

Faszination Forschung

Forschungshighlights der TUM

Technische Universität München

Das Wissenschaftsmagazin

September 2022 | Edition 28

Smart Mobility

Intelligente Verkehrssysteme – Digitale Zwillinge verbessern Sicherheit und Komfort

Automatisiertes Fahren – Wir brauchen eine neue Verkehrskultur

Elektromobilität – Simulationen für Singapurs Stromnetz

ISSN 18653022



9 771865 302004

Schutzgebühr
EUR 9,00



**TRUE LEADERSHIP
IS INSPIRED
BY TOMORROW.**

Making life better is our mission – a task our customers entrust us with every day. To meet it, we push past the boundaries of chemistry, bringing together diverse areas of expertise to deliver sustainable, forward-looking solutions. That's what puts us at the forefront of our industry. **Leading beyond chemistry to improve life, today and tomorrow.**



 **EVONIK**
Leading Beyond Chemistry

Liebe Leserinnen und Leser,

Der Stillstand in der Coronakrise hat neue Bewegung gebracht: Vielen ist im Lockdown die Bedeutung von Mobilität bewusst geworden, andere profitierten vom Verzicht auf Fahrten und entdeckten Alternativen. Velerorts nutzten Städte die Gelegenheit für Experimente bei der Nutzung von Straßen für alternative Verkehrskonzepte und schufen Räume für Begegnung, Spiel und Kultur auf öffentlichen Flächen.

Der Corona-Lockdown und die globale Klimakrise haben uns vor Augen geführt, dass Mobilität und Warenverkehr in Zukunft klimaschonender, lärm- und emissionsärmer, intelligenter und vernetzter gestaltet werden müssen. Will Deutschland auch künftig Vorreiter in der Mobilität bleiben, müssen wir diese Aufbruchsstimmung jetzt nutzen! Wir brauchen transformative Ansätze bei der Entwicklung leistungsfähigerer elektrischer oder brennstoffzellenbasierter Antriebssysteme, KI-unterstützter Kommunikations- und Steuerungssysteme sowie neuer digitaler Geschäftsmodelle wie Mobility-as-a-Service und Ridesharing. Und neue Mobilitätsformen müssen in unsere existierenden Infrastrukturen eingebettet und in eine „lebenswerte“ Raumgestaltung integriert werden. Denn die neue Mobilität darf nicht Resultat einer neuen Verzichtskultur werden – im Gegenteil, sie muss Freude machen!

Während in unseren heutigen, autozentrierten Städten parkende (!) und fahrende Autos den Großteil des öffentlichen Raums nutzen, müssen im Mittelpunkt einer zukunfts-fähigen Mobilitätswende der Mensch und die verschiedenen Nutzergruppen von Mobilitätsangeboten stehen. Dies erfordert all unseren Erneuerungsmut und eine strategische, missionsgetriebene Innovationskultur, die zur Entwicklung einer nachhaltigen und digitalen Mobilität die führenden Akteure auf regionaler Ebene zusammenführt und sich nicht durch fachliche, institutionelle und gedankliche Grenzen einschränkt. Die Politik muss die richtigen Anreizsysteme und Rahmenbedingungen schaffen, die Städte und Gemeinden müssen intelligente Raumnutzungskonzepte aufstellen, Forschung und Industrie müssen Zukunftstechnologien entwickeln und umsetzen, und all das muss mit aktiver Beteiligung der Bevölkerung geschehen.



Diese Ausgabe der Faszination Forschung widmet sich dem Thema „Smart Mobility“. Mit der Forschungsplattform TUM.Mobility und dem BMBF-geförderten Münchner Cluster für die Zukunft der Mobilität in Metropolregionen (MCube) hat die TUM ihre Kräfte rund um die Gestaltung der Mobilität zu einem strategischen Schwerpunkt gebündelt. Ich freue mich, mit Ihnen interessante Einblicke in die Ideen, Ziele und Projekterfolge unserer geistreichen Forschenden zu teilen.

Ihr

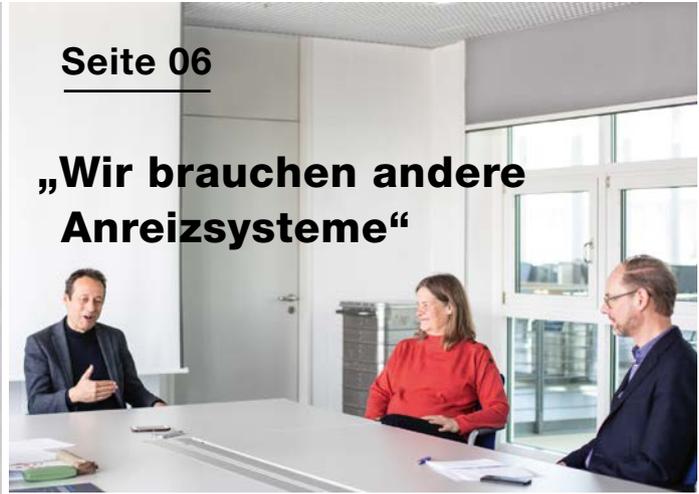
A handwritten signature in blue ink that reads "Thomas F. Hofmann". The signature is fluid and cursive, written on a white background.

Thomas F. Hofmann
Präsident



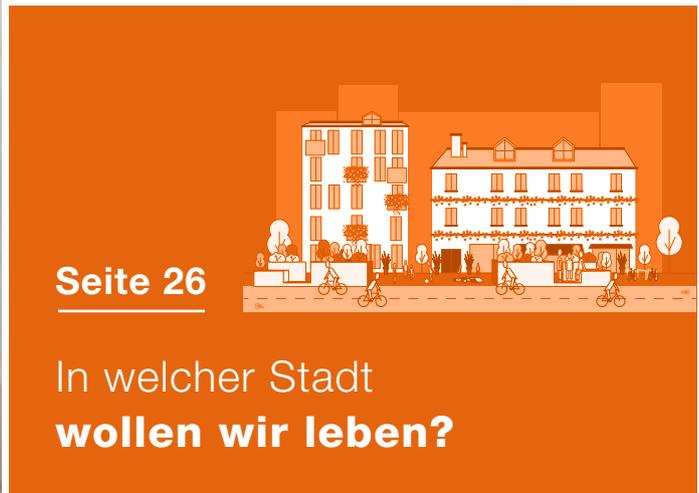
Seite 50

Täuschend echte
Bilder von Personen,
die es nicht gibt



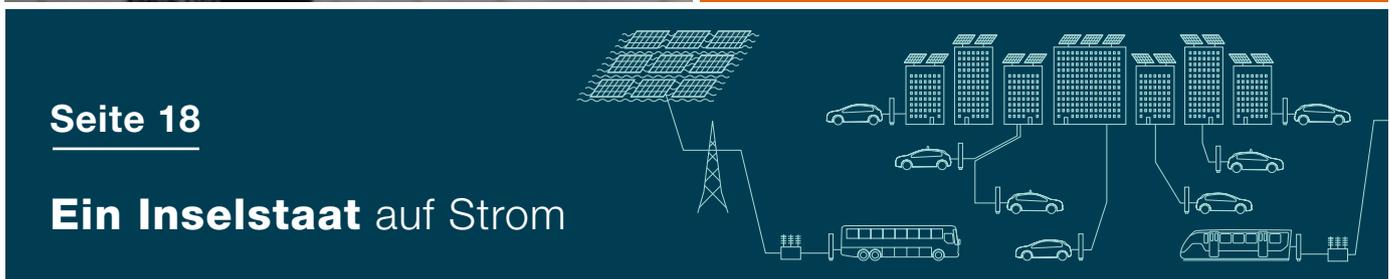
Seite 06

**„Wir brauchen andere
Anreizsysteme“**



Seite 26

In welcher Stadt
wollen wir leben?



Seite 18

Ein Inselstaat auf Strom



Seite 70

Wie viel Elektromobilität
darf's denn sein?



Seite 60

Automatisiertes Fahren braucht
eine neue Verkehrskultur

E	Hier finden Sie die englische Ausgabe als PDF:
	www.tum.de/faszination-forschung-28

Inhalt

06 „Wir brauchen andere Anreizsysteme“

Der Fahrzeugtechniker Markus Lienkamp, die Politikwissenschaftlerin Miranda Schreurs und der Verkehrsplaner Gebhard Wulfhorst sind sich einig: Fachübergreifendes Denken ist der Schlüssel für die Entwicklung neuer, smarterer Mobilitätskonzepte.

18 Ein Inselstaat auf Strom

Singapur will künftig ganz auf Elektromobilität setzen. Forschungsteams von TUMCREATE entwickelten ein Simulationsprogramm, um durchzuspielen, wie sich das Stromnetz verhält, wenn sehr viele Elektrofahrzeuge geladen werden.

26 In welcher Stadt wollen wir leben?

Überall auf der Welt testen Street Experiments alternative Konzepte für die Straßennutzung. Ana Rivas untersucht, unter welchen Bedingungen diese Experimente zu bleibenden Transformationen beitragen.

32 Autonomes Fahren

34 Weit voraus und um die Ecke schauen mit dem digitalen Zwilling

Alois Knoll leitet das Konsortialprojekt Providentia++. Es erstellt in Echtzeit ein digitales Abbild der Verkehrslage und stellt diese Daten öffentlich zur Verfügung.

44 Blick in die Zukunft

Autonom fahrende Autos müssen auf alle möglichen Verkehrssituationen vorbereitet sein, um Unfälle zu vermeiden. Matthias Althoff entwickelt eine Software, die in Sekundenbruchteilen Verkehrssituationen vorausberechnen kann und so gewährleistet, dass das Auto nicht mit anderen kollidiert.

50 Täuschend echte Bilder von Personen, die es nicht gibt

Neuronale Netze in selbstfahrenden Autos brauchen riesige Mengen an Aufnahmen aus dem Straßenverkehr, um zu lernen, wie man Menschen erkennt. Laura Leal-Taixé und ihre Forschungsgruppe haben verblüffende Lösungen, um datenschutztechnisch unbedenkliche Bilder von Menschen zu generieren.

60 Automatisiertes Fahren braucht eine neue Verkehrskultur

Für den Erfolg eines automatisierten Verkehrs muss auch das komplexe Wechselspiel zwischen Mensch und Fahrzeug betrachtet werden. Klaus Bogenberger und sein Lehrstuhl untersuchen dies im Forschungsprojekt TEMPUS.

68 In nur 15 Minuten zu allen wichtigen Zielen

In nachhaltigen Städten sind wichtige Orte idealerweise in nur 15 Minuten zu Fuß oder mit dem Fahrrad erreichbar. Das Start-up Plan4Better bietet eine Software an, die dieses Konzept umsetzt.

70 Wie viel Elektromobilität darf's denn sein?

Ist Elektromobilität für mich oder für mein Unternehmen sinnvoll und lukrativ? Welche Optionen gibt es? Antworten liefert das digitale Beratungstool WATE.

76 Reisen mit Bedacht

Können wir in Zukunft reisen, ohne die Umwelt zu belasten? Agnes Jocher forscht an alternativen Kraftstoffen für Flugzeuge und am visionären Hochgeschwindigkeitszug Hyperloop.

In jeder Ausgabe

03 Editorial

82 Autorinnen und Autoren

82 Impressum



„Wir brauchen andere Anreizsysteme“

Fachübergreifendes Denken ist der Schlüssel für die Entwicklung neuer Mobilitätskonzepte, finden der Fahrzeugtechniker Prof. Markus Lienkamp, die Politikwissenschaftlerin Prof. Miranda Schreurs und der Verkehrsplaner Prof. Gebhard Wulfhorst.

Link

www.mos.ed.tum.de/ftm
www.mos.ed.tum.de/en/sv
www.hfp.tum.de/en/environmentalpolicy

Full Article (PDF, EN): www.tum.de/faszination-forschung-28

“We need to find different incentives”

E

Automotive engineer Prof. Markus Lienkamp, political scientist Prof. Miranda Schreurs and traffic planner Prof. Gebhard Wulfhorst agree that interdisciplinary thinking is the key to developing new mobility concepts. To them, smart mobility is a reasonable way to get around using climate-friendly, efficient as well as fun and convenient modes of transport. They see a future with fewer overall journeys, more passengers per vehicle and – in cities in particular – more people traveling by bicycle and on foot. As

Markus Lienkamp succinctly describes, it's about improving the quality of air, space and time. Miranda Schreurs, however, notes that it will not be possible without integrating local citizens. She believes that society needs to discuss the topic of mobility and ask itself what it wants to achieve. Gebhard Wulfhorst explains that smart mobility is more than just a technological solution. Such concepts can only be successful, he says, if they are integrated into the public transport network and the urban public realm. □



Was bedeutet Smart Mobility für Sie?

Gebhard Wulfhorst: Auf gut Münchnerisch: „Gscheit mobil“. Mobilität muss Spaß machen und vernünftig sein. Sie ist nicht nur eine Technologielösung. Ohne die Akzeptanz der Bevölkerung und ohne eine strategische Planung in der Stadtpolitik wird es nicht funktionieren. Deshalb möchte ich betonen, wie wichtig es ist, dass es uns an der TUM gelingt, das Thema Mobilität in unserer Forschungsplattform TUM.Mobility über Fachgrenzen hinweg zu bearbeiten.

Miranda Schreurs: Es geht nicht nur darum, von A nach B zu kommen, sondern um die Frage, wie man ein klima- und umweltfreundliches System schafft und dabei Wirtschaft und Bevölkerung aktiv miteinbezieht. Smart Mobility ist eine vernünftige Nutzung von Mobilität, die umweltfreundlich und effizient ist sowie auf Zukunftstechnologien setzt.

Markus Lienkamp: Ich möchte drei Punkte aus unserer Forschung nennen. Zum einen erfassen und analysieren wir mit unserem Forschungsteam Smarte Mobilität, wie die Menschen sich bewegen. Der zweite Punkt ist die Verbesserung der Qualität von Luft, Raum und Zeit. Drittens müssen wir bestrebt sein, Fahrten zu verhindern. Für die

verbleibenden Fahrten müssen wir die Belegung pro Transportgefäß über den heute durchschnittlichen Wert von 1,3 Personen bringen.

„Verkehrswende“ und „Mobilitätswende“ sind zwei prominente Begriffe in der öffentlichen Diskussion. Wie definieren Sie diese?

Wulfhorst: Ich würde unterscheiden zwischen einer Antriebswende, also dem technisch-energetischen Teil von Fortbewegung, und etwas, was ich Mobilitätswandel nennen möchte. Verkehr bedeutet eine Ortsveränderung von A nach B. Das kann auch zu Fuß gehen sein. Der Begriff Mobilität ist viel weiter: Er bezieht die Nutzung des Raums, die Lebensumstände und soziale Aspekte mit ein.

Lienkamp: Ich möchte mit dem Irrtum aufräumen, dass die Umstellung des Energieträgers von Verbrenner auf Elektromobilität ausreicht. Es ist ein kleiner Teil der Lösung, aber möglicherweise nur der kleinste. Wenn wir den Verkehrssektor 80 Prozent dekarbonisieren wollen, und das nur über Elektromobilität erreichen möchten, wird es unendlich teuer. Aber es kann gelingen, wenn wir Autos von der Straße holen und den ÖPNV und aktive Mobilität wie Radfahren sowie zu Fuß gehen sinnvoll ausbauen. ▶



„Es geht um die Frage, wie man ein klima- und umweltfreundliches System schafft und dabei Wirtschaft und Bevölkerung aktiv mit-einbezieht.“

Miranda Schreurs

Schreurs: Die Dekarbonisierung ist ein wichtiger Teil der Lösung aus der Umweltperspektive. Eine andere Frage ist, wie wir den Raum nutzen. Die Stadt ist voll geparkter Autos. Wir müssen überlegen: Wie kann man vernünftig einkaufen gehen? Wie können sich ältere Personen gut in der Stadt bewegen? All diese Facetten sind Teil der Wende, die so wichtig für uns ist.

Wulforthorst: Eigentlich geht es darum, zur richtigen Zeit am richtigen Ort anzukommen. Deshalb beschäftigen wir uns zum Beispiel mit Erreichbarkeitsplanung. Ein Beispiel ist das Konzept der 15-Minuten-Stadt, in der man alle wichtigen Orte – Supermärkte, Kindergärten etc. – innerhalb dieser Zeit von zu Hause aus erreichen kann.

Lienkamp: Wir brauchen nur daran zu denken, wie zeitaufwendig Mobilität für viele Menschen ist. Nehmen wir meinen Tag heute als Beispiel. Ich brauche fünf Minuten mit dem Rad an die Uni. Mittags war ich zuhause und auf dem Rückweg hierher noch kurz einkaufen. Nachher radle ich zehn Minuten zum Reiten. Am Ende des Tages bin ich keinen Kilometer Auto gefahren, sondern habe mich 40 Minuten mit dem Rad bewegt, hatte Spaß dabei und war überall da, wo ich sein wollte. Andere brauchen für das gleiche Programm vielleicht drei Stunden. Die Entscheidung über Wohn- und Arbeitsort bestimmt einen großen Teil unserer Mobilität und unserer Zeit. ▶



Prof. Dr. Miranda Schreurs

forscht zu Umwelt-, Klima- und Energiepolitik. Sie studierte an den Universitäten von Washington und Michigan und war Fulbright-Stipendiatin an der Keio University in Japan. Danach forschte sie drei Jahre an der Kennedy School of Government der Harvard University. Von 2007 bis 2016 leitete Schreurs das Forschungszentrum für Umweltpolitik (FFN) der FU Berlin. Seit 2016 hat sie an der zur TUM gehörigen Hochschule für Politik München den Lehrstuhl für Umwelt- und Klimapolitik inne.

Prof. Dr.-Ing. Gebhard Wulffhorst

studierte Bauingenieurwesen an der RWTH Aachen. Sein Interesse an der Verkehrs- und Raumplanung vertiefte er an der École Nationale des Ponts et Chaussées in Paris. Nach seiner Promotion an der RWTH Aachen wirkte er ab 2004 zunächst als Marie-Curie-Stipendiat der EU-Kommission in Straßburg, später in einem Planungsbüro in Karlsruhe. Seit 2006 leitet er den Lehrstuhl für Siedlungsstruktur und Verkehrsplanung an der TUM.



Bildquellen: Juli Eberle



Prof. Dr.-Ing. Markus Lienkamp

leitet seit 2009 den Lehrstuhl für Fahrzeugtechnik an der TUM. Er forscht zu autonomem Fahren, Elektromobilität und Mobilität. Lienkamp hat an der TU Darmstadt und an der Cornell University Maschinenbau studiert und in Darmstadt promoviert. Danach arbeitete er bei Volkswagen, wo er vor seinem Wechsel an die TUM in der Konzernforschung den Bereich „Elektronik und Fahrzeug“ leitete.

Vor welchen Herausforderungen stehen wir mit unserer Mobilität noch? Klimakrise, hohe Verkehrsbelastung, Platz und Zeitprobleme haben wir schon erwähnt.

Lienkamp: Verbesserung von Raum, Luft und Zeit bringt es auf den Punkt.

Wulfhorst: Soziale Nachhaltigkeit und Bezahlbarkeit werden oft übersehen. Wie regulieren wir die Frage: „Wer gewinnt, wer verliert?“. Wir müssen auch Sicherheit schaffen für Gruppen, die im Verkehr schlecht geschützt sind.

Lienkamp: Es gibt zu viele Situationen, in denen der Spritpreis für das Fahrverhalten egal ist, weil die Nutzer die Kosten nicht spüren. Für Dienstwagen zahlt zum Beispiel die Firma das Tanken.

Alle gleichzeitig: Es sind die falschen Anreizsysteme.

Herr Lienkamp, Sie als Fahrzeugtechniker plädieren so stark für eine Reduktion des Autoverkehrs?

Lienkamp: Der Begriff Fahrzeug ist allgemein und umfasst Fahrrad, Motorrad, Lkw, Bus etc. Wir werden natürlich weiter Autos brauchen, aber ich stelle ganz massiv in Frage, ob wir noch so viele brauchen. Nehmen Sie Singapur mit fünf Millionen Einwohnern und nur einer Million Autos. Der Verkehr fließt, Autos sind teuer, ihre Anzahl ist beschränkt und eine flexible Maut erhöht sich, wenn die Fließgeschwindigkeit langsamer wird. Wenn wir das auf München mit seinen 1,5 Mio. Einwohnern übertragen, hieße das, wir dürften statt der heute 750.000 Autos nur 300.000 haben.

Schreurs: Wir schauen oft nach Singapur und auf andere Städte, die in Sachen Mobilität ein Image entwickelt haben. Kopenhagen und Amsterdam für den Radverkehr beispielsweise, oder Wien mit seinen völlig neuen Konzepten für eine Stadt mit weniger Autos. Ich frage mich, wie wir so etwas für München hinbekommen können. Das ist ein wichtiges Ziel: Einen Standort zu schaffen, der wirklich zukunftsorientiert ist, spannende Konzepte entwickelt und junge Leute anzieht.



„Es kann gelingen, wenn wir Autos von der Straße holen und den ÖPNV sowie die aktive Mobilität wie Radfahren und zu Fuß gehen sinnvoll ausbauen.“

Markus Lienkamp

Wie kann man dahin kommen?

Schreurs: München und Bayern haben teilweise ehrgeizige Ziele, aber in der Vergangenheit haben wir nicht immer erreicht, was wir uns vorgenommen haben. Ein Problem ist, dass politische Entscheidungen nicht immer mit den Interessen von Wirtschaft und Gesellschaft übereinstimmen. Wir müssen Wege finden, um Politik und Wirtschaft für Veränderungen zu gewinnen, die auch die Perspektive der Bürgerinnen und Bürger einbeziehen. Wir sollten gemeinsam Mobilitätsideen entwickeln. Hier kann die Universität eine wichtige Rolle spielen.

Wulfhorst: Was sehr hilft, ist ausprobieren. Die Coronapandemie hat uns alle flexibler im Denken gemacht. Das gilt auch für die Stadt hier. Direkt bei unseren Büros im Stadtzentrum ist die Theresienstraße, eine zweispurige Einbahnstraße. Obwohl eine dritte Fahrspur in Gegenrichtung geplant war, hat die Stadt während der Pandemie eine der Fahrspuren durch einen Pop-up-Radweg ersetzt. Nach einigem Streit entschied ein Gericht, dass die Radspur dauerhaft bleiben kann. Hier wurde also tatsächlich eine Verkehrswende vollzogen, und das wird sich an vielen Stellen fortsetzen. In unserem EU-Projekt Street Experiments sehen wir einen starken europäischen Trend hin zu mehr Platz für Radfahrerinnen und Radfahrer und weniger Platz für Autos.

Schreurs: Das ist ein super Beispiel, davon brauchen wir viel mehr. Bei uns in München entstehen viele innovative Konzepte, es ist wichtig, dass wir die auch umsetzen. Dann kann München eine Vorreiterrolle einnehmen.

TUM.Mobility – eine interdisziplinäre Forschungs- plattform

TUM.Mobility bündelt die Kräfte von über 40 Professuren aus verschiedensten Fachbereichen, die an der TUM fachübergreifend an der Zukunft der Mobilität arbeiten. Das Ziel ist, globale gesellschaftliche Herausforderungen ganzheitlich zu adressieren, um erfolgreiche Innovationen zu entwickeln, Impulse für die wirtschaftlichen Transformationsprozesse zu geben, eine sozial gerechte Mobilität zu ermöglichen sowie verkehrsbedingte Umwelt- und Gesundheitsbelastungen zu minimieren. TUM.Mobility umfasst die acht Themenschwerpunkte Urbane Mobilität, Klimafreundliche Antriebe, Autonomes Fahren, Integrierte Verkehrssysteme, Standortentwicklung, Verkehrsmodellierung und Simulation, Governance und Partizipation sowie Geschäftsmodelle und Entrepreneurship.

www.mobility.tum.de

Herr Lienkamp, welche Erwartungen haben Sie an autonome Fahrzeuge? Können Sie die beiden Begriffe autonom und automatisiert kurz erklären?

Lienkamp: Autonome Fahrzeuge haben keinen Fahrer, automatisierte dagegen schon, aber das Fahrzeug übernimmt Teilaufgaben. Es bringt aber nichts, einfach alle Autos autonom zu machen. Wir müssen anders denken. Automatisierung ermöglicht uns, schlecht besetzte Busse mit 50 Plätzen durch kleine, autonome Transportgefäße mit wenigen Passagieren zu ersetzen. Die sind deutlich flexibler und können auf bezahlbare Weise den riesigen Nachteil des ÖPNV – lange Fahrzeiten aufgrund vieler Stopps – abschaffen. Nach unserer Erfahrung bräuchte man pro Fahrt im Schnitt mindestens vier bis sechs Personen. Für München haben wir das durchgerechnet: Wenn wir den gesamten privaten Pkw-Verkehr abschaffen und durch kleine Shuttles ersetzen, bräuchten wir maximal 16.000 Fahrzeuge. Davon sind wir gar nicht so weit weg, München hat heute 3.300 Taxis. ▶

„Die Gesellschaft muss viel mehr über Mobilität diskutieren und sich fragen, was sie erreichen möchte.“

Miranda Schreurs



Herr Wulfhorst, Sie sagen, man müsse bei den vielen neuen Mobilitäts-Technologien den öffentlichen Raum mitdenken. Was genau meinen Sie damit?

Wulfhorst: Das ist die Erkenntnis aus unseren Projekten, insbesondere im europäischen Kontext. Deren Fokus liegt oft auf Start-ups, Technologie-Entwicklung und auf dem ökonomischem Erfolg. Aus unserer Sicht können neue Mobilitätskonzepte nur dann erfolgreich sein, wenn sie in ein öffentliches Verkehrsnetz, in einen öffentlichen Stadt-raum integriert werden. Im rechtlichen Sinn ist unser Straßenraum Allgemeingut. Wir müssen aufpassen, wer ihn wofür nutzt. Was wir sicher nicht wollen, ist ein System, in dem die Kinder nicht mehr zu Fuß zur Schule gehen, weil autonome Shuttles, Sharing-Angebote etc. so viel Platz einnehmen, dass der restliche Raum unsicher wird. Carsharing oder Shuttle-Services tragen nur dann zu echter Nachhaltigkeit bei, wenn man sie an Mobilitätsstatio-

nen mit dem ÖPNV vernetzt. So wie die Region heute Busse bestellt, müsste sie solche privaten Dienstleistungen als ergänzende Mobilität an diesen Schnittpunkten bereitstellen.

Schreurs: Sharing-Konzepte sind zwar populär, aber noch gibt es nicht genügend Autos. Deshalb ist die Nutzung noch nicht wirklich einfach. Viele Leute lehnen Carsharing wegen zu geringer Verfügbarkeit immer noch ab.

Lienkamp: Wenn viele Menschen Carsharing nutzen, ist der Netzwerkeffekt für alle ein Riesenvorteil. Dann wäre sichergestellt, dass es genügend Autostandorte gibt und Carsharing würde komfortabel.

Frau Schreurs, Sie forschen zu Umwelt- und Energiepolitik. Elektromobilität ist der Schlüssel, um erneuerbaren Strom über die Sektorkopplung für den Verkehr nutzbar zu machen. Deutschland wollte bis 2020 eine Million E-Autos auf der Straße haben und ist gescheitert. Was sind aus Ihrer Sicht wirkungsvolle Stellschrauben für einen Mobilitätswandel?

Schreurs: Zum jetzigen Zeitpunkt (Anfang April, Anm. der Red.) würde ich sagen, dass uns die schreckliche Entwicklung in der Ukraine eine Chance gibt, ja fast eine Notwendigkeit darstellt. Wir müssen sehr stark umdenken. Wir wissen auch, dass wir eine Klimakrise vor uns haben. Die jüngere Generation hat wirklich Angst um ihre Zukunft. Aber Krisen schaffen Möglichkeiten. Wir haben jetzt ein offenes Fenster für Veränderungen, wenn wir es nutzen. Die Entscheidungsträger aus Politik, Industrie und NGOs müssen sich zusammensetzen, bestehende Konzepte überprüfen sowie Alternativen für die Zukunft diskutieren und diese zügig umsetzen.

Bildquellen: Juli Eberle

Dafür braucht man die richtigen Anreize. Der ÖPNV muss billiger werden, Dienstautos teurer, Shared Mobility attraktiver. Wir müssen unsere Prioritäten überdenken. Bisher liegen sie auf persönlicher Freiheit in Verbindung mit eigenen Autos. Die Gesellschaft muss viel mehr über Mobilität diskutieren und sich fragen, was sie erreichen möchte. Ich weiß nicht, wie viele Menschen sich gedanklich mit autonomen Sharing-Fahrzeugen beschäftigen. Aber wenn die Gesellschaft das nicht als mögliches Konzept erkennt, kann es nur schwer umgesetzt werden. Technologie-Entwicklung darf nicht im Labor stattfinden, sondern im Austausch mit der Gesellschaft. Wir müssen gemeinsam diskutieren, wo wir uns hin entwickeln möchten, ob wir in eine bestimmte Technologie investieren möchten, und wenn nicht, Alternativen suchen. ▶



„Unser Straßenraum ist Allgemeingut. Wir müssen aufpassen, wer ihn wofür nutzt.“

Gebhard Wulfhorst

Meinen Sie, man bräuchte mehr oder eine andere Beteiligung von Bürgerinnen und Bürgern?

Schreurs: Die Einbindung von Bürgerinnen und Bürgern wäre sehr wichtig. Es gab schon ein paar tolle Ansätze. Für das Bürgergutachten Bayern 2030 zum Beispiel fanden acht regionale Bürgerkonferenzen statt. Wir sollten bayernweit ähnliche Bürgerversammlungen durchführen. Wir sollten verschiedene Mobilitätsoptionen für Gemeinden, Stadtteile und ländliche Gemeinden diskutieren. Digitale Zwillinge der regionalen Mobilität wären gut, damit die Menschen Alternativen direkt betrachten können.

Lienkamp: Ein Ziel wäre, die Leute zu überzeugen, dass sie selbstverständlich Mobilität brauchen, aber nicht zwingend ein eigenes Auto. Es gab eine Studie, bei der die Teilnehmerinnen und Teilnehmer für eine gewisse Zeit ihr Auto stehen ließen und dafür andere Mobilitätsformen, z. B. den ÖPNV, bezahlt bekamen. Danach wollten zwei Drittel der Menschen ihr Auto abschaffen

Schreurs: Dafür sind ja die Reallabore da.

„Die Entscheidung über Wohn- und Arbeitsort bestimmt einen großen Teil unserer Mobilität und unserer Zeit.“

Markus Lienkamp

Unser Gespräch findet am 5. April statt, der Krieg in der Ukraine geht in die sechste Woche. Die Abhängigkeit Deutschlands von russischem Gas und Erdöl wird breit diskutiert. Erwarten Sie eine schnellere Dekarbonisierung des Verkehrssektors?

Schreurs: Ich hoffe, dass dieser schreckliche Krieg wenigstens einen Beitrag zu einer schnelleren Energiewende leisten wird. Im Energiesektor werden wir einen starken Ausbau von Wind- und Sonnenenergie sehen, Forschung und Entwicklung zu Batterien werden vorangetrieben werden. Auch bei der Sektorkopplung, der Verknüpfung von Mobilität und Smart Cities, sind große Fortschritte zu erwarten. Wie schnell wir Elektromobilität und die dazugehörige Infrastruktur ausbauen wird darüber entscheiden, wie schnell wir den Wandel in der Mobilität realisieren können.

Lienkamp: Das stimmt, aber Fahrzeuge leben ca. 15 Jahre lang. Selbst wenn wir ab morgen nur mehr Elektroautos produzieren würden, könnten wir maximal sieben Prozent Veränderung pro Jahr erreichen. Das Einzige, was kurzfristig hilft, sind ein Tempolimit und Anreize zum Spritsparen. Fahrerinnen und Fahrer von Dienstwagen müssten selbst an der Tankstelle bezahlen, das wäre wirklich wirkungsvoll – auch wenn die Firma die Kosten erstattet.

Schreurs: Richtig. Tanken ist, relativ gesehen, immer noch viel zu billig und ein Grund, warum die Mobilitätstransformation noch nicht weit vorangekommen ist. Es gibt viele tolle Konzepte, aber der Wandel geht viel zu langsam.

Lienkamp: Alles, was wir Ingenieure verbessern, wird über den Rebound-Effekt, also größere Autos und mehr Kilometer, sofort wieder weggefressen.

Wulfhorst: Bei uns ergab eine Promotion zu Elektromobilität, dass nicht Technologie das CO₂-Problem lösen wird, sondern der Handel mit Emissions-Zertifikaten. Über die Zielgröße CO₂ funktioniert die Transformation

„Wir brauchen künftig integrierte Mobilitätskonzepte, die die Stadt der Zukunft im Gesamtpaket betrachten.“

Gebhard Wulfhorst

ganz ohne Förderprogramm für Elektroautos. Deshalb ist es so wichtig, die eigentlichen Ziele im Auge zu behalten.

Lienkamp: Wir sind gerade dabei, die wahren Kosten der Mobilität aufzuzeigen, also inklusive aller sekundärer Auswirkungen. Manche Verkehrsmittel stellen sich als überraschend teuer heraus. E-Scooter sind zum Beispiel am teuersten, weil es mit ihnen so viele Unfälle gibt. Das ist ein hoher volkswirtschaftlicher Schaden. Solche Kosten muss man transparenter machen.

Das billigste Verkehrsmittel ist zu Fuß gehen, und da sind die positiven Gesundheitseffekte noch gar nicht eingerechnet. Würde man das tun, hätten Gehen und Radfahren sogar negative Kosten.

Schreurs: Wir denken bisher zu sektorspezifisch und blicken zu wenig auf die Zusammenhänge, zum Beispiel zwischen Gesundheit, Mobilität, Ausbildung etc. Mit dem Blick aufs Ganze könnte man viel bessere Systeme entwickeln.

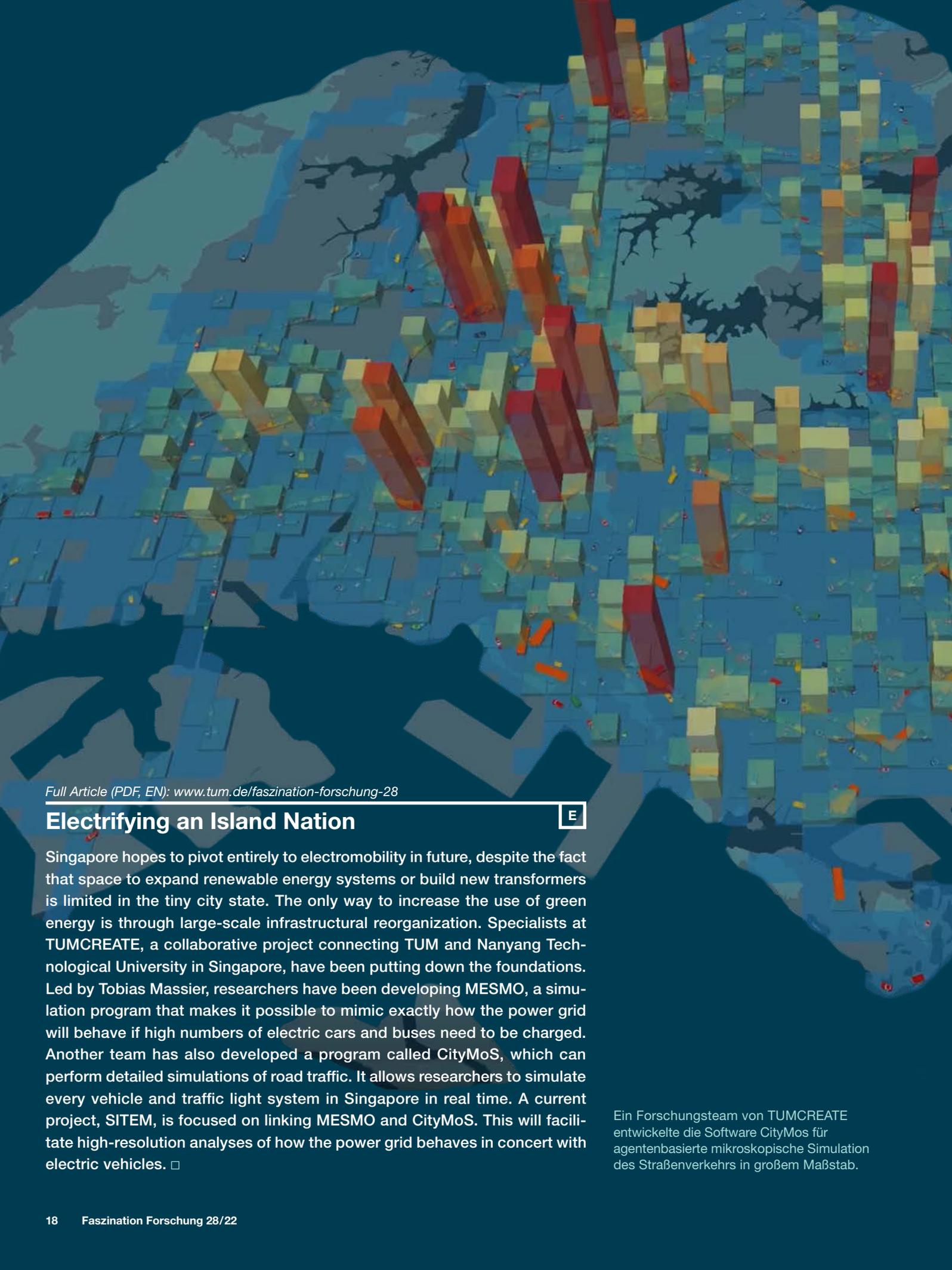
Wulfhorst: Wir müssen verstehen, dass unsere Städte auf dem zu Fuß gehen aufbauen. In München gibt es gut strukturierte Viertel, in denen über die Hälfte aller Wege zu Fuß und mit Fahrrad erfolgen. Wir brauchen künftig integrierte Mobilitätskonzepte, die die Stadt der Zukunft im Gesamtpaket betrachten. Wir haben in unseren Hinweisen zur Nahmobilität auch betont, dass sich die Wegzeiten für Fußgänger und Radfahrer durch langes Warten an Ampeln enorm verlängern. In Kopenhagen zum Beispiel schaltet die Ampel ab einer bestimmten Menge an Radfahrern auf grün. Es geht alles, man muss es nur wollen.

■ *Das Interview führte Christine Rüth*

MCube – Münchner Cluster für die Zukunft der Mobilität in Metropolregionen

MCube umfasst ein einzigartiges Netzwerk von Akteurinnen und Akteuren aus Wissenschaft, Wirtschaft, Öffentlicher Hand und Gesellschaft aus der Region München. Ihr Ziel ist die Entwicklung nachhaltiger Lösungen für die Mobilität in Metropolregionen. Das Clusterprogramm will die Stadt München als Vorreiterin für nachhaltige und transformative Mobilitätsinnovationen etablieren. Aktuelle Projekte verfolgen die drei Schwerpunkte (1) Verkehrssysteme elektrifizieren und automatisieren, (2) Mobilitätsoptionen entwickeln und integrieren sowie (3) Standorte vernetzen und Mobilitätsräume gestalten. MCube ist Teil der Zukunftscluster-Initiative des Bundesministeriums für Bildung und Forschung (BMBF). Es ist 2021 gestartet und wird über bis zu neun Jahre mit jeweils 50 Millionen Euro pro Jahr gefördert. Die TUM koordiniert den Cluster, die TUM Professoren Gebhard Wulfhorst, Markus Lienkamp und Sebastian Pfothenauer leiten das MCube Strategieteam.

www.mcube-cluster.de



Full Article (PDF, EN): www.tum.de/faszination-forschung-28

Electrifying an Island Nation

E

Singapore hopes to pivot entirely to electromobility in future, despite the fact that space to expand renewable energy systems or build new transformers is limited in the tiny city state. The only way to increase the use of green energy is through large-scale infrastructural reorganization. Specialists at TUMCREATE, a collaborative project connecting TUM and Nanyang Technological University in Singapore, have been putting down the foundations. Led by Tobias Massier, researchers have been developing MESMO, a simulation program that makes it possible to mimic exactly how the power grid will behave if high numbers of electric cars and buses need to be charged. Another team has also developed a program called CityMoS, which can perform detailed simulations of road traffic. It allows researchers to simulate every vehicle and traffic light system in Singapore in real time. A current project, ITEM, is focused on linking MESMO and CityMoS. This will facilitate high-resolution analyses of how the power grid behaves in concert with electric vehicles. □

Ein Forschungsteam von TUMCREATE entwickelte die Software CityMos für agentenbasierte mikroskopische Simulation des Straßenverkehrs in großem Maßstab.



Ein Inselstaat auf Strom

Singapur will mit einem Kraftakt in die Elektromobilität einsteigen. Wie die Infrastruktur für den wachsenden Strombedarf ausgebaut werden muss, haben Fachleute von TUMCREATE, einem Gemeinschaftsprojekt der TUM und der Nanyang Technological University in Singapur, berechnet. Die von ihnen entwickelten Simulationsprogramme zeigen, wie Elektroautos, -busse und -taxen künftig mit dem Stromnetz zusammenwirken.

Link

www.tum-create.edu.sg/research/energy-and-power-systems-group

www.tum-create.edu.sg/research/computational-modelling-research-department

Singapur ist weltbekannt. Der Staat in Südostasien ist einer der größten Handelsplätze überhaupt, besitzt den zweitgrößten Containerhafen der Welt und ist eines der Top-Reiseziele von Touristen. Für solche Dimensionen ist der Staat erstaunlich klein. Singapur hat nur etwa zwei Drittel der Fläche Hamburgs, aber mehr als fünf Millionen Einwohner. Es ist eng auf den Straßen der großen Insel, die sich über rund 50 Kilometer von West nach Ost erstreckt. Es gibt rund eine Million Autos. Im Berufsverkehr sind rund 6.000 Busse der Stadtwerke unterwegs. Hinzu kommen mehrere Tausend Taxen. Und da fast alle Benzin oder Diesel verbrennen, ist der Ausstoß an Kohlendioxid und Luftschadstoffen hoch. Glücklicherweise gibt es auch eine U-Bahn, die einen Großteil der Einwohner Singapurs transportiert.

50 Prozent Elektrobusse bis 2030

Die Verwaltung hat daher beschlossen, Fahrzeuge mit Verbrennungsmotoren in den kommenden Jahren durch Elektroautos und -busse zu ersetzen. Bis zum Jahr 2030 soll bereits jeder zweite Bus des öffentlichen Nahverkehrs elektrisch fahren. Für den kleinen Staat an der Südspitze der Malaiischen Halbinsel ist das eine Herausforderung, weil es kaum Platz für den Ausbau der regenerativen Energien oder neue Umspannwerke gibt. Mehr Ökostrom ist nur mit einem groß angelegten Umbau der Infrastruktur zu haben. Ehe der beginnt, will die Stadtverwaltung genau wissen, ob und wie diese Transformation gelingen kann – ohne Stromausfälle oder einen Verlust an Lebensqualität. Die Grundlagen für diesen Umbau haben Fachleute bei TUMCREATE, einem Gemeinschaftsprojekt der TUM und der Nanyang Technological University in Singapur, in den vergangenen Jahren gleich in mehreren Projekten geschaffen. Eine der Forschungsgruppen, die Energy and Power Systems Group, analysiert mithilfe von Simulationen, wie sich der Ausbau des Elektroverkehrs im Detail auf das Stromnetz auswirken wird. „Wir haben uns zunächst alle Verkehrsteilnehmer genau angeschaut“, sagt Gruppenleiter Dr. Tobias Massier. „Unter anderem haben wir Taxen mit GPS-Sendern ausgestattet und alle verfügbaren Daten über Fahrten von Pkw gesammelt, um herauszufinden, wann und wie sich die Fahrzeuge bewegen oder wo sie parken.“



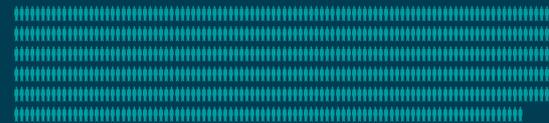


Hamburg *Singapur*

Einwohner

1.906.411

5.936.160



Fläche

755,22 km²

728,6 km²

III 2.524 Personen/km²

IIIIIIII 8.147 Personen/km²

Anzahl öffentliche Busse***

2.322

7.704

Anzahl Autos

804.196

579.369

Einwohner pro Auto

2,4

10,2

Anzahl Taxis

3.213

18.542****

Taxis pro 1000 Einwohner

1,68

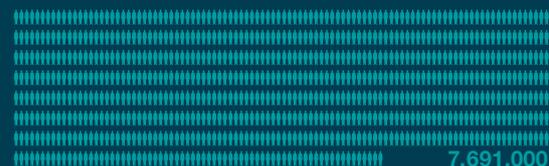
3,12

Öffentlicher Verkehr (Bus & Schiene): Fahrgäste pro Tag



2.156.000

(1,1 Fahrten/Einwohner/Tag)



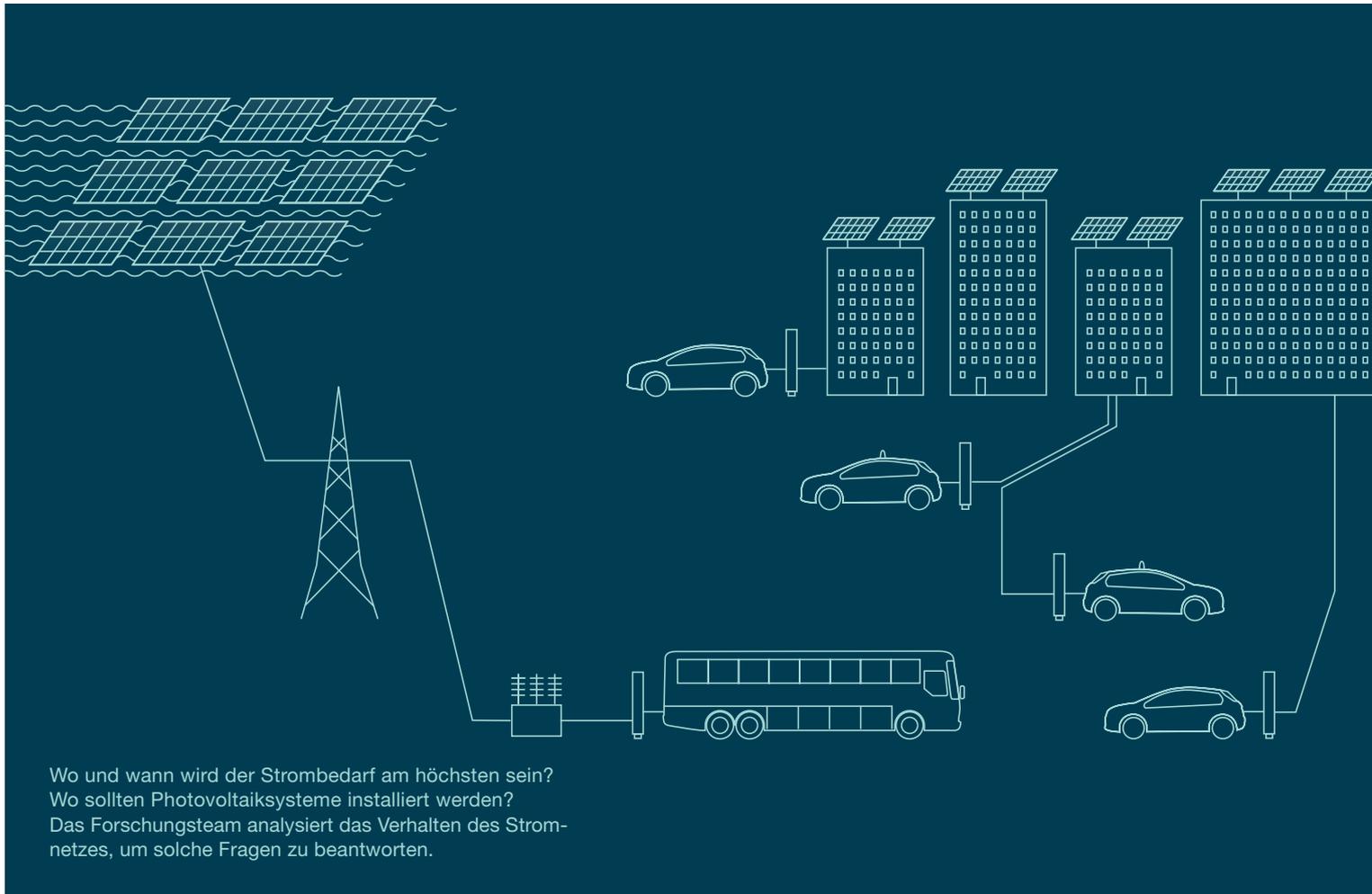
7.691.000

(1,3 Fahrten/Einwohner/Tag)

Quellen: Statistisches Amt für Hamburg und Schleswig-Holstein; HVV Zahlenspiegel 2018; Singapore Land Transport Authority; worldometer Mai 2022

*** inkl. Schulbusse

**** ausgenommen Chauffeurdienste



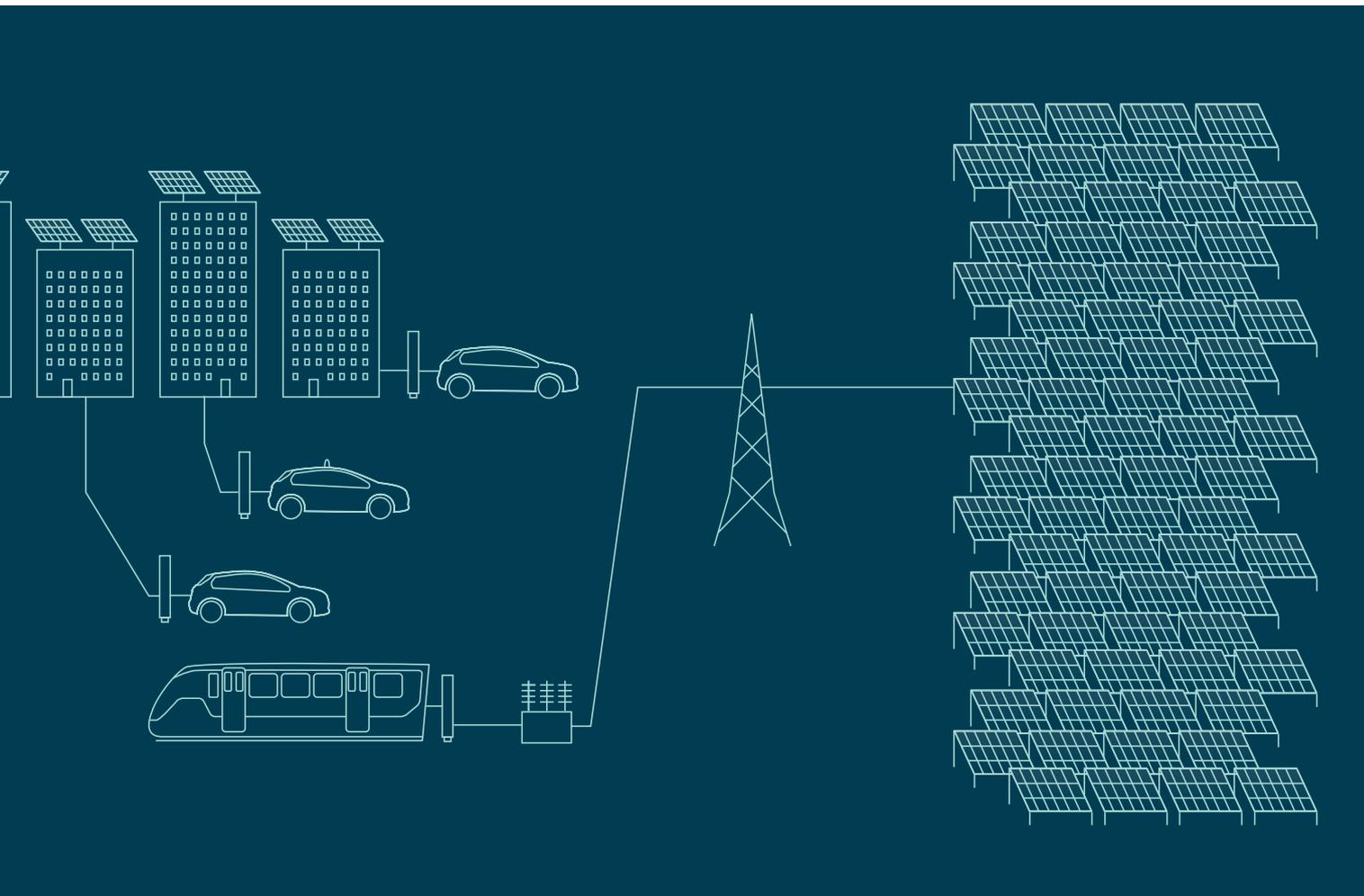
Privat-Pkw fahren demnach im Schnitt nicht mehr als 50 Kilometer am Tag und verbrauchen damit vergleichsweise wenig Strom. Sie ließen sich künftig in Garagen und Parkhäusern an den Bürogebäuden und Wohnblöcken ausreichend laden. Eine Herausforderung sind die Busse, die viele Stunden unterwegs sind und zwischendurch kaum nachgeladen werden können. Für Schnellladestationen an den Haltestellen gibt es in dem eng bebauten Stadtgebiet kaum Platz, vor allem auch, weil wegen der großen Batterien und Ladeströme Sicherheitsabstände eingehalten werden müssten. Künftig wird man Busse daher vor allem an den Endstationen oder in den Busdepots laden müssen.

Verstehen, wie das Stromnetz reagiert

Massier und sein Team haben in den vergangenen Jahren das Simulations-Programm MESMO entwickelt, mit dem sich exakt durchspielen lässt, wie sich das Stromnetz verhält, wenn Elektroautos und vor allem Elektrobusse

geladen werden. Aufgrund des hohen Ladebedarfs ist zu erwarten, dass in der Nähe von Busdepots neue Umspannwerke nötig sein werden, falls der öffentliche Busverkehr vollständig elektrifiziert werden sollte. Derartige Erkenntnisse sind für die Stadtverwaltung sehr wichtig, um konkret planen zu können. Kollegen von Tobias Massier haben ergänzend das Simulations-Programm CityMoS entwickelt, das den Straßenverkehr im Detail nachspielen kann. Jedes Auto, jeder Bus, jedes Taxi und auch jede Ampelanlage in Singapur lässt sich damit in Echtzeit simulieren, mitsamt des aktuellen Ladezustands und der Reichweite eines jeden Fahrzeugs.

Im aktuellen Projekt SITEM, das von der Stadt Singapur unterstützt und von der Forschungsgesellschaft A*Star geleitet wird, verknüpfen die Expertinnen und Experten von TUMCREATE jetzt MESMO und CityMoS. Mithilfe von CityMoS kann MESMO künftig fein aufgelöst analysieren, wie sich das Stromnetz im Konzert mit den Fahrzeugen

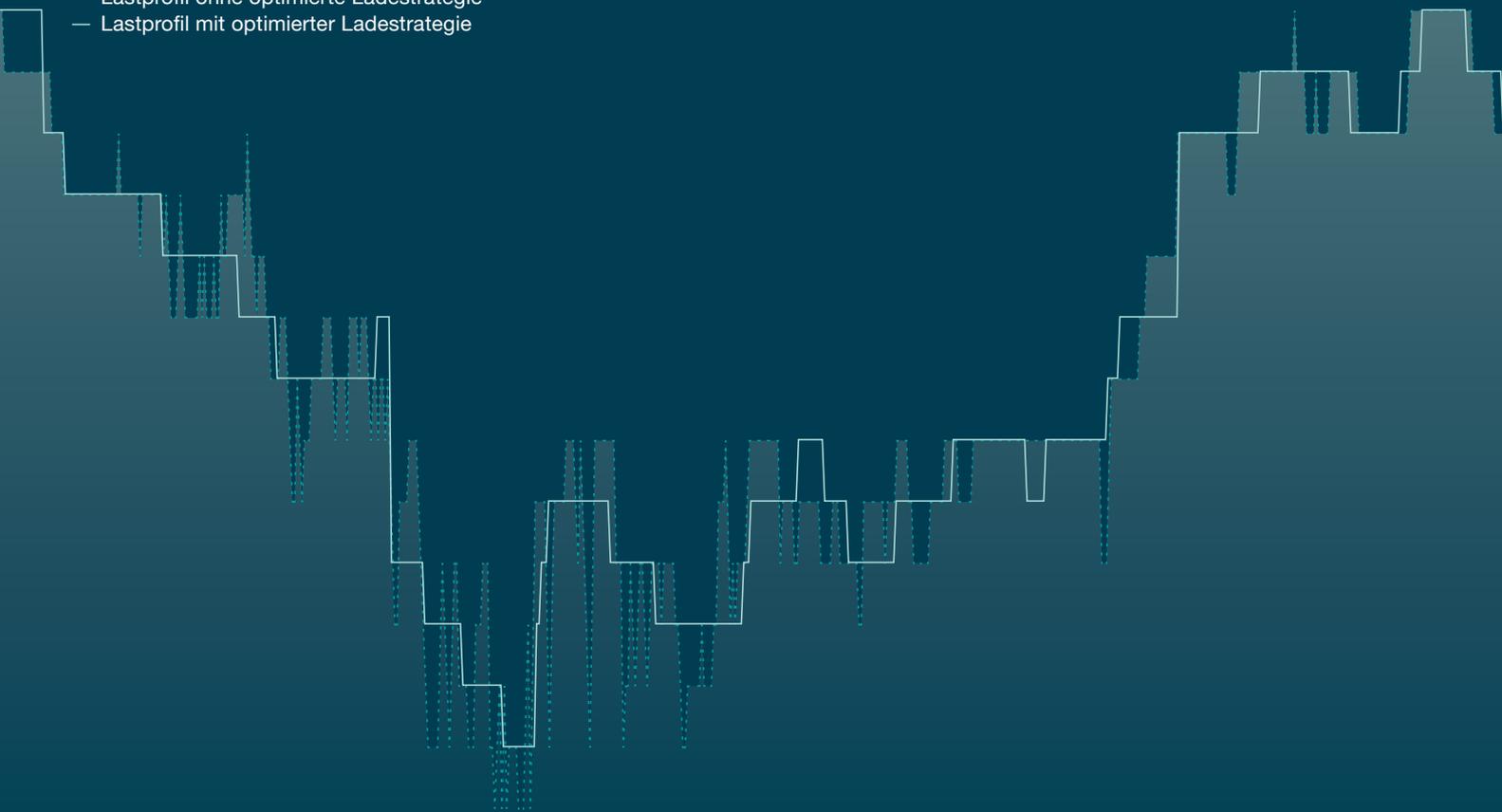


verhält. Wo sollten künftig Photovoltaik-Anlagen auf Fassaden und Dächern installiert werden? Wo und wann ist der Strombedarf am höchsten? Derlei Fragen kann SITEM den Forscherinnen und Forschern und der Stadtverwaltung künftig beantworten. Besonders kritisch für Stromnetze sind die sogenannten Lastspitzen, also Zeiten, zu denen besonders viel Strom benötigt wird – etwa morgens, wenn die Menschen das Licht, die Radios und Heißwasserkocher einschalten. Um diese Spitzen nicht zu verschärfen, sollten Elektroautos künftig zu Zeiten mit geringer Stromnachfrage laden. Hinzu kommen im schwülwarmen Singapur Tausende von Klimaanlageanlagen. Massier und sein Team haben in diesem Zusammenhang untersucht, inwieweit sich der Strombedarf abstimmen lässt. Denkbar wäre es zum Beispiel, die Leistung der Klimaanlageanlagen in Zeiten hohen Ladebedarfs zu reduzieren, ohne dass sich die klimatisierten Räume unangenehm aufheizen. Auch das würde das Stromnetz entlasten. ▶

„Im Laufe der Jahre wurde die Frage, wie sich die Elektromobilität in das Stromnetz integrieren lässt, immer wichtiger.“

Tobias Massier

--- Lastprofil ohne optimierte Ladestrategie
— Lastprofil mit optimierter Ladestrategie



Mit einer passenden Ladestrategie können Elektrofahrzeuge das Stromnetz stabilisieren. Die Kurven zeigen das Lastprofil an einem typischen Tag mit Einspeisung von fluktuierender Energie aus Photovoltaik. Ohne Optimierung bildet die Lastkurve die hohe Variabilität der Solarstromerzeugung ab. Eine optimierte Ladestrategie für Elektrofahrzeuge dagegen glättet das Lastprofil.

Hoher Strombedarf für die Elektromobilität

Singapur versucht schon länger, die Belastungen durch den Verkehr zu verringern. Im Jahr 2018 etwa wurde die Zahl privat genutzter Autos gedeckelt. Seitdem kann man ein neues Auto nur dann anmelden, wenn ein anderes stillgelegt wird. Doch derlei Maßnahmen konnten die Emissionen nicht wirklich verringern. Hinzu kommt, dass man auch in Singapur den Klimawandel stärker bekämpfen will als bisher. Daher wolle man jetzt mit hohem Tempo in die Elektromobilität einsteigen, sagt Massier. Unter anderem plane die Stadt auch, die Photovoltaik auszubauen. Neben Dachflächen nutzt Singapur dafür schwimmende Plattformen. Die ‚Solar PV Roadmap‘ des Solar Research Institute of Singapore zeigt, dass Singapur selbst bei maximalem Ausbau aber nur etwa zehn Prozent seines Strombedarfs aus Photovoltaik selbst erzeugen könnte. Das Land wird daher – neben anderen Maßnahmen – regenerative Energie aus den Nachbarländern Indonesien und Malaysia einführen müssen. Erste Kabeltrassen sind

in Planung. Für die Kooperationspartner in Singapur, wie zum Beispiel A*Star, und die Stadtverwaltung sind die Simulationen der Expertinnen und Experten von TUM-CREATE ausgesprochen wichtig, um den künftigen Strombedarf und die Importe abschätzen zu können. Ein neues Projekt, das sich mit der nachhaltigen Energieversorgung Singapurs beschäftigen wird, ist bei TUMCREATE bereits in Planung.

Die TUM ist schon seit dem Jahr 2010 in Singapur aktiv. Damals ging es vor allem darum, Fahrzeugtechnik für Elektroautos zu perfektionieren, die unter der Regie von Prof. Markus Lienkamp für das Elektroauto der TUM, den MUTE, entwickelt worden war. „Im Laufe der Jahre wurde die Frage, wie sich die Elektromobilität in das Stromnetz integrieren lässt, immer wichtiger“, sagt Tobias Massier. „Jetzt ernten wir die Früchte dieser langjährigen Forschung. Singapur hat alles, was es braucht, um in die Elektromobilität einzusteigen.“

■ *Tim Schröder*



Dr.-Ing. Tobias Massier

promovierte 2010 an der TUM in Elektro- und Informationstechnik. Sein Forschungsschwerpunkt lag auf der Strukturanalyse von analogen integrierten Schaltungen. Im Jahr 2009 etablierte er als Programmmanager einen neuen Masterstudiengang in Power Engineering (MSPE) an der TUM. Seit 2013 ist er bei TUMCREATE als Principal Scientist und Abteilungsleiter tätig. Seine Forschungsschwerpunkte sind die Netzintegration von Elektrofahrzeugen und erneuerbaren Energien sowie alternative Energieversorgungsoptionen.

„Singapur hat alles, was es braucht, um in die Elektromobilität einzusteigen.“

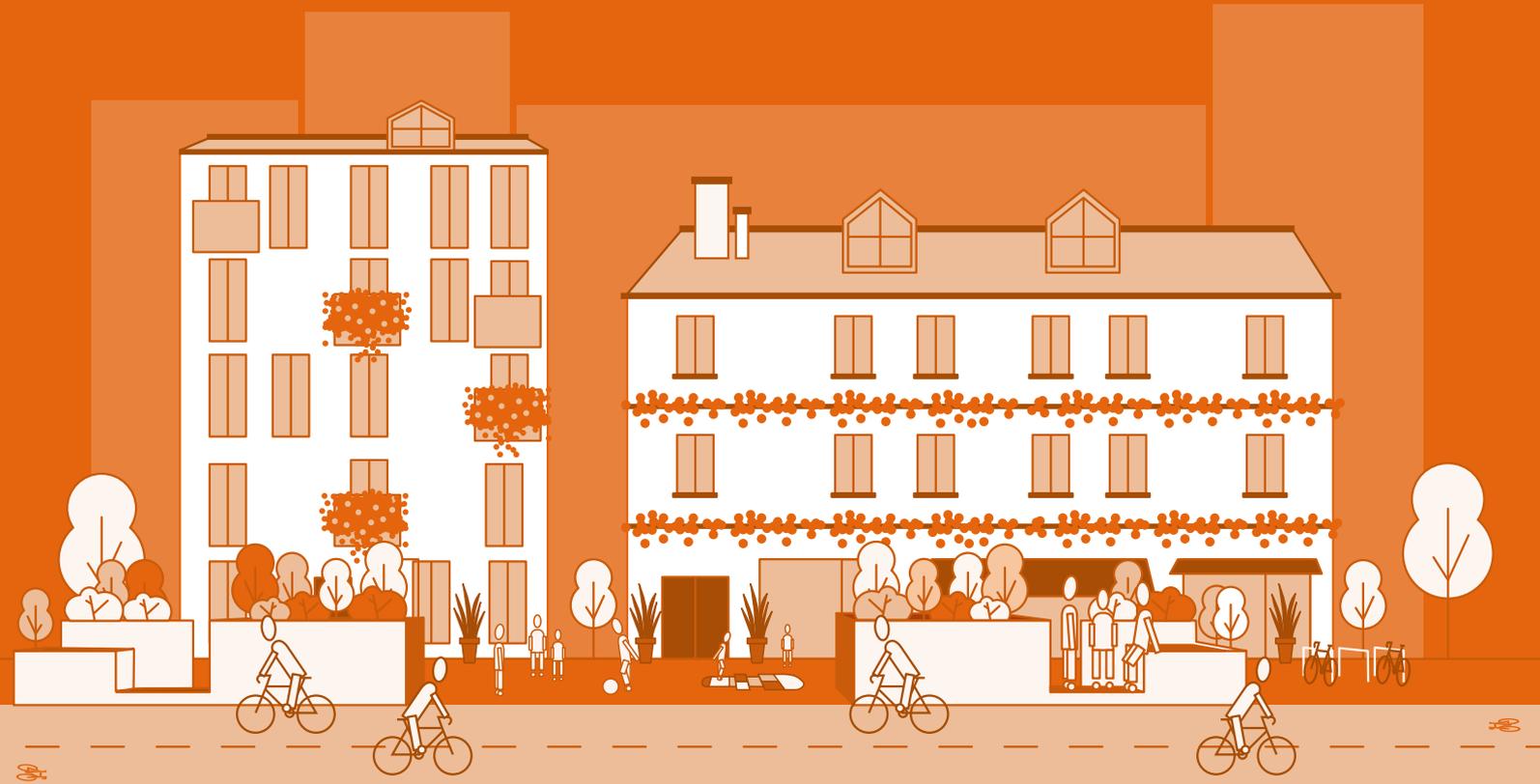
Tobias Massier

TUMCREATE

– Die Innovationsplattform der TUM in Singapur

TUMCREATE wurde 2010 gegründet, um Forschungsk Kooperationen zwischen Singapur und der TUM zu fördern, und besteht aus über 100 Wissenschaftlerinnen, Forschern und Ingenieurinnen. Als Teil des von der National Research Foundation (NRF) geförderten Campus for Research Excellence And Technological Enterprise (CREATE) hat die TUM die Möglichkeit, auf Forschungsmittel aus Singapur zurückzugreifen und mit lokalen Institutionen sowie mit weltweit führenden Universitäten, die Teil des CREATE-Campus sind, zusammenzuarbeiten. Die Forscherinnen und Forscher schätzen diese einzigartige Gelegenheit zum akademischen Austausch und zur Entwicklung von Forschungsideen in Asien.

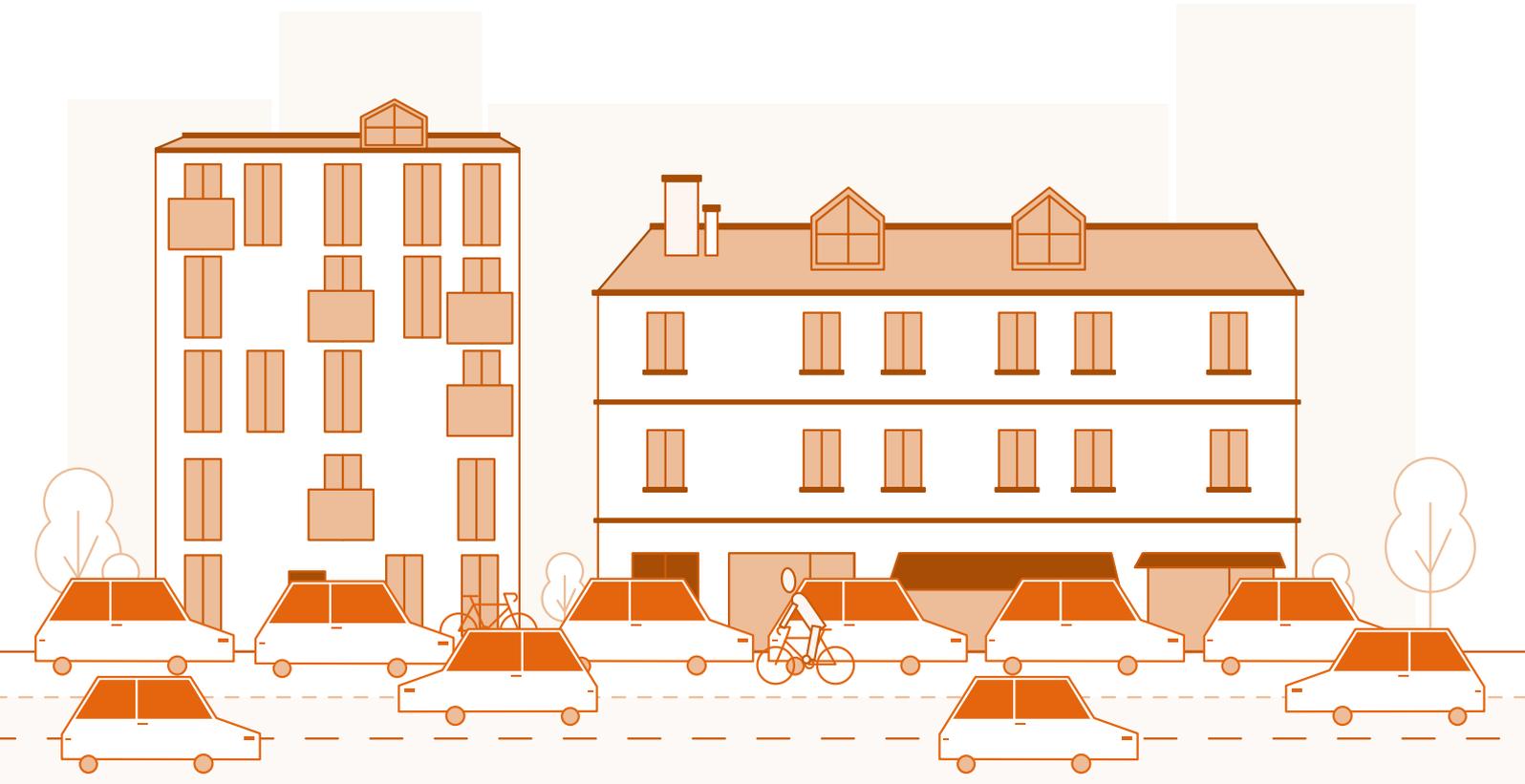
TUMCREATE hat im Rahmen seiner Mobilitätsprogramme in Zusammenarbeit mit akademischen und industriellen Partnern in Singapur verschiedene multidisziplinäre Projekte erfolgreich durchgeführt. Mit dem jüngsten Großprogramm Proteins4-Singapore erweitert TUMCREATE sein Portfolio um ein komplexes, zukunftsweisendes Life-Science-Projekt.



In welcher Stadt wollen wir leben?

Link

www.mos.ed.tum.de/sv



In Zeiten von Klimawandel, Artensterben und Ressourcenknappheit erweisen sich gängige Raum- und Verkehrskonzepte als überholt. Warum nicht einfach mal ausprobieren, welche Alternativen es gibt, hier und jetzt? Das ist das Konzept der Street Experiments. Ob und wie es sich erfolgreich in der Stadtentwicklung einsetzen lässt, erforscht ein interdisziplinäres Team am Lehrstuhl für Siedlungsstruktur und Verkehrsplanung der TUM.

Grafik: edlundsepp

Full Article (PDF, EN): www.tum.de/faszination-forschung-28

What Kind of City Do We Want to Live In?

E

How do we want to live in the future? What should our cities look like? How can we make effective use of limited public space? How will we get around? Many people now sense that things cannot continue as they have been to date. Climate change, species extinction and resource scarcity have all forced us to rethink our way of life, including our mobility behavior. But what alternatives exist that are both reasonable and realizable? Numerous street experiments are underway around the world with the aim of finding out. Even if only for a short time, they are opening a window to a better world. An interdisciplinary team at TUM's Chair of Urban Structure and Transport Planning is examining the conditions under which street experiments contribute to lasting transformation – and what we can learn from them. □

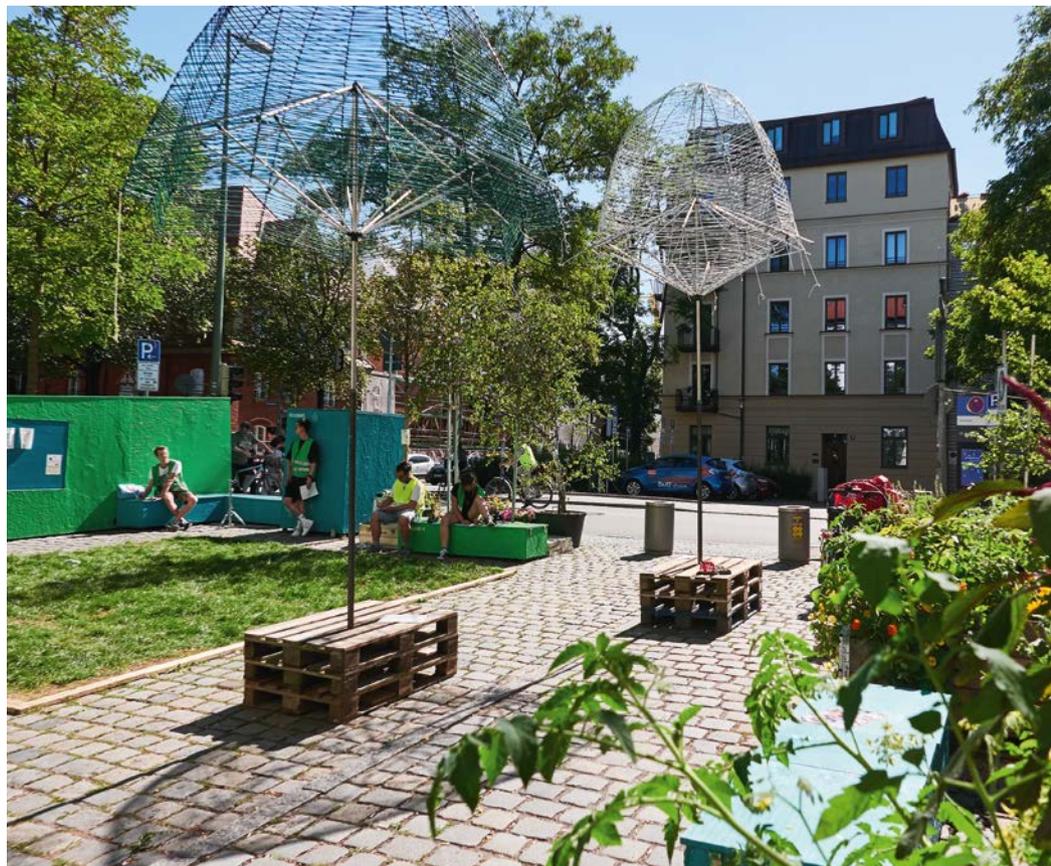
München im April 2022. Beim Spaziergang durchs alte Schlachthofviertel sticht der schicke Ziegelbau des neuen Volkstheaters ins Auge. Vis-à-vis findet sich mit dem Zenettiplatz ein weiteres städtebauliches Highlight. Doch seine Bedeutung erschließt sich erst auf den zweiten Blick: Türkis gestrichene Sperrholzflächen umrahmen den Platz und laden zum Verweilen ein. Aus großen Pflanzkübeln erhebt sich ein Hain aus Bäumen, gesäumt von Frühlingsblumen und Küchenkräutern. An einer Pinnwand werden gebrauchte Möbel und kostenlose Trainingsstunden im nahen Fitnessstudio angeboten. Ein Mann sucht die frei zugängliche Büchernische nach Neuzugängen ab, seine beiden quirligen Söhne haben längst ein Comicheft ergattert. „Die betagte Mutter meiner Nachbarin kommt gerne hierher, um sich mit Anwohnern zu unterhalten“, erzählt eine Frau, die an der Mobilitätsstation gegenüber ihr E-Auto zum Aufladen geparkt hat. Und auch sie selbst, so beteuert sie, möchte die neu gestaltete „Piazza Zenetti“ nicht mehr missen.

Vier Jahre zuvor war dieser Platz nichts weiter als ein Parkplatz für private PKW. Seine Umgestaltung in einen Ort der Begegnung mit und für Menschen aus dem Viertel begann im Sommer 2018 im Auftrag der Stadt München.

Dazu wurde hier im Rahmen eines Forschungsprojekts namens City2Share, mit Beteiligung der Anwohnerinnen und Anwohner und unterstützt von Landschaftsarchitekten, alles komplett umgekrempelt: Die Parkplätze im Nordteil des Platzes wichen einem Aufenthalts- und Begegnungsort, jene im Südteil einer Mobilitätsstation mit Sharing-Angeboten für Autos und E-Bikes. Zur Eröffnung kamen neben dem Münchner Oberbürgermeister auch Vertreter des Bundesumweltministeriums, der Münchner Verkehrsgesellschaft und des beteiligten Industriepartners BMW. Das Ganze war als Experiment gedacht und zunächst nur auf sechs Wochen angelegt. Doch da war der Funke schon übergesprungen: Es formierte sich eine Bürgerinitiative, die auch in den Sommern der beiden Folgejahre Straßenfeste und Aktionen auf der neuen „Piazza“ organisierte und sie schließlich zur Dauereinrichtung machte.

Die Coronapandemie bringt Mut zur Veränderung

Die Piazza Zenetti ist ein gelungenes Beispiel für eine Transformation des öffentlichen Raums. Und kein Einzelfall: Von Mailand bis New York, von Barcelona bis Bogotá lassen Bewohnerinnen und Bewohner auf „Ciclovías“, „Spielstraßen“ oder „Sommerstraßen“ ihren Vorstellungen



von einer schöneren Welt freien Lauf. Kein Projekt gleicht dem anderen, doch alle entspringen dem gemeinsamen Bedürfnis nach Veränderung. Denn die Menschen spüren, dass es nicht mehr so weitergehen kann wie bisher: Klimawandel, Umweltverschmutzung, Artensterben, Ressourcenknappheit und nicht zuletzt die Coronapandemie zwingen uns dazu, unseren Lebenswandel und damit auch unser Mobilitätsverhalten zu überdenken. Doch welche Alternativen sind sinnvoll und umsetzbar? Dies herauszufinden, ist Ziel zahlreicher Street experiments überall auf der Welt. Darunter versteht die Wissenschaft „absichtliche, zeitlich begrenzte Änderungen der Straßennutzung, -regulierung und/oder -form, die darauf abzielen, systemische Veränderungen in der städtischen Mobilität zu erforschen“. Also Aktionen wie die am Münchner Zenettiplatz.

„Die Coronapandemie war wie ein Booster für diese Initiativen“, betont Prof. Gebhard Wulfhorst, Leiter des TUM Lehrstuhls für Siedlungsstruktur und Verkehrsplanung: „Sie hat in der Gesellschaft plötzlich eine große Bereitschaft entfacht, vieles infrage zu stellen, einfach mal was Neues auszuprobieren und auch vorübergehend auf vielen Ebenen sehr strikte Einschränkungen in Kauf zu nehmen. Die Pandemie hat sich außerordentlich



Installation: Raumzeug – Atelier für Landschaftsarchitektur, Felix Lüdicke (TUM); Bildquelle: Johann-Christian Hammemann

Weltweit vernetzt – mitmachen!

Street Experiments leben vom Erfahrungsaustausch. In einem offen zugänglichen Onlinekurs (MOOC) geben Ana Rivas und Dr. Benjamin Büttner mit Unterstützung des TUM Institute for LifeLong Learning und der EIT Urban Mobility eine Einführung über Wesen und Zweck von Street Experiments. Eine kurze Anleitung zur Planung und Auswertung eigener Streets Experiments liefert das Street Experiments Tool (SET). Die Kenntnisse können in zweiwöchigen binationalen Sommerschulen in München und Rotterdam vertieft werden.

Mehr auf: www.streetexperiments.com

MOOC Street Experiments for Sustainable and Resilient Cities: <https://www.coursera.org/learn/streetexperiments>

Die Piazza Zenetti ist eines von mehreren Street Experiments in München. Die Installation wurde von Landschaftsarchitektinnen und -architekten gestaltet, die auch am TUM Lehrstuhl für Landschaftsarchitektur und öffentlichen Raum (Prof. Regine Keller) arbeiten. Die Piazza Zenetti ist an diesem Lehrstuhl das Fallbeispiel der Dissertation von Felix Lüdicke zum Thema Street Experiments.

Was sind die Voraussetzungen für ein erfolgreiches Street Experiment? Ana Rivas untersuchte:

150

Street Experiments

in 38

Ländern

jeweils 3

in München und Amsterdam

Akzeptanz, Kommunikation und Bürgerbeteiligung

sind die drei Kriterien, die den Erfolg eines Street Experiments ausmachen.

positiv ausgewirkt auf den Willen und den Mut zur Veränderung.“ Lange Zeit hat man sich damit abgefunden, dass Straßen, auch und vor allem in der Stadt, von fahrenden und stehenden Autos dominiert werden. „Doch wir müssen uns wieder darauf besinnen, dass Straßen nicht in erster Linie für Autos gemacht sind, sondern für Menschen! Straßen sind Teil des öffentlichen Raums, wo man sich trifft und mit Nachbarinnen und Nachbarn austauscht, im Café sitzt oder seinen Geschäften nachgeht. Wenn man das verstanden hat, dann lässt es sich auch in der Planung besser berücksichtigen und umsetzen“, betont Wulfhorsts Doktorandin Ana Rivas.

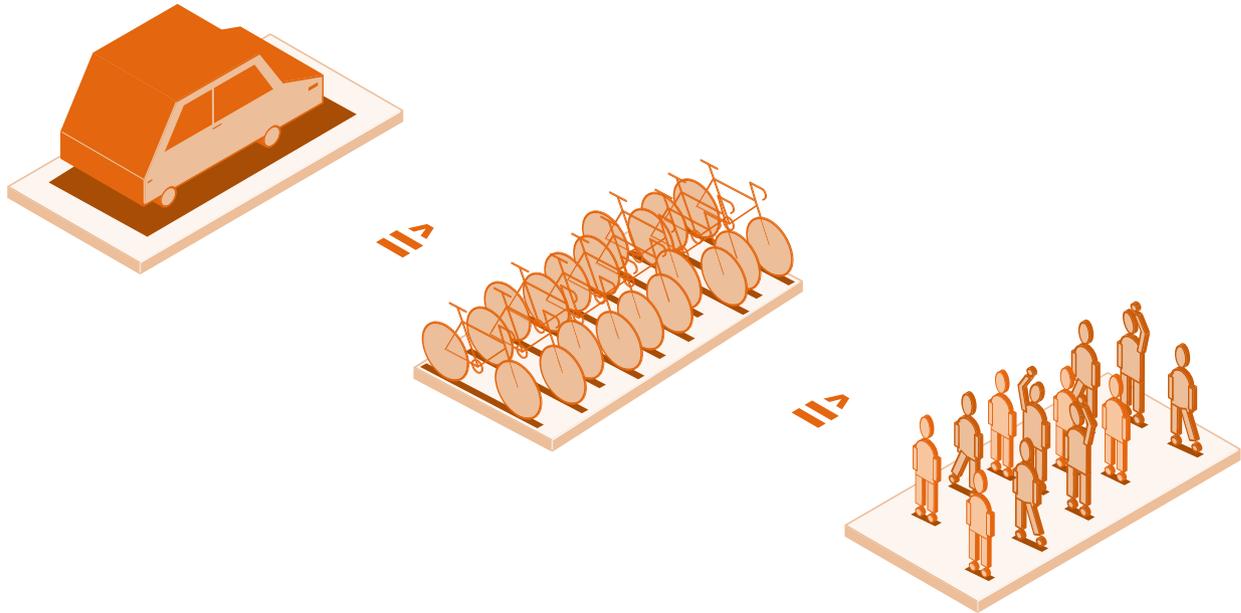
Der öffentliche Raum ist eine hart umkämpfte Ressource

Die Architektin hat im Rahmen ihrer Dissertation rund 150 Street Experiments in 38 Ländern erfasst und je drei davon in Amsterdam und München als Fallbeispiele nach einem selbst erarbeiteten Kriterienkatalog analysiert. Sie wollte wissen, unter welchen Bedingungen solche zeitlich begrenzten Aktionen zu bleibenden Veränderungen auf verschiedenen Ebenen – im individuellen Mobilitätsverhalten, in der Stadtplanung, in der baulichen Gestaltung und im Austausch der unterschiedlichen Interessengruppen – führen. Ihr Fazit: „Es gibt drei Kriterien, die den Erfolg eines Street Experiments ausmachen, nämlich Akzeptanz, Kommunikation und Bürgerbeteiligung. Das heißt, die unmittelbar Betroffenen sollten möglichst weitgehend am Konzept und an der Ausführung des Projekts beteiligt werden, damit sie es zu ihrer Sache machen. Zu-

„Wir müssen uns wieder darauf besinnen, dass Straßen nicht in erster Linie für Autos gemacht sind, sondern für Menschen!“ Ana Rivas de Gante

gleich muss der ganze Prozess laufend mit allen Beteiligten abgesprochen und auch nach außen hin kommuniziert werden. Schließlich ist es ganz wichtig, die Stadt mit an Bord zu haben.“

Keine leichte Aufgabe. Denn der öffentliche Raum ist als wertvolle, weil begrenzte Ressource gerade in Großstädten hart umkämpft. „Hier geht es darum, einen Ausgleich zwischen den Interessen unterschiedlicher Gruppen zu finden, die Auto oder Rad fahren, zu Fuß gehen, Waren anliefern, Gaststätten besuchen oder spielen wollen“, erklärt Gebhard Wulfhorst, und weiter: „Es gibt alle möglichen technischen Lösungen, von neuen Antriebssystemen bei Elektromobilität über das autonome Fahren bis zu Sharing- und Shuttle-Modellen mit Fahrrädern, Scootern, Sammelnbussen oder Taxis. Doch all diese Konzepte werden nur erfolgreich sein, wenn ihre Produkte und Dienstleistungen in den öffentlichen Raum integriert werden können – sonst liegen die Fahrräder auf dem Gehweg herum und jeder ärgert sich darüber. Neuerungen müssen als gemeinsames soziokulturelles Konstrukt integriert werden, also gemeinsam erarbeitet, ausgelotet, abgewogen und ausprobiert werden.“



Platzfresser Auto: Auf der Fläche eines Autoparkplatzes (ca. 12 m²) finden zwischen 6 und 20 Fahrräder oder ebenso viele Fußgängerinnen und Fußgänger Platz.

Street Experiments, das zeigen die Forschungsergebnisse von Ana Rivas, können in diesem Prozess einen wichtigen Beitrag leisten. „Diese Idee des Miteinanders unterschiedlicher Interessengruppen, die wir mit unseren Partnern in Amsterdam und Mailand entwickelt haben, wollen wir nun in München intensiver verfolgen“, erläutert Wulfhorst. Den Rahmen dazu liefert seit Herbst 2021 der „Münchener Cluster für die Zukunft der Mobilität in Metropolregionen“, kurz MCube, als Teil eines neu aufgelegten Förderprogramms des Bundesministeriums für Bildung und Forschung (BMBF). MCube verfolgt die Vision, die Stadt München als Vorreiterin für nachhaltige und transformative Mobilitätsinnovationen zu etablieren. Eines der Leuchtturmprojekte des Clusters hat sich zum Ziel gesetzt, autofreie Quartiere durch multimodale Mobilitätsangebote (AQT) zu schaffen: „Darin wollen wir gemeinsam mit dem Lehrstuhl für Urban Design, der Stadt München und privatwirtschaftlichen Partnern alternative Mobilitätssysteme mit neuen Gestaltungskonzepten für den öffentlichen Raum kombinieren. Das sind also genau die Ideen, die wir aus erfolgreichen Street Experiments kennen und nun in die Praxis umsetzen wollen.“

■ *Monika Offenberger*

Europäische Partner

Das Europäische Innovations- und Technologieinstitut (EIT) wurde 2008 als Einrichtung der EU gegründet, um Innovationen in ganz Europa zu fördern. Das EIT bringt führende Unternehmen, Bildungs- und Forschungseinrichtungen zusammen, um dynamische grenzüberschreitende Partnerschaften zu bilden. Die so entstandenen Innovationsgemeinschaften widmen sich der interdisziplinären Suche nach Lösungen für die großen globalen Herausforderungen unserer Zeit. Die TUM ist in folgenden Innovationsgemeinschaften des EIT involviert: Gesundheit, Ernährung, Energieversorgung, Digitalisierung, Klimawandel – und nicht zuletzt Mobilität. Hier engagiert sich die TUM als strategischer Partner des EIT für eine nachhaltige Stadtentwicklung durch angepasste urbane Mobilitätsstrategien.

Autonomes Fahren

Autonomes Fahren bietet hohes Potenzial für intelligente Mobilität. Die Technologie verspricht, künftige Mobilitätssysteme sicherer, sauberer und kostengünstiger zu machen.

Autonome Fahrzeuge fahren ohne menschliches Zutun im Straßenverkehr von A nach B. Sie nehmen anhand verschiedener Sensoren ihre Umgebung wahr, werten die Daten aus und berechnen mit Algorithmen angemessene Reaktionen. In Zukunft werden autonome Fahrzeuge vernetzt sein und untereinander sowie mit der Infrastruktur kommunizieren, um Informationen, beispielsweise zu Verkehrsfluss, Unfällen, Wetterbedingungen oder Baustellen, auszutauschen.



Die Society of Automotive Engineers (SAE) definiert sechs Stufen der Fahrautomatisierung für die Aufteilung von Aufgaben und Verantwortung zwischen Fahrzeug und Fahrerin bzw. Fahrer. Die Stufen reichen von keiner Fahrautomatisierung (Stufe 0) bis zum vollkommen unabhängigen autonomen Fahren (Stufe 5). Fahrzeuge der Stufen 0 bis 3 sind mit verschiedenen Kombinationen von fahrerunterstützenden Funktionen ausgestattet (z. B. automatische Notbremsung oder adaptiver Tempomat). Stufe 3 markiert den Einstieg in das automatisierte Fahren, z. B. mit einem Stau-Assistenten. Ein Fahrzeug der Stufe 5 kann unter allen Bedingungen ohne die Anwesenheit eines menschlichen Fahrers fahren. Für die vollständige Taxonomie der SAE J3016 siehe www.sae.org.

S. 60

Automatisiertes Fahren braucht eine neue Verkehrskultur

S. 50

Täuschend echte
Bilder von Personen,
die es nicht gibt

S. 44

Blick in die
Zukunft

S. 34

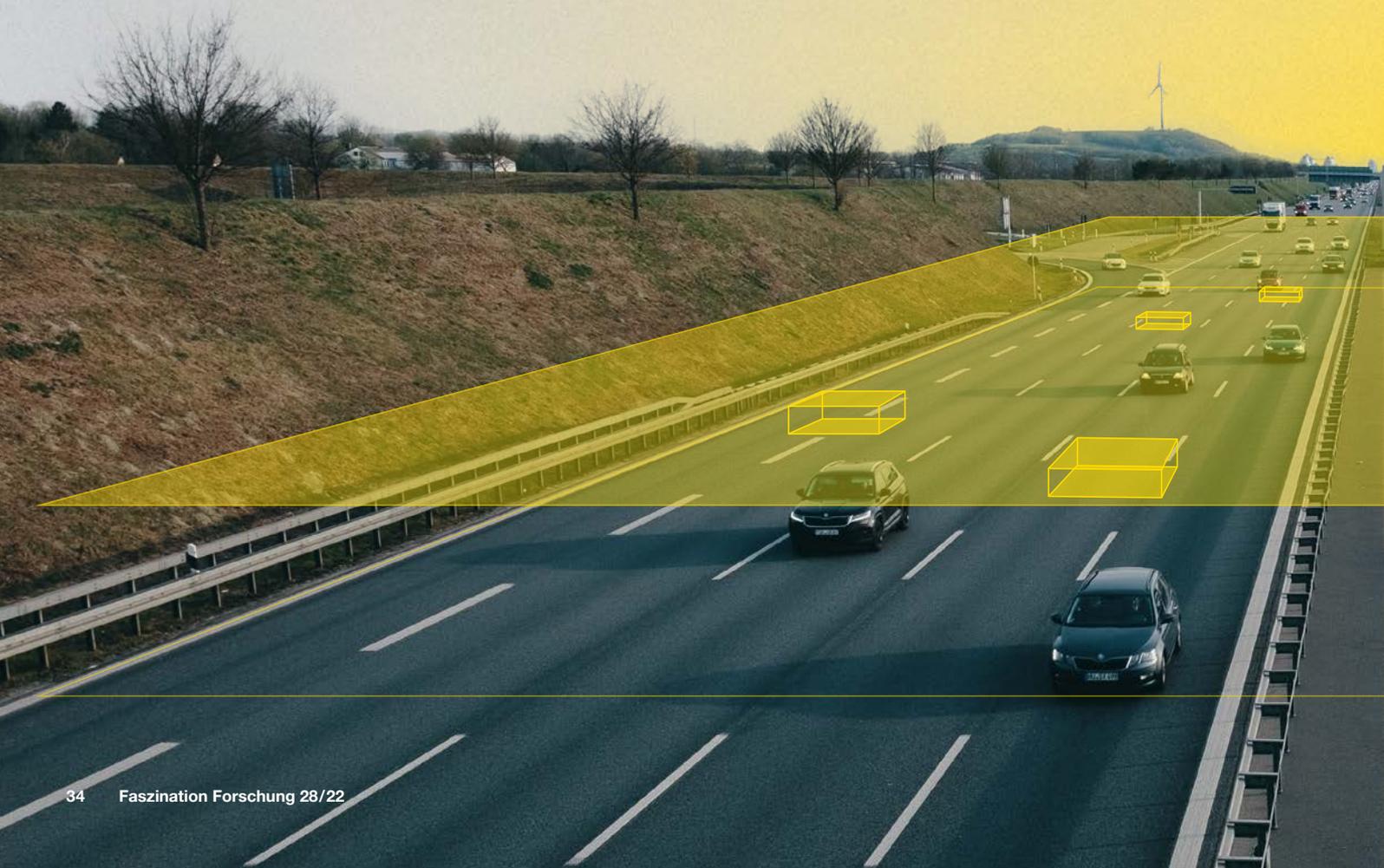
Weit voraus und um
die Ecke schauen mit
digitalen Zwillingen

Weit voraus und um die Ecke schauen mit **digitalen Zwillingen**

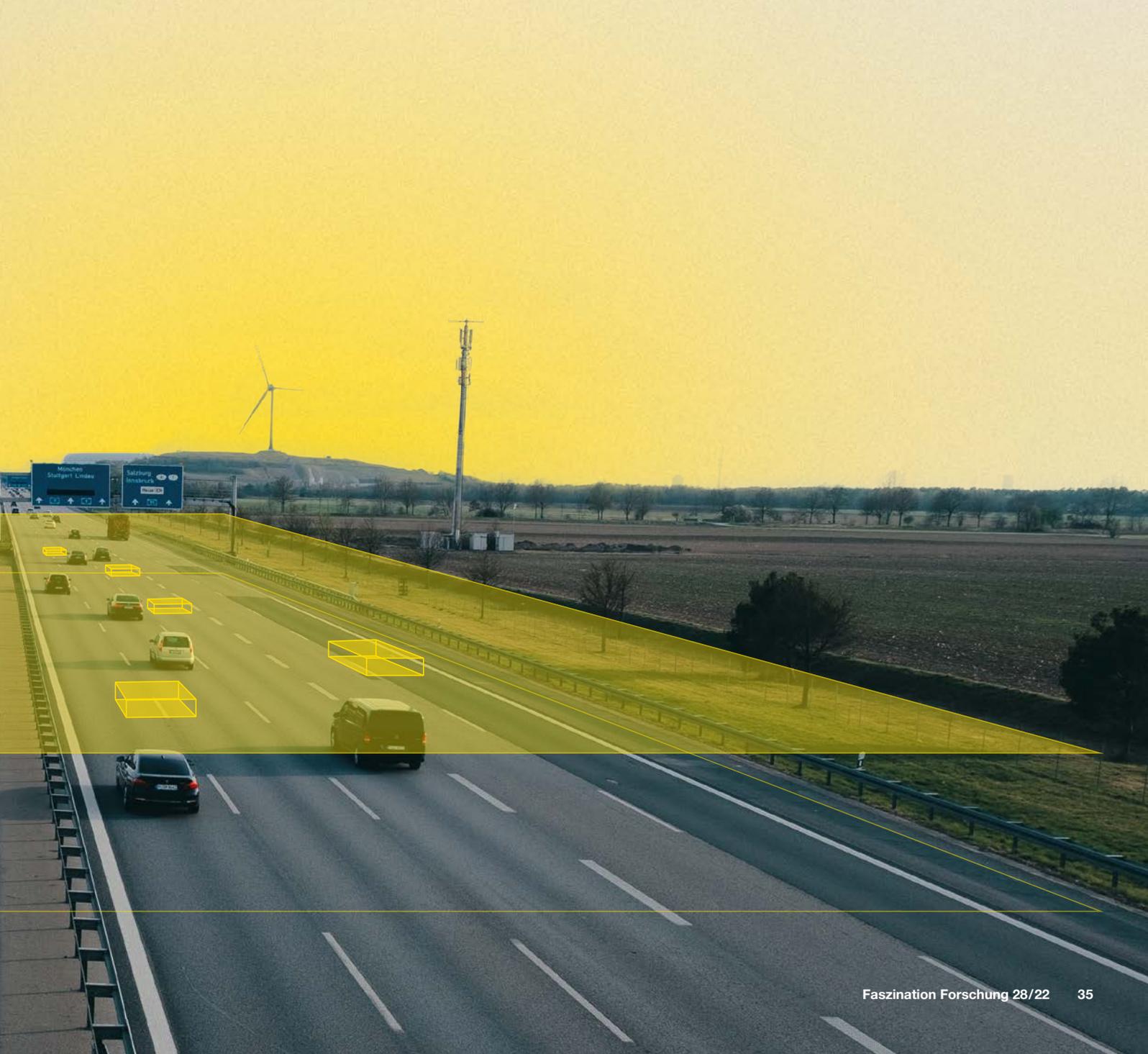
Link

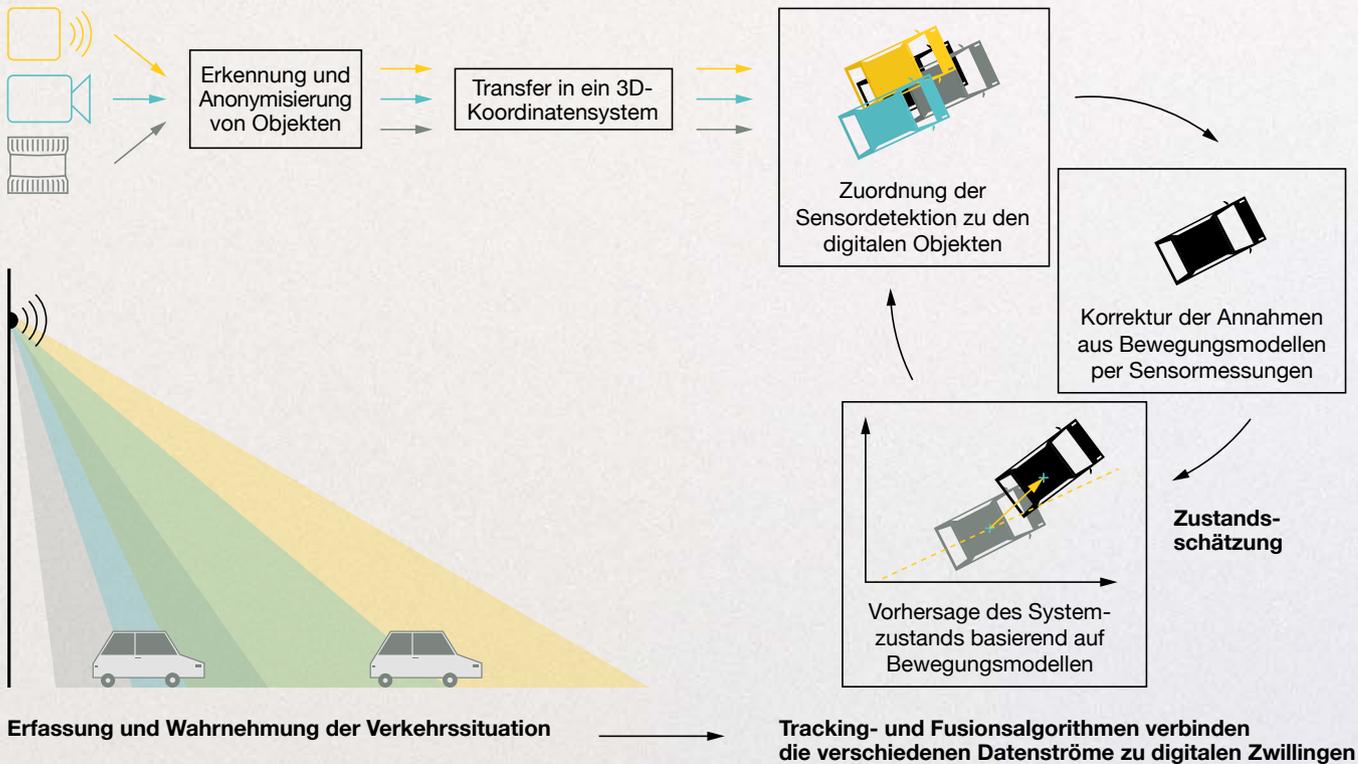
www.ce.cit.tum.de/air/home

www.innovation-mobility.com



Wie kann man das Verkehrsgeschehen so steuern, dass es mehr Sicherheit und Komfort bietet und die vorhandene Infrastruktur optimal ausnutzt? Prof. Alois Knoll und sein Team haben dazu im Projekt Providentia++ einen digitalen Zwilling entwickelt, der Sensordaten von der Straße verwendet und in Echtzeit ein Abbild der Verkehrslage im Computer zur Verfügung stellt.



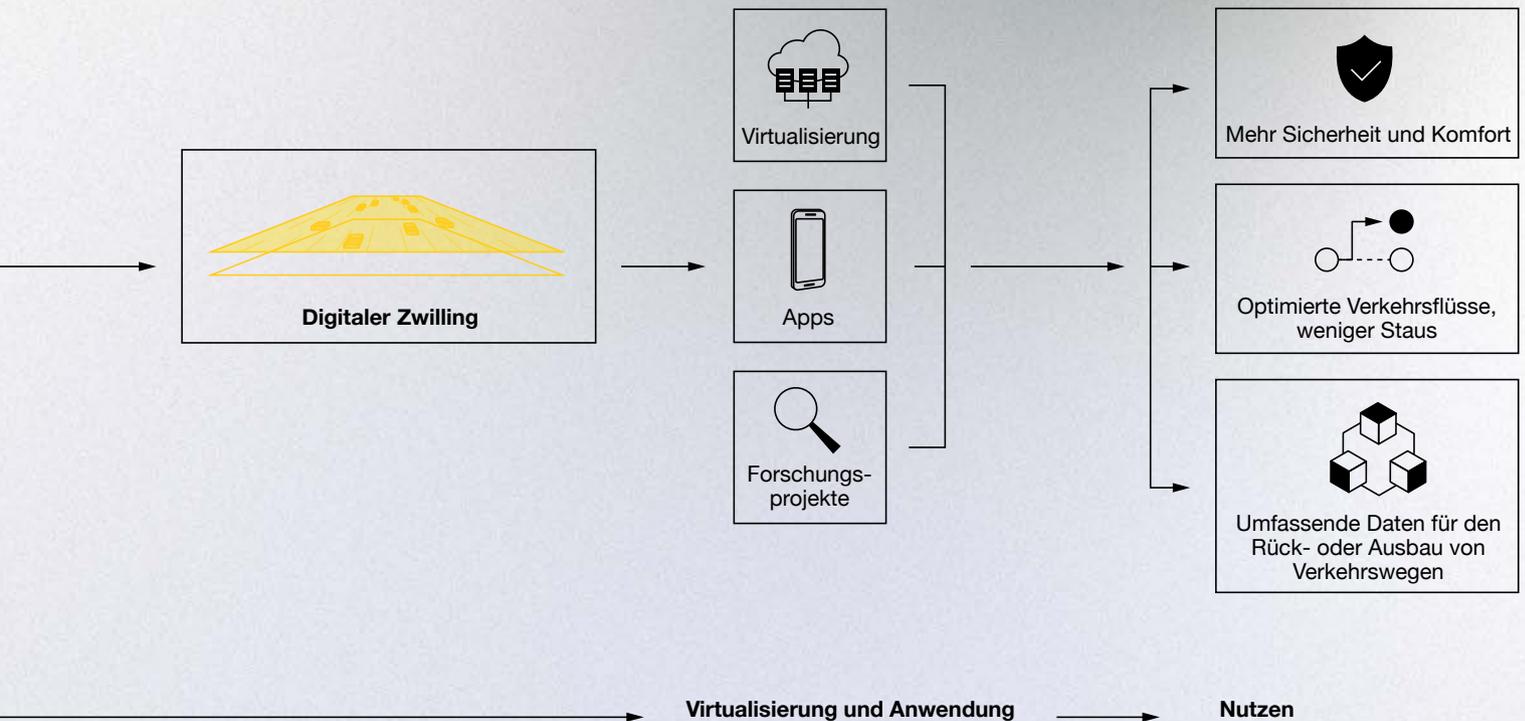


Full Article (PDF, EN): www.tum.de/faszination-forschung-28

Looking Far Ahead and Around Corners with Digital Twins E

In the Providentia++ project, Prof. Alois Knoll and his team are developing a system for real-time traffic monitoring. “With the help of various sensors, we observe all road users and transfer their position and speed into a digital twin that virtually depicts what is going on. As a result, we are in a position not only to promptly identify current traffic jams and hazardous situations, but also to extrapolate when a hazard or traffic jam might arise in future,” says Knoll, who leads the Chair of Robotics, Artificial Intelligence and Real-time Systems at TUM. Providentia++ (Proactive Video-based Use of Telecommunications Technologies in Innovative Traffic Scenario) is funded by the Federal Ministry for Digital and Transport. Numerous companies are taking part in the project, with Knoll leading the consortium. □

Das Projekt kommt relativ unauffällig daher, dabei könnte es einen der größten Fortschritte im Straßenverkehr bewirken. Lediglich ein paar Kameras und einige kleine Kästchen an einer Schilderbrücke über einer fünfspurigen Fahrbahn in Garching-Hochbrück nördlich von München und ein paar Sendemasten fallen ins Auge. Und dennoch versteckt sich dahinter nicht weniger als eine Revolution. Denn hier werden die Grundlagen gelegt für die Digitalisierung des Straßenverkehrs. Wie Google Maps die Landkarten digitalisiert hat, Wikipedia das Weltwissen ins Internet gebracht hat und Zoom die Konferenzen, kann Providentia++ den aktuellen Straßenverkehr – also Position und Geschwindigkeit aller Verkehrsteilnehmer, inkl. Radfahrerinnen und Fußgänger – in digitaler Form abbilden und die Daten für alle zugänglich machen. Mit allen Vorteilen, die ein solches Echtzeitbild bietet: rechtzeitige Warnung vor Gefahren, Umleitung bei Staus, optimale Verteilung der Verkehrsströme.



Dreifacher Gewinn

Selten sind in einem Forschungsprojekt Theorie und praktische Anwendung so eng verzahnt wie bei Providentia, dessen Konsortialführerschaft Prof. Alois Knoll mit seinem Team am Lehrstuhl für Robotik, Künstliche Intelligenz und Echtzeitsysteme der TUM im Folgeprojekt Providentia++ Anfang 2020 von der Landesforschungsanstalt fortiss übernommen hat. „Die von uns entwickelte Technik ist in mehrfacher Hinsicht ein Gewinn“, sagt er. „Sie gibt den Verkehrsteilnehmern mehr Sicherheit und Komfort, den Städten, Gemeinden und Autobahnbetreibern hilft sie, die Verkehrsflüsse zu optimieren, und den Stadtplanerinnen und -planern gibt sie Daten an die Hand, wie man die Verkehrsinfrastruktur verbessern kann.“ Gleichzeitig bewegt sich Providentia++ (der Name steht für Proaktive Videobasierte Nutzung von Telekommunikationstechnologien in innovativen Autoverkehr-Szenarien) an vorderster Front der Forschung, weil es Datenströme einer Vielzahl unterschiedlicher Sensoren fusioniert, Künstliche Intelligenz zur Auswertung einsetzt, Übertragungsstellen vernetzt und erstmals Echtzeitdaten des Verkehrsgeschehens zum Download zugänglich machen wird. An dem 17-Millionen-Euro-Projekt, das (zusammen mit seinem Vorläufer Providentia) vom Bundesministerium für Digitales und Verkehr (BMDV) mit rund 11 Millionen Euro gefördert wird, nehmen zahlreiche Firmen teil.

Die namensgebende Göttin, die bei den alten Römern die Rückseite von Münzen zierte, stand damals für die göttliche Vorsehung und die Fürsorge des Kaisers für die Bürgerinnen und Bürger. „Unser Providentia++ sorgt auch vor, denn es ermöglicht die vollständige Erfassung des Verkehrsgeschehens in Echtzeit mithilfe eines digitalen Zwillings“, erklärt der Professor. „Mit unterschiedlichen Sensoren beobachten wir alle Verkehrsteilnehmerinnen und -teilnehmer und übertragen deren Position und Geschwindigkeit in ein digitales Tableau, das – ähnlich wie in einem Computerspiel – das Geschehen virtuell abbildet. So sind wir in der Lage, nicht nur aktuelle Staus und Gefahrensituationen rechtzeitig zu erkennen, sondern sogar in die Zukunft vorherzusagen, wann eine Gefährdung oder ein Stau entstehen könnte.“ Entsprechende Meldungen kann zum Beispiel der Autofahrer über sein Mobiltelefon empfangen, wenn sie oder er sich die Providentia-App heruntergeladen hat. Alternativ könnte man sie auch aufs Navi einspielen. ▶

Sensoren auf Straßenbrücken

Im Vorläuferprojekt Providentia, das von 2017 bis 2020 lief, bestückten die Forscherinnen und Forscher zunächst zwei Schilderbrücken auf der Autobahn A9 nördlich von München mit Kameras und Radaren. Im Folgeprojekt Providentia++ erweiterten sie die heute 3,5 Kilometer lange Teststrecke entlang der von der A9 abzweigenden Bundesstraße 471 bis hinein in den städtischen Bereich. Im Fahrsimulator des Instituts in Hochbrück kann man diesen digitalen Zwilling live erleben. „Man kann hier im Verkehrsfluss der A9 mitcruisen“, sagt Doktorand Walter Zimmer, „aber man kann auch die aktuelle Situation an der Kreuzung in Hochbrück verfolgen.“ Sogar am heimischen PC lässt sich der Verkehr live beobachten. Darüber hinaus stellt der Lehrstuhl mit dem Datensatz von der A 9 Daten für kommerzielle und wissenschaftliche Zwecke kostenlos zur Verfügung.

Insgesamt sind derzeit 75 Sensoren im Einsatz, die ständig Daten über die aktuelle Verkehrssituation erfassen: Kameras, Radare und Lidare. „Wir kombinieren ganz bewusst verschiedene Sensoren“, so Alois Knoll. „Es ist wie bei den Sinnen des Menschen: Hören und Sehen ergänzen sich zu einem Gesamtbild. Es ist allerdings technisch sehr anspruchsvoll, die unterschiedlichen Daten zusammenzuführen.“

Und natürlich fallen dabei riesige Datenmengen an. Bei einer Flächenkamera etwa 400 Megabit pro Sekunde, das ergibt etwa vier Terabyte pro Tag. „Zunächst reduzieren Hochleistungsrechner, die direkt vor Ort postiert sind, diese Datenmenge auf das Wesentliche“, erklärt der Doktorand Christian Creß das weitere Vorgehen. „Letztlich fallen so pro Objekt im Verkehr nur noch wenige Bytes an. Erst durch diese geringe Datenmenge sind wir in der Lage, eine Übertragung in Echtzeit zu realisieren.“ Diese findet aktuell mit Richtfunkantennen statt. Die Antennen hierfür liegen schon bereit. Creß nennt auch die Herausforderungen, die man in der Anfangsphase überwinden musste: „Schwingungen auf den Schilderbrücken und schlechte Wetterbedingungen können die Datenqualität erheblich beeinträchtigen. Darauf mussten wir uns einstellen.“

Bedenken, dass Providentia++ eine flächendeckende Überwachung der Verkehrsteilnehmerinnen ermöglicht, kontern die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler mit dem Hinweis, dass nie individuelle Daten gesammelt werden. Jedes Objekt wird gleich im ersten Schritt anonymisiert, Nummernschilder und Personen unkenntlich gemacht. Anschließend geht es nur noch um anonymisierte



3,5

km lange Teststrecke

75

Sensoren im Einsatz

20

Gigabits pro Sekunde
an Rohdaten

Sensoren an den Signalanlagen erfassen das Verkehrsgeschehen. In Echtzeit wird ein digitaler Zwilling konstruiert. Auf dieser Basis können zum Beispiel Ampelphasen automatisch und adaptiv gesteuert oder Verkehrsteilnehmer vor Gefahren gewarnt werden.





Kamerabilder, überlagert mit Lidar-Daten (farbige Punktwolke)

Sensoren und ihre Vorteile

Flächenkamera: erfasst alle Fahrzeuge und Fußgängerinnen und Fußgänger im einsehbaren Bereich

Radar: detektiert Verkehrsteilnehmer durch reflektierte Radiowellen, erfasst Entfernung und Geschwindigkeit; arbeitet auch bei Dunkelheit, Nebel und Regen; gute Tiefenauflösung

Lidar: detektiert die Verkehrsteilnehmerinnen durch reflektierte Laserstrahlen, erfasst Entfernung; gut bei Dunkelheit, hohe Genauigkeit

360°-Kamera: bietet den Überblick

Eventbasierte Kamera: reagiert nur, wenn sich in ihrem Blickfeld etwas ändert; spart Energie und reduziert die Datenmenge, da nur Bewegtbilder gespeichert werden





Oben: Kameras, Lidar- und Radarsensoren an Straßenbrücken erfassen das Verkehrsgeschehen.
Mitte: Projektleiter Venkat Lakshmi (links) und Walter Zimmer prüfen ein Lidar an der Kreuzung.
Unten: Das Team (von links): Leah Strand, Andreas Schmitz, Venkat Lakshmi, Walter Zimmer und Christian Creß.



Bildquellen: Stefan Woidig

Prof. Alois Christian Knoll

Nach Stationen in Stuttgart, Berlin und Bielefeld kam Prof. Alois Knoll 2001 an die TUM, wo er jetzt den Lehrstuhl für Robotik, Künstliche Intelligenz und Echtzeitsysteme leitet. Neben vielen anderen Tätigkeiten war er von 2011 bis 2021 Program Principal Investigator bei TUMCREATE in Singapur. Aus dieser Zeit bezieht er den Optimismus, dass dank moderner Technologie positive Veränderungen im Verkehrssystem möglich sind, und hofft, dass auch eine Stadt, wie zum Beispiel München, dem Vorbild der Supercity Singapur folgen wird. Um das zu fördern, legt er Wert auf eine enge Kooperation mit der Wirtschaft und bildet mit großem Engagement junge Leute aus.

Um die Ecke schauen mit digitalen Zwillingen: Autos werden in Echtzeit wissen, was an der Kreuzung passiert.



„Wir müssen dem autonomen Fahrzeug eine zuverlässige und sofortige Antwort auf die Frage geben, was sich hinter der nächsten Straßenecke verbirgt.“

Alois Knoll



Grafiken: turbosquid, edlundsepp (Quelle: TUM)

Daten zur Position. Und auch für eine hohe Sicherheit bei der Übertragung ist gesorgt. „Durch die hochsichere Verschlüsselung der Daten und die Sicherung der Systemzugangspunkte sollte ein Eingriff von außen nicht möglich sein“, betont Knoll.

Weniger Schwerverletzte beim Rechtsabbiegen

Auch wenn die technische Infrastruktur des Prototyps steht und der digitale Zwilling gut funktioniert, fehlen immer noch einige Schritte auf dem Weg in die alltägliche Praxis, also die Ausstattung ganzer Städte. Vor allem müssen einfach einsetzbare, kostengünstige und modulare Sensorsysteme geschaffen werden. Dabei ist in erster Linie die Industrie gefragt.

Trotzdem ist das Ganze nicht etwa nur ferne Zukunftsmusik. Man könnte die neu entwickelte Technik in ihrer jetzigen modularen Form sofort einsetzen und sie würde schon heute ihre volle Wirkung entfalten. So berichtet etwa die Münchner Polizei, dass es allein im Jahr 2020 in der Stadt mehr als 90 schwer verletzte Radfahrerinnen und Radfahrer gab, weil „Fahrerinnen und Fahrer von Auto oder LKW beim Rechtsabbiegen die radelnde Person übersehen haben“. Tendenz steigend. Alois Knoll findet das unverantwortlich: „Providentia++ könnte derartige Unfälle verhindern, indem es im Auto schon vor dem Abbiegen eine Warnung gibt“, betont er. „Eine intelligente Lösung wäre auf jeden Fall besser als die heute montierten kleinen Spiegel. Und der Aufwand wäre für die Stadt überschaubar.“

In Zukunft ist der Einsatz der bei Providentia++ entwickelten Technik nicht nur vielfältig möglich, sondern letztlich sogar unentbehrlich, denn sie kann alle Fahrassistenz-Leveln hin zum autonomen Fahren begleiten. Für Level 1 und 2, also das assistierte Fahren, liefert das System über eine Schnittstelle in Echtzeit Informationen, die die Assistenzsysteme verarbeiten können. In den Levels 3 bis 5, also beim automatisierten Fahren, ist der ständige Überblick über die aktuelle Situation unabdingbar, da den autonomen Autos die Intuition der Fahrerin bzw. des Fahrers fehlt. Sie muss durch bessere Sensorik ausgeglichen werden. „Wir müssen praktisch dem Fahrzeug ständig eine zuverlässige und sofortige Antwort auf die Frage geben, was sich hinter der nächsten Straßenecke verbirgt“, so Knoll. Er und seine Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter am Lehrstuhl profitieren dabei von den ausgedehnten Erfahrungen, die sie aus dem Umgang mit Robotern haben: „Die klassische Robotik ist gewissermaßen die Kinderstube des autonomen Fahrens.“

■

Brigitte Röhlein

Blick in die **Zukunft**



Oberstes Ziel bei der Entwicklung autonomer Fahrzeuge ist die Unfallvermeidung. Professor Matthias Althoff arbeitet an einem Verfahren, das autonomes Fahren zu fast 100 Prozent sicher macht. Seine Software kann in Sekundenbruchteilen Verkehrssituationen vorausberechnen – und so gewährleisten, dass das Auto nicht mit anderen Verkehrsteilnehmern kollidiert.

Full Article (PDF, EN): www.tum.de/faszination-forschung-28

Looking into the Future

E

Self-driving cars must not endanger others. They need to be prepared for all possible traffic situations in order to avoid accidents and collisions. The aim of Prof. Matthias Althoff's research is to enable autonomous vehicles to interact more safely with other road users. His software makes independent decisions in real time, which enables hazards to be avoided seconds before they occur. In addition, the program constantly captures traffic data, analyzes events in millisecond resolution while driving, and predicts what will happen next. The software then calculates the range of possibilities for all nearby road users and determines different options while simultaneously calculating possible emergency maneuvers. An autonomous car controlled by the software can only proceed with a given route if no collisions are foreseeable and an emergency maneuver can also be performed. □

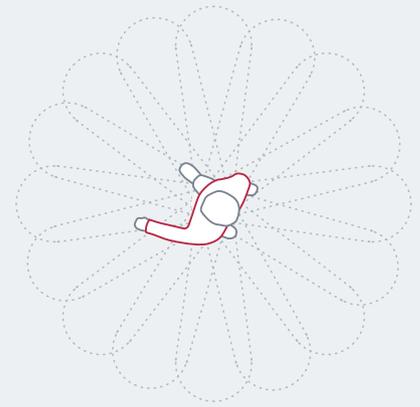
Link

www.ce.cit.tum.de/air

Beim Autofahren kann viel Überraschendes passieren. Ein bremsender Vordermann, eine plötzlich kreuzende Radfahrerin, ein Fußgänger, der unvermittelt auf die Straße tritt – die Varianten, in denen sich Gefahren im Straßenverkehr auftun können, sind quasi unendlich. Sitzt ein Mensch hinter dem Steuer, kann dieser die Gefahrensituation meist adäquat einschätzen und entsprechend darauf reagieren. Er antizipiert das Verhalten anderer Verkehrsteilnehmerinnen und Verkehrsteilnehmer und nimmt in Gedanken vorweg, dass zum Beispiel die am Rand stehende Fußgängerin plötzlich auf die Straße treten könnte.

Autonome Fahrzeuge können bei derzeitigem Technikstand mit menschlicher Kognition nicht mithalten. Sie verlassen sich weitgehend auf erlernte und gespeicherte Muster und fahren nach starren Regeln – was ihre Flexibilität in komplexen Verkehrssituationen einschränkt und die Unfallgefahr erhöht. Vor allem müssen sie auf möglichst viele Szenarien vorbereitet sein, damit sie adäquat reagieren können.

Doch das zu bewerkstelligen ist alles andere als einfach. Aufgrund der riesigen Kombinationsvielfalt können nicht alle möglichen Szenarien im Vorhinein festgelegt werden. Kurvenenge, Kurvenkrümmung, Spurbreite, Fahrzeuganzahl, Fahrrichtungen, Geschwindigkeiten – die möglichen Varianten für die zentralen Parameter des Autofahrens erzeugen eine gigantische Menge an Kombinationen, die unmöglich alle getestet werden können.



„Reines Testen reicht nicht aus, um ein autonomes Fahrzeug abzusichern“, erklärt Matthias Althoff, Professor für Cyber-Physical Systems an der TUM. „Wenn man eine 95-prozentige Sicherheit haben will, dass das autonome Auto genauso zuverlässig fährt wie der Mensch, müsste es ungefähr 440 Millionen Kilometer gefahren sein. Das ist unwirtschaftlich.“ Abgesehen davon, so Althoff, wird ein Auto die meisten Szenarien und Kombinationen möglicher Verkehrssituationen nie erleben.

Entscheidung in Echtzeit

Zusammen mit seinem Forschungsteam will Matthias Althoff erreichen, dass autonome Autos ähnlich agieren wie Menschen: Sie sollen künftig nicht mehr nur stur nach erlernten Regeln fahren, sondern in Echtzeit eigene Entscheidungen treffen und so – Sekunden im Voraus – Gefahren ausschließen.

Dafür müssen die Maschinenautos, ganz analog wie Menschen, vorausschauend fahren und Verkehrssituationen antizipieren können. „Um dieses Ziel zu erreichen, überlegen wir uns, was der andere Verkehrsteilnehmer alles machen könnte“, sagt Althoff. Bevor sich ein selbstständig fahrendes Fahrzeug in Bewegung setzt, berechnet Althoffs Softwaresystem die „Menge aller Möglichkeiten“ an Situationen, die Sekundenbruchteile später eintreten können. Diese „Erreichbarkeitsmenge“ ist der zentrale Kern des ganzen Konzepts.

Das dahinterstehende Verfahren nennt sich Erreichbarkeitsanalyse. Es errechnet, welche Positionen zum Beispiel ein Auto oder eine Fußgängerin bzw. ein Fußgänger in den nächsten Sekunden einnehmen kann. „Diese Mengen zu bestimmen und das Ganze mit der Bewegungsplanung von anderen Fahrzeugen abzustimmen ist nicht einfach“,

erklärt Althoff. Weil diese Erreichbarkeitsmenge zudem aufwendig zu berechnen ist, begnügt man sich mit einfachen Modellen, die mathematisch besser zu erfassen sind. Gleichzeitig mit der Erreichbarkeitsmenge wird ein Notfallmanöver konstruiert. Das könnte etwa schnelles Abbremsen oder Gasgeben sein, sodass das Fahrzeug ohne Gefährdung anderer Menschen an einen sicheren Ort gebracht werden kann. „Wir haben immer ein Notfallmanöver vorrätig, das uns in einen sicheren Zustand bringt“, sagt Althoff. „Nur wenn eine Route ohne voraussehbare Kollision befahren werden kann und gleichzeitig ein Notfallmanöver möglich ist, darf sie befahren werden.“

Bessere Reaktionen

Das theoretische Konzept hat Althoff zusammen mit seinem Team in einem Softwaremodul umgesetzt, das das Geschehen während der Fahrt permanent analysiert und prognostiziert. In einem ersten Schritt erfasst das Programm zunächst auf Basis der Kamera- und Radardaten in Millisekunden jede Verkehrsteilnehmerin und jeden Verkehrsteilnehmer in der Nähe.

Auf Basis dieser Daten berechnet es dann die Erreichbarkeitsmenge – also alle möglichen Bewegungen der Verkehrsteilnehmer, die in nächster Zeit ausgeführt werden können. Auf diese Weise blickt das Softwaresystem drei bis sechs Sekunden in die nächste Zukunft. Mit den Berechnungen ermittelt das Programm anschließend mehrere Bewegungsoptionen für das Auto – darunter auch das Notfallmanöver. Eine Einschränkung gibt es allerdings. Die Handlungen müssen sich außerdem in Einklang mit der Straßenverkehrsordnung befinden.

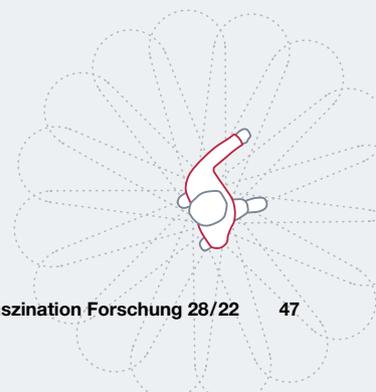
Der neue Ansatz könnte einen Paradigmenwechsel beim autonomen Fahren einläuten. Mit der Software von Althoff

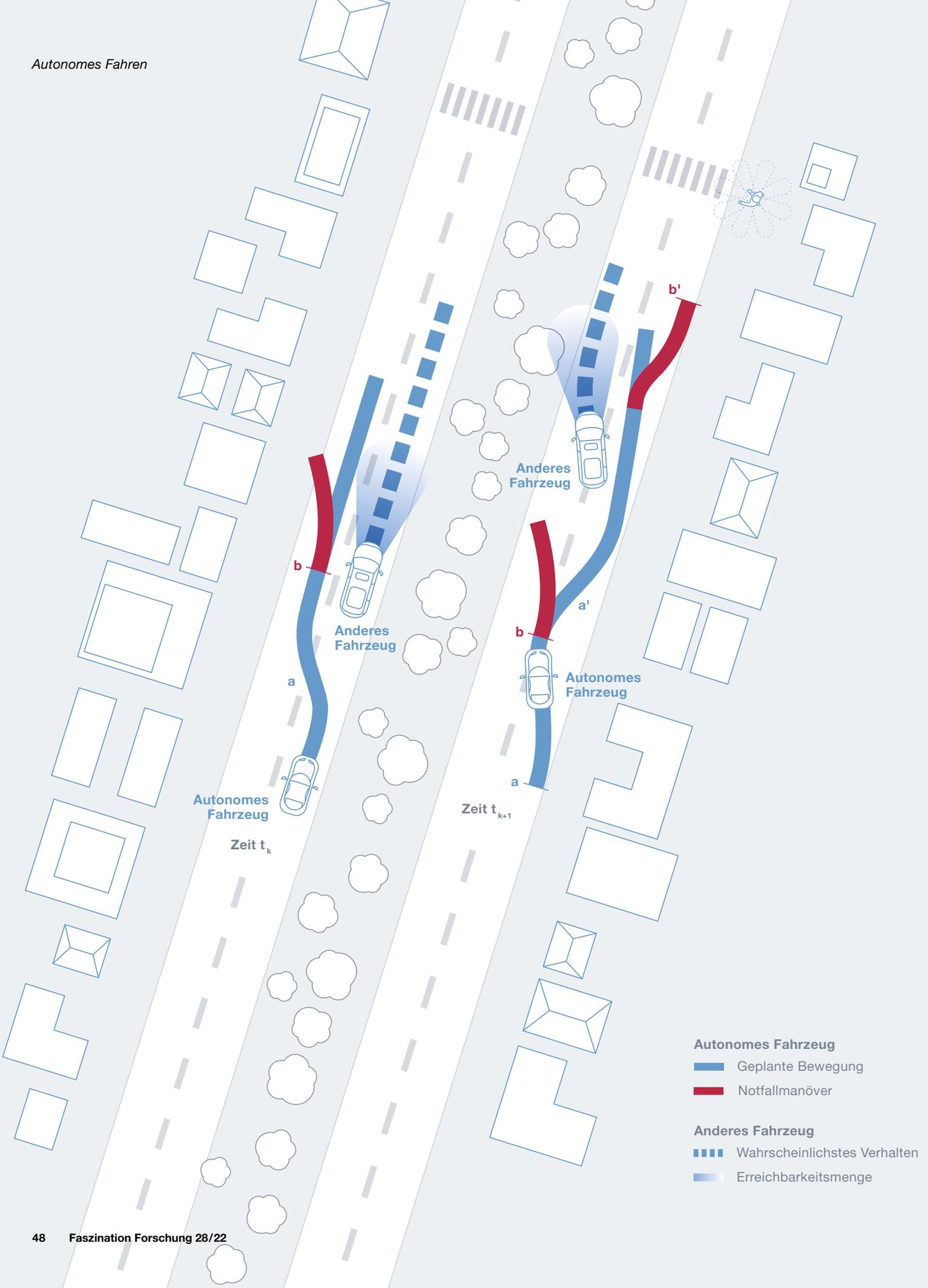
„Reines Testen reicht nicht aus, um ein autonomes Fahrzeug abzusichern.“

Matthias Althoff

können Autos besser auf unerwartete und vom Hersteller nicht vorhergesehene Zwischenfälle im Straßenverkehr reagieren. Das Münchner Forschungsteam konnte nicht nur zeigen, dass eine Datenauswertung in Echtzeit und eine gleichzeitige Simulation der künftigen Verkehrssituation theoretisch möglich ist. Sie konnte auch den mathematischen Nachweis erbringen, dass sie zuverlässige Ergebnisse liefert. Aktuell laufen auch Praxis-Tests im realen Straßenverkehr.

Klaus Manhart







◀ Das Unerwartete planen

Die Grafik veranschaulicht das von Althoff entwickelte Softwaremodul für sicheres autonomes Fahren. Im Ausgangsszenario will das autonom fahrende blaue Fahrzeug ein langsames Fahrzeug überholen. Analog wie ein menschlicher Fahrer geht der Host davon aus, dass der andere Wagen mit gleicher Geschwindigkeit weiterfährt und auf der Spur bleibt.

In Althoffs Konzept wird nun der Verhaltensraum des zu überholenden Fahrzeugs analysiert, sprich: was dieses machen könnte. Dies ist die Erreichbarkeitsmenge. Im Beispiel sind a und a' zwei Abschnitte der geplanten Bewegung. Gleichzeitig wird ein Notfallmanöver konstruiert (b und b'). Das Manöver wird dann wichtig, wenn kein sicheres zukünftiges Verhalten mehr gefunden werden kann. In diesem Fall muss das Fahrzeug über das Notfallmanöver in einen sicheren Zustand überführt werden.

Erst wenn a und b verifiziert wurden, startet das autonome Fahrzeug – im Bild ist dies der Zeitpunkt t_k . Im Zeitschritt t_{k+1} macht das andere Fahrzeug einen unerwarteten und extremen Spurwechsel. Das ursprüngliche Notfallmanöver b ist weiterhin sicher, das autonome Fahrzeug muss aber nicht notwendigerweise abbremsen und zum Stehen kommen.

Dynamisch hat sich eine neue Lösung a' mit einem Notfallmanöver b' ergeben – die beide wieder sicher sein müssen gegenüber dem Verhalten des anderen. Wurde diese Lösung verifiziert, kann die neue Strecke gefahren werden.

Prof. Matthias Althoff

erhielt seinen Abschluss als Diplom-Ingenieur in Maschinenbau und seine Promotion in Elektrotechnik im Jahr 2010, beide an der TUM. Von 2010 bis 2012 war er Postdoktorand an der Carnegie Mellon University in Pittsburgh, USA, und von 2012 bis 2013 Assistenzprofessor an der Technischen Universität Ilmenau. Seitdem ist er Professor für Informatik an der TUM. Seine Forschungsinteressen umfassen die formale Verifikation von kontinuierlichen und hybriden Systemen, Erreichbarkeitsanalysen, Planungsalgorithmen, nichtlineare Steuerung, autonome Fahrzeuge und Energiesysteme.

Täuschend
echte
Bilder von
Personen,
**die es
nicht gibt**



Neuronale Netze in selbstfahrenden Autos brauchen riesige Mengen an Aufnahmen aus dem Straßenverkehr, um zu lernen, wie man Menschen erkennt. Deren Verwendung setzt aber das Einverständnis der abgebildeten Personen voraus, was einen enormen Aufwand bedeutet. Eine Forschungsgruppe um Prof. Laura Leal-Taixé hat für dieses Problem verblüffende Lösungen gefunden.

Link

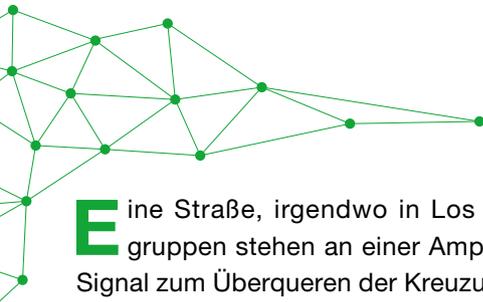
dvl.in.tum.de/team/lealtaixe

Deceptively Realistic Images of People Who Don't Actually Exist E

No field of artificial intelligence is untouched by the impact of neural nets: they have become the workhorses of AI in recent years, learning to perform tasks by training with vast quantities of data. This often involves images of people, such as when an autonomous vehicle needs to learn to identify people and avoid them. Yet this type of data is also sensitive and the people in these images need to consent to its use. Prof. Laura Leal-Taixé and her team are researching ways to generate images of people without raising any data protection concerns. She is pursuing numerous approaches, one of which involves replacing real people in images with computer-generated people who do not exist in reality. Another approach is using fully computer-generated images. The researcher draws on the popular video game *Grand Theft Auto V* to generate images with an astounding level of realism. □

Prof. Laura Leal-Taixé

leitet die Abteilung Dynamic Vision and Learning an der TUM. Die aus Barcelona stammende Computerwissenschaftlerin schrieb ihre Masterarbeit in Boston und promovierte an der Leibniz Universität Hannover, bevor sie in Michigan und Zürich forschte. 2016 wechselte sie an die TUM und gewann ein Jahr darauf den Sofja Kovalevskaja-Preis sowie 2020 den Google Faculty Award. Ausgleich findet sie im Sport: In München hat Leal-Taixé das Bouldern für sich entdeckt.



Eine Straße, irgendwo in Los Angeles. Fußgängergruppen stehen an einer Ampel und warten auf das Signal zum Überqueren der Kreuzung. Als die Ampel umschaltet, gehen sie los, wobei sie einander ausweichen, um die andere Seite zu erreichen. Es sind auf den ersten Blick ganz normale Menschen, wie sie in einer Großstadt leben, unterschiedlich in Kleidung, Alter, Geschlecht und Hautfarbe. Dass sie beobachtet werden, scheinen sie nicht zu bemerken.

Die Person, die ihre Aktivitäten auf dem Bildschirm verfolgt, ist die Computerwissenschaftlerin Prof. Laura Leal-Taixé. Gemeinsam mit ihrem Team erstellt sie einen umfangreichen Datensatz, mit dem intelligente Computerprogramme lernen können, Menschen in Videobildern zu erkennen und zu verfolgen – eine Schlüsselfähigkeit für selbstfahrende Autos. Dazu sind große Mengen detaillierter Aufnahmen von realistischen städtischen Umgebungen nötig, und tatsächlich sind die Bilder, die über Leal-Taixés Bildschirm flimmern, von hoher Qualität. Sogar die Gesichter sind gut erkennbar. Doch wie steht es um die Persönlichkeitsrechte der abgebildeten Menschen? Niemand von ihnen hat sein Einverständnis dafür gegeben. Bei großen Menschengruppen, wie sie neuronale Netze benötigen, wäre das

Einholen von Einverständniserklärungen ein enormer logistischer Aufwand. Und was geschieht, wenn eine Person auf dem Bild die Einwilligung verweigert?

Mit derlei Spitzfindigkeiten muss sich Leal-Taixé nicht aufhalten, denn bei genauerer Betrachtung zeigt sich, dass der Schein trügt. Die Aufnahmen auf ihrem Monitor sind nicht real, sondern stammen aus einem der populärsten Videospiele der Welt. Ihr Team hat sich Methoden der Videospieldzene bedient, um das Spiel für die Wissenschaft nutzbar zu machen. Dabei hat es eine überraschende Lösung für eines der kniffligsten Probleme der Computerwissenschaften gefunden.

Datenschutz und Technologie im Konflikt

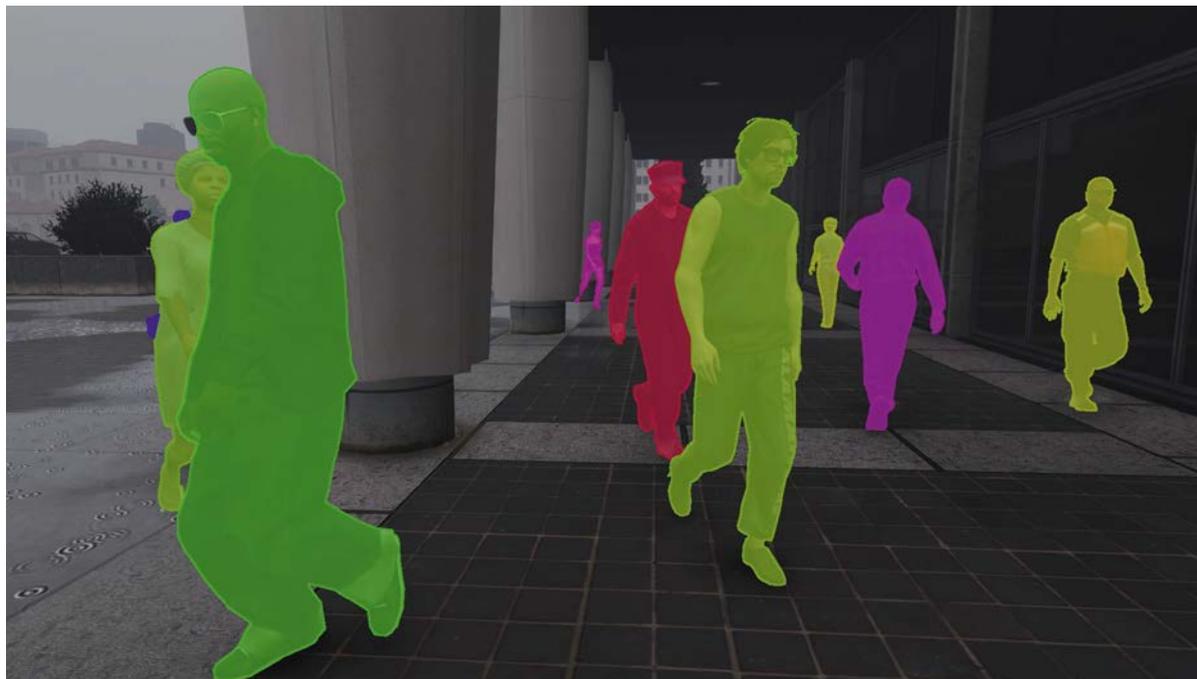
Laura Leal-Taixés Fachgebiet ist die Bilderkennung, speziell das Erkennen von Menschen in Kamerabildern. Dabei handelt es sich um eine sensible Technologie, wie sie betont: „Solche Methoden können für üble Zwecke verwendet werden. Doch Branchen wie die Automobilindustrie brauchen diese Fähigkeiten dringend.“ Es ist ein Widerspruch, mit dem sich die Forscherin nicht zufriedengeben will. „Es muss möglich sein, eine Balance zwischen beiden Aspekten herzustellen. Dieses Problem wollen wir lösen“, so Leal-Taixé. ▶



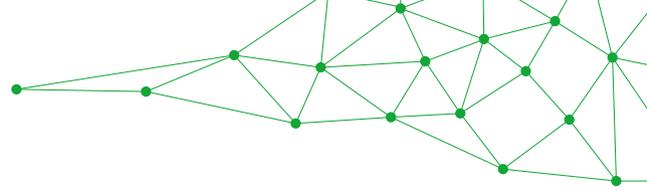
Bildquelle: Magdalena Jooss



△ **Bilder von Menschen in Videospiele**n eignen sich für Datensätze zum Training neuronaler Netze. Das Forschungsteam hat einen gewaltigen Satz an Trainingsdaten auf der Basis solcher Bilder erzeugt.



▷ **Videospielbilder** bringen die benötigten Informationen für das Tracken von Fußgängern und das Ableiten ihrer Pose bereits mit.



Wie sich das Generieren der enormen Datenmengen mit den Persönlichkeitsrechten der Menschen vereinbaren lässt, denen die Daten gehören, ist ein Schlüsselproblem auf dem Gebiet der Künstlichen Intelligenz, und es fehlt nicht an warnenden Stimmen, die ein technologisches Zurückfallen Europas prophezeien, wenn die Regeln nicht für Forschungsarbeiten gelockert werden. Forschungsinteresse sei über Persönlichkeitsrechte zu stellen, so der Tenor.

Genau an diesem Punkt setzt die Gruppe von Leal-Taixé an, indem sie verschiedene Wege aufzeigt, wie Trainingsdaten für Algorithmen erzeugt werden können, ohne die Privatsphäre von Menschen zu verletzen.

Täuschend echte Videospiele

Eine Lösung ist das Erstellen von Trainingsbildern, die komplett aus dem Computer stammen. Die Forschung muss diese Bilder nicht erst von Grund auf neu programmieren, sondern kann auf ein Phänomen der Populärkultur zurückgreifen. Die Videospielbranche weist seit vielen Jahren hohe Wachstumsraten auf und hat mit ihren Umsätzen inzwischen die globale Filmindustrie in den Schatten gestellt. Realismus ist dabei ein wichtiges Verkaufsargument und wird dank immer stärker werdender

Computerhardware auch zunehmend erreicht. Dass Bilder von Personen aus Videospiele zum Training neuronaler Netze geeignet sind, wurde bereits in der Vergangenheit gezeigt. Nun hat Leal-Taixés Team einen riesigen Satz von Trainingsdaten aus Videospielebildern erstellt. In ihrer Arbeit kam das populäre Spiel „Grand Theft Auto V“ zum Einsatz, wegen seines ausladenden Namens meist nur GTA V genannt. Das Setting des Spiels ist eine Großstadt, die Los Angeles nachempfunden und verblüffend realistisch umgesetzt ist. Spielerinnen und Spieler können sich hier frei bewegen. Neben Realismus bietet GTA V einen weiteren Vorteil: Das Spiel ist ein beliebtes Betätigungsfeld für sogenannte „Modder“, die hobbymäßig Teile des Produkts abändern oder optimieren. Es gibt dafür vorgefertigte Softwaretools, die es erlauben, in das Spiel einzugreifen und etwa Personen an bestimmte Orte zu platzieren.

Hilfreiche Hintergrundinformationen

Der Zugang ist nicht nur unproblematisch, was Persönlichkeitsrechte angeht, sondern hat weitere Vorteile. So ist es bei realen Bildern nötig, die tatsächlich darauf befindliche Information zu kennen, etwa die wirklichen Koordinaten der abgebildeten Personen, um sie mit den



Links: Segmentation
Masks

Rechts: Umschließende
Kästen und sogenannte
Keypoints des Skeletts
beschreiben die Pose der
Person



Ergebnissen der trainierenden Algorithmen zu vergleichen. Diese sogenannte „Ground Truth“ kann in der Praxis aufwendig zu berechnen sein. Bei Computerspielbildern kennt man aber die zugrunde liegenden Informationen und kann sie direkt aus dem Spiel abgreifen.

Doch sind die synthetischen Bilddaten eines Unterhaltungsmediums wirklich so realistisch, dass Algorithmen für den Straßenverkehr damit trainiert werden können? Leal-Taixé dämpft zu große Erwartungen: „Wenn man nur mit synthetischen Daten trainiert, ist die Performance bei echten Bilddaten nicht perfekt. Neuronale Netze sind sehr sensibel, was die Textur von Bildern angeht.“ Dieses Manko lässt sich beheben, wenn nach dem Training mit Videospielbildern zusätzlich noch mit echten Bildern trainiert wird, die zuvor anonymisiert wurden, um die Persönlichkeitsrechte der Abgebildeten zu wahren.

Weichzeichnen genügt nicht

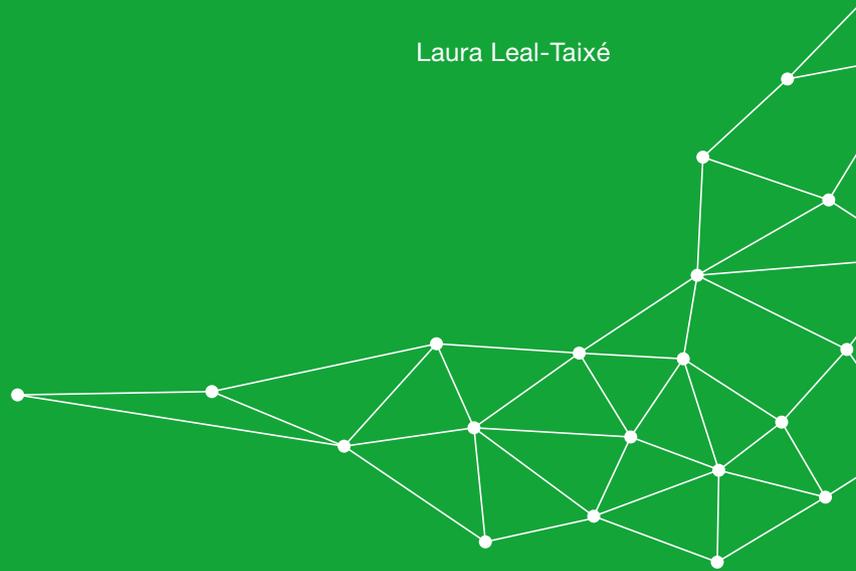
Die Anonymisierung realer Aufnahmen ist ein weiterer Schwerpunkt der Forschungen des Teams von Leal-Taixé. Die gängigste Methode zur Anonymisierung von Personendaten ist das Weichzeichnen oder Verpixeln von Gesichtern. Leal-Taixé weist auf verschiedene Probleme dieses Ansatzes hin. „Wenn man nur das Gesicht anonymisiert, ist die Person womöglich anhand anderer Körpermerkmale identifizierbar. Außerdem lässt sich ein Algorithmus zur Erkennung nicht mit Bildern trainieren, in denen das Gesicht fehlt. Die Bilder müssen so realistisch wie möglich aussehen“, so die Forscherin.

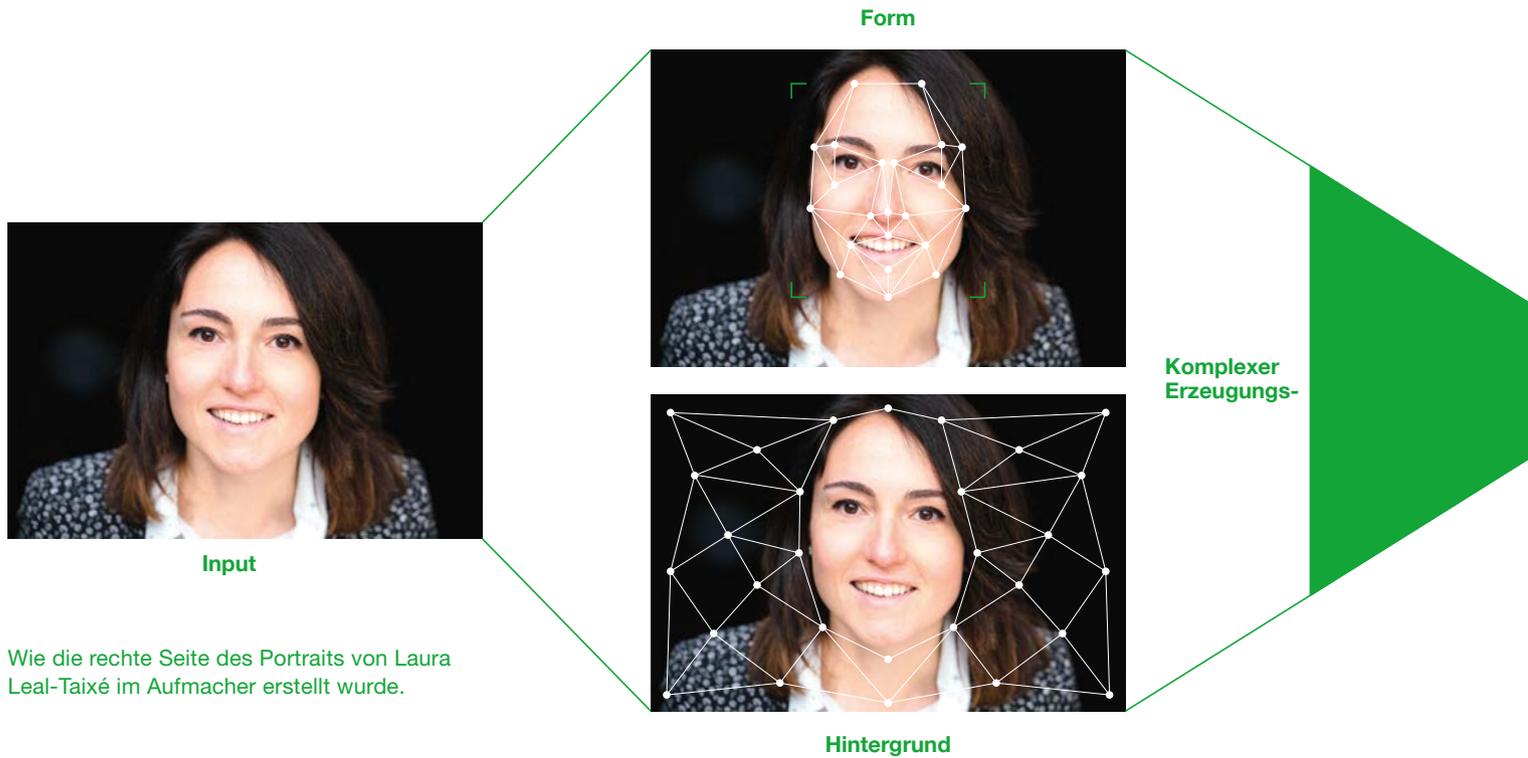
Seit einiger Zeit gibt es daher Versuche, Bilder von Menschen so zu verzerren, dass sie anhand der Gesichter nicht mehr erkennbar sind. Auch das gelingt nicht immer: Es konnte gezeigt werden, dass in vielen Fällen das ursprüngliche Gesicht wieder rekonstruierbar ist. Auch das Erzeugen sogenannter „Deepfakes“, die als Internetphänomen Bekanntheit erlangt haben und bei denen ein Gesicht mit verblüffender Präzision durch ein anderes ersetzt wird, löst das Problem nicht, denn auch die Besitzerin oder der Besitzer des neuen Gesichts hat Persönlichkeitsrechte. Die Münchner Forschungsgruppe geht daher einen Schritt weiter. Man zeigte, dass es möglich ist, die Personen aus den Bildern zu entfernen und durch vollständig computergenerierte Individuen zu ersetzen, die echt aussehen, aber in der Realität nicht existieren. ▶

Anonymisierungs-Methoden im Vergleich. Von oben: Original; von Leal-Taixés Team entwickelter CIAGAN-Prozess; Weichzeichnen (17x17 und 9x9); Verpixeln (16x16 und 8x8); Image-to-image Translation (Pix2Pix und CycleGAN).

„Wenn man nur das Gesicht anonymisiert, ist die Person womöglich anhand anderer Körpermerkmale identifizierbar. Außerdem lässt sich ein Algorithmus zur Erkennung nicht mit Bildern trainieren, in denen das Gesicht fehlt. Die Bilder müssen so realistisch wie möglich aussehen.“

Laura Leal-Taixé

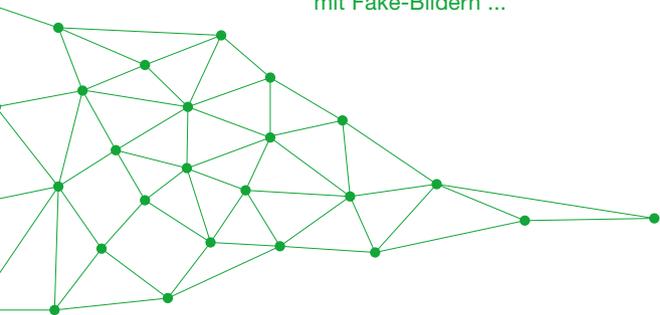




Wie die rechte Seite des Portraits von Laura Leal-Taixé im Aufmacher erstellt wurde.

Privatsphäre wahren

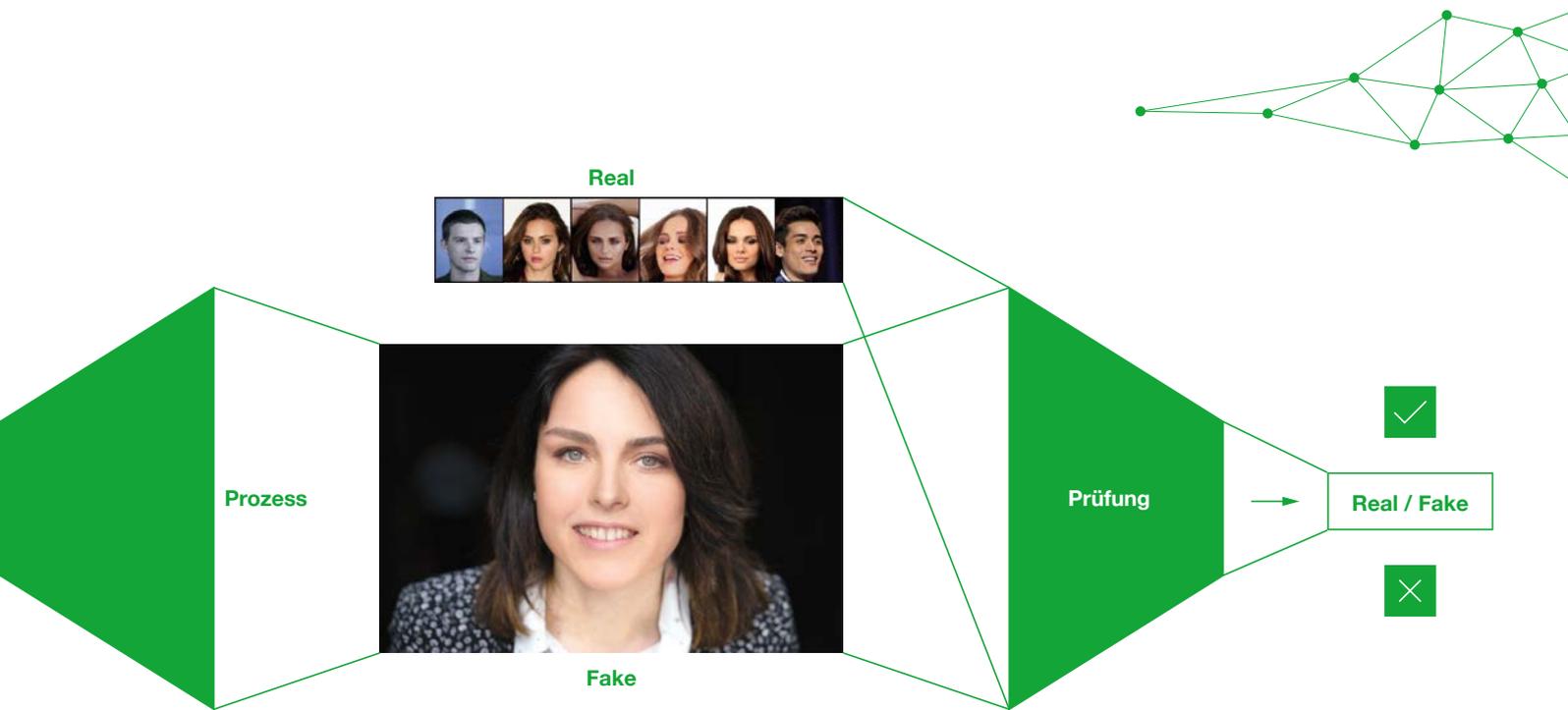
mit Fake-Bildern ...



Auch für Videobilder geeignet

Doch genügt das für Anwendungen im Bereich der Smart Mobility? Für bewegte Bilder gelten schließlich besondere Anforderungen. Würde man nur Bild für Bild die Person ersetzen, könnte sich das in abgehackten, unrealistischen Bewegungen äußern. „Wir brauchen Stabilität unseres Bildes über mehrere Einzelbilder des Videos hinweg, um die Verfolgung von Personen trainieren zu können“, so Leal-Taixé. Möglich ist das, indem zuerst sogenannte „Landmarken“ bestimmt werden. „In Gesichtern sind das zum Beispiel die Nasenspitze, die Augen oder der Mund“, erklärt die Forscherin. Auch die Körperhaltung eines Menschen ist eine solche Landmarke. Mithilfe der Bestimmung von Landmarken kann die Pose der Person erkannt und imitiert werden, sodass im Bewegtbild ein realistisches Bewegungsmuster erhalten bleibt.

Während ein neuronales Netz die fiktiven Personen generiert, kontrolliert ein zweites neuronales Netz den Erfolg der Maßnahme, indem es versucht, die Person zu identifizieren. Gelingt die Identifizierung nicht, ist der Nachweis erbracht, dass die Anonymisierung erfolgreich war. Die Arbeiten befinden sich noch in einem frühen Stadium, doch der Zugang erweist sich als vielversprechend. Leal-Taixés Gruppe gelang es, realistische Bilder von Personen zu erzeugen, die es in der Realität nicht gibt.



Anonymisierung von Gesichtern, sodass sie nicht identifiziert, aber für die Verfolgung detektiert werden können. Das Originalbild und daraus entnommene Landmarken (Augen, Nase, Mund) sowie die Gesichtsform durchlaufen einen komplexen Bilderzeugungs-Prozess, der die Fälschung produziert. Dieses künstlich erzeugte Bild wird abschließend mit realen Bildern abgeglichen, um sicherzugehen, dass keine echten Personen identifiziert werden können.

Junge Arbeitsgruppe

Leal-Taixé setzt bei ihrer Arbeit auf ein junges Team. Kurz nach ihrem Wechsel an die TUM wurde eines ihrer Projekte mit dem Sofja Kovalevskaja-Preis der Alexander von Humboldt-Stiftung ausgezeichnet. Die Dotierung von 1,65 Millionen Euro erlaubte es ihr, eine Arbeitsgruppe aufzubauen. Der Pool an Studierenden wie auch das offene Umfeld seien in München ideal, betont sie: „Die Studierenden sind außergewöhnlich gut vorbereitet und wir würden gerne mehr Diplomarbeiten betreuen als wir können.“ Wenn die Computerwissenschaftlerin nach der Arbeit ihren Rechner ausschaltet und die Universität verlässt, lässt sie die Videospiele übrigens im Büro zurück. Ihr Interesse daran ist rein beruflich, doch das war nicht immer so. Sie spielt auch privat gerne Spiele mit offener Spielwelt wie GTA – ein heimliches Laster, wie sie zugibt. Seit ihre Tochter zur Welt kam, hat sie dafür allerdings kaum noch Zeit. Sie lässt lieber Algorithmen für sich spielen, die dabei lernen, wie sie in Zukunft realen Personen ausweichen.



Reinhard Kleindl

... die Detektion ermöglichen, aber

Identifikation verhindern

Interaktion mit
Fußgängern



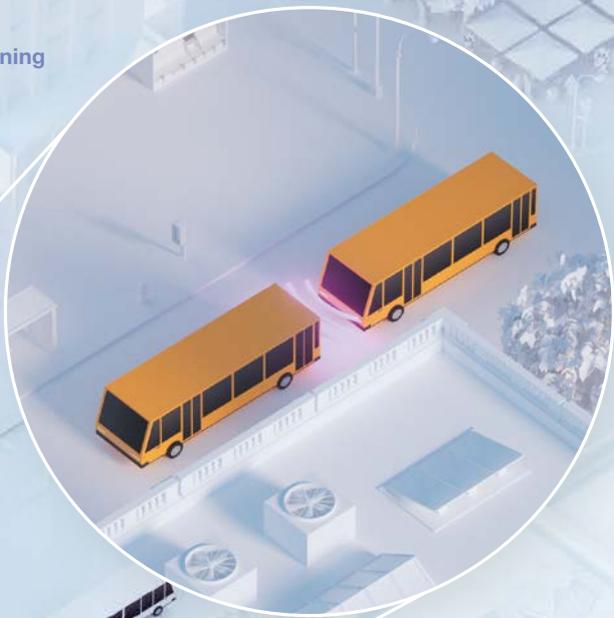
Link

www.mos.ed.tum.de/vt
www.tempus-muenchen.de

Automatisiertes Fahren braucht eine neue Verkehrskultur

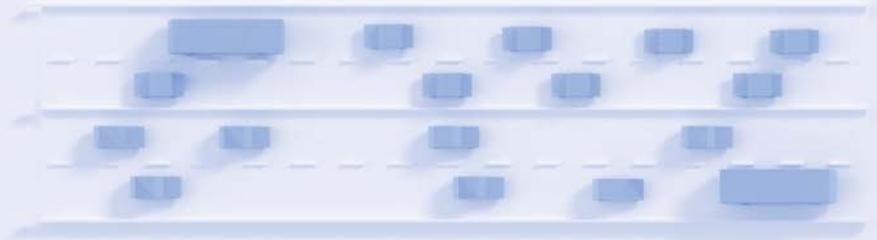
Automatisiertes Fahren ist keine rein technische Zukunftsvision. Für einen sicheren, effizienten, nachhaltigen und zugleich komfortablen Verkehr spielt das komplexe Wechselspiel zwischen Mensch und Fahrzeug eine zentrale Rolle. Die TUM ist Partner im Forschungsprojekt TEMPUS, das Wege zeigen will, wie Technologie und eine neue Verkehrskultur dieses Miteinander gestalten könnten.

Bus Platooning

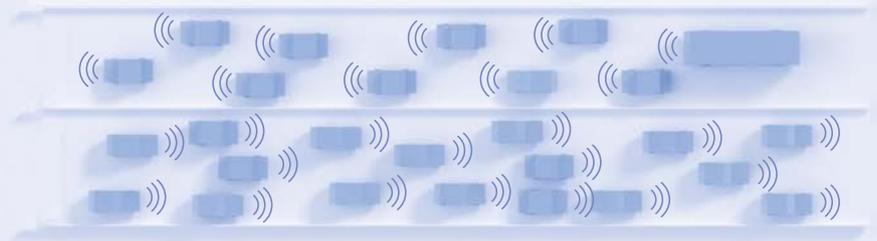


Ride-Parcel-Pooling

**Straßenverkehr
heute: Feste
Fahrspuren**



**Verkehr ohne
Fahrspuren**



Automatisierte Fahrzeuge, die sich über Kameras und Sensoren permanent im Blick halten und Fahrdaten austauschen, brauchen keine festen Fahrspuren, sondern könnten sich situationsabhängig selbst organisieren.

Full Article (PDF, EN): www.tum.de/faszination-forschung-28

Automated Driving Will Require a New Traffic Culture

E

To an increasing extent, automated vehicles are laying the foundations for safer, sustainable and convenient traffic systems in the future. Many prototypes equipped with sophisticated control systems, sensors and cameras have already reached a high level of technological maturity. However, the complex interactions between humans and vehicles must be considered for automated transport to be successful. To this end, Prof. Klaus Bogenberger and his Chair are conducting research within the project TEMPUS. It aims to provide important data regarding everyday traffic in northern Munich – data that was previously very limited – in an effort to reconcile technology and human behavior. Optimizing how automated vehicles respond to particularly vulnerable road users, such as cyclists and crossing pedestrians, is a central focus. In addition, the researchers are using prototypes and simulations to trial new concepts for local public transport systems, delivery services, and to promote more efficient “lane-free” traffic flows. Their ultimate goal is to develop an entirely new traffic culture. □



Die Fahrzeuge nutzen die Straßenbreite auf optimale Weise



Automatisierte Fahrzeuge organisieren sich in Schwärmen und optimieren so die Kapazität einer Kreuzung

Mit automatisierten Fahrzeugen ließe sich etwa ein Drittel mehr Verkehr auf der gleichen Straßenfläche bewältigen.

Auf den Straßen von Buenos Aires herrscht nicht selten Anarchie. Gerne ignorieren Fahrende rote Ampeln, vor allem nachts. Und die bis zu 16 deutlich markierten Fahrspuren der Avenida del Libertador gelten bestenfalls als unverbindlicher Vorschlag. Trotzdem schlängeln sich die Fahrzeuge verblüffend umsichtig und flüssig auf der überbreiten Magistrale aneinander vorbei. Hupkonzerte oder gar Unfälle sind selten. Vorbild für eine deutsche Großstadt kann diese Verkehrskultur sicher nicht sein. Doch ist in Zukunft ein scheinbar wildes Durcheinander jenseits aller Fahrspuren auch hierzulande denkbar. Zahlreiche automatisierte Fahrzeuge, die sich über Kameras und Sensoren permanent im Blick halten und Fahrdaten austauschen, sollen es ermöglichen. Auf die Aufmerksamkeit von menschlichen Fahrerinnen und Fahrern wird komplett verzichtet, um für alle Verkehrsteilnehmer eine hohe Sicherheit zu erreichen. „Damit ließe sich auf der gleichen Straßenfläche ein Drittel mehr Verkehr bewältigen als heute“, sagt Klaus Bogenberger, Professor für Verkehrstechnik an der TUM.

Ein flüssigerer Verkehr ohne Fahrspuren – Fachbegriff „lane free“ – ist nur eines von vielen Zukunftskonzepten,

das der Verkehrsforscher mit rund einem Dutzend Partnern aus Verwaltung, Forschung, Wirtschaft und Industrie im Projekt TEMPUS verfolgt. Das Projekt wird vom Bundesministerium für Digitales und Verkehr (BMDV) gefördert, sein Kürzel steht für „Testfeld München – Pilotversuch Urbaner automatisierter Straßenverkehr“. Martin Margreiter, Leiter der Forschungsgruppe Automatisierter Verkehr am Lehrstuhl, führt die Aktivitäten der TUM im Projekt. Spurfreies Fahren zählt zu den Vorhaben, die die Forschenden ausschließlich am Computer simulieren. Doch der Schwerpunkt von TEMPUS auf dem Weg zu einem sicheren, nachhaltigen und komfortablen Verkehr liegt in der Praxis. Wie finden sich automatisierte Fahrzeuge im Verkehr zurecht? Wie reagieren sie auf Fußgänger und Radfahrerinnen? Und umgekehrt? Welche Regeln müssen für einen flüssigen und vor allem sicheren Verkehr gelten? Und wie lässt sich die Steuerung automatisierter Fahrzeuge entsprechend programmieren? Auf solche Fragen will TEMPUS – über 30 Monate mit knapp 13 Millionen Euro vom BMDV gefördert – zukunftsweisende Antworten finden. ▶

„Einzelne automatisierte Fahrzeuge werden schon im kommenden Sommer im Testgebiet von TEMPUS fahren“, sagt Bogenberger. Im Münchner Norden erstreckt sich dieses vom Olympiapark über Unterschleißheim bis zu den Autobahnen A 9 und A 99. Automatisierte Fahrzeuge – wie etwa PKWs von BMW oder Busse der niederländischen Firma Ebusco – müssen sich dann sowohl in städtischen Wohnvierteln als auch auf ländlichen Bundesstraßen und Autobahnen in den realen Verkehr eingliedern. „Ein solches Testfeld aus allen Straßenkategorien ist weltweit bisher einzigartig“, sagt Bogenberger. Dafür empfangen die automatisierten Fahrzeuge permanent Echtzeit-Verkehrsdaten über schnelle 4G- und 5G-Funknetze. Ergänzend werden Kreuzungen mit intelligent geregelten Ampeln ausgestattet, Kontaktschleifen in den Straßen sowie Kameras und Drohnen zur Beobachtung genutzt. „Ein weiteres Ziel von TEMPUS ist die Standardisierung der Datenflüsse“, sagt Bogenberger. Denn nur damit könne das System in Zukunft auch an jeder Ampel Europas funktionieren.

Durch eine intelligente Echtzeit-Steuerung automatisierter Fahrzeuge sollen nicht nur plötzlich auftretende Staus vermieden werden. Auch der öffentliche Nahverkehr kann profitieren. Konkret testen die TEMPUS-Partner einen automatisierten Linienbus, der bei erhöhtem Fahrgastaufkommen einem klassischen Bus mit Fahrerin oder Fahrer selbstständig folgt – wie ein Entenküken seiner Mutter. Mit solchen Kolonnen – Bus Platooning genannt – lässt sich der Service für ÖPNV-Kunden verbessern und zugleich Energie und Straßenraum einsparen. Ein weiteres Teilprojekt – Ride-Parcel-Pooling – will dem durch den Onlinehandel stark zugenommenen Paketversand gerecht werden. Dabei nehmen Ride-Sharing-Services – wie beispielsweise das zwischen Taxi und ÖPNV angesiedelte MOIA-Angebot vom Volkswagen-Konzern – nicht nur Fahrgäste, sondern auch Pakete auf. Weniger, dafür aber dank der Doppelnutzung besser ausgelastete automatisierte Fahrzeuge könnten so den Stadtverkehr entlasten.

Interaktion mit Fußgängern und Radfahrern

„Im Unterschied zu vielen früheren Pilotversuchen mit automatisierten Fahrzeugen schauen wir bei TEMPUS besonders auf die Interaktion mit Fußgängerinnen und Radfahrern“, sagt Bogenberger. Kameras und kleine Drohnen sollen den realen Verkehr beispielsweise an Kreuzungen über Stunden filmen. Daraus wollen die Forschenden lernen, wie Menschen in unterschiedlichen



Szenarien auf automatisierte Fahrzeuge reagieren. Zentrales Ziel ist eine Fahrzeugsteuerung, die möglichst jeden Unfall und jede Verletzung von Fußgängern und Radfahrerinnen verhindert. Vorstellbar ist eine Programmierung, die Radfahrern in einer Risikosituation Vorfahrt gibt, statt auf der eigenen zu beharren, oder bei der für querende Fußgänger mit ausgestrecktem Arm immer gebremst



Grafiken: turbosquid, edlundsepp
(Quelle: TUM)

wird. Auch der Einsatz von Lichtsignalen am automatisierten Fahrzeug als Zeichen für „Ich habe dich gesehen“ wäre möglich. Bogenberger erwartet hier wichtige Erkenntnisse, für die gerade die Hersteller von automatisierten Fahrzeugen sehr dankbar wären. „Das wird sehr spannend, denn dazu gibt es nur sehr wenige Daten weltweit“, so Bogenberger. ▷

Im TEMPUS-Projekt werden Drohnen den realen Verkehr, beispielsweise an Kreuzungen, beobachten, um zu verstehen, wie Fußgänger und Radfahrerinnen mit automatisierten Fahrzeugen interagieren.



▽ Links: Der Lehrstuhl arbeitet an einem Verkehrsmodell der Stadt München. Rechts: Eigens aufgebaute Rikschas dienen für Pilotversuche zu Ride-Parcel-Pooling und automatisiertem Straßenverkehr.





△ Ein Feldversuch mit einer Rikscha untersucht das Potenzial von Ride-Parcel-Pooling für eine Verbesserung von Umwelt- und Verkehrsparametern.

Prof. Klaus Bogenberger

Nach seinem Bauingenieurstudium an der TUM fokussierte sich Klaus Bogenberger auf die Verkehrsplanung. In diesem Bereich promovierte er 2001 und wurde mit dem Heureka-Preis für junge Wissenschaftler ausgezeichnet. Industrieerfahrung sammelte er bis 2008 bei der BMW Group und danach als Partner bei der Münchener Firma TRANSVER GmbH. Auf eine Professur für Verkehrsforschung am Institut für Raumplanung und Transport der Bundeswehr Universität München folgte der Ruf auf den Lehrstuhl für Verkehrstechnik an der TUM, den er seit 2020 innehat. Mit seiner Arbeitsgruppe konzentriert er sich mit komplexen Simulationen auf Theorien zum Verkehrsfluss in Städten und Autobahnen. Weitere Forschungsschwerpunkte sind Sharing-Systeme und neue Formen des öffentlichen Personennahverkehrs wie On-Demand-Angebote, Roboter-Taxi-Systeme und urbane Seilbahnen.

Bildquelle: Stefan Woidig

Besonders stolz ist der Verkehrstechniker allerdings auf einen ganz untechnischen Aspekt von TEMPUS. „Mit Kommunen, Industrie und Forschung konnten wir alle wichtigen Beteiligten zusammenbringen. Das ist im Verkehrssektor nicht so einfach.“ Zudem schreibt TEMPUS die Beteiligung von Bürgerinnen und Bürgern ganz groß. Über verschiedene Kanäle und auch auf lokalen Veranstaltungen sollen sie ihre Erfahrungen mit den automatisierten Fahrzeugen einbringen. Gerade die Kommunen als deren Vertreter sieht Bogenberger bei TEMPUS besonders gefordert, um die Eckpunkte für eine neue Verkehrskultur zu setzen. „Sie haben die Hoheit über den Verkehr und jetzt die Chance, Regeln aufzustellen. Sie müssen nicht erst auf Vorgaben der Technologiefirmen warten“, sagt er. Dieser Macht zur Einflussnahme seien sich die Gemeinden oft gar nicht bewusst.

Und wie sieht Bogenberger die Chancen für wild wuselnde Fahrzeuge, die sich an keine Fahrspur halten? „Das könnte am ehesten auf Autobahnen Realität werden. Doch dafür brauchen wir schon sehr viele automatisierte Fahrzeuge im realen Verkehr.“ Vielleicht sei es im nächsten Jahrzehnt so weit. „Denn auch die heute schon dynamische Elektromobilität hat vor einigen Jahren erst ganz langsam begonnen“, schaut er in die automatisierte Zukunft des Verkehrs.

■ *Jan Oliver Löffken*

In nur 15 Minuten zu allen wichtigen Zielen



In nachhaltigen Städten spielen Autos nur eine Nebenrolle. Stattdessen kommen die Menschen zu Fuß oder mit dem Fahrrad von A nach B. Das Start-up Plan4Better will mit seiner Planungssoftware zu diesem Wandel beitragen. Erste Kommunen nutzen das Tool bereits.

Wo ein neuer Fuß- oder Radweg gebaut wird, entscheiden die Verantwortlichen heutzutage oft nach Bauchgefühl. Spezielle Planungssoftware gibt es nur für den Autoverkehr. Die Folge: Viele Projektideen verstauben in der Schublade und werden schlicht und einfach gar nicht umgesetzt.

Plan4Better will genau das ändern. Hinter dem im Januar 2021 gegründeten Start-up stehen Elias Pajares, Ulrike Jehle und Majk Shkurti. Im Rahmen seiner Masterarbeit am Lehrstuhl für Siedlungsstruktur und Verkehrsplanung der TUM hat Pajares im Jahr 2017 angefangen, die Software GOAT zu entwickeln – das Geo Open Accessibility Tool. Damit lassen sich Erreichbarkeiten für den Fuß- und Radverkehr modellieren.

Majk Shkurti ist seit 2018 als freiberuflicher Softwareentwickler mit an Bord. Ulrike Jehle stieg 2019 im Rahmen ihrer Masterarbeit in das Projekt ein. Da wussten die drei bereits, dass sie an etwas arbeiteten, was nicht in der Schublade verstauben sollte. Das Ergebnis ist ein Tool für Planerinnen und Planer in Kommunen, Landkreisen und Planungsbüros.

Erreichbarkeit planen

Wer das Programm öffnet, sieht eine Karte von seiner Stadt vor sich. Dort kann er einen beliebigen Startpunkt auswählen und sich anzeigen lassen, wohin man von dort innerhalb von fünf, zehn oder fünfzehn Minuten mit dem Rad oder zu Fuß kommt. Außerdem sind bereits Orte von öffentlichem Interesse, wie Bäckereien, Briefkästen oder Bekleidungsgeschäfte, eingetragen.

Mit zwei Klicks lassen sich in diese Karte neue Fuß- oder Radwege eintragen. Die Software berechnet sofort, welche Verbesserungen sich dadurch für die Erreichbarkeit ergeben. Außerdem kann man beispielsweise einen neuen Kindergarten eintragen und sehen, wie viele Menschen innerhalb eines Radius von 15 Minuten wohnen. Unterstützung bei der Entwicklung bekamen die drei von Prof. Gebhard Wulfhorst und Dr. Benjamin Büttner sowie vom gesamten Team des Lehrstuhls für Siedlungsstruktur und Verkehrsplanung. Und damit die Software wirklich praxistauglich ist, arbeitete Plan4Better von Anfang an intensiv mit den Gemeinden Fürstenfeldbruck, Freising und

der Stadt München zusammen. „In Anwenderworkshops haben wir herausgefunden, was gut funktioniert und an welchen Stellen wir noch nachbessern müssen“, berichtet Jehle.

Doch ein gutes Produkt ist nur die eine Seite. Das betriebswirtschaftliche Know-how ist die andere. Dabei half die TUM Gründungsberatung. Plan4Better wurde zudem ins Venture Lab Built Environment aufgenommen und konnte am Programm XPRENEURS der UnternehmerTUM teilnehmen – zahlreiche Coachings für Themen wie Verkaufsstrategie und Marketing inklusive.

Gründer- und Innovationspreis

Inzwischen hat Plan4Better zahlreiche Preise gewonnen, wie den Smart Country Startup Award in der Kategorie „Smart City“ des Digitalverbands Bitkom, den Innovationspreis der Stadt München in der Kategorie „Emissionsfreie Mobilität in München“ und den Gründungspreis des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie (BMWi). Seit November 2021 läuft zudem das dreijährige Forschungsprojekt GOAT 3.0. Mit über 500.000 Euro, zum Großteil zur Verfügung gestellt vom Bundesministerium für Digitales und Verkehr (BMDV), soll GOAT erweitert werden und zum Beispiel auch Erreichbarkeitsanalysen für On-Demand-Angebote und Wege mit kombinierten Verkehrsmitteln, wie Fahrrad und ÖPNV, beinhalten.

Doch bereits jetzt hat Plan4Better mit der Stadt Freiburg den ersten zahlenden Kunden. Gespräche mit anderen Städten in Deutschland, in der Schweiz und in den USA laufen bereits. Auch die Stadt München hat GOAT bereits für einige Planungsfragen genutzt. „Es wäre natürlich ein Traum, wenn auch München, unsere Base, die Software langfristig nutzen und allen Planerinnen und Planern zur Verfügung stellen würde“, sagt Jehle.

■ *Claudia Doyle*

Full Article (PDF, DE): www.tum.de/faszination-forschung-28

All Daily Needs Within 15 Minutes E

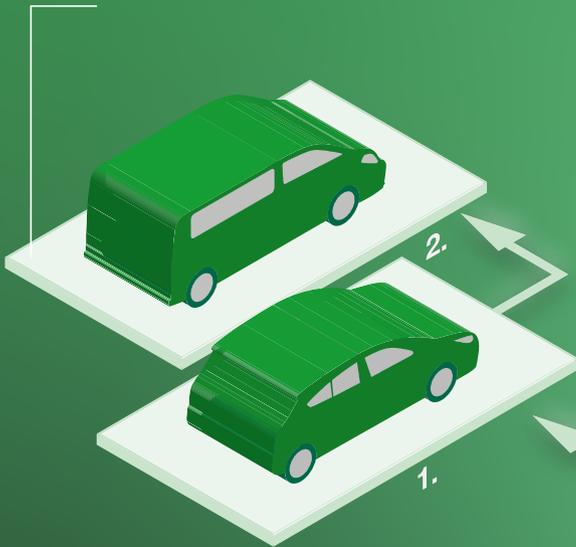
In sustainable cities, everything needs to be easily accessible. Ideally, people should be able to reach all public amenities by bicycle or on foot within 15 minutes. Plan4Better hopes to help make this happen. □

Link
www.plan4better.de

Ist es sinnvoller, einzelne Autos oder die ganze Flotte zu ersetzen?



In welcher Reihenfolge sollen die Fahrzeuge ersetzt werden?



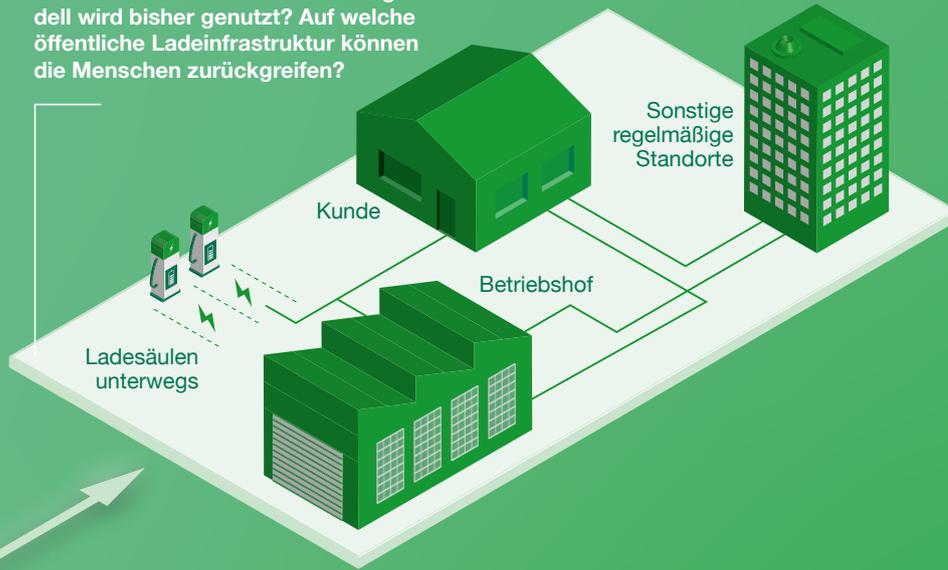
?



Welche Lademöglichkeiten hat oder braucht der Betriebshof?



Welche Strecken legen die Fahrzeuge zurück? Wie ist das Fahrverhalten der Menschen? Welches Fahrzeugmodell wird bisher genutzt? Auf welche öffentliche Ladeinfrastruktur können die Menschen zurückgreifen?



Wie viel Elektro- mobilität darf's denn sein?

Full Article (PDF, EN): www.tum.de/faszination-forschung-28

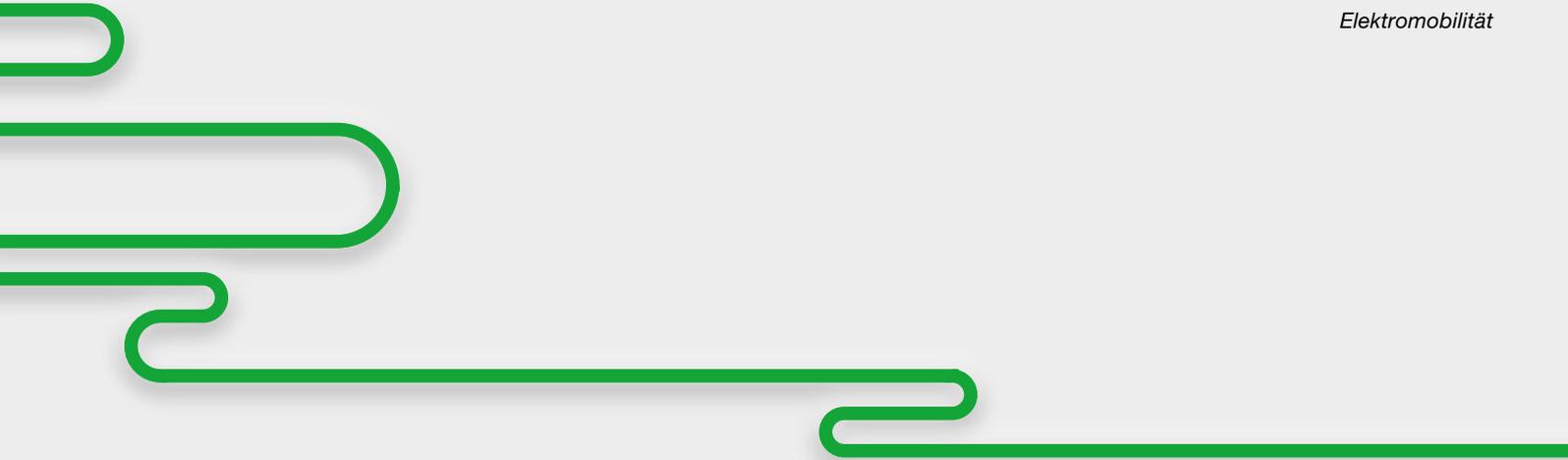
How Much Electromobility Do You Need? E

Would e-mobility be a sensible, lucrative choice for me or my company? What electric mobility solutions are currently available? WATE has the answers. The digital consultancy tool uses mobility behavior to analyze whether EVs would be suitable and which would be the best choice – and it is readily available for research projects. □

Ist Elektromobilität für mich bzw. für mein Unternehmen sinnvoll und lukrativ? Welche Elektromobilitätslösung bietet sich an? Antworten liefert WATE.

Nein Fahrzeuge hat ein Münchner Handwerksbetrieb im Einsatz – vom Kleintransporter bis zum schnellen Stadtfliitzer. Nun überlegt die Geschäftsführerin, die Fahrzeugflotte zu elektrifizieren – um Kosten zu sparen, Emissionen zu reduzieren und damit der Umwelt Gutes zu tun. Eine Entscheidung, die sorgsam überlegt sein will. Unterstützung bekommt sie von WATE, dem an der TUM entwickelten Webbasierten Analyse-Tool Elektromobilität.

In einem ersten Schritt erfasst WATE die Bewegungsdaten aller Fahrzeuge. Das kann über eine App oder über Datenlogger passieren. Die Handwerkschefin entscheidet sich für die Datenlogger, die eigens an der TUM entwickelt wurden und Daten noch präziser als die App erfassen. Ab dem ersten Tag kann die Chefin die virtuellen Fahrtenbücher und interaktive Analysen einsehen: Wie viele Kilometer legen meine Fahrzeuge zurück? Wo genau sind sie unterwegs? Wie lange und wie schnell fahren sie, wie lange stoppen sie? Nachdem WATE einige Wochen lang die Daten erfasst hat, dann die spannende Frage: Was wäre, wenn meine Fahrzeuge keine klassischen Verbrenner, sondern Elektrofahrzeuge wären? Mit WATE lässt sich das anhand von Simulationen ausprobieren. Dabei greift WATE auf eine große Datenbank zurück, die alle Eigenschaften von Elektrofahrzeugen enthält, die für den Energieverbrauch wesentlich sind. Die Chefin kann nun durchspielen: Was wäre, wenn wir die Stadtfliitzer oder die Kleintransporter durch elektrische Varianten ersetzen würden? Welche Modelle bieten sich an? Dabei wird beispielsweise auch das Wetter berücksichtigt, schließlich verliert die Batterie bei Kälte schneller Energie und hat daher im Winter eine geringere Reichweite. WATE analysiert aber nicht nur die Fahrzeuge, sondern auch die



„WATE eignet sich also hervorragend, um Was-wäre-wenn-Szenarien durchzuspielen.“

Lennart Adenaw

Ladeinfrastruktur. Könnten die E-Autos mit Strom aus eigenen oder öffentlichen Ladepunkten ausreichend geladen werden? Darüber hinaus kann WATE prognostizieren, welche Ladepunkt-Konfigurationen sich hinsichtlich Anzahl und Leistung anbieten und welche Synergien eine eigene Photovoltaik-Anlage eröffnen würde.

Was wäre, wenn wir mehr Elektromobilität wagen würden?

„WATE eignet sich also hervorragend, um Was-wäre-wenn-Szenarien durchzuspielen“, sagt Lennart Adenaw, Leiter des Smart Mobility Lab am Lehrstuhl für Fahrzeugtechnik. „Gerade bei der Ladeinfrastruktur ist in Zeiten steigender Batteriekapazitäten und Ladeleistungen viel Gestaltungsspielraum gegeben, der in ganz unterschiedliche Investitionspläne münden kann.“

Seit 2017 ist WATE – in unterschiedlichen Ausbaustufen – der Öffentlichkeit zugänglich. „Das Feedback ist sehr positiv“, freut sich Adenaw. „Viele sind erstaunt, was man aus den Daten alles herauslesen kann.“ Vor allem die Erkenntnisse zur Ladeinfrastruktur sind vielfältig. „Wir stellen beispielsweise fest, dass viele Menschen die benötigte Ladeleistung und damit die Anzahl der notwendigen Ladestationen überschätzen“, so Adenaw. Andererseits sind die Anschlüsse vor allem bei Mehrparteienhäusern oft unterdimensioniert, was zu Extrakosten bei der Überschreitung vereinbarter Spitzenlasten führen kann.



1

Daten sammeln



Smartphone



Datenlogger

GPS

Geschwindigkeit

Beschleunigung

Datenverarbeitung



Datenbank

WATE

2

Analyse



Fahrzeug 1

75 Fahrten
4,9 km Ø Strecke pro Fahrt
20,2 km/h Ø Geschwindigkeit



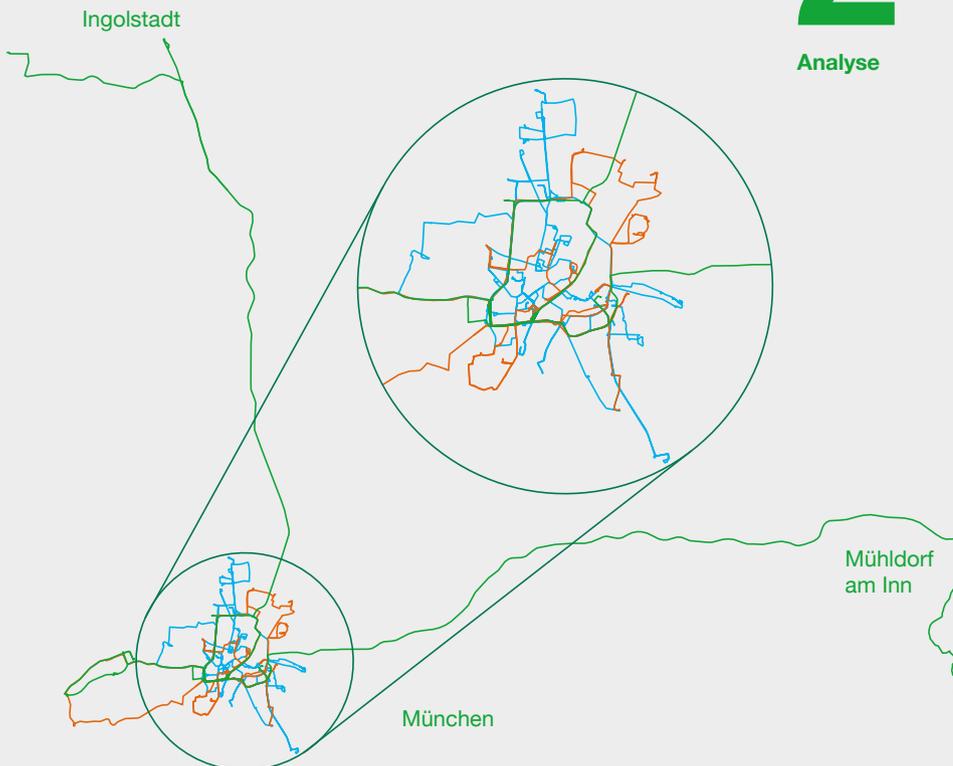
Fahrzeug 2

18 Fahrten
13,5 km Ø Strecke pro Fahrt
16,0 km/h Ø Geschwindigkeit



Fahrzeug 3

20 Fahrten
39,8 km Ø Strecke pro Fahrt
50,9 km/h Ø Geschwindigkeit



Für viele Forschungszwecke geeignet

Das Analysetool dient nicht nur der Öffentlichkeit, sondern vor allem auch der Forschung und steht Lehrstuhlmitarbeiterinnen und -mitarbeitern für ihre Projekte und Dissertationen zur Verfügung. Das Tool wurde an der TUM komplett selbst entwickelt, beteiligt waren viele Doktorandinnen und Doktoranden, studentische Hilfskräfte und Partner aus der Industrie und der öffentlichen Hand, etwa die Stadt München und die Handwerkskammer München. „Für die Entwicklung war und ist ein breites Wissen aus mehreren Fachbereichen notwendig – von der klassischen

Fahrzeugtechnik bis zur Analyse komplexer Datenmengen“, betont Adenaw. Sieben Millionen Kilometer hat WATE bereits erfasst – und wird bei vielen weiteren Projekten eingesetzt. So nutzen es beispielsweise die Elektromobilitätsberaterinnen und -berater der Handwerkskammer München. Die Datenlogger wiederum fahren bei Privatleuten, Handwerkerinnen und Logistikern und Erprobungsfahrzeugen in Afrika mit. Damit wachsen die Daten – und das Wissen über Elektromobilität weltweit.

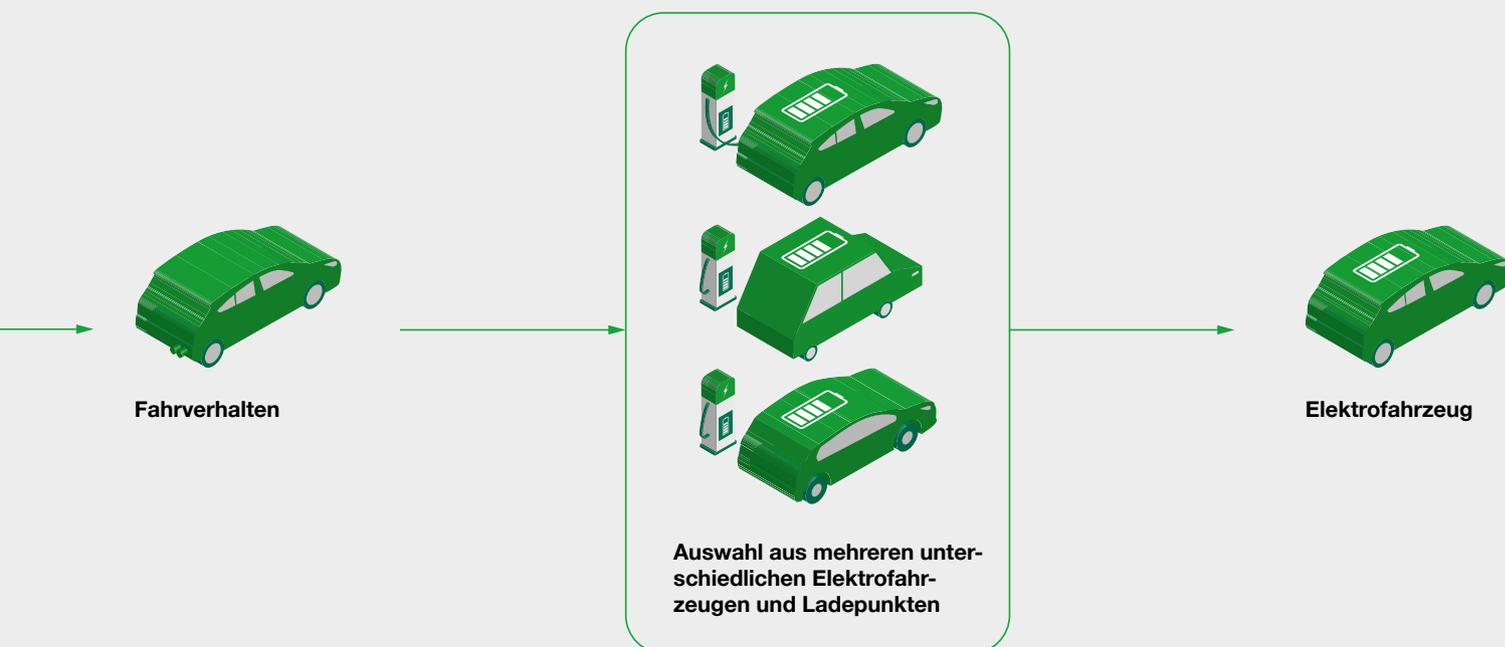
Gitta Rohling

Grafiken: edlundsepp (Quelle: TUM)



3

Simulation



Reisen mit Bedacht

Ob mit dem Flugzeug oder mit dem visionären Hochgeschwindigkeitszug Hyperloop: Können wir in Zukunft reisen, ohne die Umwelt zu belasten? Interview mit Agnes Jocher, Professorin für „Sustainable Future Mobility“ an der TUM.

Die Reise mit dem Flugzeug verursacht laut Daten des Umweltbundesamts innerhalb Deutschlands fünfmal mehr Treibhausgase als mit dem Zug. Kann ich heute überhaupt noch guten Gewissens fliegen?

Diese Frage kann natürlich jeder Mensch nur für sich selbst beantworten, bei der Entscheidung hilft aber folgende Frage: Kann ich Reisen vermeiden, reduzieren oder durch einen Beitrag für Klimaschutzprojekte kompensieren? Für solche Projekte gibt es verschiedene Anbieter, ich möchte das Qualitätssiegel „Gold Standard“ erwähnen.

Der wirksamste Weg, um beim Fliegen CO₂-Emissionen zu reduzieren, sind alternative Kraftstoffe. Woran genau forschen Sie hier?

Wir forschen an zwei Alternativen für Kraftstoffe. Die erste Alternative bezieht sich auf sogenannte Drop-in-Kraftstoffe. Sie heißen so, weil sie konventionellem Kerosin ähnlich sind und sich ohne große Veränderungen an den

Flugzeugturbinen einsetzen lassen. Sie vermindern den CO₂-Ausstoß über den Lebenszyklus hinweg, produzieren aber auch Rußpartikel, die wiederum die Temperatur der Erdatmosphäre beeinflussen. Wir verstehen bisher noch nicht genau, wie diese Rußpartikel entstehen und welche Auswirkungen sie haben. Durch numerische Simulationen und Experimente untersuchen wir daher die physikalischen und chemischen Prozesse der Rußbildung in Verbrennungsvorgängen. So wollen wir Art und Menge der Rußpartikel vorhersagen und Strategien für ihre Reduktion entwickeln.

Der zweite alternative Kraftstoff, den wir erforschen, ist Wasserstoff, bei dem weder CO₂ noch Rußpartikel ausgestoßen werden. Im Gegensatz zu Drop-in-Kraftstoffen müsste man für den Einsatz allerdings stark in die Flughafeninfrastruktur und in den Antrieb des Flugzeugs eingreifen. Wir befassen uns mit der Frage, wie sich die Brennkammer von Kerosin auf Wasserstoff umstellen lässt.



Full Article (PDF, EN): www.tum.de/faszination-forschung-28

Shrink Your Travel Footprint

E

Will future travel avoid burdening the environment? Prof. Agnes Jocher investigates alternative aviation fuels and the visionary high-speed Hyperloop system.

□

Link

www.asg.ed.tum.de/en/sfm

Prof. Agnes Jocher

studierte an der TUM und promovierte an der Fakultät für Maschinenwesen der RWTH Aachen und der Sorbonne Université in Paris. Anschließend arbeitete sie als Postdoc Fellow am Massachusetts Institute of Technology (MIT) in Boston. Danach war sie am Umweltbundesamt verantwortlich für den Bereich nachhaltige Flugkraftstoffe. Seit Juli 2020 ist sie Professorin für „Sustainable Future Mobility“ an der TUM.

„Im TUM Hyperloop Programm untersucht meine Subgruppe, welche technischen Designs sich überhaupt anbieten.“ Agnes Jocher



Zunächst wollen wir die thermoakustischen Auswirkungen wie Lärm und Vibrationen an einem modularen Teststand erforschen, den wir derzeit von Kerosin auf Wasserstoff umrüsten. Ein erster Demonstrator mit Wasserstoff-Brennkammer soll in einigen Jahren fliegen.

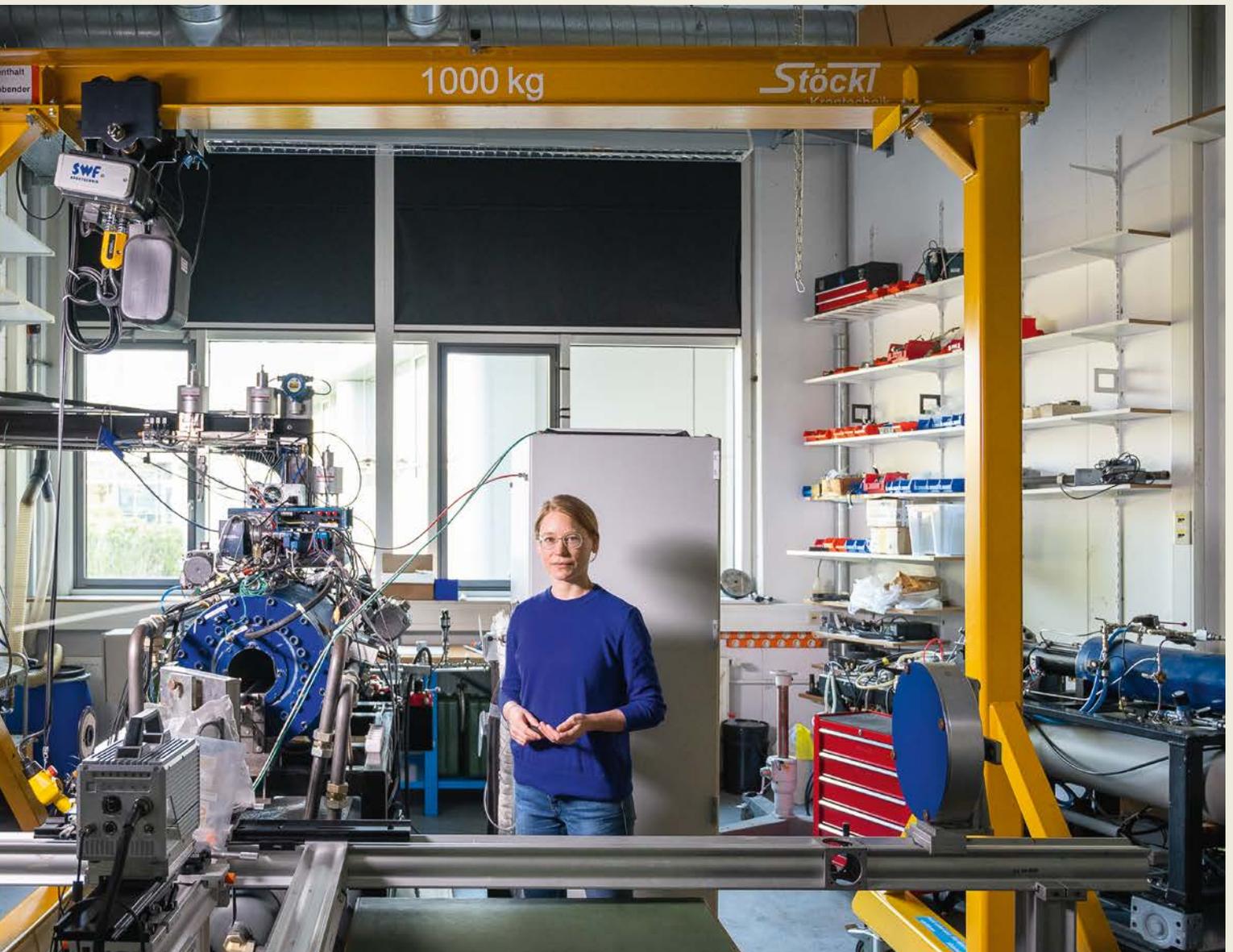
Eine Röhre, in der sich Transportkapseln mit bis zu 1.200 Kilometern pro Stunde fortbewegen: Das ist der Hyperloop, die Vision von Tesla-Gründer Elon Musk. Ihre Professur ist am fächerübergreifenden TUM Hyperloop Programm beteiligt: Was ist hier Ihre Aufgabe?

Das TUM Hyperloop Programm, bestehend aus acht Doktorandinnen und Doktoranden sowie über 60 Studierenden,

analysiert die technische und systemische Umsetzbarkeit des Hyperloops. Meine Subgruppe untersucht, welche technischen Designs sich überhaupt anbieten. Bei den möglichen äußerst komplexen Schweb- und Antriebssystemen ist das eine wichtige grundsätzliche Entscheidung.

Hand aufs Herz: Ist der Hyperloop realistisch umsetzbar?

Aus unserer Sicht ist er technisch umsetzbar. Die wirtschaftliche, ökologische und gesellschaftliche Umsetzbarkeit steht auf einem anderen Blatt und wird ebenfalls im TUM Hyperloop Programm untersucht.



Agnes Jocher und ihr Team erforschen alternative Kraftstoffe, die im Verkehr CO₂- und andere Emissionen reduzieren.

Der Hauptantrieb des Hyperloops soll elektrisch sein. Wie nachhaltig wäre der Hyperloop im Vergleich mit der Bahn?

Noch lassen sich keine validen Prognosen treffen, wir stehen erst am Anfang der Entwicklung. Zudem müssen in Nachhaltigkeitsberechnungen auch der Bau der Infrastruktur und die Lebensdauer des Hyperloops einfließen.

Können Sie eine Prognose wagen, wie wir in 50 Jahren reisen werden?

Lieber formuliere ich ein Ziel: Aus meiner Sicht sollte es zukünftig möglich sein, dass wir unseren kompletten Alltag zu Fuß organisieren können. Statt etwa täglich mit dem Hyperloop zur Arbeit in die nächste Stadt zu rasen,

sollte die Arbeit nur eine Viertelstunde Fußweg entfernt sein. Das ist gut für die Umwelt – und unser Wohlbefinden. Längere Strecken sollten Ausnahmen sein, dafür benötigen wir dann natürlich die Bahn, den Hyperloop oder auch das Flugzeug. Hier ist die Zusammenarbeit mit Stadtentwicklerinnen und Stadtentwicklern wichtig: Wo bauen wir Hyperloop-Terminals? Wie verbinden wir Metropolen? Diese Fragen wollen mit viel Bedacht beantwortet werden.

■ *Das Interview führte Gitta Rohling*

Seite 06

*Ins Bayerische übersetzt heißt Smart Mobility so viel wie **g'scheit mobil** – also sinnvoll mobil sein. Das trifft es auf den Punkt!*

Prof. Gebhard Wulforth

Seite 34

Das Verkehrsnetz der Zukunft ist digital. Ist Deutschland dabei?

Prof. Alois Knoll

Seite 06

Smart Mobility steht für eine vernünftige Nutzung von Mobilität. Sie ist umweltfreundlich und effizient und setzt auf zukunftsorientierte Technologien.

Prof. Miranda Schreurs

Seite 50

Als entscheidende Voraussetzung für Smart Mobility müssen autonome Fahrzeuge die Fähigkeit bekommen, die dynamischen Objekte in ihrer Umgebung zu verstehen.

Prof. Laura Leal-Taixé

Seite 68

Smart Mobility bezieht sich auf die Ermöglichung von klimaschonender, attraktiver Mobilität durch digitale Innovation.

Ulrike Jehle

Seite 06

Smart Mobility bedeutet erstens zu wissen, wie die Menschen sich bewegen, zweitens die Qualität von Luft, Raum und Zeit zu verbessern, drittens unnötige Fahrten zu verhindern und viertens für die verbleibenden Fahrten die Zahl der Personen pro Transportgefäß zu erhöhen.

Prof. Markus Lienkamp

Seite 60

Unser Ziel ist eine sichere, nachhaltige und komfortable Mobilität für alle Bürgerinnen und Bürger.

Prof. Klaus Bogenberger

Seite 26

Smart Mobility bedeutet nicht, das Rad neu zu erfinden, sondern die Bedürfnisse der Menschen in den Mittelpunkt zu stellen.

Anna Rivas

Seite 76

Smart Mobility informiert mich dank zuverlässiger Quellen, welches Transportmittel für meine Reise sinnvoll und nachhaltig ist – und macht damit meine Reisen und mich ‚smart‘.

Prof. Agnes Jocher

Seite 18

Unter Smart Mobility verstehe ich die optimale Abstimmung von Angebot und Nachfrage nach Transportmöglichkeiten.

Dr. Tobias Massier

Seite 70

Smart Mobility macht die Mobilitätslösungen der Zukunft durch eine zielorientierte, datenbasierte und zunächst lösungsoffene Systemgestaltung und -organisation ressourcenschonender, lebenswerter und bedarfsgerechter.

Lennart Adenaw

Seite 44

*Smart Mobility bietet über ein nutzerzentriertes Portal sichere und umweltschonende Mobilitätsdienstleistungen **über alle Verkehrsträger hinweg.***

Prof. Matthias Althoff



Autorinnen und Autoren

Claudia Doyle ist Wissenschaftsjournalistin und schreibt über Gesundheit, Infektionskrankheiten und Ökologie. Ihre Geschichten erscheinen in der Süddeutschen Zeitung, Spiegel und Spiegel+, in der Frankfurter Allgemeinen Sonntagszeitung und in vielen Zeitschriften und Radiosendern. Sie ist Absolventin der Deutschen Journalistenschule in München und besitzt einen Masterabschluss in Journalismus und einen Bachelor in Biochemie. www.writingaboutscience.de

Reinhard Kleindl studierte theoretische Physik in Graz. Er arbeitet als Wissenschaftsjournalist. Seine Romane wurden mit Preisen ausgezeichnet und erschienen bei Bastei Lübbe und Goldmann. Sein aktuelles Buch heißt „Die Gottesmaschine“. office@reinhardkleindl.at

Jan Oliver Löffken studierte Physik, Geophysik und Journalismus in Aachen und Hamburg. Er forschte am Helmholtz Forschungszentrum DESY an Nanopartikeln. Danach wurde er Wissenschaftsredakteur bei der Tageszeitung Die Welt. 2001 gründete er die Nachrichtenagentur „Wissenschaft aktuell“. Gleichzeitig publiziert er Geschichten zu Energie, Grundlagenphysik, Klimathemen und Materialforschung in vielen Zeitschriften und Magazinen. www.wissenschaft-aktuell.de

Dr. Klaus Manhart ist freier Autor für IT und Wissenschaft. Er studierte Logik und Wissenschaftsphilosophie sowie Sozialwissenschaften an der Universität München. Nach seiner Doktorarbeit arbeitete er als wissenschaftlicher Mitarbeiter an den Universitäten München und Leipzig auf den Gebieten Computersimulation, Spieltheorie und Künstliche Intelligenz. Seit 1999 ist er als freier Autor in München tätig. www.klaus-manhart.de

Dr. Monika Offenberger hat an der LMU München Biologie studiert. Sie promovierte über Brutssubstrate heimischer Drosophiliden an der LMU München. Seit 30 Jahren schreibt sie als freie Wissenschaftsjournalistin für Magazine, Buchverlage und Forschungseinrichtungen über Themen aus Umwelt, Naturschutz und Lebenswissenschaften. monika.offenberger@mnet-mail.de

Gitta Rohling, M.Sc., M.A., arbeitet unter der Marke Tech Talks als PR-Beraterin, Redakteurin und Texterin. Rund um Technologie, Wissenschaft und Innovation unterstützt sie Unternehmen und Organisationen bei ihrer gesamten Kommunikation. www.tech-talks.de

Dr. Brigitte Röthlein ist seit vielen Jahren als wissenschaftliche Autorin für Zeitschriften, Fernseh- und Radiosender sowie für Zeitungen tätig. Sie hat ein Diplom in Physik und einen Dokortitel in Sozialwissenschaften. Ihr Hauptinteresse liegt in der Grundlagenforschung. www.roethlein-muenchen.de

Tim Schröder ist Wissenschaftsjournalist. Nach seiner Zeit als Redakteur für die Tageszeitung Berliner Zeitung wurde er freier Autor in Oldenburg. Er schreibt regelmäßig Beiträge für die Frankfurter Allgemeine Sonntagszeitung, die Neue Züricher Zeitung und die Zeitschrift Mare. Er ist spezialisiert auf Grundlagen- und Angewandte Forschung und auf die Themen Energie und Umwelt. www.schroeder-tim.de



©2022 für alle Beiträge Technische Universität München, Corporate Communications Center, 80290 München. Alle Rechte vorbehalten. Nachdruck, Aufnahme in Onlinedienste und Internet, Vervielfältigung auf Datenträgern nur mit ausdrücklicher Nennung der Quelle: „Faszination Forschung. Das Wissenschaftsmagazin der Technischen Universität München“.

Impressum

Faszination Forschung

Das Wissenschaftsmagazin der Technischen Universität München, gefördert durch die Exzellenzinitiative des Bundes und der Länder

Herausgeber

Prof. Thomas F. Hofmann,
Präsident der Technischen Universität München

Redakteurinnen

Dr. Jeanne Rubner (verantwortlich), Dr. Christine Rüth, Tina Heun-Rattei

Bildredakteurin

Andrea Klee

Übersetzung und Lektorat

Baker & Company, München

Gestaltung und Layout

ediundsepp Gestaltungsgesellschaft, München

Autorinnen und Autoren in dieser Ausgabe

Claudia Doyle, Reinhard Kleindl, Jan Oliver Löffken, Dr. Klaus Manhart, Dr. Monika Offenberger, Gitta Rohling, Dr. Brigitte Röthlein, Dr. Christine Rüth, Tim Schröder

Fotografen

Juli Eberle, Astrid Eckert, Magdalena Jooss, Stefan Woidig

Redaktionsanschrift

Technische Universität München
Corporate Communications Center
80290 München

Webseite

www.tum.de/faszination-forschung

E-Mail

faszination-forschung@zv.tum.de

Druck

Druckerei Joh. Walch GmbH & Co. KG, Augsburg

Auflage

70.000

ISSN: 1865-3022

Erscheinungsweise

Zweimal jährlich

Erscheinungsdatum dieser Ausgabe

September 2022

Titelfoto

turbosquid, ediundsepp (Quelle: TUM)

Sprachgebrauch

Nach Artikel 3 Abs. 2 des Grundgesetzes sind Frauen und Männer gleichberechtigt. Alle Personen- und Funktionsbezeichnungen im Magazin beziehen sich in gleicher Weise auf Frauen und Männer.

Fotos

Einige der in dieser Ausgabe abgedruckten Fotos wurden während der Covid-19-Pandemie aufgenommen. Bei allen Fotoshootings wurden die damals geltenden Schutz- und Hygieneregeln eingehalten.

Gefördert durch



Bayerisches Staatsministerium für Wissenschaft und Kunst

GEFÖRDERT VOM



Bundesministerium für Bildung und Forschung



Die TUM Innovation Networks werden gefördert vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) und dem Freistaat Bayern im Rahmen der Exzellenzstrategie von Bund und Ländern.



**Talente fördern.
Zukunft gestalten.**



Neue Standards setzen.

Und bereits heute das
Morgen gestalten.



Seeing beyond

A man with dark hair and glasses, wearing a white lab coat and white gloves, is holding a circular optical component. He is smiling and looking at the component. The background is a bright, out-of-focus laboratory setting. There are four blue L-shaped corner brackets around the man's head.

Über 400
offene
Stellen

Forschung und Entwicklung in der Halbleiterfertigungstechnik

Martins wissenschaftliche Leidenschaft gilt den Oberflächen – eine Präzisionsforschung im Nanometerbereich. Schon in seiner Hochschulzeit trug er zu 25 Veröffentlichungen in internationalen Fachzeitschriften bei. Aber seine Forschung nur auf dem Papier zu sehen, reichte ihm nicht. „Es ist fantastisch mitzuerleben, wie meine wissenschaftliche Arbeit heute die Herstellung von bahnbrechenden Produkten bestimmen kann.“ Als promovierter Physiker arbeitet Martin jetzt in der Halbleiterfertigungssparte von ZEISS. Der Oberflächen-Spezialist entwickelt Politurprozesse für aktuelle und zukünftige Lithographie-Optiken. An einem Ort, wo wissenschaftliche Ideen die Technologien von morgen ermöglichen.

Erfahre mehr über Jobs in der Halbleiterfertigungstechnik bei ZEISS: zeiss.de/arbeitenbeizeiss