aufbaut.

Das A-Modell ist in der Abbildung erweitert um die in UNICARagil entwickelten **Cloud-Funktionen**, durch welche die im Fahrzeug lokalisierten Funktionen auf verschiedenen Ebenen unterstützt werden können. Über die Cloud können Fahrzeuge zum Beispiel ihr Umfeld gemeinsam wahrnehmen, indem sie Informationen zu den von ihnen wahrgenommenen Hindernissen austauschen. In der Cloud werden auch Daten gesammelt, die anschließend ausgewertet werden können, um aus ihnen zu lernen, die Aufgaben im Straßenverkehr noch besser zu meistern.

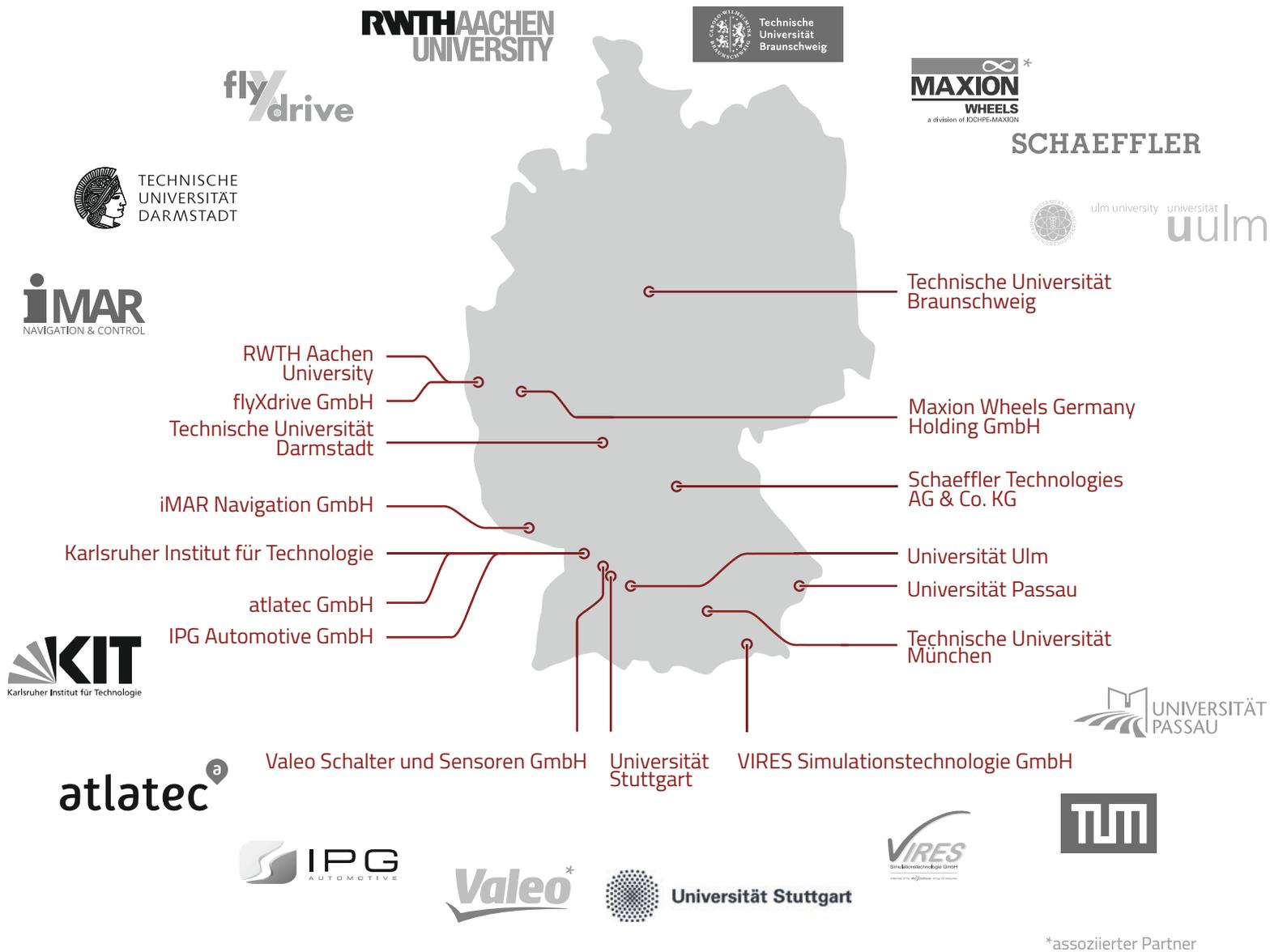
Zum A-Modell hinzu kommt noch die **Leitwarte**, die eine menschliche Begleitung der Fahrzeuge und eine Beeinflussung des Fahrverhaltens in durch die Fahrzeugfunktionen allein nicht lösbaren Situationen ermöglicht. Damit kann im Zweifel immer noch ein Mensch die Kontrolle und damit auch die Verantwortung für ein Fahrzeug übernehmen.

Autor: Bastian Lampe | Institut für Kraftfahrzeuge, RWTH Aachen



Funktionale Architektur in UNICARagil

Das Projektkonsortium



*assoziierter Partner

Herausgeber

<p>Gesamtkoordinator: Prof. Dr. Lutz Eckstein ika, RWTH Aachen Steinbachstraße 7 52074 Aachen lutz.eckstein@ika.rwth-aachen.de</p>	<p>Projektleitung: Timo Woopen, M. Sc. ika, RWTH Aachen Steinbachstraße 7 52074 Aachen timo.woopen@ika.rwth-aachen.de</p>	<p>Projektüro: Celine Kretschmer ika, RWTH Aachen Steinbachstraße 7 52074 Aachen pr@unicaragil.de</p>
--	---	---

Impressum

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

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

Gestaltung
 Miriam Ludwigs
 ika, RWTH Aachen
 Steinbachstraße 7
 52074 Aachen