

GEMEINSAM UNTERWEGS ZUM STADTVERKEHR DER ZUKUNFT

Konzepte und Pilotapplikationen für durchgängiges
automatisiertes Fahren in urbanen Räumen



Vorwort

Automatisiertes Fahren braucht vernetzte Kompetenzen



Wenn aus einer Vision Wirklichkeit werden soll, bedarf es bekanntlich möglichst vieler, die sie teilen. Umso mehr freue ich mich über die breite Allianz aus unterschiedlichsten Akteuren, die im Rahmen von STADT:up ihre individuellen Kompetenzen bündeln, um durchgängiges automatisiertes Fahren in der Stadt zu verwirklichen. Sie alle eint nicht nur das Ziel, den Verkehr in unseren Städten künftig klimaschonender, sicherer, effizienter und komfortabler zu gestalten; hinter dem wegweisenden Vorhaben steht zugleich der klare Wille, die tiefgreifenden Transformationsprozesse im Mobilitätssektor maßgeblich zu prägen, anstatt das Feld anderen zu überlassen. Vom Automobilhersteller bis zum -zulieferer, von der Forschungseinrichtung bis zum Technologieprovider ziehen hier insgesamt 22 Partner an einem Strang – und greifen dafür auch auf wertvolle Erkenntnisse aus den Projektfamilien der VDA Leitinitiative „autonomes und vernetztes Fahren zurück“. Mit anderen Worten: STADT:up fördert gezielt die vorwettbewerbliche Zusammenarbeit – und fungiert parallel als wichtige Schnittstelle zwischen Wirtschaft und Wissenschaft. Damit schaffen wir eine ideale Ausgangsbasis, um in einem produktiven Miteinander Forschungsergebnisse rasch in marktfähige Produkte umzusetzen.

Und wo wir schon beim Miteinander sind: Das Ganze erfolgt selbstredend im engen Dialog mit Verantwortlichen aus Städten und Kommunen – für deren urbane Räume durchgängiges automatisiertes Fahren einen zentralen Baustein künftiger (intermodaler) Verkehrskonzepte bilden soll; sei es in Form von Robo-Taxen, die nahtlos mit den lokalen ÖPNV-Angeboten verknüpft sind, Shared Vehicles, innovativen Lösungen für „Letzte-Meile“-Lieferungen oder vielem mehr. Dass wir mit unserem ganzheitlichen Projektansatz in die richtige Richtung denken und handeln, bestätigt nicht zuletzt die Unterstützung seitens des Bundesministeriums für Wirtschaft und Klimaschutz. Durch seine umfassende finanzielle Förderung liefert es ein klares Bekenntnis für eine an den Bedürfnissen der Menschen orientierte Gestaltung urbaner Mobilität sowie natürlich für den Automobilstandort Deutschland – der im hart umkämpften Zukunftsmarkt des automatisierten Fahrens weltweit auch weiterhin eine Spitzenposition einnehmen will und wird.

Ihr
Dr. Lutz Bürkle
STADT:up Projektkoordinator

STADT:UP KURZ ERKLÄRT

STADT:up steht für „Systems and Technologies for Automated Driving in Town: an urban mobility project“. In diesem Verbundforschungsprojekt haben sich 22 Partner – darunter Automobilhersteller, Zulieferunternehmen und Forschungseinrichtungen – zusammengeschlossen. Unterstützt vom Bundesministerium für

Wirtschaft und Klimaschutz widmen sie sich in dreijähriger Projektarbeit der anspruchsvollen Aufgabe, Konzepte und Pilotanwendungen für durchgängiges automatisiertes Fahren in komplexen, urbanen Räumen zu erarbeiten, wobei auch neueste KI-Methoden und datengetriebene Modelle zur Anwendung kommen.

DIE FÜNF TEILPROJEKTE

01 Perspektiven
urbaner Mobilität

02 Human
Factors

03 Umgebung
und Kontext

04 Situationsanalyse
und Planung

05 Automatisiertes
Fahren

PROJEKTSTECKBRIEF

GEFÖRDERT DURCH : Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz

FACHPROGRAMM : Neue Fahrzeug- und Systemtechnologien

PROJEKTVOLUMEN : ca. 62,8 Mio Euro

LAUFZEIT : 01.01.2023 – 31.12.2025

PARTNER

Aptiv Services Deutschland GmbH : AVL Deutschland GmbH : Bundesanstalt für Straßenwesen (BAST) : CARIAD SE : Continental Automotive Technologies GmbH : Continental Autonomous Mobility Germany GmbH : DeepScenario GmbH : DENSO ADAS Engineering Services GmbH : Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V. : Ergosign GmbH : gestigon GmbH : HELLA GmbH & Co. KGaA : Hochschule für angewandte Wissenschaften München : Mercedes-Benz AG : Opel Automobile GmbH : Robert Bosch GmbH : Technische Universität Chemnitz : Technische Universität Darmstadt : Technische Universität München : Valeo Schalter und Sensoren GmbH : ZF Friedrichshafen AG : 3D Mapping Solutions GmbH



Inhaltsverzeichnis

VORWORT	3
PROJEKTÜBERBLICK	6
DIE TEILPROJEKTE	
01 Perspektiven urbaner Mobilität	8
02 Human Factors	10
03 Umgebung und Kontext	12
04 Situationsanalyse und Planung	14
05 Automatisiertes Fahren	16

Forciert, strukturiert, konzertiert:

So ebnet STADT:up den Weg zum durchgängigen automatisierten Fahren im hochkomplexen System Stadtverkehr

Fast 80 Prozent der deutschen Bevölkerung lebten 2022 in Städten . Zugleich eint die Millionen von Menschen, welche sich dort auf vergleichsweise wenig Fläche bewegen, unterm Strich ein Bedürfnis: mobil zu sein. Mit Blick auf die Stadt als Raum eines lebenswerten Miteinanders führt uns die bisherige Gestaltung des motorisierten Individualverkehrs eindrücklich die Grenzen vor Augen: vom Stop-and-Go im täglichen Pendelverkehr über eine steigende Emissionsbelastung bis hin zum Thema Verkehrssicherheit mit schwächeren Verkehrsteilnehmern als Hauptbetroffenen.



Ein vernetzter, effizienter und sicherer Stadtverkehr für alle: Um diese Vision Wirklichkeit werden zu lassen, arbeiten bei STADT:up 22 Projektpartner zusammen.

Vor diesem Hintergrund widmet sich das am 1. Januar 2023 gestartete Verbundprojekt STADT:up zwei Schwerpunkten: Zum einen steht die prototypische Realisierung von durchgängig automatisiertem Fahren in der Stadt auf der Agenda. Gleichzeitig befassen sich die Forschenden mit der Entwicklung nachhaltiger, intermodaler Mobilitätskonzepte – verbunden mit der Frage, welche Rolle automatisierte Fahrzeuge in diesem Zusammenhang einnehmen können. „Verschiedene Studien zeigen klar, welches Potenzial in diesen Technologien steckt. Automatisiertes Fahren bietet nicht nur die Chance, die Verkehrssicherheit signifikant zu steigern; es ermöglicht außerdem, die vorhandene Infrastruktur wesentlich effizienter zu nutzen. Last, but not least können durch eine intelligente Vernetzung mit anderen Mobilitäts-trägern klimaschädliche Emissionen reduziert werden“, fasst es Dr. Lutz Bürkle von der Robert Bosch GmbH zusammen. Damit automatisierte Fahrzeuge selbst komplexe Verkehrsszenarien in Städten bewältigen können, bediene man sich bei der Entwicklung entlang der gesamten Wirkkette auch neuester KI-basierter Methoden, führt der STADT:up Projektkoordinator weiter aus. Insgesamt bündelt das Vorhaben die Kompetenzen von 22 Partnern – Automobilherstellern, Zulieferindustrie, Technologieprovidern und Forschung –, wobei die eigentliche Projektarbeit in fünf Teilprojekten erfolgt.

Eines davon, das Teilprojekt „Umgebung und Kontext“, befasst sich mit der Frage, wie automatisierte Fahrzeuge das Verkehrsgeschehen korrekt erfassen und interpretieren können. Hier nehmen Kameras sowie Lidar- und Radarsysteme eine Schlüsselrolle ein; ergänzt werden solche Sensorik-Setups um spezielle Algorithmen und neue Ansätze in puncto Datenfusion. Im Ergebnis sorgt dies – selbst unter erschwerten (Witterungs-)Bedingungen oder bei unübersichtlichen Verkehrssituationen – für ein Höchstmaß an Zuverlässigkeit.

Im Teilprojekt „Situationsanalyse & Planung“ geht es darum, die Fahrmanöver im Stadtverkehr voraus zu planen und Entscheidungen zu treffen. Dafür benötigt ein automatisiertes Fahrzeug prädiktive, also vorausschauende Fähigkeiten; schließlich soll es die Handlungsoptionen anderer Akteure stets „im Blick haben“. Ebenfalls in diesem Teilprojekt erarbeitet werden grundlegende Interaktions- und Kooperationsmodelle; denn ein automatisiertes Fahrzeug muss in der Lage sein, etwa bei Einfädelmanövern anderer Pkw Lücken bereitzustellen oder selbst ein Einfädelmanöver abubrechen, falls sich andere nicht kooperativ zeigen. Und schließlich sollen die Fahrzeuge die Fähigkeit erhalten, in Ausnahmefällen Regeln temporär zu übertreten – etwa, indem sie eine durchgezogene Linie überfahren, um einem Einsatzfahrzeug Platz zu machen.

Selbstverständlich könnten solche, aber auch unzählige andere Fahrmanöver nicht sicher ablaufen, ohne dass das Fahrzeug mit anderen Verkehrsteilnehmenden interagiert und kommuniziert. Diese beiden Schlagworte prägen daher die Arbeit im Teilprojekt „Human Factors“. Neben der Kommunikation nach außen widmen sich die Projektbeteiligten hier ebenso der Entwicklung verständlicher und akzeptanzfördernder Bedien- und Anzeigenkonzepte für den Innenraum. Ein zentraler Ansatzpunkt liegt dabei auf der prototypischen Umsetzung eines empathischen Assistenten, der die emotionalen Zustände mitfahrender Personen erfasst und situativ darauf reagiert.

Wie durchgängiges automatisiertes Fahren in der Stadt schlussendlich funktionieren kann, wird im abschließenden fünften Teilprojekt von STADT:up „Automatisiertes Fahren“ konkret erlebbar gemacht. Hierfür kommen sowohl Simulatoren als auch Versuchsfahrzeuge zum Einsatz, mit denen sich automatisiertes Fahren auf der Teststrecke oder im realen Verkehr erproben und demonstrieren lässt. Fokusfelder dieser Demonstrationen bilden herausfordernde Verkehrssituationen, die im Stadtverkehr Alltag sind – also komplexe Kreuzungen, das Einfädeln in dichten Verkehr, das Passieren von Hindernissen bei Gegenverkehr, die Interaktion mit schwächeren Verkehrsteilnehmern oder weitere stadtverkehrstypische Unwägbarkeiten.

Doch automatisierte Fahrfunktionen können nicht nur den Individualverkehr – ob im Privat-Pkw oder Robo-Taxi – wortwörtlich auf die nächsten Level heben. Sie bergen darüber hinaus wertvolle Potenziale für die gesamte städtische Mobilitätskette, beispielsweise durch die intelligente Vernetzung autonomer Shared Vehicles mit ÖPNV-Angeboten. Solche und weitere zukunftsweisende Mobilitätskonzepte sind Gegenstand des Teilprojekts „Perspektiven urbaner Mobilität“. Die Basis dafür liefert eine breit angelegte Dialogplattform mit umfassenden Beteiligungsformaten. Sie helfen dabei, beispielsweise städtespezifische Bedürfnisse und Erwartungen zu sammeln, sie in eine realitätsnahe Simulation (digitaler Zwilling) zu überführen – und daraus schlussendlich neue Ansätze für den vielfältigen Verkehrsraum Stadt abzuleiten.



Perspektiven urbaner Mobilität

Fest steht: Keine Stadt gleicht der anderen, angefangen beim Stadtbild über die Bevölkerungsstruktur und wirtschaftliche Rahmenbedingungen bis hin zum jeweiligen Verkehrskonzept. Was jedoch alle eint, ist die Aufgabe, ihre innerstädtischen Mobilitätsströme in ökologischer wie ökonomischer und sozialer Hinsicht zukunftsicher aufzustellen. Automatisiertes Fahren stellt unter diesen Aspekten eine sinnvolle Ergänzung der urbanen Mobilität dar – aber wie lässt sich automatisiertes Fahren als Baustein bestmöglich in die intermodale städtische Mobilität von morgen einpassen?

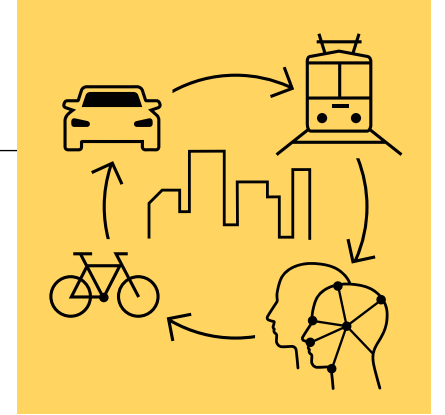
Vom Dialog zum Modell zu Planungsoptionen

Fahrradstraßen, Umgestaltungen von Parkplätzen in Radabstellanlagen oder auch Freischankflächen der Gastronomie, verdichtete ÖPNV-Takte, Umsetzung von Maßnahmen zur Steigerung der Wohn- und Aufenthaltsqualität ... In Sachen Verkehrsplanung beschreiten deutsche Städte gegenwärtig unterschiedlichste Wege Richtung Zukunft – auch aus dem intrinsischen Interesse heraus, die sich teils rasant wandelnden Bedürfnisse der Bewohnerinnen und Bewohner bestmöglich abzubilden. „Homeoffice war vor der Pandemie eher noch die Ausnahme – heute gehört dieses Arbeitsmodell in vielen Branchen zum Standard. Zugleich erleben wir in den letzten Jahren einen zunehmenden Mentalitätswandel hin zu einem ökologisch nachhaltigeren Lebensstil. All dies müssen wir berücksichtigen, wenn wir mit der Integration autonomer Mobilität in Städten wirkliche Mehrwerte gene-

rieren wollen“, sagt Prof. Dr. Klaus Bengler von der Technischen Universität München. Gemeinsam mit seinem Kollegen Prof. Dr. Klaus Bogenberger verantwortet er das STADT:up Teilprojekt „Perspektiven urbaner Mobilität“. Nicht von ungefähr, so Bogenberger, habe man daher eine breit angelegte Dialogplattform an den Anfang der Projektarbeit gestellt. Dabei verschaffen sich die Forschenden in Experteninterviews mit den an STADT:up beteiligten Technologiepartnern zunächst ein Bild von den technischen Möglichkeiten im Bereich automatisierten und vernetzten Fahrens – bevor sie im Austausch mit Städtevertreterinnen und -vertretern die stadt- und einwohnerspezifischen Bedürfnisse eruieren. Zusammengeführt werden die erhobenen Informationen dann in einem Synthese-Workshop, um daraus potenzielle Zukunftsszenarien für intermodale Mobilitätskonzepte abzuleiten.

Wer bewegt sich wann womit – und wohin?

Zur Veranschaulichung modellieren die Mitwirkenden des Teilprojekts in einem zweiten Schritt einen sogenannten digitalen Zwilling urbaner Mobilität. Genutzt werden hierfür zum Beispiel Informationen aus Mobilitätstrackings und weiteren Verkehrsdaten-Quellen, wie z.B. die automatisierten Fahrzeuge als zukünftige „Supersensoren“, die fahrend oder auch parkend ununterbrochen wichtige Daten über das Verkehrsgeschehen sammeln werden. Die so erstellte realitätsnahe Simulation vermittelt ein greifbares Gesamtbild eines städtischen Verkehrsgeschehens, wobei das Hauptaugenmerk auf all denjenigen liegt, die sich tagtäglich in Städten mit unterschiedlichsten Verkehrsmitteln von A nach B bewegen: ob per eigenem Pkw, auf dem Fahrrad, im On-Demand-Shuttle oder dem im festen Zeitraster verkehrenden Bus. Somit liegt ein weiterer Schwerpunkt auf dem digitalen Abbild des Nutzenden, der Identifikation und Modellierung von Informationsbedarfen, von Erleben und Bewegung im Verkehrssystem. In diesem Kontext spielen natürlich auch Schnittstellen zwischen den einzelnen Fortbewegungsmöglichkeiten eine wichtige Rolle. Diese konsequente Fokussierung auf die Nutzenden erfolgt ganz bewusst; schließlich sind es so zentrale Aspekte wie Vertrauen, Akzeptanz und die Reduzierung von Unsicherheit, die maßgeblich über den Erfolg künftiger urbaner Mobilitätskonzepte entscheiden.



Neue Perspektiven gefragt: Um Städte langfristig lebenswert zu halten, müssen Verkehrsströme und Mobilitätsbedürfnisse ganzheitlich gedacht werden.

Integrativ, intermodal, realitätsnah

Die Bedürfnisse aller Stakeholder sind erfasst, die technischen Möglichkeiten geklärt und Übergangspunkte zwischen verschiedenen Mobilitätsarten identifiziert. Im weiteren Verlauf des Teilprojekts kann der digitale Zwilling jetzt dafür verwendet werden, um spezifische Anwendungsfälle im Rahmen eines Shared-Mobility-Systems zu simulieren und anschließend zu bewerten. Dies erfolgt sowohl auf der Ebene einzelner Fahrzeuge (mikroskopisch) als auch auf Basis vereinfachter Fahrmodelle (mesoskopisch). Hieraus erwarten sich die Forschenden Antworten auf elementare Fragestellungen, vor denen Städte mit Blick auf die Integration automatisierter Fahrzeuge in ihre Mobilitätsketten stehen: Wie lässt sich das Nutzungserlebnis vor allem effizienter Verkehrssysteme im Vergleich zur bisherigen Situation entscheidend verbessern? Wie kann man die Positionen von Ein-, Um- und Ausstiegsstellen optimal gestalten? Und welche Geschäftsmodelle bieten sich für einen ökonomisch wie ökologisch nachhaltigen Betrieb an? Wie



passen die Visionen von Städte hinsichtlich der Integration von automatisierten Fahrzeugen zu den Bedürfnissen und der Akzeptanz von potenziellen Nutzenden? Durch diesen holistischen Ansatz eröffnet das Teilprojekt – gemäß seiner Namensgebung – konkrete Perspektiven: So werden Städte einerseits dabei unterstützt, ihre Planungen in Sachen Mobilität entsprechend den Bedürfnissen der Bewohne-

rinnen und Bewohner voranzutreiben und dabei zugleich in die richtigen Technologien zu investieren; der Automobil- und Zulieferindustrie eröffnen die gewonnenen Resultate wiederum einen verlässlichen Planungshorizont, um automatisierte Fahrzeuge respektive Technologien zu entwickeln, die sich passgenau in die künftigen städtischen Mobilitätskonzepte eingliedern lassen.

Der Mensch im Mittelpunkt

Mehr Sicherheit, weniger Emissionen, effizientere Verkehrsströme: So sinnvoll das Konzept durchgängig automatisierten Fahrens in der Stadt aus faktenbasierter Sicht sein mag – am Ende entscheiden menschliche Faktoren maßgeblich über den Erfolg des Vorhabens. Was braucht es, damit die Insassen dem automatisierten Fahrzeug vertrauen? Wie kann die Technologie die jeweiligen Verfasstheiten der Personen an Bord erfassen bzw. darauf reagieren? Und welche Lösungen eignen sich für eine Kommunikation nach innen und außen? Im zweiten Teilprojekt „Human Factors“ forschen die STADT:up Projektpartner an passenden Antworten.

Was noch vor einer Dekade zumeist höherwertigen Automobilen vorbehalten war, hat sich längst auf breiter Front etabliert: Moderne Fahrassistenzsysteme, die ins Geschehen eingreifen können, findet man heute in nahezu allen Fahrzeugklassen – bis hin zu Klein- und Kleinstwagen. Und trotzdem ist es für viele Menschen nach wie vor ein merkwürdiges Gefühl, wenn zum Beispiel der aktive Spurhalteassistent beim Überfahren der Fahrstreifenbegrenzung zum ersten Mal spürbar gegenlenkt oder der adaptive Abstandstempomat eigenständig die Geschwindigkeit drosselt. „Entscheidend beigetragen zur hohen Marktdurchdringung dieser Assistenten hat letztlich die Akzeptanz aufseiten der Nutzenden“, konstatiert Stephan Cieler von der Continental Automotive Technologies GmbH. „Betrachten wir jetzt den anvisierten Technologiesprung hin zu wirklich durchgängig automatisiertem Fahren, wird

schnell klar: Ein größtmögliches Sicherheitsgefühl, Systemvertrauen und Komforterlebnis sind zentrale Enabler für den Erfolg unseres Vorhabens“, führt der Projektleiter des zweiten STADT:up Teilprojekts aus.

Empathie als Schlüsselkompetenz

Im Rahmen eines ganzheitlichen Ansatzes befassen sich die Projektbeteiligten daher etwa mit der Konzeption adaptiver Bedien- und Beleuchtungskonzepte für automatisierte Fahrzeuge. Ferner werden Lösungen erarbeitet, um mittels verschiedener Sensorsysteme die emotionalen Zustände der Mitfahrenden kontinuierlich zu erfassen: Sind die Personen an Bord entspannt, nervös, überfordert oder möglicherweise sogar verärgert? Geht das automatisierte Fahren gar mit Diskomfort einher? Für die Interpretation solcher Gefühlslagen und die entsprechende Reaktion darauf werden die Forschenden prototypisch einen empathischen Assistenten entwickeln – also ein vertrauensbildendes System, das quasi als „Co-Pilot“ fungiert. Und wie beim genannten Beispiel der Fahrassistenzsysteme gilt natürlich mit Blick auf höhergradig automatisiertes Fahren ebenso: Irgendwann haben sich die Nutzenden an den Umgang damit gewöhnt. Dementsprechend sollen die zu erforschenden Schnittstellen – sogenannte Human Machine Interfaces (HMI) – in der Lage sein, solche Lerneffekte zu berücksichtigen.

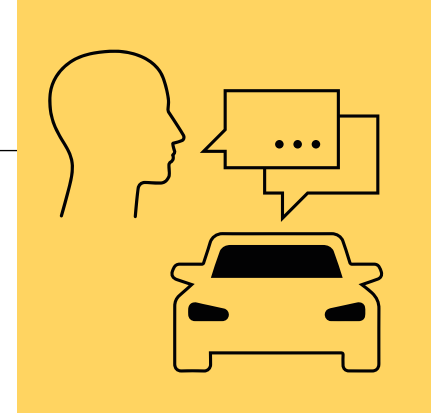
Smarte Lösungen für Eingriffe aus der Ferne

Um die Entwicklung nutzerzentrierter Lösungen dreht sich auch ein weiteres Arbeitspaket des vorliegenden Teilprojekts. Dabei steht unter anderem die Frage im Mittelpunkt, wie Bedien- und Anzeigenkonzepte gestaltet sein müssen, damit ein reibungsloser Übergang zwischen verschiedenen Stufen des automatisierten

Fahrens (Level 1 – 5 gemäß SAE-Standard) stattfinden kann – ergo: Erfordert beispielsweise eine bestimmte Situation den Wechsel von Level 3 (der Fahrer/die Fahrerin darf sich vorübergehend vom Verkehrsgeschehen abwenden) zu Level 2, bei dem eine dauerhafte Überwachung durch den Menschen erforderlich ist, muss das Fahrzeug dies der Person am Steuer vermitteln können. Voraussetzung hierfür ist eine verlässliche Einschätzung des aktuellen Aufmerksamkeitszustands

Kommunikation, Marke eindeutig

Nochmal zurück zu den bereits erwähnten Mensch-Maschine-Schnittstellen: Diese spielen nicht nur für die Interaktion zwischen Fahrzeug und Passagieren eine elementare Rolle. Sollen automatisierte Pkw

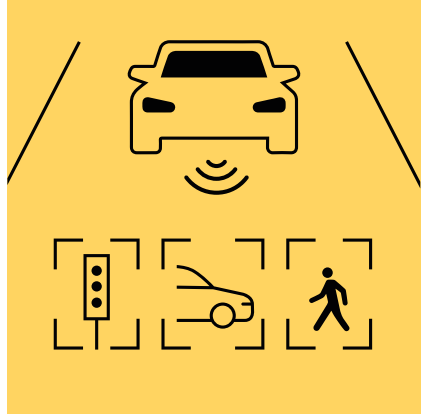


auf Basis physiologischer und psychologischer Daten. Stellt sich heraus, dass eine Übergabe an den Menschen nicht möglich ist – zum Beispiel infolge eines medizinischen Notfalls –, kann das Thema Teleoperation zum Tragen kommen. Denn neben der vom Gesetzgeber vorgeschriebenen technischen Aufsicht über automatisierte Fahrzeuge beinhaltet diese auch die Möglichkeit zum Eingriff aus der Ferne. Sprich: Die STADT:up Projektpartner werden erproben, wie ein Teleoperator die Steuerung des automatisierten Fahrzeugs übernehmen kann, damit sich Risiken im Fall der Fälle minimieren lassen.

sicher in urbanen Mobilitätskontexten agieren, müssen sie selbstverständlich mit zahlreichen anderen Verkehrsteilnehmenden kommunizieren und ihre Absichten klar zum Ausdruck bringen. Das könnte beispielsweise gegenüber einem menschlichen Pkw-Lenker erfolgen, der in eine stark befahrene Straße einfahren möchte – und dem das automatisierte Fahrzeug im Sinne kooperativen Verhaltens eine Lücke bereitstellt. Für solche, aber auch andere Fälle (insbesondere die Kommunikation mit schwächeren Akteuren) entstehen im Rahmen des Teilprojekts lichtbasierte HMI-Konzepte, die eine situativ angepasste Interaktion in einem 360-Grad-Radius ermöglichen sollen.

Human Factors

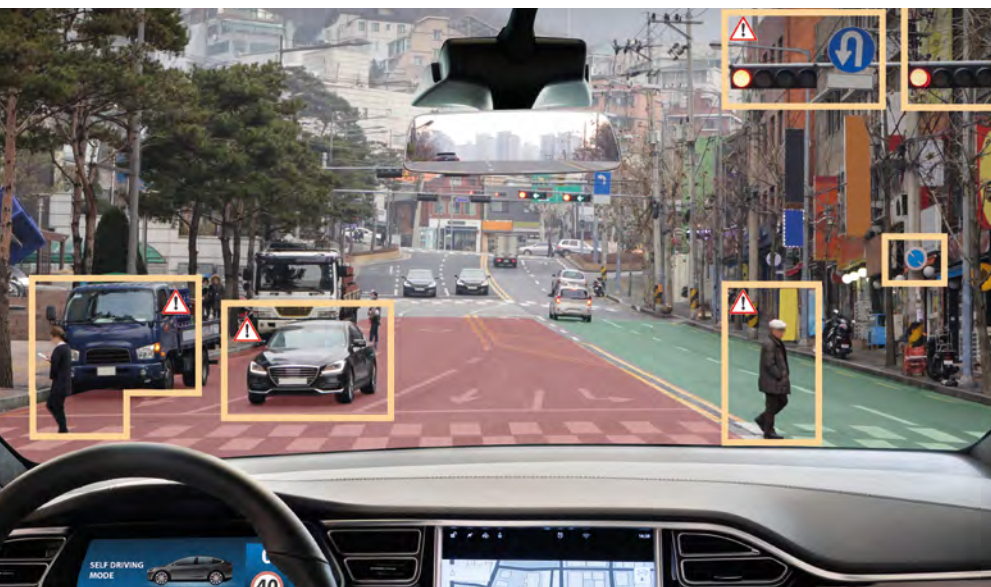
02



Sehen, was ist – und verstehen, was läuft

Jederzeit freie Sichtfelder, über viele Kilometer zwei Fahrspuren in jede Richtung – auf denen ausschließlich Pkw, Nutzfahrzeuge und Motorräder unterwegs sind: Mit all diesem „Luxus“ können automatisierte Fahrzeuge in städtischen Mobilitätskontexten nicht rechnen. Und trotzdem müssen sie selbst unter erschwerten Bedingungen in der Lage sein, jederzeit verlässlich zu detektieren, was um sie herum geschieht. Wie sich diese Mammutaufgabe mithilfe modernster Sensorik und Algorithmik lösen lässt, erforschen die STADT:up Projektpartner im Teilprojekt „Umgebung und Kontext“.

Kein Schaubild aus einer Fahrschulprüfung: Hier wird exemplarisch deutlich, welche Umgebungsdetails automatisierte Fahrzeuge erkennen und einordnen müssen.



Was uns Menschen auszeichnet, ist nicht nur die Fähigkeit, mithilfe der Sinne eine gigantische Informationsflut in Sekundenbruchteilen aufzunehmen; zugleich kann das menschliche Gehirn diese Informa-

tionen praktisch unmittelbar mit Gelerntem abgleichen, bewerten und einordnen. Ein konkretes Beispiel aus dem städtischen Straßenverkehr: Man fährt eine Straße entlang und sieht, dass sich in einiger Ent-

fernung ein Zebrastreifen befindet. Das gelernte Verkehrswissen sagt uns: Hier haben Fußgänger Vorrang. Kurz darauf wird eine Person sichtbar, die sich dem Zebrastreifen nähert, aber einige Meter vor dem Übergang stehenbleibt und in die Hocke geht. Der Abgleich mit gelerntem Wissen ergibt: Entweder hat die Person etwas verloren oder möchte sich den Schuh zubinden – wird also eventuell nicht weiter auf den Zebrastreifen laufen. All diese Erkennungs- und Einordnungsprozesse geschehen so beiläufig, dass wir uns erst der dahintersteckenden Leistung bewusst werden, wenn wir solche Vorgänge in ihre Teilschritte zerlegen. „Vereinfacht gesagt tun wir genau das in unseren Arbeitspaketen“, unterstreicht Dr. Alexander Nagel von der Valeo Schalter und Sensoren GmbH, der die Entwicklung im dritten Teilprojekt von STADT:up verantwortet. „Wir befassen uns also damit, wie automatisierte Fahrzeuge im Stadtverkehr ihr Umfeld

ganzheitlich wahrnehmen, die erfassten Informationen kontextualisieren und sich exakt lokalisieren können; wohlgermerkt auch unter herausfordernden Bedingungen oder in ungewöhnlichen bzw. unerwarteten Situationen. Dafür nutzen wir in hohem Maße Methoden aus den Bereichen Künstliche Intelligenz und Maschinelles Lernen.“

Alles im Blick – zu jeder Zeit

Im ersten Arbeitspaket setzen sich die Forschenden daher intensiv mit dem Thema Umgebungswahrnehmung (Perzeption) auseinander. Eine Schlüsselrolle nehmen hier die in den Fahrzeugen verbauten Radar- und Lidarsensoren sowie Kamerasysteme ein. Sie müssen nicht nur unter allen äußeren Bedingungen als zuverlässige „Augen“ fungieren, sondern auch darauf trainiert werden, dynamische Objekte im Verkehr von statischen zu unterscheiden. Zugleich ist sicherzustellen, dass ein automatisiertes Fahrzeug selbst unbekannte, aber dennoch relevante Objekte korrekt einordnet – von

verlorener Ladung bis hin zu neuen Fahrzeugarten, Baumaschinen und Co. Dazu sollen sogenannte Open-World-Modelle untersucht werden, die vergleichsweise schwache Anforderungen an die jeweilige Objektbeschaffenheit stellen – sprich: weniger schablonenhaft arbeiten.

Neue Fusionskonzepte für mehr Verlässlichkeit

Wie eingangs angedeutet, geht es im zweiten Teilprojekt-Schritt nun darum, Daten unterschiedlichster Umfeldsensoren zu kombinieren (Fusion). Dies führt im Ergebnis zu einem präzisen Gesamtbild der Fahrzeugumgebung und erlaubt es darüber hinaus, eventuelle Fehlinformationen auszugleichen – etwa, wenn ein optischer Sensor aufgrund starker Sonneneinstrahlung nicht korrekt arbeiten kann. Hierbei nutzen die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler neue Konzepte zur Fusion von Sensor-Rohdaten. Vorteil: Da vorab keine Filterung erfolgt, steht ein Maximum an Informationen zur Verfügung, was wieder-

um auf eine hochkonsistente Umgebungswahrnehmung einzahlt. Parallel werden die Sensordaten mit gelerntem Vorabwissen (etwa zu Verkehrsregeln oder Verhaltensmustern) verknüpft. Dadurch lässt sich die Technologie dazu befähigen, potenziell mehrdeutige Situationen wie im oben erwähnten Fall des knienden Fußgängers vor dem Zebrastreifen korrekt zu bewerten. Auf Grundlage dieser Szeneninterpretation sind dann Vorhersagen zum Verhalten möglich, mit denen sich die Forschenden in Teilprojekt 4 befassen. Selbstredend ist im Kontext der beschriebenen Aufgaben von automatisierten Fahrzeugen eine hochpräzise Eigenlokalisierung unabdingbar. Die nötigen Voraussetzungen hierfür bilden detaillierte, hochauflösende digitale Karten – wobei die Forschenden eruieren, inwieweit sich diese noch durch sensorbasierte Karten anreichern lassen. Denn wie bei den Arbeitspaketen Perzeption und Fusion geht es auch bei der Positionsbestimmung vor allem darum, größtmögliche Verlässlichkeit bei zugleich höchster Aktualität sicherzustellen.

Umgebung und Kontext

Situationsanalyse und Planung

04

Vorausschauend denken, umsichtig handeln

Im Rahmen des Teilprojekts „Umgebung und Kontext“ werden automatisierte Fahrzeuge in die Lage versetzt, ihr Umfeld verlässlich wahrzunehmen und gleichzeitig zu verstehen, was dort gerade vorliegt. Genau hieran knüpft das vierte Teilprojekt von STADT:up nahtlos an – nämlich bei den Fragen, die sich in logischer Konsequenz stellen: Wie könnten sich andere Verkehrsteilnehmende jetzt möglicherweise verhalten und welche Aktionsmuster folgen daraus für das automatisierte Fahrzeug?

Diese Situation ist der unbestrittene Klassiker jeder theoretischen Fahrprüfung – und beschert regelmäßig sogar versierten Autofahrerinnen und -fahrern schwitzige Hände: Vier Fahrzeuge treffen an einer innerstädtischen Kreuzung ohne Ampel oder Vorfahrtszeichen aufeinander. Wer darf in dieser kniffligen Situation zuerst fahren? Will man sich an das altbekannte „rechts vor links“ halten, müsste jede Person ihrem rechten Nachbarn Vorfahrt gewähren ... was letztlich zum Stillstand führen würde. „Auflösen lassen sich solche und andere herausfordernde Verkehrsszenarien nur, indem die Menschen hinterm Steuer das Geschehen detailliert analysieren und darauf aufbauend ihre eigenen Fahrmanöver planen. Wir befassen uns bei unserer Projektarbeit damit, auch automatisierten Fahrzeugen diese hochkomplexen Fähigkeiten zu verleihen“, unterstreicht Prof. Dr. Fabian Flohr von der Hochschule für angewandte Wissenschaft in München, seines Zeichens verantwortlich für das vierte STADT:up Teilprojekt „Situationsanalyse und Planung.“

Miteinander in einem komplexen Nebeneinander

Einen zentralen Themenschwerpunkt bildet dabei die intensive Auseinandersetzung mit verschiedenen Modellen der Interaktion und Kooperation. Schließlich führt das strikte Einhalten von Verkehrsregeln in einer derart vielgestaltigen und dynamischen Gemengelage nicht immer zum Erfolg. Hier ist zweckgerichtetes Zusammenwirken gefragt: So kann beim genannten Kreuzungsbeispiel nur ein „Aushandeln“ der Vorfahrtsreihenfolge das Stocken des Verkehrsflusses verhindern – während etwa bei einer Verengung von zwei Fahrbahnen auf eine das Bereitstellen von Lücken für flüssiges Vorankommen sorgt. Damit automatisierte Fahrzeuge für alle Eventualitäten gerüstet sind, gehen die Forschenden in mehreren Schritten vor: Zunächst entwickelt man dabei unter Verwendung neuronaler Netzwerke Interaktions- und Kooperationsmodelle, die im Anschluss mittels Daten aus Beobachtungen des realen Verkehrsgeschehens trainiert werden.



Von der Prognose zum produktiven Verhalten

Bevor automatisierte Fahrzeuge selbstständig Fahrmanöver planen können, bedarf es noch einer weiteren entscheidenden Kompetenz: nämlich der Fertigkeit, die Intentionen anderer am Verkehr beteiligter Akteure vorauszusehen. Für eine solche Prädiktion müssen unter anderem dynamische Informationen – von Blink- oder Warnsignalen bis hin zu Körperbewegungen und Handgesten schwächerer Verkehrsteilnehmer – korrekt interpretiert werden. In bestimmten Fällen, zum Beispiel bei der Begegnung eines automatisierten Fahrzeugs mit einem Fußgänger, genügt in der Regel ein „Blick in die Zukunft“ von wenigen Sekunden. Anders verhält es sich wiederum in anspruchsvollen Verkehrskontexten wie mehrspurigen Kreisverkehren: Hier gilt es, ein deutlich längeres Zeitintervall bei einer zugleich deutlich höheren Zahl an Möglichkeiten zu berücksichtigen. Für die Entwicklung verlässlicher Vorhersagen greifen die STADT:up Projektpartner abermals auf datengetriebene Modellierungen zurück. Datengetrieben lautet ebenfalls das Stichwort im Arbeitspaket „Verhaltens- und Manöverplanung“. Dabei kombinieren die Forschenden auch modellbasierte mit KI-basierten Planungsverfahren; während letztere dafür sorgen, dass das Fahrzeug sein Verhalten auf unterschiedlichste Situationen anpassen kann, ermöglichen es modellbasierte Verfahren, Vorwissen zu

integrieren und die geplanten Aktionen – etwa mit Blick auf Verkehrsregeln – abzusichern. Im Ergebnis werden automatisierte Fahrzeuge befähigt, stets situationsgerecht zu agieren und durch die intelligente Planung der eigenen Fahrwege zu einem fließenden, sicheren Verkehr beizutragen. Dies umfasst auch konstruktive Reaktionen auf Regelverstöße durch andere (wie den Abbruch eines Einfädelmanövers, wenn niemand eine Lücke lässt) oder die Fähigkeit, selbst kurzzeitig Regeln zu über-

treten. Konkret könnte das nötig sein, wenn sich ein Rettungswagen von hinten nähert und zur Bildung einer Rettungsgasse eine Sperrfläche überfahren werden muss. Ebenfalls im Blick haben die beteiligten Projektpartner den Einsatz automatisierter Fahrfunktionen in Shared-Mobility-Fahrzeugen. Um An- und Abfahrten an dynamischen Stopps im Stadtbereich sicher abwickeln zu können, ist hier – anders als im Individualverkehr – eine spezifischere Verhaltens- und Manöverplanung erforderlich.



Grünes Licht für den geplanten Fahrweg: Hierfür muss das Fahrzeug zuvor u. a. das Verhalten anderer Beteiligter korrekt prädictieren.



Automatisiertes Fahren

Im fünften Teilprojekt von STADT:up, „Automatisiertes Fahren“ laufen die Fäden nun zusammen: Schwerpunktmäßig steht hier die Integration der in den Teilprojekten 2 bis 4 (weiter-)entwickelten Technologien in ein Gesamtsystem auf der Agenda. Mithilfe von Simulatoren und Versuchsfahrzeugen wird durchgängiges automatisiertes Fahren auf Teststrecken sowie im realen Stadtverkehr erprobt und optimiert.

Demonstrieren, evaluieren, optimieren

„Das Bild eines Hürdenlaufs passt in zweierlei Hinsicht gut zum automatisierten Fahren in der Stadt: Dies betrifft zum einen den extrem anspruchsvollen Entwicklungsprozess der erforderlichen Funktionen; der zweite Lauf spielt sich dann in der Praxis ab, wenn es an den korrekten Umgang mit realen Herausforderungen des typischen Stadtverkehrs geht“, erläutert Dr. Ulrich Kreßel von der Mercedes-Benz AG. Das zentrale Schlagwort im von ihm verantworteten fünften STADT:up Teilprojekt lautet Durchgängigkeit. So hat das automatisierte Fahrzeug etwa verlässlich zu beurteilen, in welchen Situationen Automatisierung in welchem Umfang angeboten werden kann, also konkret: Wann darf die Person am Steuer ihre Hände vom Lenkrad nehmen oder sich vorübergehend vom Verkehrsgeschehen abwenden – und wie ist es möglich, Übergänge zwischen den Automatisierungsstufen nutzergerecht zu gestalten? Darüber hinaus gilt es, die Durchgängigkeit über alle Straßenklassen (und Verkehrssituationen) hinweg – von der Stadtautobahn über den dichten Innenstadverkehr

bis zu Shared-Space-Umgebungen – zu gewährleisten. Erprobt und optimiert wird all dies sowohl mit Simulatoren als auch in Versuchsfahrzeugen, die eine automatisierte Fahrt über eine innerstädtische Strecke erlebbar machen. Für die Erprobung in der Simulation setzen die Forschenden unter anderem Open-Loop-Testsysteme ein, in deren Rahmen die gesamte zuvor bearbeitete Wirkkette dargestellt und auf ihre Robustheit geprüft wird: Nehmen die Sensoren die Objekte im Fahrzeugumfeld zuverlässig wahr? Kann das automatisierte Fahrzeug ein konsistentes Umgebungsbild generieren? Reagiert das Fahrzeug in den Verkehrssituationen angemessen? Werden die Systemgrenzen korrekt eingeschätzt? Lassen sich die Passagiere im Fall der Fälle rechtzeitig einbinden? Erst mit der prototypischen Umsetzung in Versuchsträgern kann ermittelt werden, wie automatisierte Fahrzeuge den Stadtverkehr unter realen Bedingungen bewältigen, auf das Verhalten anderer Verkehrsteilnehmender reagieren und an welchen Stellen Optimierungen erforderlich sind.

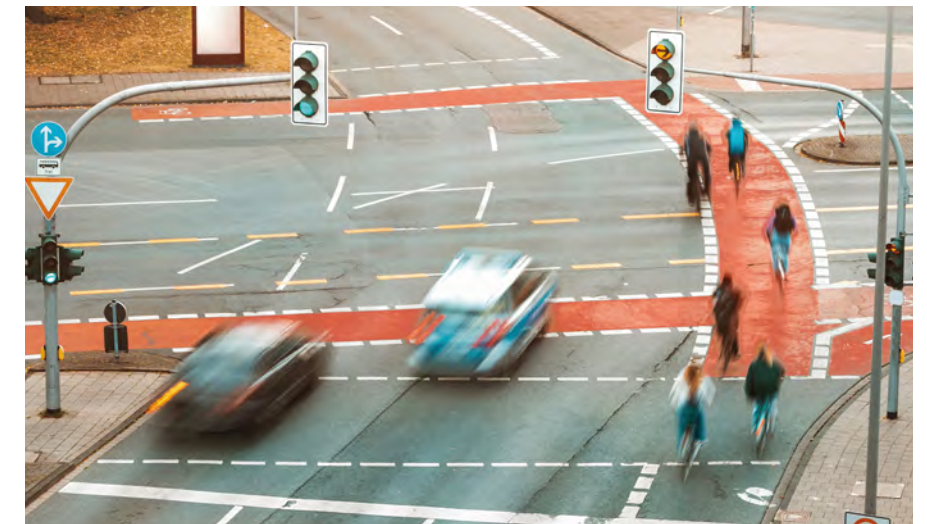
Auf Nummer extra sicher

Natürlich müssen automatisierte Fahrzeuge im Stadtverkehr auch besonders herausfordernde Situationen meistern. Daher widmen sich drei Arbeitspakete des vorliegenden Teilprojekts der gezielten Optimierung der Systeme in ebensolchen Kontexten. So bedürfen etwa verletzte Verkehrsteilnehmende wie Fußgängerinnen und Fußgänger, Personen auf Fahrrädern und E-Scootern sowie nicht zuletzt Kinder spezieller Beachtung. Eine Hauptherausforderung für die Technologien liegt darin, die Intention dieser Akteure korrekt abzuschätzen, damit sich selbst äußerst agile Situationen (etwa Menschenansammlungen bei Schulende) sicher beherrschen lassen. Dafür nutzen die Forschenden nicht nur kamerabasierte Verfahren, sondern setzen erstmals auf eine Fusion von Daten aus Kamera- und Lidar-Systemen. Vorteil: Schon anhand kleiner Körperposen soll beispielsweise der mögliche Laufweg eines Fußgängers deutlich verlässlicher prognostiziert werden können.

Die Bandbreite der im Teilprojekt 5 abgebildeten Szenarien reicht von Konstellationen an Fußgängerüberwegen, Spielstraßen und Elektro-Ladesäulen bis hin zu Interaktionen mit Kindern in Spielstraßen sowie mit Personen, die Verkehrsregeln missachten.

Belastungsproben: vom Kreisverkehr bis zum Reißverschluss

Ein weiteres Arbeitspaket befasst sich mit der Bewältigung komplexer Knotenpunkte im Stadtverkehr. Solche neuralgischen Punkte sind gerade bei hohem Verkehrsaufkommen während typischer Pendelzeiten am Morgen und Abend echte Stresstests für automatisierte Fahrzeuge. Die beteiligten Entwicklungspartner rücken hier unter anderem mehrspurige Kreisverkehre oder Kreuzungen mit mehreren Fahrstreifen bzw. suboptimalen Sichtbedingungen in den Mittelpunkt ihrer Projektarbeit. Optimiert werden die automatisierten Fahrzeuge darüber hinaus beim Umgang mit unkooperativen Verkehrsteilnehmenden sowie in ihrer



Alltag – aber außergewöhnlich: Automatisierte Fahrzeuge müssen auch herausfordernde Verkehrssituationen meistern.

Fähigkeit, anspruchsvolle Einfädelmanöver und Umfahrungen durchzuführen. Letzteres bezieht sich zum Beispiel auf sinnvolle Überholentscheidungen: Denn natürlich muss das automatisierte Fahrzeug etwa einen Rückstau an einer Kreuzung gänzlich anders behandeln als ein in zweiter Reihe geparktes Fahrzeug. Im Gegensatz zu bisher durchgeführten Forschungsprojekten

wird STADT:up auch das sichere Passieren von Spurblockaden (dies könnte etwa ein geparktes Lieferfahrzeug sein) bei Gegenverkehr ermöglichen. Maßgeblich hierfür ist wiederum die Fähigkeit, das Verhalten der Verkehrsteilnehmenden auf der Gegenspur vorzusehen sowie in wechselseitiger Kommunikation eine Fahrreihenfolge „auszuhandeln“.

Ansprechpartner

STADT:up Projektkoordination
Dr. Lutz Bürkle
Robert Bosch GmbH

STADT:up Projektbüro
WES Office
Telefon +49 7021 9781-81
info@wes-office.de

Impressum

Herausgeber, Konzeption und Realisation:
WES-Office, Susanne Bohnaker
Henriettenstraße 60, 73230 Kirchheim unter Teck

Gestaltung:
markentrieb GmbH

Text:
Lattke & Lattke GmbH, Agentur für Kommunikation

Druck:
Karl Elser Druck GmbH
Stand: Juli 2024

Fotos:
Seite 7: Stock-Fotografie-ID:507255148filmfoto, Seite 9: Stock-Illustration-ID:468319810 horzigor, Seite 11: Stock-Fotografie-ID:1264935360 Blue Planet Studio, Seite 12: AdobeStock 224332680 scharfsinn86, Seite:15 AdobeStock 234669892 scharfsinn86, Seite 17: AdobeStock 546176408 EdNurg.
Alle anderen Bilder sind Eigentum von STADT:up.

Projektpartner:
Aptiv Services Deutschland GmbH, AVL Deutschland GmbH, Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt), CARIAD SE, Continental Automotive Technologies GmbH, Continental Autonomous Mobility Germany GmbH, DeepScenario GmbH, DENSO ADAS Engineering Services GmbH, Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V., Ergosign GmbH, gestigon GmbH, HELLA GmbH & Co. KGaA, Hochschule für angewandte Wissenschaften München, Mercedes-Benz AG, Opel Automobile GmbH, Robert Bosch GmbH, Technische Universität Chemnitz, Technische Universität Darmstadt, Technische Universität München, Valeo Schalter und Sensoren GmbH, ZF Friedrichshafen AG, 3D Mapping Solutions GmbH

Projektträger: TÜV Rheinland Consulting GmbH





Finanziert von der
Europäischen Union
NextGenerationEU

Gefördert durch:



Bundesministerium
für Wirtschaft
und Klimaschutz

aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages