



Universität Stuttgart

forschung leben

Oktober
2022

Konnektivität



Software defined

Vernetzung von Produktion
und Mobilität

Kleinsatelliten

Shooting-Stars der
Raumfahrt

Mensch und Roboter

Neue Zusammenarbeit
auf Baustellen

Prof. Wolfram Ressel

„Konnektivität, das Prinzip der Vernetzung auf Basis digitaler Infrastrukturen, ist zum Megatrend geworden – oder vielleicht schon das neue Normal.“

Liebe Leserinnen und Leser,

die Digitalisierung durchzieht inzwischen sämtliche Bereiche von Wissenschaft, Wirtschaft und Gesellschaft, sie verbindet Menschen und Technologien, revolutioniert unser Leben, unsere Kommunikation und unser Arbeiten. Sie verändert soziokulturelle Werte und bringt neue Lebensstile, Verhaltensmuster und Geschäftsmodelle hervor – keiner von uns kommt daran vorbei. Konnektivität, das Prinzip der Vernetzung auf Basis digitaler Infrastrukturen, ist zum Megatrend geworden – oder vielleicht schon das neue Normal.

Auch für die Vision der Universität Stuttgart, „Intelligente Systeme für eine zukunftsfähige Gesellschaft“, ist Konnektivität ein zentrales Kriterium. Das Prinzip der vernetzten Disziplinen, der Zusammenarbeit komplementärer Fachrichtungen durch die Integration der Ingenieur-, Natur-, Geistes- und Gesellschaftswissenschaften, ist als „Stuttgarter Weg“ im Leitbild verankert. Viele gute Gründe also, um „Konnektivität“ in den Mittelpunkt dieser Ausgabe unseres Magazins »forschung leben« zu stellen. Lassen Sie sich mitnehmen in cyber-physische Welten, in denen Produktion und Mobilität „software-defined“ vernetzt und flexibilisiert werden und zu Ideen für völlig neue Produkte mit neuartigen Funktionen. Erfahren Sie, wie unsere Visionärin Prof. Sabine Klinkner Kleinsatelliten vorantreibt, ohne die Klimaforschung, vernetzte Mobilität oder moderne Kommunikation nicht mehr möglich sind. Und lesen Sie im Interview mit dem Leiter der Bosch Forschung, Dr. Thomas Kropf, wie Künstliche Intelligenz die Industrie verändert und warum Unternehmen und Hochschulen von einer verstärkten Zusammenarbeit profitieren.

Eine spannende Lektüre wünscht

Ihr

Wolfram Ressel



Foto: Matthias Schmiedel

Prof. Wolfram Ressel
Rektor der Universität Stuttgart

EDITORIAL s. 3**NOTIZBLOCK** s. 6, S. 68**VISIONÄRIN**

Immer am Limit Prof. Sabine Klinkner treibt die Entwicklung von Kleinsatelliten voran. **S. 14**

NEULAND

Mehr Energie, weniger Gewicht Zwei Institute arbeiten an Perowskit-Solarzellen für den Weltraumeinsatz. **S. 18**

SCHNITTSTELLE

Wenn Menschen und Roboter zusammenarbeiten Ein interdisziplinäres Team untersucht, wie das neue Miteinander auf automatisierten Baustellen funktioniert. **S. 20**

STANDPUNKT

„Vertrauen entsteht durch Verlässlichkeit“ Interview mit Prof. Thomas Kropf, Leiter der Bosch Forschung **S. 24**

FORSCHUNG ERLEBEN

Wenn die Software regiert Zwei Großprojekte befassen sich mit der Vernetzung von Produktion und Fahrzeugen. **S. 28**

Vorausschauender Service Ein datenbasierter Produktservice unterstützt kleine und mittlere Unternehmen. **S. 36**

Schneller ohne Regeln Künstliche Intelligenz soll die Abläufe in Lagerhallen beschleunigen. **S. 38**

Positionsbestimmung in Fabrikhallen Ein neues Verfahren ermittelt in Gebäuden genaue Positionen ohne GPS. **S. 40**

KI für alle Die neue Akademie AISA will die Schlüsselkompetenz Künstliche Intelligenz fächerübergreifend stärken. **S. 42**

Auf dem Weg zur smarten IT Neue Konzepte sollen die Zusammenarbeit von IT-Systemen verbessern. **S. 46**

Mit KI Software-Fehlern auf der Spur Neuronale Netze helfen, auch seltene Fehler in Programmen zu finden. **S. 48**

Höchstleistung mit weniger Energie Mehrere Projekte wollen dazu beitragen, die Energieeffizienz von Rechenzentren zu verbessern. **S. 50**

ZAHLENWERK

Konnektivität in Zahlen Die Vernetzung in der digitalen Welt verändert die Gesellschaft und wirft nicht nur technologische Fragen auf. **S. 54**

FORSCHUNG ERLEBEN

Gamechanger in der Energiekrise? Die Universität Stuttgart beteiligt sich am Wasserstoff-Leitprojekt H₂Mare. **S. 56**

Nur flexibel stabil Ein Kopernikus-Projekt widmet sich der zentralen Frage, wie die Industrie die Stromnachfrage an das Stromangebot anpassen kann. **S. 60**

Plug & Fly Forschende wollen Fluggeräten die Selbstkonfiguration beibringen. **S.64**

Brücke aus Hightech und Flachs Eine alte Kulturpflanze und moderne Digitaltechnik finden beim Brückenbau zusammen. **S. 66**

Neue Perspektiven Die CoLEDWall soll mithilfe visueller Darstellungstechnologie die Arbeit erleichtern. **S. 70**

Wohnen neben der Fabrik Das Städtebau-Institut erforscht, wie Gewerbegebiete aufgewertet werden können. **S. 72**

TRANSFER

Eine gemeinsame Sprache für vernetzte Geräte Das Start-up ThingOS bringt Geräte und Systeme ins Gespräch. **S. 74**

NETZWERK

„Wir bekommen europäische Sichtbarkeit“ Die Universität Stuttgart gehört dem europäischen Netzwerk ELLIS an. **S. 76**

SATELLIT

Begeistert von der Stuttgarter S-Bahn Die Bauingenieurin Cansu Köse entdeckte im Studium ihre Faszination für Sicherheitstechnik. **S. 80**

WELTSICHT

Gemeinsame Leidenschaft für intelligente Gebäude Ilche Georgievski und sein Doktorvater Marco Aiello wollen Gebäude smart und nachhaltig machen. **S. 82**

IMPRESSUM s. 85

s. 20

**SCHNITTSTELLE**

Wenn Menschen und Roboter zusammenarbeiten

Fotos: IntCDC/Christoph Zechmeister, Sven Cichowicz
Titel: 2021 Frame Stock Footage/Shutterstock



English version to be published probably in October 2022 (pdf file)
<https://www.uni-stuttgart.de/en/research/forschung-leben/>

**VISIONÄRIN**

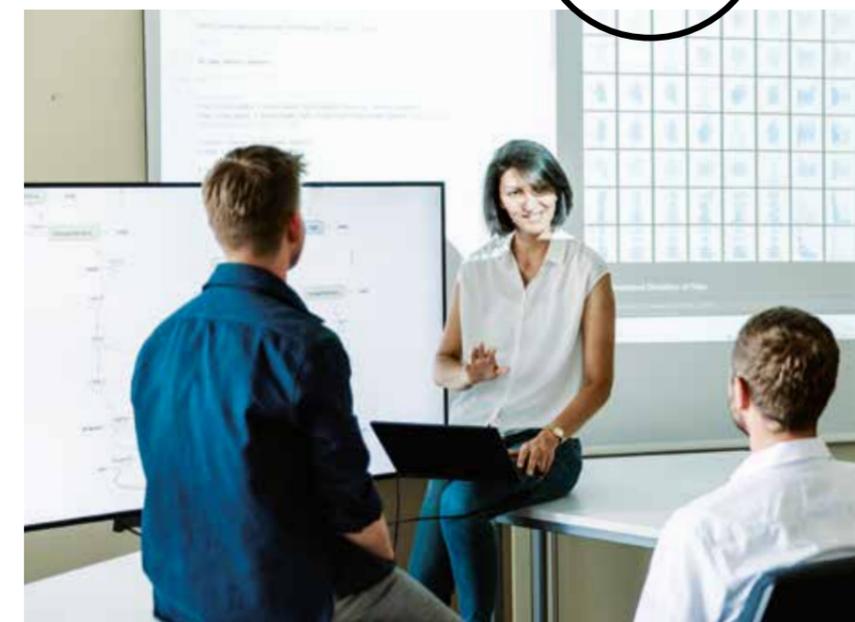
Immer am Limit

s. 14

FORSCHUNG ERLEBEN

Wenn die Software regiert

s. 28



NOTIZ

B L O
C K

AUSZEICHNUNGEN

DREI NEUE ERC GRANTS

Gleich drei Wissenschaftler der Universität Stuttgart wurden seit dem Frühjahr mit je einem der renommierten ERC Grants des Europäischen Forschungsrats (ERC) ausgezeichnet.



PROF. OLIVER RÖHRLE, Direktor am Institut für Modellierung und Simulation Biomechanischer Systeme sowie Forschungsleiter im Exzellenzcluster Daten-integrierte Simulationswissenschaft (Sim-Tech), erhielt ebenfalls einen ERC Advanced Grant. In seinem Projekt „qMOTION“ möchte er mit Hilfe der Quantentechnologien die neuromuskuläre Ansteuerung während einer Bewegung entschlüsseln. Der Fokus ist auf den Aufbau eines sogenannten High Density-magnetomyographischen (HDMMG) Messsystems gerichtet, also auf ein Messsystem, das aus einer gitterähnlichen Anordnung von bis zu 100 Sensoren besteht und für die Entschlüsselung der neuromuskulären Aktivität während der Bewegung besonders vielversprechend erscheint. Das Projekt soll in der Medizin völlig neue Chancen in Diagnose und Behandlung eröffnen sowie neue Methoden für Training und Rehabilitation ermöglichen. Röhrle darf bereits den zweiten ERC Grant sowie einen ERC Proof-of-Concept Grant für sich verbuchen.



PROF. ANDRÉ BÄCHTIGER, der als erster Sozialwissenschaftler an der Universität Stuttgart einen ERC Advanced Grant einwerben konnte, fragt mit seinem Projekt „DDME-Designing Democracy on ‚Mars‘ and ‚Earth‘“ nach der Zukunft der Demokratie, ihrer Werte und ihrer institutionellen Architekturen. Dabei setzt er auf ein experimentelles, ko-kreatives und dialogisches Design: Repräsentativ ausgewählte Bürger*innen aus Deutschland, den USA und Indien diskutieren in einer Mars- und einer Erde-Gruppe online mit Demokratie-Expert*innen über demokratische Werte sowie die Ausgestaltung demokratischer Institutionen. Der Clou dabei: Die „Mars“-Gruppe wird die Aufgabe haben, Demokratie auf dem Roten Planeten zu designen; die „Erde“-Gruppe dagegen wird das Gleiche im Kontext des eigenen Landes tun.



DR. TIAN QIU vom Institut für Physikalische Chemie und Forschungsgruppenleiter in der Cyber-Valley-Initiative erhielt einen ERC Starting Grant. Sein Projekt mit dem Akronym VIBEBOT zielt auf die Entwicklung von Mikrorobotern ab, die sich durch biologisches Gewebe bewegen können, um minimalinvasive medizinische Anwendungen zu ermöglichen.

Fotos: Privat, Visuell, Sven Cichowicz

HERAUSRAGENDE DISSERTATIONEN



Mathematisches Denken + Sinn für Praxis = neue Anwendungsfelder. Das ist die „Formel“ von **Dr. Renate Sachse**, die ihre Dissertation mit dem Titel „Variational Motion Design for Adaptive Structures“ am Institut für Baustatik und Baudynamik abgeschlossen hat (Betreuer Prof. Manfred Bischof). Für die herausragende Arbeit erhielt sie den mit 10.000 Euro dotierten Bertha-Benz-Preis der Daimler und Benz Stiftung. Mit den Ergebnissen ihrer Dissertation lassen sich auf einfache Weise Bewegungen wandelbarer Strukturen berechnen, die in der Industrie für mehr Energieeffizienz und Nachhaltigkeit sorgen.

Die europaweit beste Dissertation auf dem Gebiet der System- und Regelungstechnik verfasste **Dr. Johannes Köhler**. Er wurde dafür mit dem European Systems & Control PhD Thesis Award 2021 ausgezeichnet. Köhler verfasste seine Arbeit mit dem Titel „Analysis and design of MPC frameworks for dynamic operation of nonlinear constrained systems“ am Institut für Systemtheorie und Regelungstechnik (IST) unter der Betreuung von Prof. Frank Allgöwer.

PRIMA-PREIS FÜR PRIMA ABSOLVENTINNEN

Der mit 1.000 Euro dotierte Prima-Preis der Universität Stuttgart würdigt herausragende Abschlussarbeiten von Absolventinnen der Universität. Ins Leben gerufen wurde er anlässlich des 100-jährigen Jubiläums des ersten Diplomabschlusses einer Frau – der Chemikerin Nora Kräutle – an der Technischen Hochschule Stuttgart. In diesem Jahr erhielten zwei Wissenschaftlerinnen aus der Fakultät 8 den Preis: **Annika Belz**, deren Masterarbeit in Physik als hervorragende, eigenständige Arbeit eines Ausnahmetalents bezeichnet wurde, und **Jessica Renz**, deren Masterarbeit in Mathematik besonders aufgrund der interdisziplinären Zusammenarbeit mit der Biologie und des umfangreichen Themenspektrums gelobt wurde. Die Preisverleihung fand im Rahmen des diesjährigen Tags der Forschung an der Universität Stuttgart statt.



Fotos: Daimler und Benz Stiftung/Senger, Lisa Jöchler

STARKE SAISON FÜR DIE FORMULA- STUDENT-TEAMS



Ein Doppelsieg am Red Bull Ring in Österreich markierte Anfang August den Höhepunkt einer außerordentlichen Rennsaison für die Formula-Student-Teams der Universität Stuttgart: Während das Rennteam die Gesamtwertung in der Verbrennerklasse gewann, stand das GreenTeam in der Elektrikklasse ganz oben auf dem Treppchen. Beide Teams mussten sich in ihren jeweiligen Klassen in acht Disziplinen behaupten. In den drei statischen Disziplinen (Business Plan Presentation, Engineering Design Event und Cost & Manufacturing Event) wird das Wissen der Studierenden geprüft. Es geht um Finanzplanung, Kostenrechnungen, Businessplanung und allgemeine sowie spezifisch auf die eigens gebauten Rennwagen bezogene Ingenieurskenntnisse. In den fünf dynamischen Disziplinen (SkidPad, Acceleration, Autocross, Endurance und Efficiency) werden die Boliden unter anderem im Hinblick auf ihr Handling, ihre Beschleunigung, die Fahrdynamik sowie Effizienz getestet.

Die Siege in Österreich waren nur eine Station in einer ganzen Erfolgskette. So konnte sich das Rennteam bereits im Juli bei der Formula Student in den Niederlanden einen ersten Platz sichern und schaffte es bei der Formula Student East auf dem Hungaroring in Ungarn auf Platz drei. Das GreenTeam wiederum gewann das „Heimspiel“ auf dem Hockenheimring und landete in den Niederlanden auf Platz drei.



STARKE RANKING-ERGEBNISSE

Im aktuellen **Global Ranking of Academic Subjects (GRAS)** des Shanghai-Rankings schnitt die Universität Stuttgart insbesondere in den Ingenieurwissenschaften sehr gut ab und zählt in diesem Bereich mit insgesamt vier Fächern zu den besten 150 Universitäten der Welt. Zwei Fächer platzierten sich auf den Rängen 51-75 und zählen somit sogar zu den Top 75 weltweit: Mechanical Engineering (Maschinenbau) und Civil Engineering (Bauingenieurwesen). Zu den Top 150 (Rang 101-150) gehören außerdem die Fächer Automation & Control (Automatisierung und Steuerung) sowie Water Resources (Wasserwirtschaft). Im nationalen Vergleich erreicht die Universität Stuttgart im Civil Engineering Platz 1.

Beim **QS World University Ranking 2023** zählt die Universität Stuttgart erstmals zu den besten 25 Prozent weltweit. (Rang 355 von 1.422 gelisteten Universitäten). Zuzuschreiben ist das gute Abschneiden unter anderem der Bewertung in den Bereichen „Zitationen pro Forschende“ und „Internationale Studierende“.

Das **U-Multirank 2022** gab der Universität Stuttgart gute Noten für Forschungsstärke und Technologietransfer: Mit insgesamt 12 Spitzenbewertungen (Gruppe A) gehört sie zu den „Top Performing Universities in Germany“, und auch Einzelfächer wie Physik, Verfahrenstechnik sowie Informatik schnitten sehr gut ab.

Fotos: Maximilian Partenfelder

NEUE EHRENSENATOREN

Eberhard Hinderer, Martin Litschel und Dr. Helmut Schelling, Gründer der Vector Informatik GmbH sowie Stifter und Stiftungsräte der Vector Stiftung, wurde die Ehrensenatorwürde der Universität Stuttgart verliehen. Bei der feierlichen Verleihung hob Rektor Prof. Wolfram Ressel ihre ideelle und materielle Förderung der Universität Stuttgart, ihr jahrelanges persönliches Engagement und ihre vorbildlichen Leistungen hervor: „Eberhard Hinderer, Martin Litschel und Dr. Helmut Schelling sind Alumni der Universität Stuttgart und ihrer Alma Mater stets eng verbunden geblieben. Als Gründer und Geschäftsführer des innovativen Unternehmens Vector Informatik GmbH und nun als Stifter und Stiftungsräte der Vector Stiftung haben sie jahrelang Vorbildliches geleistet. (...) Mit ihrer Ernennung zu Ehrensenatoren ehrt die Universität Stuttgart die Leistungen dieser drei engagierten Männer und zeigt ihren Dank für ihre herausragende Identifikation mit unserer Hochschule.“



2:8

Von acht neuen Schwerpunktprogrammen (SPP), die der Senat der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG) in diesem Jahr bewilligte, werden gleich zwei an der Universität Stuttgart eingerichtet: Prof. Mathias Liewald (Institut für Umformtechnik) möchte mit Partnern die etablierte Finite-Elemente-Methode zur Auslegung von Umformwerkzeugen und -prozessen um eine datengetriebene Modellierung erweitern. Prof. Christian Rohde (Institut für Angewandte Analysis und numerische Simulation) wird in dem von ihm koordinierten Verbund Hypothesen im Bereich der Strömungsmechanik mathematisch untermauern und eine neue Generation numerischer Simulationswerkzeuge entwickeln.

Foto: Alwin Maigler



Wir freuen uns auf engagierte Bewerber:innen: **Architekt:innen**, **Wirtschafts- und Bauingenieur:innen** und **Betriebswirt:innen** als Student:innen, Absolvent:innen und Projektleiter:innen.

wörner traxler richter ist mit 160 Kolleg:innen in Frankfurt, Dresden, München und Basel als eines der führenden Architekturbüros tätig. Seit fünf Jahrzehnten prägen gesellschaftlich relevante Projekte vorwiegend im Bereich Gesundheits- und Forschungsbau aber auch im Schul-, Wohn- und Kulturbau unseren abwechslungsreichen Alltag.

Wir bieten vielfältige Entwicklungsmöglichkeiten, eine kollegiale Atmosphäre in einem professionellen Arbeitsumfeld und langfristige Perspektiven.

Im Bereich der BIM-Planung gehören wir zu den Pionier:innen: Bei uns kannst Du in allen Planungsphasen die Zukunft der BIM-Planungsprozesse mitgestalten, oder Dich im Bereich Ausschreibung, Vergabe und Kostenermittlung einbringen.

Bewirb Dich direkt an unseren Standorten!

Frankfurt ffm@wtr-architekten.de **Dresden** dd@wtr-architekten.de
München mi@wtr-architekten.de **Basel** bs@wtr-architekten.ch





Hier finden Sie ein Video zur Forschung an porösen Medien.

BLICK IN PORÖSE MEDIEN

Seit Sommer 2022 hat das Porous Media Lab (PML) an der Universität Stuttgart einen gebündelten Standort auf dem Campus Vaihingen gefunden. Dort können röntgentomographische und mikrofluidische Untersuchungen durchgeführt werden, um die unsichtbaren Strömungs- und Transportprozesse sowie das Deformationsverhalten in porösen Medien sichtbar zu machen und zu verstehen, zum Beispiel Prozesse im Inneren eines Betonbrockens oder das Verhalten von Öl-Wasser-Gemischen im Untergrund. Ein Kernstück des PML ist ein selbstentwickelter Röntgentomograph, das XRCT Lab. Es erzeugt 3-D-Abbildungen aus nicht transparenten Materialien und ermöglicht Forschenden hochauflösende Einblicke in Phänomene auf der Porenskala. Das zweite Kernstück des PML ist das Microfluidic Lab, in dem synthetische poröse Materialien erzeugt werden können.

Das PML ist eine zentrale experimentelle Plattform für das Exzellenzcluster „Daten-integrierte Simulationswissenschaft“ (EXC 2075, SimTech) sowie für den Sonderforschungsbereich „Grenzflächen-getriebene Mehrfeldprozesse in porösen Medien. Strömung, Transport und Deformation“ (SFB 1313) an der Universität Stuttgart. Als „Shared Lab“ steht es auch nationalen und internationalen Gastwissenschaftler*innen zur Verfügung.

NEUBAU FÜR DIE BIOTECHNIK



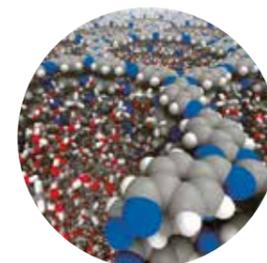
Der Planungswettbewerb für den Ersatzneubau Biotechnik auf dem Campus Vaihingen der Universität Stuttgart ist entschieden. Der 1. Preis ging an den Entwurf der kleyer.koblitz.letzel.freivogel Gesellschaft von Architekten mbH, Berlin. Durch das Gebäude bietet sich die Chance, alle Institute der Biotechnik, die aktuell über die beiden Campus-Bereiche Vaihingen und Stadtmitte verteilt sind, räumlich zusammenzuführen. Gleichzeitig ist es ein wichtiges Etappenziel auf dem Weg zur Sanierung des Naturwissenschaftlichen Zentrums (NWZ) der Universität Stuttgart. Diese ist nach fast 50-jähriger Nutzung der beiden Gebäude dringend erforderlich, kann im laufenden Betrieb jedoch nicht durchgeführt werden. In einem ersten Schritt soll daher der Großteil der Nutzer des NWZ II in Ersatzneubauten untergebracht werden, um das Gebäude generalsanieren und neu belegen zu können.

Fotos: Uli Regenscheit, BÄUMLÉ Architekten/Stadtplaner

10 JAHRE SUPER-MÄRCHEN

Internationalisierung fördern, Forschung erlebbar machen: Dies ermöglicht das Kurzzeit-Forschungsprogramm SUPER der Universität Stuttgart seit 2012. Was damals mit drei Studierenden vom Massachusetts Institute of Technology (MIT) und der University of Toronto begann, wuchs im Laufe der Jahre zu einem Programm mit bis zu 20 Teilnehmenden heran. Inzwischen nehmen auch die University of Arizona, die Purdue University und die University of British Columbia teil. Im Gegenzug erhält die Universität Stuttgart Austauschplätze für ihre Studierenden an ausgewählten Partneruniversitäten.

Diesen Sommer lockte das Programm neun nordamerikanische Studierende nach Stuttgart, darunter die Biomedizintechnik-Studentin Hasina Shir aus Arizona. Sie unterstützte eine Doktorandin am Institut für Technische Optik (ITO) bei der Erforschung eines Infektions-Frühwarnsystems, das darauf basiert, Bakterien und Viren mit optischen Methoden zu detektieren.



KATALYSE-SONDERFORSCHUNGSBEREICH GEHT IN DIE ZWEITE RUNDE

Die Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG) hat für den Sonderforschungsbereich „Molekulare heterogene Katalyse in definierten dirigierenden Geometrien“ (SFB 1333) an der Universität Stuttgart eine zweite Förderperiode und damit Gelder in Höhe von knapp 12 Millionen Euro bewilligt. Der SFB vernetzt 19 Forschungsgruppen der Universität Stuttgart mit Partner*innen am Max Planck Institut für Festkörperforschung sowie an den Universitäten Paderborn, Marburg und Bochum. Sie erforschen hybride Katalysatorsysteme, die effizientere chemisch-katalytische Produktionsprozesse ermöglichen oder sogar ganz neue Reaktionswege eröffnen. Sprecher des SFBs ist Prof. Michael Buchmeiser vom Institut für Polymerchemie der Universität Stuttgart.

Fotos: Lydia Lehman, Universität Stuttgart/SFB1333

RAUM FÜR CLEVERE KÖPFE

EPflex ist einer der bedeutendsten Hersteller weltweit von Komponenten für die minimalinvasive Medizin. Mit rund 430 Mitarbeitern entwickeln und produzieren wir Führungsdrähte, Steinfanginstrumente und medizinisches Zubehör der höchsten Qualitätsklasse.

Dafür suchen wir Dich (m/w/d) **ABSOLVENTEN** (techn./naturw. Studium) mit Entwicklergeist & Tüftlergen

Bei uns kannst Du Deine kreativen Ideen einbringen und Dir eine langfristige Perspektive in einem modernen und stetig wachsenden Familienunternehmen aufbauen.

epflex.com/karriere

FEUER-LÖSCHFLUGZEUG „INFERNO“ GEWINNT DLR DESIGN CHALLENGE



Ob Spanien, Frankreich oder Elbsandsteingebirge: Im Hitzesommer 2022 standen riesige Waldflächen in Flammen. Vielfach werden die Feuer aus der Luft mit Löschflugzeugen oder Hubschraubern bekämpft. Ein Team des Studiengangs Luft- und Raumfahrttechnik der Universität Stuttgart hat jetzt ein Konzept für ein hybrides Löschflugzeug vorgestellt, das die Geschwindigkeit und Effizienz eines Flugzeugs und die Flexibilität eines Hubschraubers zusammenbringt – und gewann mit seinem Entwurf „Inferno“ die diesjährige DLR Design Challenge des Deutschen Zentrums für Luft- und Raumfahrt. Das Konzept kombiniert zwei Flugzeugpropeller für den Vorwärtsflug mit acht Propellern für den Senkrechflug. Dadurch kann das Flugzeug auch an kleinen Wasserstellen betankt werden und das Löschwasser sehr gezielt über einem Brandherd ablassen.

Foto: Universität Stuttgart, IFB, Team Inferno

Anzeige



HARDWARE-DEFINED VEHICLE? NICHTBEIUNS.DE

Elektromobilität, Mobility as a Service, Vernetzung oder Autonomes Fahren – zukünftig avancieren Fahrzeuge als Mobilitätsplattform, für die immer komplexere Software benötigt wird. Wir wissen genau, wie Software für Automobile entwickelt wird und nutzen dieses Know-how zur hocheffizienten Testautomatisierung. Testfall um Testfall prüfen wir jede noch so kleine Änderung im Softwarecode und das in jeder denkbaren physischen und virtuellen Testumgebung.

Wir haben Ideen, wir haben zu tun, wir haben Spaß – und wir suchen Dich!



NEWS



NEUER JOB?



FRAGEN AN

MATTHIAS SCHNEIDER

Leiter des SmartLab, Gruppenleiter Holz- und Verbundwerkstoffbearbeitung

Was macht das Holzlabor zum SmartLab?

Bei uns im Labor denken die Maschinen mit und weisen uns auf Fehler hin. Die Technik unterstützt uns beim Bedienen der Maschinen. Dadurch können wir effektiver und kostengünstiger arbeiten. Das Besondere daran ist, dass wir die neuen Technologien an den vorhandenen Maschinen umsetzen. Wir legen praktisch ein Netz aus Sensoren über die jeweilige Werkzeugmaschine, ohne diese zu beeinträchtigen oder sie zu verändern. Sie behält ihre Zulassung – und das spart Zeit und Kosten.

Was ermöglichen die neuen Technologien konkret?

Mithilfe von Augmented-Reality-Anwendungen können wir in jedem Sensor einer Maschine Informationen wie Anleitungsschritte, Produktdatenblatt, den Status oder Fehlermeldungen hinterlegen. Die Nutzer*innen müssen dann nur ein Tablet auf den jeweiligen Sensor ausrichten und bekommen auf dem Bildschirm diese Informationen aufgespielt. So können sie zum Beispiel Schritt für Schritt bei der Voreinstellung von Werkzeugen angeleitet werden. Außerdem haben wir eine IoT-Plattform zur Holzstaubüberwachung in unserem SmartLab geschaffen. Holzstaub kann zu schweren Gesundheitsproblemen der Mitarbeiter*innen führen. Deshalb haben wir im Labor Feinstaubsensoren installiert, die die gemessenen Werte auf einem Monitor im Eingangsbereich darstellen.

Vor welchen Herausforderungen stehen Sie noch?

Herausfordernd ist, dass derzeit leider viele Systeme noch nicht mit allen Maschinen kompatibel sind. Deshalb müssen wir viele Sonderlösungen erarbeiten, um die smarte Technologie in die Maschinen zu integrieren. Das ist teuer und zeitintensiv. Wir wollen hier mehr Plug-and-Play-Lösungen erarbeiten. Zudem möchten wir die Akzeptanz der Digitalisierung und der neuen Technologien im handwerklichen Bereich kleinerer Unternehmen erhöhen. Wir müssen den Nutzen der Digitalisierung für kleinere Betriebe herausarbeiten, um den damit verbundenen Zeitaufwand, die Daten aufzubereiten und zu pflegen, rechtfertigen zu können.



Hier finden Sie ein Video zum digitalen Holzlabor.

KONTAKT

MATTHIAS SCHNEIDER
Mail: matthias.schneider@ifw.uni-stuttgart.de
Telefon: +49 711 685 82396



Früh begeistert von der Raumfahrtforschung: Prof. Sabine Klinkner hat seit 2015 den Lehrstuhl für Satellitentechnik an der Universität Stuttgart inne.

Immer am Limit

TEXT: Jutta Witte
FOTOS: Sven Cichowicz

Kleinsatelliten sind die Shooting-Stars der Raumfahrt. Für Prof. Sabine Klinkner sind sie der Nukleus ihrer Forschung und Lehre. Gemeinsam mit ihrem Team treibt sie die Entwicklung der kleinen Systeme voran, ohne die Klimaforschung, vernetzte Mobilität oder moderne Kommunikation nicht mehr möglich sind.

„Verrückt, dass man so etwas studieren kann. Das macht doch sonst nur die NASA.“ Das ging Sabine Klinkner durch den Kopf, als sie im Berufs- und Informationszentrum auf den Ordner „Luft- und Raumfahrt“ stieß. Mit guten Mathe- und Physiknoten im Gepäck und nach ein paar Schnupper-Vorlesungen startete sie 1996 an der Universität Stuttgart ihr Ingenieurstudium. „Bis heute begeistert mich, dass wir in der Raumfahrtforschung immer ans Limit gehen müssen und immer wieder vor neuen Herausforderungen stehen“, sagt sie. Denn einen Satelliten kann man nicht nach dem Baukastenprinzip fertigen. Er ist ein hochkomplexes System, das mit sehr begrenzten Ressourcen sowohl bezüglich des Materials als auch des Energieverbrauchs auskommen, aber äußerst anspruchsvolle Anforderungen erfüllen und vor allem eines sein muss: robust. Einmal auf die Umlaufbahn gebracht, kann die Bodenstation zwar Softwareupdates hochladen, zum Beispiel für das Missionsprogramm. Den Reset-Knopf aber kann sie nicht mehr drücken. So ist Satellitenforschung für Klinkner immer auch ein Abenteuer.

Bevor sie sich komplett der Wissenschaft widmete, arbeitete sie nach dem Studium zunächst zwölf Jahre in einem mittelständischen Systemhaus für Raumfahrtprodukte, baute wissenschaftliche Instrumente und Roversysteme – Roboter, die zur Erkundung der Oberfläche von Planeten eingesetzt werden. Und sie stemmte ihre berufsbegleitende Promotion. 2015 kam der Ruf auf den neu geschaffenen Lehrstuhl für Satellitentechnik an der Universität Stuttgart, dem sie letztlich folgte, um mehr Gestaltungsfreiheit für ihre wissenschaftliche Arbeit zu haben. Klinkner brachte die Explorationsrobotik mit an die Universität – und sie begann, die Entwicklung von Kleinsatelliten zu forcieren, „die nicht nur überall in der Raumfahrt gebraucht werden, sondern auch das perfekte Thema für die Lehre sind“. →

→ Sie macht sich deshalb auch stark für eine „fundierte, hochqualifizierte und praxisorientierte Ausbildung“. Energie- und Kommunikationssysteme, Daten- und Thermalkontrolle, der Antrieb: Das sind nur einige der Subsysteme eines Satelliten, deren Zusammenspiel im All unter schwierigen Bedingungen orchestriert werden muss. Klinkner beteiligt ihre Studierenden so früh wie möglich an der Entwicklung. „Man muss diese Prozesse selbst in allen Phasen durchlaufen, um sie zu verstehen“, sagt sie. Den „Flying Laptop“, der im Sommer 2017 an Bord einer Soyuz-2-Rakete vom Weltraumbahnhof Baikonur ins All startete, haben zum Beispiel fast ausschließlich Studierende und Promovierende entwickelt, gebaut und für den Einsatz im Orbit qualifiziert. Dass er 600 Kilometer über der Erdoberfläche noch immer erfolgreich seine Runden dreht, ist ein gemeinsamer Erfolg.

MISSION ROMEO: MIT INNOVATIVER TECHNOLOGIE INS ALL

Wie rund 95 Prozent der Kleinsatelliten ist der „Flying Laptop“ in einer niedrigen Umlaufbahn, einem Low Earth Orbit (LEO), unterwegs. Mit ihrer neuen Mission „Research and Observation in Medium Earth Orbit“, kurz ROMEO, will Klinkner 2025 bis in den mittleren Orbit (MEO) vorstoßen. Er erstreckt sich bis auf eine Höhe von 36.000 Kilometern über der Erde und wird bislang relativ wenig genutzt. Ihn zu erreichen ist eine Herausforderung, einen Satelliten dort zu betreiben ebenso. Über die Umgebungsbedingungen im MEO und ihre Wirkungen auf Material und Technik ist bis jetzt wenig bekannt. Der neue 60 Kilo „leichte“ Forschungssatellit soll deswegen nicht nur Erdscheinbeobachtungen und Untersuchungen zum Weltraumwetter durchführen, sondern auch innovative Technologien zur Erprobung mit ins All nehmen. Das Forschungsteam will wissen, wie sie sich in einem Teil des Kosmos verhalten, der extremen Strahlungen ausgesetzt ist, und wie sie für zukünftige Satellitenmissionen in einem MEO fit gemacht werden können.

Neben einem grünen Wasserstoffantrieb und einem strahlungstoleranten Zentralrechner, den das Team erstmals aus Komponenten „von der Stange“ bauen will, soll ein kompaktes und leichtes Kommunikationssystem mit einem möglichst geringen Energiebedarf für die Datenübertragung im Amateur-X-Band mit an Bord gehen. „Das Kommunikationssystem ist mit das powerhungrigste in einem Kleinsatelliten“, erklärt Klinkner. Auf dem Weg vom Satelliten zur Bodenstation kommt es aufgrund unterschiedlicher Übertragungsverluste immer wieder zu Störungen des Signals. Damit ein Kommunikationssystem trotzdem stets zuverlässig funktioniert, wird es bislang konventionell ausgelegt, das heißt für das schlechteste Szenario. Dies erhöht jedoch nicht nur den Energiebedarf, sondern geht auch zulasten der Datenübertragungsrate.

FORSCHUNGSSATELLIT SOLL HÖHE VON 2000 KILOMETERN ERREICHEN

Um Ressourcen zu sparen und die Bandbreite optimal ausnutzen zu können, soll das neue System sich automatisch an die Bedingungen anpassen, die sich während eines Satellitenüberflugs laufend ändern. Mit Blick auf die ROMEO-Mission findet Klinkner eine solche Adaption „besonders interessant“. Denn der Forschungssatellit soll sich nach drei Monaten von einer niedrigen, kreisförmigen in eine mittlere, elliptische Umlaufbahn auf bis zu 2000 Kilometer Höhe hochschrauben. Überfliegt ein Satellit die Erde nicht in einem Kreis, sondern in einer Ellipse, werden die Umgebungsbedingungen noch volatiler und die Anforderungen an ein Kommunikationssystem, das optimal eingestellt werden soll, verändern sich erheblich. Mit Blick auf diese besondere Herausforderung ist ROMEO für die →

95%

Rund 95 Prozent der Kleinsatelliten sind im Low Earth Orbit unterwegs.

Prof. Dr Sabine Klinkner

„Die riesige Faszination für mich ist, zu sehen, dass die Dinge, die ich baue, fliegen.“

→ Erprobung einer adaptiven Technologie zur Datenübertragung also die ideale Mission. Um den gesamten Überflug optimal für das Sammeln von Daten nutzen zu können, soll die KI-gesteuerte Bodenstation für jeden Zeitpunkt die optimale Signalkodierung für die Datenübertragung ermitteln und durchgeben. „So können wir das Beste aus der Mission herausholen“, sagt Klinkner. Sie rechnet mit einer Steigerung der Datenübertragungsrate um bis zu 100 Prozent.

Mit ihren Forschungsmissionen bewegt sie sich an der Schnittstelle zu einem expandierenden Markt, in dem Digitalunternehmen ebenso wie die Old Economy die Kleinsatelliten-Industrie puschen. Für den Bundesverband der Deutschen Industrie (BDI) und den Verband Deutscher Ingenieure (VDI) sind sie längst eine „Schlüsselkomponente“. Von den rund 15.000 der bis 2030 startenden Satelliten machen sie nach Angaben von BDI und VDI 90 Prozent aus. Welche Rolle spielt die Wissenschaft angesichts dieses Booms? „Wir können ohne Marktinteressen neue Dinge erforschen, die später allen zugutekommen, und wir können wichtige Beiträge leisten zur Lösung drängender Probleme wie beispielsweise der Vermeidung und Beseitigung von Weltraumschrott“, sagt Sabine Klinkner.

Wie man angesichts des steigenden Verkehrsaufkommens im All für Nachhaltigkeit und Sicherheit sorgen kann, ist nur eine der spannenden Fragen, die die Raumfahrtforschung in Zukunft umtreiben dürfte. Klinkner fasst es so zusammen: „Wir müssen Technologien entwickeln, mit denen wir die Orbitbereiche sauber halten können, und neue erschließen.“ Trotz aller Abenteuerlust hat die Mutter zweier Kinder noch kein Ticket ins All gebucht. „Die riesige Faszination für mich ist, zu sehen, dass die Dinge, die ich baue, fliegen. Und das ist in der Raumfahrt nicht selbstverständlich.“ →



Boomender Markt: Kleinsatelliten sind weltweit gefragt. Prof. Klinkner arbeitet mit ihrem Team an der Weiterentwicklung der kleinen Technikwunder.

KONTAKT

PROF. DR. SABINE KLINKNER
Mail: klinkner@irs.uni-stuttgart.de Telefon: +49 711 685 62677

MEHR ENERGIE

WENIGER GEWICHT



TEXT: Michael Vogel

**Leichtere Satelliten dank neuer Technologie:
Perowskit-Solarzellen für den Weltraumeinsatz sind
ein junges Forschungsgebiet mit großem Potenzial.**

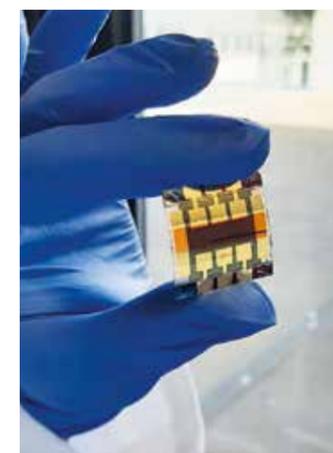
Nicht allen auf der Welt steht eine schnelle Datenleitung per Kabel oder Mobilfunk zur Verfügung. Fehlt diese, können Satelliten für eine breitbandige Internetanbindung sorgen. Elon Musks Starlink ist das bekannteste Beispiel dieses Ansatzes. Die meisten Satelliten beziehen heute ihre Energie aus Solarzellen. Je höher deren Wirkungsgrad ist und je langlebiger sie sind, desto länger kann ein Satellit aktiv bleiben. Das Institut für Photovoltaik (IPV) und das Institut für Raumfahrtssysteme (IRS) der Universität Stuttgart forschen an Solarzellen, die den Betrieb von Satelliten wirtschaftlicher machen könnten.

„Die Solarzellen heutiger Satelliten beruhen auf Galliumarsenid, also nicht auf Silizium wie die auf Dächern installierten Fotovoltaikmodule“, erklärt IPV-Wissenschaftler Dr. Claudiu Mortan. „Dieses Halbleitermaterial erweist sich unter den extremen Bedingungen des Weltraums als deutlich robuster“, so der Ingenieur. Doch künftig könnte sich eine andere Materialklasse als noch besser geeignet erweisen: Perowskite. Sie werden auch für Solarzellen auf der Erde als Alternative oder Ergänzung zu Siliziumzellen gehandelt. „Es →

Dr. Claudiu Mortan

„Solarzellen sind im Weltraum sehr extremen Bedingungen ausgesetzt, die sie schneller als auf der Erde altern lassen.“

**Kostengünstiger Energie-
lieferant: Flexible Perowskit-Solarzellen sollen
künftig Satelliten mit
Energie versorgen.**



→ sind Metallhalogenid-Verbindungen“, erklärt Mortan. „1978 hat Dieter Weber vom Institut für Anorganische Chemie der Universität Stuttgart das erste Paper zu Perowskiten veröffentlicht.“

Die erste wissenschaftliche Veröffentlichung über eine Perowskit-Solarzelle folgte 2009. „Inzwischen gibt es rund 13.000 wissenschaftliche Veröffentlichungen zum Thema“, verdeutlicht Mortan das enorm gestiegene Interesse. Zu den weltweit meistzitierten Forschenden auf dem Gebiet zählt IPV-Leiter Prof. Michael Saliba. „Über Perowskit-Solarzellen für den Weltraum gibt es dagegen nur rund 40 Papers“, sagt Mortan. Diesem Teilgebiet haben sich IPV und IRS mit dem Projekt PÆROSPACE verschrieben.

FÖRDERUNG ÜBER DAS „TERRA INCOGNITA“-PROGRAMM

Das IPV bekam 2022 dafür eine Anschubfinanzierung in Höhe von 50.000 Euro über das Forschungsförderprogramm „Terra incognita“ der Universität Stuttgart. Das Programm soll helfen, mit interdisziplinären Ansätzen bisher undefinierte Forschungsfelder zu erschließen und Pionierforschung zu ermöglichen.

Heutige Solarzellen aus Halbleitermaterialien entstehen in einem aufwendigen und damit teuren Herstellungsprozess auf Wafern. Mit Perowskiten dagegen geht es viel einfacher. Sie lassen sich als Lösung auf ein Trägermaterial auftragen, beim anschließenden Trocknen verdunstet das Lösungsmittel – zurück bleibt die gewünschte Schicht. Perowskit-Zellen haben eine viel dünnere aktive Schicht als Zellen aus Halbleitermaterialien. „Das wirkt sich positiv auf die gewichtsspezifische elektrische Leistung aus“, so Mortan. „Perowskit-Solarzellen erreichen 30 Watt pro Gramm, die etablierten Galliumarsenid-Solarzellen drei Watt pro Gramm.“ Je weniger ein Satellit wiegt, desto kostengünstiger ist sein Start.

„Hinzu kommt, dass sich Perowskit-Solarzellen problemlos auf Folien auftragen lassen“, sagt Mortan. Folien lassen sich zusammenrollen. Ein Satellit mit Perowskit-Zellen wäre also nicht nur leichter, sondern hätte beim Start auch kleinere Dimensionen. Galliumarsenid-Solarmodule sind zu dick, um sie aufzurollen, sie lassen sich nur zusammenklappen. Sie erfordern viel mehr Raum.

Ziel von PÆROSPACE ist es, geeignete Perowskit-Solarzellen für den Weltraum zu finden. „Allerdings sind Solarzellen im Weltraum sehr extremen Bedingungen ausgesetzt, die sie schneller als auf der Erde altern lassen.“ Da sind zum einen starke Temperaturschwankungen, zwischen minus 50 Grad Celsius im Erdschatten und plus 150 Grad Celsius im Sonnenlicht. Ein Satellit auf einer Umlaufbahn ähnlich der Internationalen Raumstation durchlebt diesen Temperaturwechsel alle eineinhalb Stunden. Das kann zu Rissen in der Zelle führen. Zum anderen herrscht im All ein Vakuum, wodurch Atome unerwünscht aus der Zelle ausgasen könnten, was ihre Funktion beeinträchtigen würde. Und schließlich können energiereiche Teilchen, etwa von der Sonne, auf die Solarzelle treffen und so deren optoelektronischen Eigenschaften verschlechtern. Perowskit-Solarzellen müssen daher zunächst für den Weltraum qualifiziert werden.

Mortans Team entwickelt dafür derzeit ein Gehäuse, dessen Fläche etwa so groß ist wie zwei nebeneinanderliegende Smartphones. Darin befinden sich vier verschiedene Perowskit-Solarzellen des IPV, jede einige Quadratzentimeter groß. Diese vier Zellen sollen auf einem Flug mit einem Stratosphärenballon in 35 Kilometer Höhe getestet werden. Dort herrschen keine Weltraumbedingungen, aber deutlich extremere als auf der Erde. Den Ballon startet die KSat, die Studentische Kleinsatellitengruppe der Universität Stuttgart. Während des einige Stunden dauernden Flugs erfasst Mortans Team, wie sich die charakteristischen Eigenschaften der vier Zellen verändern.

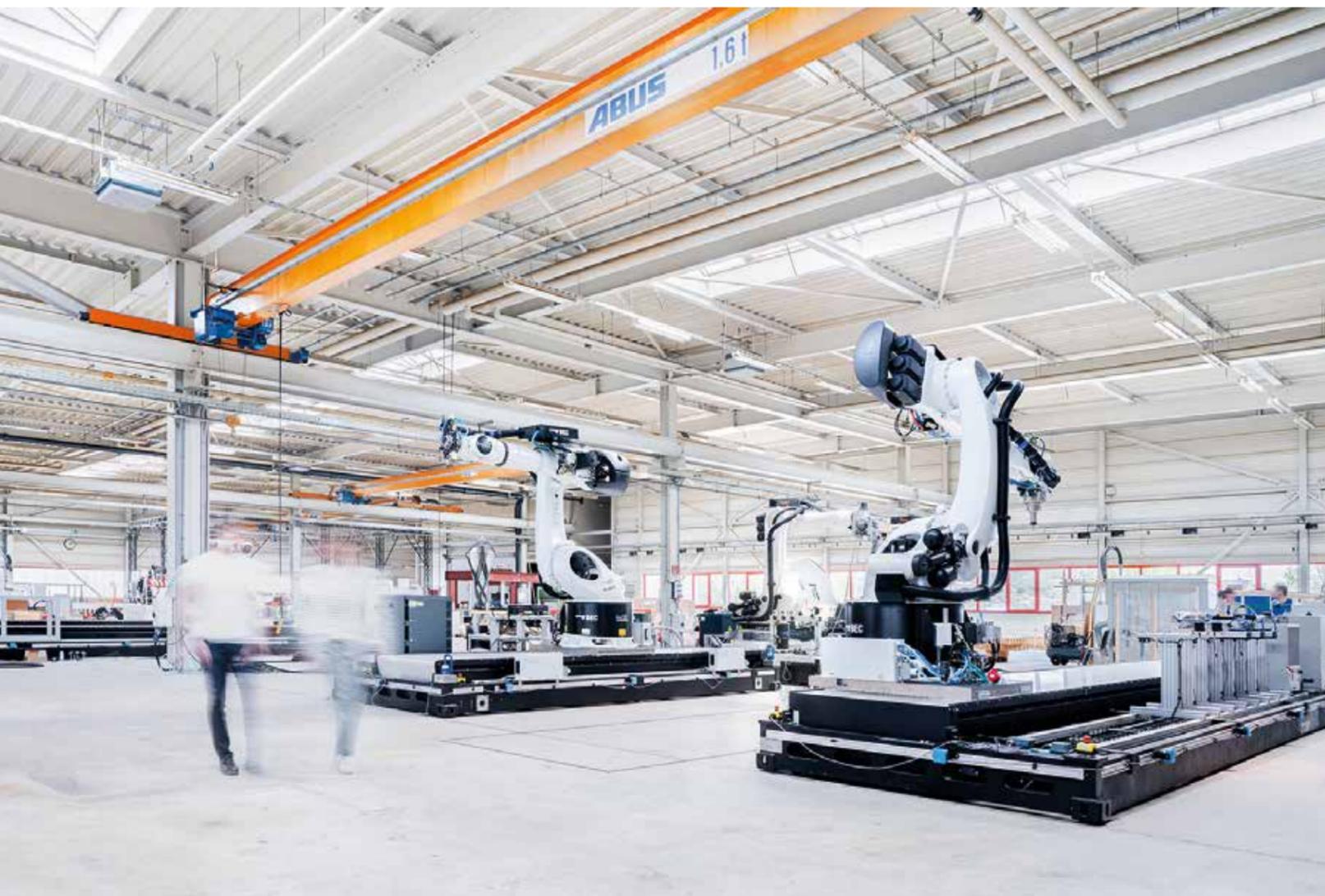
Parallel zu diesem Ballon-Experiment laufen gemeinsam mit dem IRS Vorbereitungen für einen Satellitentest von Perowskit-Zellen. Der Förderantrag ist bereits gestellt. 2025 soll ein Kleinsatellit auf eine 2500 Kilometer hohe Umlaufbahn starten und die Perowskit-Solarzellen des IPV für ein gutes Jahr unter Weltraumbedingungen erproben. „Solche Langzeitmessungen gibt es noch nicht“, sagt Mortan. →

KONTAKT

DR. CLAUDIU MORTAN
Mail: claudiu.mortan@ipv.uni-stuttgart.de Telefon: +49 711 685 67151

Fotos: Shutterstock/3Dsculptor, IPV/Tobias Heim

Wenn Menschen und Roboter zusammenarbeiten



TEXT: Daniel Völpe

Ein autonomer Kran liefert ein Bauelement, ein Roboter nimmt es an, positioniert und verschraubt es: An dieser Vision arbeitet ein interdisziplinäres Team im Exzellenzcluster „Integratives computerbasiertes Planen und Bauen für die Architektur“ (IntCDC) der Universität Stuttgart. Zugleich untersuchen Sozialwissenschaftlerinnen, wie Menschen und Maschinen bestmöglich auf Baustellen kooperieren.

Prof. Oliver Sawodny

„Wenn diese Automatisierung eingeführt ist, wird eine Baustelle wesentlich komplexer werden.“



Für die Forschung haben Prof. Sawodny und sein Team einen 40 Meter hohen Kran umgebaut.

Auch auf Baustellen übernehmen Maschinen längst Teile der Arbeit. Doch Menschen werden dort auch in Zukunft weiter eine zentrale Rolle spielen – die Soziologin Prof. Cordula Kropp nennt dies eine „Menschen-Maschinen-Konstellation“. „Damit setzen wir uns in Zukunft in allen Bereichen auseinander, etwa auch bei autonomer Mobilität.“ Mit Blick auf das Zusammentreffen am Bau sagt die Leiterin der Abteilung Sozialwissenschaft V mit Schwerpunkt Risiko- und Technikforschung an der Universität Stuttgart: „Bisher hat man nicht beachtet, dass eine Baustelle durch und durch sozial aufgebaut ist.“

Eine grundlegende Frage ist für Kropp: „Wann ist eine solche Konstellation überhaupt vertrauenswürdig?“ Man erwarte, dass Gebäude mindestens 50 bis 100 Jahre halten. „Vor diesem Hintergrund ist es ganz wichtig, Systeme zu entwickeln, bei denen man nicht denkt: ‚Das ist automatisiert und wir Menschen haben nichts mehr damit zu tun.‘“ Es brauche Systeme, „bei denen die Baufacharbeiter verantwortlich für diese hohe Qualität garantieren können“, erklärt Kropp. Deshalb gehe es darum, cyber-physische Produktionssysteme so vertrauenswürdig zu gestalten, dass man sich in Zukunft auch beim Betreten eines teilautomatisiert erstellten Gebäudes blind darauf verlasse, dass es stabil stehe.

SPEZIALKRÄNE FÜR DIE AUTOMATISIERUNG DES BAUENS

Konkret befasst sich die Sozialwissenschaftlerin mit solchen Fragen an der Universität Stuttgart in einem Projekt zusammen mit dem Team von Prof. Oliver Sawodny vom Institut für Systemdynamik (ISYS) und Prof. Uwe Sörgel vom Institut für Photogrammetrie (ifp). Innerhalb des Exzellenzclusters „Integratives computerbasiertes Planen und Bauen für die Architektur“ (IntCDC, Sprecher Prof. Achim Menges) arbeiten die Ingenieure seit drei Jahren daran, Anlieferung und Montage von Bauelementen auf einer Baustelle zu automatisieren. Dafür haben sie einen Turmdrehkran mit einer Höhe von 40 Metern und einem 60-Meter-Ausleger umgebaut. Der Kran hat überlappende Kameras am Ausleger, die bei jeder Bewegung die digitale Rekonstruktion des Baufelds aktualisieren. Mit einer Last von bis zu fünf Tonnen könne der Kran autonom definierte Bahnen im Raum abfahren, erklärt Sawodny. Inzwischen absolviere er diese Trajektorien, also Bahnkurven, mit einer Genauigkeit von plus/minus zehn Zentimetern. „Bei der Größe des Arbeitsraums ist das eine beachtliche Leistung“, sagt der Experte für Großraum-Robotik.

Weil aber die Last an einem Seil hängt, ist sie anfällig beispielsweise für Wind. Deshalb muss ein zweiter Roboter am Boden das Bauteil exakt einpassen. Dazu entwickelte das Team eine neuartige Steuerung für einen fahrbaren Raupen-Minikran. Das Institut für Ingenieur-geodäsie (IIGS) der Universität Stuttgart unterstützte mit Roboter-Totalstationen. Diese →

Labor für die Baustelle der Zukunft: die Roboterplattform des IntCDC

Fotos: IntCDC/Christoph Zechmeister, Uli Regenscheit



Prof. Cordula Kropp

„Bisher hat man nicht beachtet, dass eine Baustelle durch und durch sozial aufgebaut ist.“

Die Soziologin Cordula Kropp hat die Rolle der Menschen auf automatisierten Baustellen im Blick.

→ Messgeräte ermöglichen es dem Raupen-Kran, sich so exakt im Raum zu orientieren, dass er die Last auf wenige Millimeter genau positioniert. Aktuell arbeitet das Team daran, die nötigen Effektoren zu erstellen, also die Werkzeuge am Ende des Kran-Auslegers, mit denen sich die Last gezielt bewegen, greifen oder verschrauben lässt.

Wenn diese Effektoren einsatzbereit sind und die beiden Kräne miteinander harmonisieren, werden sie in der Lage sein, die robotisch vorgefertigten Elemente einzubauen. Gefertigt werden die Elemente im neuen Flaggschiff des IntCDC: dem „Large-Scale Construction Robotics Laboratory“ (LCRL), einem Großraum-Robotiklabor, das im Frühjahr 2022 durch je zwei Großroboter für Holzkonstruktionen und Faserverbund-Großbauteile vervollständigt wurde und zu dem auch die Kräne gehören. Alle Maschinen, auch die Großroboter, sind mobil. „Sie können über Container an der Baustelle aufgebaut werden, übernehmen die Vorfertigung, und unsere Systeme verbauen sie“, erklärt Sawodny.

KI SPIELT EINE ZENTRALE ROLLE AUF DER BAUSTELLE VON MORGEN

Was nach Vereinfachung klingt, fordert die Beteiligten jedoch enorm heraus, wie der Forscher betont: „Wenn diese Automatisierung eingeführt ist, wird eine Baustelle wesentlich komplexer werden.“ Ein IntCDC-Bauwerk wird dann zunächst als Gesamtsystem am Computer entworfen und geplant. Der Rechner entwickelt mit Methoden der Künstlichen Intelligenz die benötigten Einzelteile in optimaler Form, um Material zu sparen und höchste Festigkeit zu erreichen. Daraus erstellt er die Steuerungsdateien, die an den Fertigungsroboter übergeben werden. Der baut semi-autonom Holz- oder Faserverbundelemente, die der Turm-Drehkran übernimmt und an ihre Position hebt. Dort übernimmt sie der Raupen-Kran und verschraubt sie an der korrekten Stelle.

Weil gleichzeitig weiterhin Menschen auf der Baustelle arbeiten, diese planen und überwachen, stellen sich neue Fragen: „Welche Nutzer-Schnittstellen müssen eingeführt werden? Welche Informationen können wir abfragen? Wie sind die Schnittstellen zu gestalten zwischen den einzelnen Modulen von Aufgaben-Planung über Bahn-Planung, →

5 t

Mit einer Last von bis zu fünf Tonnen kann der Kran autonom definierte Bahnen im Raum abfahren.

→ Trajektoriengenerierung bis zur Datenübergabe an die Maschine?“ , zählt Sawodny auf.

An dieser Stelle kommen die Sozialwissenschaftlerinnen wieder ins Spiel. „Dann müssen die Maschinen miteinander kooperieren und die Menschen mit den kooperierenden Kränen und den Daten. Das nennen wir Interobjektivität einer komplexen Konstellation, in der alles mit allem kommunizieren muss, damit es gut läuft“, erklärt Kropp. Weil die Maschinen zunächst vielleicht nur teilautomatisiert seien, entstünden Situationen, in denen etwa ein rumänischer Drehkran-Führer und ein bulgarischer Raupenkran-Führer mit geleasteten Maschinen zusammenarbeiteten, die nur für wenige Wochen von unterschiedlichen Unternehmen gebucht worden seien. Durch das Wetter zum Beispiel ändern sich die Bedingungen auf einer Baustelle zudem permanent. „Beide sprechen vielleicht nur ihre Sprachen, arbeiten zum ersten Mal mit genau dieser Maschine und müssen in der Lage sein, mit dieser Vernetzung vertrauenswürdig umzugehen, die für sie nicht immer transparent ist. Das ist eine große Herausforderung“, beschreibt Kropp das Beispielszenario. „Es ist also eine viel, viel kompliziertere Situation, als wir sie bisher aus der Forschung zur cyberphysischen Systemen kennen. Deshalb braucht man organisationssoziologische Expertise.“

BEDÜRFNISSE DER MENSCHEN STEHEN IM ZENTRUM

Im Moment befragen die Sozialwissenschaftlerin und ihre Mitarbeiterin Ann-Kathrin Wortmeier Beschäftigte in Bauunternehmen und Leasingfirmen, beim Kranhersteller sowie Teilnehmende der Kranführer-Schulungen: Was sind Erwartungen, Probleme und Risiken? „Wir gehen von human centered design aus“, erklärt Kropp. „Entwicklungen sollen sich nach den menschlichen Anforderungen und Bedürfnissen richten. Nur dann werden sie auch optimal genutzt. Deswegen fragen wir auch ganz konkret Kranführer und Baustellen-Polier, wo sie Probleme sehen.“

Daraus entstehen mögliche Szenarien und Kriterienkataloge: Wie viel Steuerungsvorgaben brauchen die zukünftigen Maschinenführer? Wann können sie Maschinen vertrauen? „Unsere bisherige Forschung und die Vorpublikationen zeigen, dass es ganz wesentlich ist, wie genau diese Konstellation ausgerichtet ist“, erklärt Kropp. Seien die Menschen nur dazu da, die Maschine ein- und auszuschalten, und diese entscheide datenbasiert autonom, berge dies ein hohes Risiko. Unterstütze die Maschine den Menschen, dürften diese Entscheidungen treffen und warteten sie die Maschine selbst, „dann trauen sie sich auch eher zu, im Störfall einzugreifen, um Risiken zu reduzieren“. Was wiederum eine wesentliche Voraussetzung wäre, damit Vertrauen entsteht – bei den Bauarbeitern in die Kollegen Roboter und bei allen, die derart erstellte Gebäude später einmal nutzen. →



KONTAKT

PROF. CORDULA KROPP
Mail: cordula.kropp@sowi.uni-stuttgart.de Telefon: +49 711 685 82487

PROF. OLIVER SAWODNY
Mail: sawodny@isys.uni-stuttgart.de Telefon: +49 711 685 66302

Fotos: Uli Regenscheit

Experten für Großraum-Robotik: Prof. Sawodny mit IntCDC-Mitarbeitern

„Vertrauen entsteht durch

Verlässlichkeit.“

INTERVIEW: Miriam Hoffmeyer

Prof. Dr. Thomas Kropf ist seit 2018 Leiter der Bosch Forschung. Er spricht darüber, wie Konnektivität den Alltag prägt, wie KI die Industrie verändert und warum Unternehmen und Hochschulen von einer verstärkten Zusammenarbeit profitieren.



Fotos: Bosch Research

Was bedeutet der Megatrend Konnektivität für Wirtschaft und Gesellschaft?

PROF. DR. THOMAS KROPF (TK) Konnektivität ist eigentlich kein Trend mehr, sondern sorgt schon heute bei vielen Produkten für mehr Komfort, Effizienz und Sicherheit im Alltag. Und Konnektivität verbindet – mehr als nur technisch. Die Pandemie hat das besonders sichtbar gemacht: Dank Videokonferenzen, sozialen Netzwerken, Online-Learning-Formaten oder eCommerce-Plattformen hielten die Menschen privat und beruflich Kontakt, auch deshalb blieb die Wirtschaft produktiv.

Seit Anfang des Jahres sind alle unsere elektronischen Produkte vernetzbar. Bei Konsumgütern erwarten die Kunden mittlerweile neue Funktionen, die nur durch Vernetzung möglich sind. Ich zum Beispiel backe gern Brot und finde es sehr praktisch, dass ich den Backofen schon mal vorheizen kann, wenn ich noch unterwegs bin. Auch der Bereich Mobilität ist durch Vernetzung geprägt – von aktuellen Stauinformationen über Fahrerassistenzsysteme bis hin zum automatisierten Fahren. Auch wenn es die Fahrerinnen und Fahrer nicht wahrnehmen, tauschen Autos ständig Informationen mit Verkehrssystemen und anderen Fahrzeugen aus. Die automatischen Notrufsysteme, die in Neufahrzeugen Pflicht sind, sind das beste Beispiel dafür, dass Konnektivität Menschenleben rettet.

Vernetzung birgt aber auch Risiken – durch Softwarefehler verursachte Störungen, Datenklau, Manipulationen von Hackern. Viele Menschen stehen dem Thema deshalb skeptisch gegenüber.

TK „Digital Trust“ ist hier das Stichwort: Unser Qualitätsversprechen gilt nicht nur für die reale, sondern auch für die digitale Welt. Dazu gehört neben Funktionalität der sorgfältige Umgang mit Daten, die heute pseudonymisiert erfasst werden können. Der Schutz vor Cyberattacken ist ein wichtiges Thema unserer Forschung. Für den Einsatz Künstlicher Intelligenz (KI) hat Bosch ethische Standards entwickelt, die bei jeder Produktentwicklung berücksichtigt werden. Sie sehen unter anderem vor, dass KI robust, sicher und erklärbar sein muss und dass Entscheidungen, die Personen betreffen, niemals ohne Beteiligung eines Menschen getroffen werden dürfen.

Wie wichtig ist Künstliche Intelligenz für die Entwicklung vernetzter Produkte?

TK Beides gehört zusammen! Erst Konnektivität macht die Echtzeit-Verfügbarkeit von Daten möglich. Und bekanntermaßen ist KI nur so schlau wie die Daten und die Algorithmen, mit denen wir sie füttern. Das heißt: KI entfaltet erst in der verlässlichen und sicheren Kombination mit Konnektivität ihr volles Potenzial. Und sie spielt mittlerweile in nahezu jedem Anwendungsbereich, in dem wir forschen, eine zentrale Rolle. Mit dem Bosch Center for Artificial Intelligence (BCAI) haben wir in den letzten Jahren die Entwicklung von KI-Methoden wie Deep Learning, Computer Vision oder Natural Language Processing massiv vorangetrieben – immer in enger Verzahnung mit den Ingenieurwissenschaften.

Wie richtet sich der Forschungsbereich von Bosch beim Thema Konnektivität strategisch aus, welche Schwerpunkte setzen Sie für die kommenden Jahre?

TK Ein wichtiger Schwerpunkt liegt auf der Erforschung und Entwicklung von Lösungen für die „Fabrik von morgen“, die auf Vernetzung und Künstlicher Intelligenz basieren. Die Industrie verändert sich durch die elektronische Vernetzung sogar noch stärker als der private Bereich, in dem Konnektivitätslösungen bereits weit verbreitet sind. Die Echtzeit-Verfügbarkeit von Qualitäts-, Prozess- und Maschinendaten ermöglicht nicht nur flexiblere und effizientere Produktionsprozesse, sondern auch völlig neue Geschäftsmodelle. Gemeinsam mit mehreren Partnern aus der Industrie und der Universität Stuttgart erarbeiten wir das Projekt „Software-Defined Manufacturing für die Fahrzeug- und Zulieferindustrie“ (SDM4FZI). Dabei liegt der Fokus unserer Forschung zum einen auf dem Aufbau einer Produktionsstation aus einem standardisierten Grundrahmen und variablen Modulen, die es möglich macht, die Hardware des Produktionssystems an veränderte →

→ Anforderungen anzupassen. Zum anderen forschen wir am Aufbau einer „Engineering Toolchain“ – also eines Software-Werkzeugkastens –, um die Umgestaltung von Produktionssystemen zu vereinfachen und zu beschleunigen.

Weitere wichtige Forschungsbereiche für Bosch Research sind neben KI-Methoden und Robotik das „Internet of Things“ (IoT) rund um vernetzte Haushaltsgeräte, Werkzeuge und Smart-Home-Dienstleistungen sowie Energiemanagement. Moderne Energiesysteme sind ohne Vernetzung gar nicht denkbar: Die Photovoltaik-Anlage ist mit einem Batteriespeicher verbunden, aus dem wiederum das Elektroauto geladen wird. Intelligente, energieeffiziente Heizungen werden durch Sensoren und lernende Algorithmen gesteuert. Beim Energiemanagement zeigt sich besonders deutlich, wie stark Vernetzung in Form von Sektorkopplung zur Nachhaltigkeit beitragen kann. →

PROF. DR. THOMAS KROPF

„An Forschungskoope-
rationen mit Hochschulen
zu allen diesen Themen
sind wir prinzipiell inte-
ressiert – denn hier trifft
Grundlagenforschung
auf Anwendbarkeit.“

Prof. Dr. Thomas Kropf leitet seit Juli 2018 den Zentralbereich Forschung und Voraentwicklung der Robert Bosch GmbH. Er arbeitet seit 1999 bei der Bosch-Gruppe und war vor seiner aktuellen Position unter anderem für die Systementwicklung im Bereich Automotive zuständig. Kropf studierte Elektrotechnik, er promovierte und habilitierte in Informatik. Heute lehrt er neben seiner Tätigkeit bei Bosch Informatik an der Universität Tübingen.



Weitere Informationen
zum Event "Inventing the
Future" von Bosch und
der Universität Stuttgart.

→ An Forschungskoope-
rationen mit Hochschulen zu allen diesen Themen sind wir prin-
zipiell interessiert – denn hier trifft Grundlagenforschung auf Anwendbarkeit. Für beide
Seiten ist es sehr lohnend, auf der Basis von Daten aus der Anwendung gemeinsame For-
schung zu betreiben.

Was sollten Hochschulen aus Ihrer Sicht tun, um die Herausforderungen der Konnektivität zu bewältigen?

TK Obwohl die Hochschulen die digitale Umstellung während der Pandemie schnell und gut geschafft haben, werden die damit verbundenen Chancen meiner Meinung nach zu wenig gesehen. Man sollte nicht einfach zum früheren Lehrbetrieb zurückkehren! Ich bin ein großer Fan des Konzepts „Flipped Classroom“, bei dem sich die Studierenden theoretisches Wissen zu Hause aneignen und sich dann in der Hochschule treffen, um das Gelernte gemeinsam anzuwenden.

Was würde die Zusammenarbeit mit Hochschulen aus Ihrer Sicht erleichtern?

TK Eine hohe Hürde sind die Regelungen zum Schutz des geistigen Eigentums. In Deutschland sind die IP-Regelungen so gestaltet, dass sich Kooperationen mit Hochschulen für Unternehmen oft nicht lohnen. Auch Ausgründungen werden dadurch erschwert und Investoren abgeschreckt. In den USA sind die IP-Regelungen für universitäre Ausgründungen und Unternehmen deutlich günstiger. Deutschland steht sich hier selbst im Weg! Was ich mir außerdem wünschen würde: mehr Durchlässigkeit zwischen Hochschulen und Industrie. Es wäre schön, wenn mehr Forschende, gerade auch Post-Docs, die Gelegenheit wahrnehmen würden, für ein bis zwei Jahre in einem Unternehmen zu forschen. Studierende sollten noch früher und stärker in Projektarbeit lernen, und zwar möglichst interdisziplinär und international, so wie es der Realität in der industriellen Forschung und Entwicklung entspricht.

Mit der Universität Stuttgart arbeitet Bosch schon seit über 80 Jahren zusammen.

TK Ja, und die Zusammenarbeit klappt sehr gut! Bosch ist Fördermitglied der Arena 2036, außerdem gibt es eine in diesem Jahr neu gegründete Kooperation in der Quantensensorik. Zum Thema Konnektivität haben wir neben SDM4FZI noch ein weiteres gemeinsames Großprojekt: Software-Defined Car (SoFDCar) (zu beiden Projekten siehe S. 28–35). Der intensive Austausch in der Forschung ermöglicht uns auch, exzellente Fachkräfte zu rekrutieren: Deutschlandweit kommen die meisten Absolventinnen und Absolventen technischer Fächer, die wir bei Bosch neu einstellen, von der Universität Stuttgart.

Ende Oktober veranstalten Bosch Research und die Universität Stuttgart das gemeinsame Event "Inventing the Future" zu Zukunftsthemen im Zusammenhang mit Konnektivität und KI. Was versprechen Sie sich von einer Intensivierung der strategischen Zusammenarbeit?

TK Vertrauen entsteht durch Verlässlichkeit. Wenn strategische Leitplanken gesetzt werden, sodass die Zusammenarbeit über aneinandergereihte Einzelprojekte hinausgeht, lassen sich viele Fragen besser lösen. Auch die Planung wird einfacher, wenn beide Seiten wissen: Es gibt einen zuverlässigen Partner, der sich auch langfristig für bestimmte Forschungsthemen interessiert. Nicht zuletzt kann eine öffentlich sichtbare Zusammenarbeit möglicherweise das Misstrauen gegenüber Kooperationen zwischen Hochschulen und Unternehmen verringern, das in der Gesellschaft leider immer noch verbreitet ist. Dabei ist sie für den Innovationskreislauf notwendig: Wirtschaftliche Strukturen, Prozesse und Entwicklungszeiträume aus der industriellen Forschung können die universitäre Forschung noch effizienter machen. Und wenn die Wirtschaft mithilfe des von der Forschung erzeugten Wissens produktiver forscht und arbeitet, kommt das über Steuern auch wieder der Hochschulforschung zugute. →

Wenn die Software regiert



Forschungsobjekt Auto: In Stuttgart arbeiten Wissenschaftler*innen daran, die Autoproduktion durch Softwarelösungen nachhaltig zu verändern.

TEXT: Andrea Mayer-Grenu
FOTOS: Sven Cichowicz

Zwei Großprojekte an der Universität Stuttgart treiben die Vernetzung von Produktion und Fahrzeugen voran.

Ob Autos, Fabrikhallen, Netzwerke oder ganze Cybersysteme: Der Begriff „Software-defined“ ist heute in aller Munde. Was genau damit gemeint ist, wird vielfältig definiert, und die Debatte darüber hat fast schon philosophische Dimensionen. „Per Software einstellbar“, skizziert Prof. Alexander Verl die Grundidee. „Künftige Fabriken müssen flexibler werden, damit die Firmen schnell auf neue Produkte, wechselnde Produktionsmengen und Unsicherheiten im Zuliefernetzwerk reagieren können“, so der Leiter des Instituts für Steuerungstechnik der Werkzeugmaschinen und Fertigungseinrichtungen (ISW) der Universität Stuttgart. „Diese Anpassungen sollen künftig weitgehend über die Software erfolgen, sodass die Hardware – der Maschinenpark – nicht oder kaum verändert werden muss.“

„Meine Vorstellungen gehen noch viel weiter“, wirft Prof. Michael Weyrich, Leiter des Instituts für Automatisierungstechnik und Softwaresysteme (IAS), ein. „Wir wollen nicht nur mit Software Systeme einstellen, sondern völlig neue Systeme schaffen, die untereinander vernetzt sind. Mithilfe von Software entsteht eine Parallelwelt zur mechanischen Welt, eine Informationswelt, in der man Informationen und Regeln austauschen und gestalten kann. Dabei ergeben sich die Funktionalitäten nicht nur aus den einzelnen Modulen, sondern aus deren Zusammenspiel in einer parallelen Informationswelt. Es entstehen neue ‚smarte Produkte‘, die ganz neue Dinge tun können. Software-defined ist also perspektivisch nicht nur eine Verbesserung bestehender Systeme, sondern tatsächlich eine Chance, neuartige Systemfähigkeiten zu erzeugen.“

Beide Sichtweisen schlagen sich in zwei Großprojekten an der Universität Stuttgart nieder, die unter der Federführung von BOSCH gemeinsam mit dem Karlsruher Institut für Technologie (KIT) und zahlreichen weiteren Partnern aus Wissenschaft und Wirtschaft durchgeführt werden: dem Projekt „Software-defined Manufacturing für die Fahrzeug- und Zulieferindustrie“ (SDM4FZI, Sprecher Prof. Alexander Verl, ISW) und dem Projekt „Software-defined Car“ (SofDCar, Sprecher Prof. Michael Weyrich, IAS). Das Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz fördert die Projekte mit Geldern in Millionenhöhe. Beide Projekte knüpfen an das neue Strategiefeld „Software-defined Mobility“ →

→ des Innovationscampus Mobilität der Zukunft (ICM) an der Universität Stuttgart an, dessen Direktorium beide Professoren angehören und in den die beiden Institute mit Förderung durch das Land Baden-Württemberg zahlreiche Wissenschaftler*innen einbringen.

SDM4FZI: KONTINUIERLICH WANDELBARE PRODUKTION

Im Projekt SDM4FZI wollen die Wissenschaftler*innen Lösungen für die Produktionstechnik entwickeln, die es kleineren und mittleren Unternehmen erlauben, sich schnell, flexibel und effizient auf Nachfrageschwankungen, Lieferengpässe und individualisierte Produkte einzustellen. Beteiligt sind seitens der Universität Stuttgart neben dem ISW als Konsortialführer auch das IAS sowie die Institute für Industrielle Fertigung und Fabrikbetrieb (IFF) sowie für Software Engineering (ISTE).

Der Impuls zu SDM4FZI kam aus Diskussionen zwischen dem ISW und BOSCH, wie man es schaffen kann, dass Fabriken zukünftig nicht mehr so starr sind. „An dem Flexibilisierungsthema arbeiten sowohl die Firmen als auch wir am Institut schon lange, die Methode des Software-defined Manufacturing wurde vom ISW und BOSCH gemeinsam entwickelt“, sagt Alexander Verl. Die Kernidee besteht darin, dass moderne Methoden der Informations- und Kommunikationstechnik Einzug halten in die Operational Technology (OT), also in die Betriebstechnologie, die industrielle Anlagen und Prozesse steuert und überwacht. Ziel ist eine Fabrik, die sich weitgehend selbst organisiert und adaptiert. Bisher schöpfen aber gerade in der Zuliefererindustrie nur wenige Firmen die digitalen Möglichkeiten aus. „Mit dem Projekt wollen wir nun einen Überbau schaffen, der diese Firmen im Umgang mit den Methoden der Virtualisierung, der Standardisierung, mit Digitalen Zwillingen und Datenmodellen voranbringt“, sagt Verl.

Der Schlüssel dazu liegt in einer radikalen Entkoppelung von Software und Hardware, erläutert Projektkoordinator Michael Neubauer: „Man kann sich das wie bei einem Smartphone vorstellen, da kauft man ja auch zunächst die Hardware mit einem Betriebssystem. Die Applikationen spielt man im Nachgang auf, wenn man sie braucht, sodass aus dem Handy wahlweise ein MP3-Player, ein Taschenrechner oder ein Gameboy wird. So ähnlich wollen wir das in der Produktionstechnik künftig auch haben.“ Dem steht bisher jedoch im Wege, dass in der Produktion wie auch über die verschiedenen Stufen der Lieferkette hinweg sehr unterschiedliche Systemarchitekturen zum Einsatz kommen. Es sind historisch gewachsene Einzellösungen, die nicht dieselbe Sprache sprechen und untereinander keine Daten austauschen können.

DURCHGEHENDE INFORMATION ÜBER DIE LIEFERKETTE HINWEG

Eines der Arbeitspakete in SDM4FZI beschäftigt sich daher mit der Entwicklung von Referenzmodellen, die dem dezentralen, aber vernetzten System als Kommunikationsgrundlage dienen. Rebekka Neumann, wissenschaftliche Mitarbeiterin am ISW, erläutert die Notwendigkeit an einem Beispiel: „Wenn eine Komponente in einer Maschine ausgetauscht werden soll, müssen Informationen zur Maschine und zur Komponente vorhanden sein, zu deren Schnittstellen, beispielsweise zu Nennwerten für Stromstärke und Spannung oder zum Ausgangssignal des Sensors. Damit man nicht alle Informationen händisch zusammentragen muss, sollten die Daten direkt in geeigneter Form vorliegen. Eine solche durchgängige Informationskette ist unser Ziel.“

Um dies zu erreichen, werden die drei zentralen Elemente der Produktion, also Produkte, Herstellungsprozesse und Ressourcen (beispielsweise Maschinen), durch Datenmodelle beschrieben, um die Produktion virtuell abzubilden. Das Referenzmodell bildet hierbei eine Metaebene, welche die Relation der Datenmodelle beschreibt. Kennt man diese Relationen, kann man sich von starren Produktionsabläufen lösen und auch während der Produktion Prozessschritte abwandeln oder Maschinen zuschalten, um den Gesamtprozess zu optimieren.

Ein Schlüsselement für die Umsetzung von Software-defined Manufacturing in der Praxis sind die bereits erwähnten Digitalen Zwillinge (siehe Infokasten). „Sie beschreiben die Produktion mittels Daten, Informationen und Verhaltensmodellen, die über den gesamten Maschinen- bzw. Produktlebenszyklus entstehen“, erklärt Verl. „Nimmt man eine Anlage am Digitalen Zwillings in Betrieb, erlaubt dies einen effizienteren Prozess, geringere Ausfallzeiten und eine bessere Produktqualität.“ →



Foto: Bosch

Digitale
Zwilling eines
Schweißroboters

DIGITALER ZWILLING

Ein Digitaler Zwillings (engl. Digital Twin) ist die virtuelle Nachbildung eines Objektes aus der realen Welt. Diese erlaubt einen übergreifenden Datenaustausch und ermöglicht es, komplexe Produkte und Prozesse digital zu entwickeln, zu testen und zu optimieren, bevor sie tatsächlich hergestellt und später betrieben werden. Digitale Zwillinge bestehen aus Modellen des repräsentierten Objekts oder Prozesses und können daneben Simulationen, Algorithmen und Services enthalten, die Eigenschaften oder Verhalten des repräsentierten Objekts oder Prozesses beschreiben, beeinflussen oder Dienste darüber anbieten. Im Bereich Industrie 4.0 und im Internet der Dinge sind Digitale Zwillinge nicht mehr wegzudenken. Künftig könnten sie auch unseren Alltag begleiten, nicht nur in der Produktion und bei Fahrzeugen, sondern zum Beispiel auch in der Medizin oder beim „smarten“ Wohnen.

Prof. Alexander Verl

„Nimmt man eine Anlage am Digitalen Zwillings in Betrieb, erlaubt dies einen effizienteren Prozess, geringere Ausfallzeiten und eine bessere Produktqualität.“



Mit "Software- und Engineeringmethoden" befasst sich die Wissenschaftliche Mitarbeiterin Rebekka Neumann.

Prof. Verl und sein Team arbeiten im Projekt SDM4FZI daran, wie Firmen durch neue Wege in der Produktionstechnik flexibler und effizienter agieren können.





Prof. Weyrich und sein Team wollen im Projekt SofDCar die Vernetzung von Fahrzeugen auf eine neue Ebene heben.



Teamwork für neue Wege in der Autoproduktion: Golsa Ghasemi vom Institut für Automatisierungstechnik und Softwaresysteme mit Mitarbeitern

Mit dem Laptop die Autoindustrie revolutionieren: Eine neue Softwarearchitektur soll in Zukunft auch die Grundlage für das Autonome Fahren schaffen.



→ Wie das Zusammenspiel von virtueller und realer Welt tatsächlich funktioniert, wollen die Partner in SDM4FZI in der „Stuttgarter Maschinenfabrik“ demonstrieren, einer Softwaredefinierten Fabrik in der Maschinenhalle des ISW, in der die Produktionstechnik eines produzierenden Unternehmens mit industriellen Maschinen und Anlagen sowie Logistiksystemen nachgestellt wird. Komplexe Produkte mit einer Vielzahl an unterschiedlich ausgeprägten Features werden in der Fabrik mit verschiedenen Fertigungsverfahren autonom hergestellt. „Dabei ist es möglich, die Produkte zunächst in der virtuellen Welt zu fertigen, um bereits dort das Zusammenspiel der Ressourcen zu planen und sich ggf. für Plan B oder C zu entscheiden“, erklärt Michael Neubauer. „Auch die Fertigungsqualität, Herstellkosten und Durchlaufzeiten werden auf diese Weise vorhersagbar und können zu Strategieanpassungen führen, bevor ein Plan in der Realität mit realen Kosten umgesetzt wird.“

SOFD CAR: JEDES FAHRZEUG ALS TEIL EINES GROSSEN NETZWERKS

In das Projekt Software-defined Car (SofDCar) bringen sich seitens der Universität Stuttgart unter der Leitung von Prof. Michael Weyrich vom IAS acht Arbeitsgruppen aus drei Fachbereichen ein, zudem ist das Forschungsinstitut für Kraftfahrwesen und Fahrzeugmotoren Stuttgart beteiligt. SofDCar hat ebenfalls die Autoindustrie im Blick, die Stoßrichtung ist jedoch eine andere, erklärt Weyrich: „Die Unternehmens- und Produktlandschaft, die wir vernetzen wollen, ist auf der einen Seite von wenigen großen Herstellern und Zulieferern geprägt, die Systeme sehr maßgeblich beeinflussen können. Auf der

Produktseite wiederum stehen viele Millionen Fahrzeuge in aller Welt, die unter völlig unterschiedlichen technischen, rechtlichen und ethischen Rahmenbedingungen auf der Straße sind.“

In SofDCar konzentrieren sich die Forschenden auf Elektro- und Elektronik- sowie Softwarearchitekturen in völlig neuartiger Weise, indem die Software der führende Teil des Systems wird. Dabei sind zwei Ebenen zu unterscheiden. Zunächst geht es darum, in bestehenden Fahrzeugen den bisherigen Wildwuchs aus über 100 Steuergeräten und Funktionen beherrschbar zu machen. „Das große Bild jedoch ist ein anderes“, betont Weyrich: „Wir betrachten jedes Fahrzeug als Teil einer vernetzten Fahrzeug- und Systemumgebung, das ist das Novum.“ Projektkoordinator Matthias Weiß ergänzt: „Zudem geht es uns darum, die digitale Nachhaltigkeit bestehender und künftiger Fahrzeuggenerationen sowie eine effektive Datennutzung und innovative Anwendungsfälle über den gesamten Lebenszyklus des Fahrzeugs hinweg zu ermöglichen.“

Zwischen allen Elementen der vernetzten Fahrzeuge findet ein kontinuierlicher Informationsaustausch statt – im Fahrzeug selbst, zwischen den Fahrzeugen und zwischen Fahrzeug und Infrastruktur wie etwa einer Ampel oder einem Parkhaus. Die große Frage ist nun, wie man diese Verbindungen mit einer Softwarearchitektur realisieren kann. Hierbei kommt auch bei SofDCar der Digitale Zwilling ins Spiel: Dieser kann den Informationsraum einer gesamten Flotte abbilden und vor allem den sogenannten „Data Loop“ bewerkstelligen, eine Verbindung zwischen den Fahrzeugen im Feld und den Herstellern. Diese Rückkopplung erfolgt bisher noch statisch. Künftig sollen die Messungen dynamisch anpassbar und kontinuierlich über die gesamte Fahrzeugflotte hinweg erfolgen. „Diese Informationen lassen sich über den gesamten Lebenszyklus eines Fahrzeugs hinweg für die Entwicklung nutzen, um die Algorithmen und damit die Fahrzeuge selbst permanent zu verbessern“, so Weiß.

Darüber hinaus führt der Informationsaustausch zu völlig neuen Fahrzeugfunktionen. So kann das Fahrzeug zum Beispiel Warnungen über Verkehrshindernisse im unmittelbaren Umfeld erhalten – und zwar nicht als zeitverzögerte Meldung im Radio, sondern live von einem anderen Fahrzeug, das gerade dort unterwegs ist. Mikrofunktionen dieser Art gibt es bereits, doch die große Vision ist das komplett autonome Fahren. →

PROF. MICHAEL WEYRICH

„Wir betrachten jedes Fahrzeug als Teil einer vernetzten Fahrzeug- und Systemumgebung, das ist das Novum.“

Risikospezialist:
Jun.Prof. Morozov
 sucht nach Fehlern
 in der Software,
 um Risiken zu
 analysieren und
 zu verringern.

DR. ANDREY MOROZOV

„Wir fühlen
 den Daten auf
 den Puls, um
 zu erkennen,
 ob alles okay
 ist.“



→ „Bis dahin wird es zwar noch eine Weile dauern, aber wir legen die Grundsteine dazu“, ist Weyrich überzeugt.

Die Herausforderungen sind allerdings groß, schon aufgrund der schieren Menge der zu vernetzenden Elemente. Noch gravierender – und dies gilt für beide Projekte – sind die Sicherheitsfragen, die mit dem Konzept „Software-defined“ einhergehen. „Das beginnt schon beim schlichten Datenklau, also der Gefahr, dass Software gestohlen oder kopiert wird und zum Schaden des Eigentümers umprogrammiert werden kann“, erläutert Alexander Verl. Noch brisanter sind die Sicherheitsfragen beim autonomen Fahren, wo ein Fehler in der Software schnell Menschenleben kosten kann. „Prozesse und Infrastruktur zur Freigabe und Verteilung der notwendigen Software und Information müssen daher entsprechend abgesichert sein“, ergänzt Weyrich.

FEHLERSUCHE ALS ESSENZIELLE HERAUSFORDERUNG

Dazu freilich muss man die Fehler erst einmal finden. Das ist die Domäne von Dr. Andrey Morozov. Der Juniorprofessor am IAS arbeitet gleich in beiden Projekten mit. In SofDCar ist er auf die Erkennung von Anomalien spezialisiert. „Wir fühlen den Daten auf den Puls, um zu erkennen, ob alles okay ist“, bringt er seine Arbeit auf den Punkt. Wobei es bei komplexen cyberphysischen Systemen schwer zu erkennen ist, wo die Störung tatsächlich sitzt.

Daher setze man bei der Fehlersuche auf unterschiedlichen Ebenen an, erläutert Morozov. Fehler auf der Komponentenebene machen sich beispielsweise durch Störungen der Sensoren, Steuerungen oder Netzwerke bemerkbar. Auf der Ebene der Fahrzeuge lassen sich komplexere Fehler detektieren, die sich aus dem Zusammenspiel der Komponenten ergeben, zum Beispiel, wenn es beschleunigt, aber die Geschwindigkeit laut Sensor sinkt. Auch kann ein ungewöhnliches Verhalten des Fahrers oder der Fahrerin Hinweise geben, ob etwas nicht in Ordnung ist. Auf der Ebene der Fahrzeugflotte schließlich geht es um Anomalien im Verkehr. „Die größte Herausforderung ist dabei, in der unendlich großen Datenmenge zu erkennen, →

→ welche Indikatoren gerade relevant sind“, sagt Morozov. „Es ist wichtig, dass wir unsere Aufmerksamkeit je nach Kontext dynamisch steuern. Wenn zum Beispiel ein Elektroauto in der Garage aufgeladen wird, sollten wir unser Augenmerk auf den Batteriecontroller richten, bei einer Stadtfahrt zur Rushhour dagegen mehr auf unsere Umgebung.“

Um der Vielzahl an Anomalien im Gesamtsystem autonom auf die Spur zu kommen, setzen Morozov und sein Team auf Künstliche Intelligenz und Deep Learning. Bereits 2020 entwickelten die Forschenden eine „KrakenBox“, ein Gerät, das mithilfe eines neuronalen Netzes so trainiert werden kann, dass es Fehler in industriellen cyberphysischen Systemen selbstständig und ohne menschliches Zutun erkennt. Neuronale Netze seien für diese Fragestellungen besonders gut geeignet, betont Morozov: „Sie können sich gut erinnern, wie sich ein Signal in der Vergangenheit entwickelt hat, und dessen künftige Entwicklung vorhersagen. Durch den Abgleich dieser Prognose mit der Realität lässt sich dann abschätzen, ob demnächst etwas falsch laufen könnte.“

Während also im Projekt SofDCar die Risikominimierung im Fokus von Morozovs Arbeit steht, zielt sein Beitrag in SDM4FZI auf die Risikoanalyse. Diese wird bisher einmal durchgeführt, bevor das System in Betrieb geht. Beim Software-defined Manufacturing (SDM) kann jedoch jedes Software-Update den Prozess drastisch verändern und neue potenzielle Risikoszenarien schaffen, es entstehen kontinuierlich neue Gefahren. Daher muss auch die Risikoanalyse automatisiert werden, damit sie vor jedem Software-Update durchgeführt werden kann. Hierzu dienen Risikobewertungsmodelle, die beschreiben, wie wahrscheinlich eine Störung ist und welche Schäden sie bewirken kann. Das Problem dabei: „In einem komplexen System schießt die Zahl der möglichen Risikoszenarien exponentiell nach oben“, sagt Morozov.

RECHTLICHE UND ETHISCHE FRAGEN

Neben diesen technischen Hürden gehen Software-definierte Systeme auch mit verzwickten rechtlichen und ethischen Fragen einher. So erlauben die eingebauten Sensorsysteme für das automatisierte und autonome Fahren die Erfassung einer Vielzahl an Informationen über das Fahrzeug, die Insassen sowie das Umfeld, zum Beispiel Videoaufzeichnungen des Außen- und Innenraums, erläutert Weyrich das „delikate Informationsszenario“. Was wünschenswert, noch erlaubt oder verboten ist, wird in den verschiedenen Ländern und Kontinenten sehr unterschiedlich bewertet, teilweise sind die Anforderungen sogar konträr. „Hier besteht ein enormes gesellschaftliches Spannungsfeld, das noch wenig reflektiert wird“, ist sich Weyrich bewusst. Dieses aufzulösen, führt über den Rahmen des eigentlichen Projekts hinaus. Aber der IAS-Leiter betont: „Wir führen dazu intensive Gespräche, zum Beispiel im Rechtsrahmen der Europäischen Kommission sowie in vielen anderen Initiativen. Das sind schwierige Fragen, aber wir stellen uns der Diskussion.“ →



Prof. Weyrich (M.)
 zusammen mit
 Mitarbeiterinnen
 und Mitarbeitern des
 Projekts Software-
 defined Car

KONTAKT

PROF. DR. ALEXANDER VERL
 Mail: alexander.verl@isw.uni-stuttgart.de Telefon: +49 711 685 82422

PROF. DR. MICHAEL WEYRICH
 Mail: michael.weyrich@ias.uni-stuttgart.de Telefon: +49 711 685 67301

VORAUSSCHAUENDER SERVICE



TEXT: Jens Eber

Das Forschungsprojekt bi.smart will mit einem datenbasierten Produktservice gerade kleine und mittlere Unternehmen unterstützen. Es verspricht unter anderem entscheidende Fortschritte bei der Maschinenwartung.

Smartes Serviceangebot für den Mittelstand im Blick: Dr. Daniel Roth

Das klassische Geschäftsmodell kleiner und mittlerer Unternehmen sieht oftmals so aus: Man entwickelt ein hochwertiges Produkt, das auf die Serienfertigung mittlerer Stückzahlen ausgelegt ist. Die Ingenieure und Industriemechaniker legen all ihr Know-how in die Maschine. Kann der Kunde schließlich einwandfrei damit arbeiten, reißt der Kontakt meist erst mal ab – bis irgendwann ein Ersatzteil benötigt wird.

Smarte Produkt-Service-Systeme wollen eine neue Dynamik in das Verhältnis zwischen Hersteller und Kunden bringen und durch datenbasierte Angebote einen Mehrwert für beide Seiten schaffen. Dazu braucht es allerdings einen Paradigmenwechsel, ist Dr. Daniel Roth vom Institut für Konstruktionstechnik und Technisches Design (IKTD) der Universität Stuttgart überzeugt. Im Forschungsprojekt bi.smart untersucht eine Gruppe um Roth, wie sich ein smartes Produkt-Service-System auch in kleinen und mittleren Unternehmen einführen und umsetzen lässt. Wie groß das Interesse ist, zeigt schon ein Blick auf Förderer und Projektpartner: bi.smart wird vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) mit zwei Millionen Euro gefördert und vom Projektträger Karlsruhe (PTKA) betreut. Zum Projektkonsortium gehören neben dem Karlsruhe Service →

→ Research Institute (KSRI) des Karlsruher Instituts für Technologie (KIT) und dem Fraunhofer IAO mit Sitz in Stuttgart auch fünf mittelständische Unternehmen aus Baden-Württemberg sowie der Technologieanbieter EDI.

DATEN ERMÖGLICHEN FRÜHZEITIGE MASCHINENWARTUNGEN

Einer der Projektpartner von bi.smart ist die Firma Precitec aus Gaggenau, ein Hersteller von Laserschneidköpfen. Das Unternehmen könnte zum Beispiel eine Zustandsüberwachung der Schneidköpfe anbieten. „Wenn die Maschine in der Lage ist, den aktuellen Betriebszustand zu erkennen und zu melden, kann sie mitteilen, dass der Schneidkopf am Lebensende ankommt“, erklärt Yevgeni Paliyenko, akademischer Mitarbeiter am IKTD.

In der Vergangenheit musste ein Mensch direkt an der Maschine nachsehen, ob der Laserschneidkopf noch korrekt arbeitete, und im Bedarfsfall für Ersatz sorgen. „Durch Sensorik ist es heute möglich, auf einer Datengrundlage Dienstleistungen anzubieten“, so Paliyenko. So kann eine Maschinenwartung erfolgen, bevor die Anlage ausfällt. Mehr noch: Die gewonnenen Daten könnten helfen, das eigene Produkt weiter zu optimieren. Wenn es einem Hersteller etwa gelinge, eine bislang zu leistungsstark ausgelegte Anlage auf den tatsächlichen Bedarf der Kunden hin zu optimieren, bleibe sie womöglich auch preislich gegenüber den internationalen Wettbewerbern konkurrenzfähig, erklärt Paliyenko.

Produkte vom Kundennutzen her zu denken, mag für viele große Unternehmen mit personell gut ausgestatteten Entwicklungsabteilungen bereits Alltag sein. Kleine und mittlere Unternehmen sehen sich bei Gedanken an zusätzliche Produktservices hingegen oft vor große Herausforderungen gestellt. Ein Ziel von bi.smart ist daher ein smartes Launchpad. Dieser „digitale Gesprächsführungsbogen“ solle es Unternehmen und ihren Entwicklern ohne Grundkenntnisse ermöglichen, sich den potenziellen Services im Umfeld der eigenen Produkte anzunähern, sagt Roth. „Es werden kleine Häppchen abgefragt, und am Ende bekommt das Unternehmen Empfehlungen ausgesprochen.“

LANGFRISTIGE VORTEILE IM INTERNATIONALEN WETTBEWERB

Dass ein solches smartes Produkt-Service-System auf Anhieb die Welt der KMUs revolutioniert, erwartet das bi.smart-Team indes nicht. „Solange ein Prozess gut funktioniert, gibt es keinen Anlass für Veränderung“, so Roth. Von den Argumenten, die für solche Services sprechen, ist der Projektleiter gleichwohl fest überzeugt: „Wenn eine Maschine aus dem Ausland ein Drittel weniger kostet, ist es eine große Chance, wenn wir ein Geschäftsmodell drum herum anbieten können, das mit unserem Produkt harmoniert.“ Entscheidend ist zudem, Sensoren und digitale Schnittstellen für solche Services schon in frühen Entwicklungsphasen mit einzuplanen. Smarte Technologie nachzurüsten, halten die IKTD-Forscher für deutlich schwieriger.

Das Projekt bi.smart läuft noch bis Ende Februar 2024. In der mittlerweile abgeschlossenen ersten Phase befasste sich das IKTD-Team vor allem mit Erhebungen und führte die Erkenntnisse zusammen. „Wir können nun vorhandene Defizite ableiten und daraus Anforderungen an ein neues Modell entwickeln“, so Paliyenko. Viele der klassischen Produktentwicklungsmodelle blieben beim Punkt Serviceentwicklung an der Oberfläche. Mit dem Ansatz, mögliche Services schon von Beginn an in die Produktentwicklung zu integrieren, wird im Projekt bi.smart daher Neuland betreten – aber eines, das vielversprechende Aussichten verspricht. →

Dr. Daniel Roth

„ES WERDEN KLEINE HÄPPCHEN ABGEFRAGT, UND AM ENDE BEKOMMT DAS UNTERNEHMEN EMPFEHLUNGEN AUSGESPROCHEN.“



Hier finden Sie ein Video zum Projekt bi.smart.

KONTAKT

DR. DANIEL ROTH
Mail: daniel.roth@ikt.uni-stuttgart.de Telefon: +49 711 685 60240

Foto: Uli Regenseit

Schneller ohne Regeln

TEXT: Jens Eber

Forscherinnen und Forscher des Instituts für Fördertechnik und Logistik wollen Abläufe in Lagerhallen mithilfe Künstlicher Intelligenz beschleunigen. Das könnte der Wirtschaft vor allem zu Stoßzeiten wie im Weihnachtsgeschäft helfen.

Wenn Autofahrerinnen oder -fahrer aus unterschiedlichen Richtungen an eine Kreuzung gelangen, kennen sie klare Regeln: Zuerst dürfen diejenigen fahren, die geradeaus weiterwollen, dann die Rechtsabbieger und zum Schluss alle, die nach links fahren möchten. Das ist leicht zu merken, führt in der Praxis beim Linksabbiegen aber oft zu Wartezeiten.

In den Lagerkomplexen der Logistikbranche – ganz gleich, ob es um Teile für die Autoproduktion, Kleidung, Lebensmittel oder Unterhaltungselektronik geht – kann es im Transportsystem zu ähnlichen Staus kommen. Das kostet Zeit und am Ende auch Geld. Ein Forschungsteam des Instituts für Fördertechnik und Logistik (IFT) der Universität Stuttgart untersucht, wie Lagersysteme mithilfe Künstlicher Intelligenz optimiert werden könnten. Vorab: Strenge Vorfahrtsregeln spielen dabei keine Rolle.

Gerade dort, wo in Lagern mit Zehntausenden Regalstellplätzen Waren kommissioniert werden, hat sich in den vergangenen Jahren das Shuttle-Lager durchgesetzt. Bei Shuttles handelt es sich um kleine Transporteinheiten, die sich in den Regalreihen horizontal bewegen. Sie entnehmen die benötigte Ware vom Lagerplatz und fahren anschließend aus der Gasse zu einem Behälterlift. Dieser Lift bringt die Ware zur angeschlossenen Fördertechnik. Über diese Fördertechnik wird die Ware anschließend zum Kommissionierer gebracht.

MIT KI STAU IN LOGISTIKLAGERN VERMEIDEN

In Stoßzeiten wie am „Black Friday“, zu Weihnachten oder auch während eines Kollektionswechsels in der Modebranche kann es dabei zu den Situationen kommen, von denen Autofahrer so genervt sind: Auf der „Hauptstraße“ des Lagers sind gerade so viele Shuttles unterwegs, dass die Fahrzeuge, die aus den Regalgassen einbiegen möchten, zum Warten verdammt sind oder Ausweichrouten nehmen müssen. In der Folge warten auch die Mitarbeiter, die die Waren eines Auftrags zusammenstellen.

„Deshalb ist es sinnvoll, sich Gedanken zu machen, wie man in Shuttlesystemen den Durchsatz verbessern kann“, erklärt Prof. Robert Schulz vom IFT. In einem vielversprechenden Ansatz soll eine Künstliche Intelligenz an einem Simulationsmodell in Tausenden Trainingsdurchläufen lernen, wie sie den Durchsatz im Lagersystem erhöhen kann. „Wir erhoffen uns eine Steigerung von drei bis fünf Prozent, das ist in Spitzenzeiten schon recht viel“, so Schulz.

Ruben Noortwyck befasst sich am IFT mit der Planung und Simulation logistischer Systeme. Er arbeitet daran, Shuttlesysteme über sogenanntes „Deep Reinforcement Learning“ zu optimieren. In einer Simulationsumgebung führt ein Software-Agent dabei die typischen Arbeitsabläufe der Shuttles aus. Je reibungsloser er deren Fluss steuert, desto höher fällt seine „Belohnung“ in Form von Punkten aus. Wählt er hingegen eine Variante, die Zeit kostet, werden ihm Punkte abgezogen. Mit dem →



Prof. Robert Schulz und IFT-Mitarbeiter Noortwyck untersuchen die Abläufe in Lagerhallen

Prof. Robert Schulz

„Wir simulieren nicht in Realzeit, sondern stark beschleunigt.“

RUBEN NOORTWYCK

„Das Schöne an dem Ansatz ist, dass es keine physischen Umbauten am System braucht.“



Sensibles System: Forschende der Universität Stuttgart wollen die Abläufe in Shuttle-Lagern verbessern.

→ einprogrammierten Ziel, möglichst oft belohnt zu werden, nähert sich die KI so immer mehr dem optimierten Ablauf an.

Bis der Algorithmus das System durchdrungen, verinnerlicht und im Sinne des reibungslosen Materialflusses optimiert hat, sind enorm viele Trainingsläufe nötig. „Je mehr Trainingsepisoden wir ausführen, umso stabiler wird das Ergebnis“, erklärt Noortwyck. Dass das Resultat vermeintlich chaotisch wirkt, liegt in der Natur der Sache: Der optimale Fluss der Shuttles folgt eben nicht zwingend den Regeln, wie sie ein logisch denkender Mensch in eine starre Steuerung programmieren würde.

TAUSENDE TRAININGSEINHEITEN MIT SIMULATIONSMODELLEN

Das IFT-Team will nicht nur beweisen, dass eine KI die komplexen Abläufe innerhalb eines riesigen Lagersystems verstehen und erlernen kann. Die Wissenschaftler können den Entwicklern und Betreibern solcher Anlagen auch wirtschaftliche Vorteile in Aussicht stellen. „Das Schöne an diesem Ansatz ist, dass es keine physischen Umbauten am System braucht“, so Noortwyck. Der KI-Agent lernt in einer Simulation und erstellt nach und nach ein neuronales Netz, das später in die Lagersteuerung integriert werden kann. In realen Systemen wird das neuronale Netz erst getestet, wenn das Training im Modell abgeschlossen ist.

Mit Simulationsmodellen zu arbeiten, sieht Prof. Schulz als Vorteil an: „Wir simulieren dabei nicht in Realzeit, sondern stark beschleunigt. Dadurch erzielen wir eine große Anzahl an Trainingssätzen.“ Noch gibt es in der Logistikbranche allerdings offenbar Berührungängste. Schulz kann das nachvollziehen: „Man kann ja nicht genau erklären, warum der Algorithmus etwas Bestimmtes macht.“ Da neue Lagerkonzepte aber vielfach auf Shuttleinsatz bauten, werde die Akzeptanz wohl bald wachsen. „Überall wo flexible und autarke Fördersysteme wie zum Beispiel das Shuttle-System zusammenkommen, ist dieser Ansatz interessant“, ist der Institutsleiter überzeugt. →

KONTAKT

PROF. ROBERT SCHULZ

Mail: robert.schulz@ift.uni-stuttgart.de Telefon: +49 711 685 83771

RUBEN NOORTWYCK

Mail: ruben.noortwyck@ift.uni-stuttgart.de Telefon: +49 711 685 83475

Fotos: Gebhardt Fördertechnik GmbH, Universität Stuttgart/IFT

Positions- bestimmung in Fabrikhallen



TEXT: Miriam Hoffmeyer

Ein neues Verfahren soll es ermöglichen, in Gebäuden Positionen ohne GPS genau und kostengünstig zu ermitteln. Channel Charting nennt sich der vielversprechende Ansatz, an dem ein Forschungsteam am Institut für Nachrichtenübertragung der Universität Stuttgart arbeitet.

Dank GPS lassen sich Positionen unter freiem Himmel problemlos und zuverlässig bestimmen. Innerhalb von Gebäuden sieht das anders aus – denn dort sind GPS-Signale nicht zu empfangen. Wer sich in einem Großklinikum, Messegebäude oder Baumarkt nicht zurechtfindet, muss sich dort auch heute noch wie eh und je durchfragen. In industriellen Produktionshallen werden eigens dafür konzipierte technische Systeme genutzt, um Positionen zu bestimmen. So müssen zum Beispiel Automobilhersteller aus Sicherheitsgründen dokumentieren, wann welcher mobile Roboter an einem Fahrzeug gearbeitet hat. Gemeinsam ist den verschiedenen Verfahren dafür, dass die nötigen Geräte extra installiert werden müssen. „Herkömmliche Indoor-Positionierungssysteme sind mit viel Aufwand und hohen Kosten verbunden“, sagt Prof. Stephan ten Brink, Leiter des Instituts für Nachrichtenübertragung (INÜ) der Universität Stuttgart. „Außerdem sind sie störanfällig und nicht sehr genau.“ Das liegt daran, dass Innenwände und Gegenstände elektromagnetische Wellen reflektieren, was Positionsmessungen gerade in industriellen Umgebungen erschwert.

OHNE GPS DIE EXAKTE POSITION BESTIMMEN

Mit einem Kernteam aus den Doktoranden Florian Euchner und Phillip Stephan arbeitet ten Brink an „Channel Charting“, einem neuartigen Verfahren an der Schnittstelle zwischen Kommunikationstechnik und Informatik. Ziel ist es, Positionen nicht nur verlässlich und exakt, sondern auch sehr kostengünstig zu bestimmen – ohne GPS und ohne extra installierte Geräte. „Sämtliche Daten werden aus dem Normalbetrieb bestehender Mobilfunk- und WLAN-Netze gewonnen“, erklärt ten Brink. Mithilfe neuronaler Netze wird aus diesen Daten eine virtuelle Karte (Chart) eines Funkkanals (Channel) erstellt, auf der sich im nächsten Schritt auch die Positionen mobiler Benutzer ermitteln lassen. Aus den Bewegungen eines Funkkanal-Nutzers auf der virtuellen Karte kann seine voraussichtlich nächste Position in der realen Welt errechnet werden.

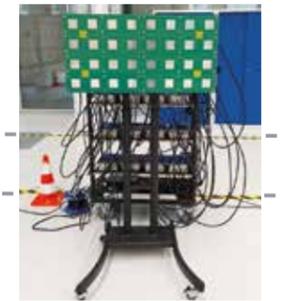
Die Forschenden experimentieren vor allem in der Arena2036, der „Forschungsfabrik“ auf dem Campus Vaihingen. Neben der Universität Stuttgart nutzen Unternehmen und →

Die ARENA2036 auf dem Campus Vaihingen bietet auch für die Forschung an „Channel Charting“ ideale Bedingungen.

Prof. Stephan ten Brink

„Das System liefert selbst dann noch gute Vorhersagen, wenn sich die Umgebung ändert.“

Prototyp einer Basisstation zur neuartigen Positionsbestimmung: 32 Patch-Antennen empfangen Signale für das „Channel Charting“-Verfahren.



→ wissenschaftliche Einrichtungen die große Halle, um vielfältige mobile Anwendungen zu erforschen. In einem Eckbereich zieht dort bei den Tests zum Beispiel ein Roboter seine Bahnen, den Florian Euchner, Doktorand am INÜ, selbst gebaut hat: „Die Plattform gehörte zu einem ausgedienten Fußballroboter, den wir auf dem Schrott gefunden haben“, erinnert er sich. Mit Schnüren hat er die Sendeantenne in der Mitte wackelsicher befestigt. Über ein lokales 6G-Forschungsnetz sendet der Roboter nun ununterbrochen Funksignale an 32 Patch-Empfangsantennen.

Die Patch-Antennen fangen nicht nur die direkten Funksignale des Roboters und anderer Sender in der Halle auf, sondern auch die Phasenverschiebungen durch die vielfältigen Reflexionen, die unter anderem von einem wandhohen Metallgerüst oder den zahlreichen Stellwänden in der Halle zurückgeworfen werden. „Jede Antenne empfängt ein anderes Reflexionsprofil“, sagt Florian Euchner: „Und alle Reflexionsprofile, die zu einem bestimmten Zeitpunkt empfangen werden, bilden einen Datenpunkt.“ Innerhalb kurzer Zeit können so riesige Datenmengen gewonnen werden. Die Forschenden bilden dann Gruppen aus je drei Datenpunkten (Triplets) und untersuchen sie mithilfe neuronaler Netze auf Ähnlichkeiten und Unterschiede. „Datenpunkte mit ähnlichen Merkmalen entsprechen mit sehr großer Wahrscheinlichkeit Punkten, die räumlich nahe beieinanderliegen“, sagt Prof. ten Brink. Auf den Channel Charts sind diese „Nachbarschaftsverhältnisse“ zwischen Datenpunkten farblich dargestellt. Die Grafiken entsprechen in der Form erstaunlich genau den Flächen, die der Senderroboter befahren hat.

STUTTGARTER FORSCHUNGSTEAM ARBEITET AN EINZIGARTIGEM VERFAHREN

Für ihre Untersuchungen nutzen die Forscher eine „starke“ Künstliche Intelligenz, die nicht unterschiedslos alle aus den empfangenen Daten gebildeten Muster abspeichert, sondern nur die als relevant erkannten. Das spare nicht nur Speicherplatz, so Stephan ten Brink, sondern mache das System auch robuster: „Es liefert selbst dann noch gute Vorhersagen, wenn sich die Umgebung ändert – was in der Realität der Industrieproduktion und natürlich auch hier in der Arena2036 ständig passiert.“

Bislang befassen sich international nur sehr wenige Forschende mit Channel Charting. Technisch möglich wurde das Verfahren überhaupt erst durch den Mobilfunkstandard 5G und die dazugehörigen Antennensysteme, die den Empfang einer sehr großen Menge an Signalen ermöglichen. Um die großen Datenmengen zu bewältigen, entwickelte das Stuttgarter Forschungsteam ein Verfahren zur dezentralen Speicherung der Funksignale direkt an den Empfangsantennen. Für die notwendige Synchronisierung sorgt ein zusätzlicher zentraler Sender. Dieses einzigartige Channel-Charting-Verfahren entwickelt das Team jetzt weiter. →



Unermüdlicher Datenlieferant: Ein umgebauter Roboter zieht auf dem Forschungsfeld seine Bahnen und sendet Funksignale.

KONTAKT

PROF. DR. STEPHAN TEN BRINK
Mail: tenbrink@inue.uni-stuttgart.de Telefon: +49 711 685 68016

Fotos: ARENA2036/Corinna Spitzbarth, INÜ/Florian Euchner

KI FÜR ALLE

TEXT: Daniel Völpel

Künstliche Intelligenz und Software Engineering zählen zu den wichtigsten Zukunftstechnologien. Die Artificial Intelligence Software Academy (AISA) will an der Universität Stuttgart diese Schlüsselkompetenzen interdisziplinär in Forschung und Ausbildung stärken.



Nadine Koch befasst sich in ihrer Promotion damit, wie sich KI-Kompetenz vermitteln lässt.

Methoden der Künstlichen Intelligenz (KI) finden sich in vielen Bereichen. In der Forschung, in Unternehmen und im Alltag. Doch die digitale Revolution vollzieht sich schneller als die Aus- und Weiterbildung: Viele Fachkräfte kennen sich mit KI nicht aus. In den meisten Studienfächern sind KI-Methoden nicht Teil des Curriculums. Um dem entgegenzuwirken, hat an der Universität Stuttgart ein interdisziplinäres Team unter der Leitung von Prof. Steffen Becker, Prof. Felix Fritzen, Prof. Steffen Staab, Prof. Stefan Wagner und Jun.-Prof. Maria Wirzberger die Artificial Intelligence Software Academy (AISA) gegründet.

„Unser Ziel ist es, eine Lücke zu schließen, die bisher nicht geschlossen ist, indem wir passgenau KI-Kompetenz an Nicht-KI-Experten und -Expertinnen vermitteln“, erklärt Wirzberger, Leiterin der Abteilung Lehren und Lernen mit intelligenten Systemen und Sprecherin des Interchange Forum for Reflecting on Intelligent Systems. Sie verantwortet den Bereich Training der Akademie, in dem Studierende neben ihrem Studienfach Zusatzqualifikationen oder Zertifikate erwerben können. Stets geht es dabei um Kompetenzen der KI (engl. AI) und des Software Engineering (SE), also dem Entwerfen und Erstellen der nötigen (KI-)Programme. Dies verknüpfen die Teilnehmenden mit der Anwendungsdomäne aus ihrem Fachbereich, erklärt Wirzberger.

WISSENSCHAFTSMINISTERIUM BADEN-WÜRTTEMBERG FÖRDERT AISA

Die zweite Säule der Akademie umfasst den Bereich der Forschung, sie wird von Prof. Steffen Staab koordiniert, Abteilungsleiter Analytic Computing am Institut für Parallele und Verteilte Systeme (IPVS). Die AISA-Gesamtkoordination hat Prof. Stefan Wagner übernommen, Abteilungsleiter Empirisches Software Engineering am Institut für Software Engineering (ISTE).

Seit August 2021 und zunächst bis Ende 2023 fördert das Ministerium für Wissenschaft, Forschung und Kunst des Landes Baden-Württemberg AISA mit 2,75 Millionen Euro. Mit dem Geld schafft das Team unter anderem eigene Rechnercluster an und finanziert elf Promotionsstellen. Deren Besonderheit: Jede Doktorandin und jeder Doktorand wird durch mehrere Expertinnen und Experten aus unterschiedlichen Fachrichtungen betreut. „Gerade durch diese speziellen Konstellationen wird es möglich, Schnittstellen Themen zu beforschen“, erklärt Wirzberger – also die Verbindung von AI mit SE und der fachlichen Anwendung.

Eines dieser Schnittstellen-Themen bearbeitet Marijana Palalić in ihrer Promotion „Künstliche Intelligenz für die hybride Fertigung der Zukunft“. Betreut wird ihre Arbeit von einem ganzen Team: dem Leiter des Instituts für Werkzeugmaschinen (IfW), →

Marijana Palalic vom Institut für Werkzeugmaschinen wird bei ihrer Promotion dank AISA von Expert*innen aus unterschiedlichen Fachrichtungen betreut.

Fotos: Uli Regenseit, privat

Jun. Prof. Dr. Maria Wirzberger

„Unser Ziel ist es, eine Lücke zu schließen, die bisher nicht geschlossen ist, indem wir passgenau KI-Kompetenz an Nicht-KI-Experten und -Expertinnen vermitteln“

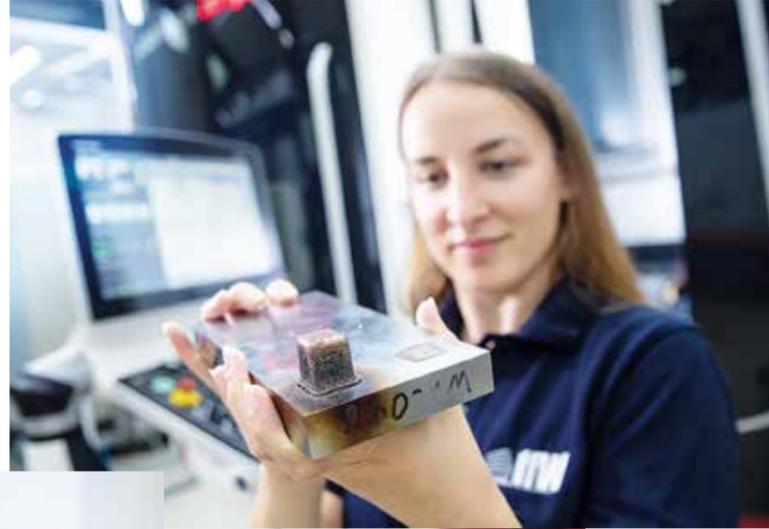


Jun. Prof. Maria Wirzberger will mit AISA das Thema KI breit in die Studiengänge hineinbringen.

→ Prof. Hans-Christian Möhring, als Experte für additive und subtraktive Fertigungstechnologien, Prof. Steffen Becker, Leiter der Abteilung Software Quality und Architecture (SQA), als Fachmann für modellgetriebenes Software Engineering und Software-Architekturen sowie Jun.-Prof. Andreas Wortmann vom Institut für Steuerungstechnik der Werkzeugmaschinen und Fertigungseinrichtungen (ISW), der zu modellbasierter Entwicklung in der Produktionsautomatisierung forscht.

PROMOTIONEN ZU SCHNITTSTELLENTHEMEN

„Wir beschäftigen uns mit dem Laserauftragschweißen mit Metallpulver“, erklärt Palalić. Dabei dient ein Hochleistungslaser als Wärmequelle. „Er schmilzt das Werkstück lokal, gleichzeitig wird ein inertes Gas, gemischt mit feinem Metallpulver, zugeführt. An der Stelle schmilzt das Pulver auf und verbindet sich mit der Oberfläche des Bauteils. Das passiert Schicht für Schicht.“ Mit diesem Verfahren lassen sich unterschiedliche Werkstoffe in einem Bauteil realisieren oder bestimmte Bereiche oder Komponenten sogar →



Marijana Palalić betrachtet einen im Rahmen ihrer Promotion durch ein neues Verfahren gefertigten Würfel.



Keine Bahn, sondern ein moderner Arbeitsplatz: Diese Maschine ermöglicht eine hybride Bauteilfertigung.

→ reparieren. Außerdem werden Geometrien möglich, die mit klassischen Methoden der Metallbearbeitung nicht herzustellen wären. Gleichzeitig entsteht kaum Abfall.

Doch es gibt Nachteile: „Ein additiv gefertigtes Bauteil muss fast immer durch Materialabtrag nachgearbeitet werden, insbesondere durch spanende Verfahren wie Fräsen, Bohren und Schleifen“, so Palalić. Diese hybride Fertigungsweise stelle hohe Anforderungen an den Prozess. Die einzelnen Schritte der Prozesskette müssen genau abgestimmt sein, damit die hergestellten Teile etwa in der Luftfahrt oder der Medizintechnik das erfüllen, was man von ihnen erwartet.

Weil aber der Prozess aus Materialauftrag und -abtrag komplex sei, gebe es bislang große Unsicherheit über die mechanischen Eigenschaften dieser Bauteile, erklärt die Forscherin. „Es gibt sehr viele Parameter und Effekte, die miteinander korrelieren und die noch zu erforschen sind. Die Wechselwirkungen lassen sich nicht analytisch beschreiben. Deshalb eignet sich hier der Einsatz von maschinellem Lernen, um nicht nur Information zu erhalten, was während des Prozesses passiert ist. Sondern wir können damit auch Prognosen über die Qualität des Bauteils treffen, die bisher nicht möglich waren.“

Palalićs Ziel ist es, ein virtuelles Modell oder eine Art Digitaler Zwilling des Bauteils und des Fertigungsprozesses zu entwickeln. Dies solle es ermöglichen, den Prozess zu beobachten und zu optimieren, etwa durch Erkennen von Fehlern. Im ersten Schritt baut sie Sensoren in die Maschine ein. Mithilfe von SE entsteht eine effiziente Software. „Die Sensordaten müssen für die Algorithmen des maschinellen Lernens aufbereitet werden“, führt Palalić aus. Drittens muss sie die Algorithmen für die KI-Methode des maschinellen Lernens korrekt auswählen, parametrieren und dann anwenden, um dann ein digitales Modell zu erhalten.

KI-KOMPETENZ WIRD ZU EINER GRUNDFERTIGKEIT

Der Bedarf sei zweifellos vorhanden, Studierende aus Nichtinformatikfächern im Bereich KI und SE zu qualifizieren, betont Wirzberger. „Wenn wir die Fachkräfte der Zukunft vernünftig qualifizieren wollen, müssen wir das Thema breit in die Studiengänge hineinbringen.“

Dass Promovierende wie Palalić die AISA-Seminare mitbetreuen und Studierende zu KI- oder SE-Fragen beraten, stelle eine weitere Besonderheit der Akademie dar. „Wenn zum Beispiel eine Studierende oder ein Studierender in einer Masterarbeit einen KI-gestützten Algorithmus nutzen möchte und dazu Fragen hat, dann sind wir die Anlaufstelle, bei der man Hilfestellung und Feedback erhält“, sagt Wirzberger. „KI-Kompetenz wird immer mehr zur Grundfertigkeit. Ich muss verstehen: Was treibt diese Systeme an? Wie weit kann ich ihnen vertrauen? Wo muss ich besonders kritisch nachdenken?“

Wie es besser gelingt, diese Kompetenz zu vermitteln, möchte Nadine Koch in ihrer Promotion herausfinden, die Wirzberger und Becker gemeinsam betreuen. „Es geht darum, KI-Didaktik für Nicht-KI-Domänen-Expertinnen und -Experten zu entwickeln“, erklärt Wirzberger. „Was brauche ich, um Nicht-KI-Fachkräften die Auswahl eines bestimmten Algorithmus, die Vor- und Nachteile, die Einsatz- und Evaluationsmöglichkeiten systematisch und anschaulich zu vermitteln? Kann ich dazu etablierte Formen aus der Lehr-/Lernforschung oder der Informatikdidaktik verwenden? Wie muss ich diese anpassen?“ Denn sind diese Fragen beantwortet, können bald noch mehr Fachkräfte von morgen KI-kompetent in ihr Berufsleben starten. →

Marijana Palalić

„Wir können damit auch Prognosen über die Qualität des Bauteils treffen, die bisher nicht möglich waren.“

KONTAKT

PROF. DR. STEFAN WAGNER
Mail: stefan.wagner@iste.uni-stuttgart.de Telefon: +49 711 685 88455

JUN. PROF. DR. MARIA WIRZBERGER
Mail: maria.wirzberger@ife.uni-stuttgart.de Telefon: +49 711 685 81176

Auf dem Weg zur smarten IT

TEXT: Michael Vogel

Ein Team am Institut für Parallele und Verteilte Systeme (IPVS) forscht an Konzepten, wie IT-Systeme smart in gegebenen Kontexten zusammenarbeiten.

Es erscheint alles ganz einfach. Im Internet der Dinge fügen sich unzählige Sensoren und Mini-Rechner zu einem vernetzten intelligenten Gesamtsystem zusammen. Unsere eigenen Computer – Smartphone, Smartwatch, Fitness-Tracker, Virtual-Reality-Brille ... – sorgen dann im Zusammenspiel mit dem Internet der Dinge dafür, dass unser Alltag bequemer wird. Pervasive Computing ist einer der Begriffe, die dafür geprägt wurden: Rechenleistung ist allgegenwärtig, durchdringt alles. Doch damit alle Systeme miteinander kommunizieren und zum richtigen Zeitpunkt genau die richtigen Informationen austauschen, ist ein ziemlicher Aufwand nötig.

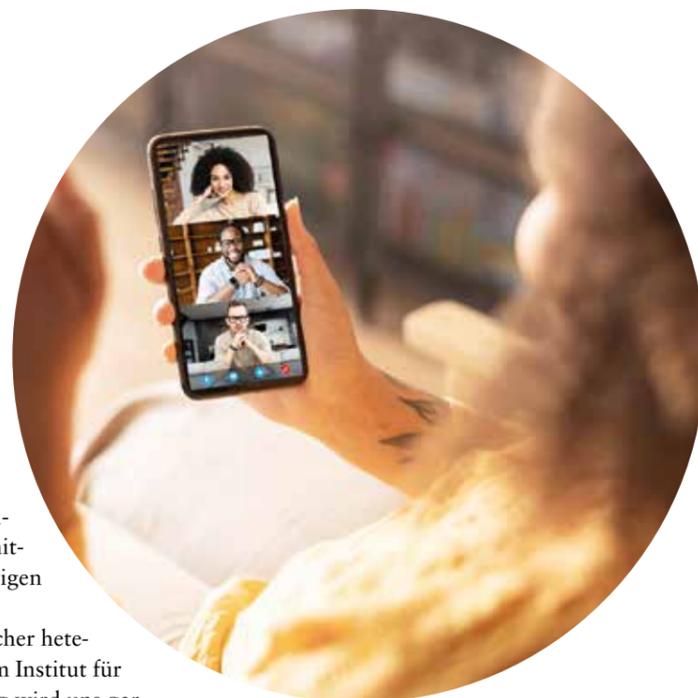
Prof. Christian Becker forscht daran, das nahtlose Zusammenspiel solcher heterogenen Systeme zu erleichtern. Er leitet die Abteilung Verteilte Systeme am Institut für Parallele und Verteilte Systeme (IPVS) der Universität Stuttgart. „Im Alltag wird uns gar nicht bewusst, was IT-Systeme im Hintergrund für Probleme erfolgreich bearbeiten müssen, damit sie reibungslos funktionieren.“ Zum Beispiel das Smartphone: Es stellt automatisch eine Verbindung her, entweder zu einem WLAN oder zum Mobilfunknetz. Wenn man sich mit dem Gerät bewegt, dann verlässt man womöglich den Bereich eines WLAN. Womöglich kehrt man aber kurz darauf zurück in dessen Wirkungsbereich. Ist es dann günstiger, wenn das Smartphone zwischen WLAN und Mobilfunknetz hin- und herwechselt oder wäre es besser, einfach im Mobilfunknetz zu bleiben, trotz einer insgesamt schlechteren, aber dafür stabilen Verbindung?

Auf die Frage gibt es keine einfache Antwort. Jede Anpassung kostet das Smartphone Rechenleistung und damit Energie. Gleichzeitig sollte die Funkanbindung eines Smartphones möglichst gut sein. „Alles hängt also vom Verhalten des Nutzers ab“, sagt Becker. „Sitzt jemand am Schreibtisch im Büro und holt sich nur kurz einen Kaffee, macht es vielleicht Sinn, vorübergehend ins schlechtere Netz zu wechseln.“ Jedenfalls macht das Verweilen im WLAN keinen Sinn, wenn jemand das Gebäude verlässt. Hätte das Gerät solche Informationen, ließe sich das Management der Funkverbindungen verbessern.

GRUNDLAGEN FÜR ZUSAMMENSPIEL DER SYSTEME SCHAFFEN

Becker forscht aber nicht an der Frage, was die optimale Lösung solcher Probleme ist, sondern wie sich die beteiligten technischen Systeme universell beschreiben lassen, um mit möglichst geringem Aufwand die genannten Fragen beantworten zu können. „Wir sind nicht diejenigen, die eine Anwendung bauen, sondern diejenigen, die versuchen, möglichst alle Komponenten und Einschränkungen zu identifizieren, die in eine universelle Beschreibung des Problems einfließen müssen.“

Natürlich spielen solche Fragen auch bei Technologien eine Rolle, die im Markt bereits verfügbar sind. „Zwar können diese Systeme eine geeignete Konfiguration identifizieren, aber oft mehr schlecht als recht“, sagt Becker. Mobilfunkunternehmen zum Beispiel buchen →



WLAN oder Mobilfunk? Das Management der Smartphone-Verbindungen ist eine knifflige Aufgabe.

Prof. Dr. Christian Becker

„Im Alltag wird uns gar nicht bewusst, was IT-Systeme im Hintergrund für Probleme erfolgreich bearbeiten müssen, damit sie reibungslos funktionieren.“

→ jemanden, der mit dem Smartphone telefoniert, während er unterwegs ist, einfach immer blind in die stärkste 4-G-Zelle ein – unabhängig davon, welchen Weg die Person voraussichtlich nimmt. Bewegt sie sich im Auto auf der Autobahn, wäre eigentlich absehbar, welches die nächste Funkzelle ist. Könnte das Mobilfunkunternehmen diesen kommenden Bedarf vorausschauend berücksichtigen, könnte es die Rechner in der relevanten Funkzelle bereits „vorwärmen“, also die erforderlichen Services dort schon bereithalten. Dann können diese Dienste sofort genutzt werden, wenn das betreffende Fahrzeug in die Funkzelle gelangt. Das funktioniert derzeit nur gut, solange solche Dienste bekannt und standardmäßig verfügbar sind, etwa das Telefonieren.

„Das mag auf den ersten Blick wie die Lösung eines eher randständigen Problems wirken“, sagt Becker. „Doch wer zum Beispiel an einer Videokonferenz teilnimmt, während er im Auto unterwegs ist, weiß es schon zu schätzen, wenn die Verbindungsqualität konstant bleibt.“ Im sogenannten Edge Computing werden Infrastrukturen erforscht, die solche maßgeschneiderten Dienste mobilen Endgeräten anbieten. Hier kommen Pervasive und Cloud Computing zusammen und werden durch das Mobilfunknetz verknüpft. „Dann ist das Ganze wirklich größer als die Summe der Teile“, so Becker.

ALLGEMEINGÜLTIGE ANSÄTZE FÜR VIELFÄLTIGE PROBLEME

Lösungsansätze für solche Probleme sind heutzutage noch sehr spezifisch. Verändert sich das Anwendungsszenario, muss man also wieder bei null beginnen. „Das ist ineffizient“, sagt Becker. Sein Team und er suchen daher nach allgemeingültigeren Ansätzen, „damit die Systeme auf wechselnde Anforderungen vorausschauend reagieren können, ohne dass die Problemstellung vorab im Detail spezifiziert sein muss“. →

KONTAKT

PROF. DR. CHRISTIAN BECKER
Mail: Christian.Becker@ipvs.uni-stuttgart.de
Telefon: +49 711 685 88233

Fotos: iStock, Siegfried Herrmann

Christian Becker

Seit dem 1. April 2022 leitet der 54-jährige Informatiker die Abteilung Verteilte Systeme am Institut für Parallele und Verteilte Systeme (IPVS), nachdem er einen Ruf der Universität Stuttgart auf eine W3-Professur angenommen hat. Der gebürtige Hanauer hat in Karlsruhe und Kaiserslautern Informatik studiert und an der Goethe-Universität Frankfurt am Main promoviert. Vor seinem Ruf an die Universität Stuttgart hatte er eine Professur für Wirtschaftsinformatik an der Universität Mannheim inne.



Mit KI Software- fehlern auf der Spur



TEXT: Michael Vogel

Mit neuronalen Netzen lassen sich in Computerprogrammen auch komplexe und seltene Fehler entdecken. Ein Team der Universität Stuttgart gehört zur Sperspitze dieser Forschung.

Moderne Software besteht aus Millionen Zeilen Programmcode. Fehler sind da fast unvermeidlich. Eine unangenehme Vorstellung angesichts der steigenden Bedeutung der Informationstechnik. Wie viele Fehler in einer typischen Software stecken, darüber gehen die veröffentlichten Zahlen auseinander. Eine häufiger zitierte Quelle, das Fachbuch „Code Complete“, nennt als Branchendurchschnitt einen bis 25 Fehler pro 1000 Zeilen Code – für Software, die sich bereits im Markt befindet. „Die Größenordnung ist über die letzten Jahrzehnte relativ konstant geblieben, da zwar die Softwarequalität steigt, aber Software gleichzeitig auch immer komplexer wird“, sagt Prof. Michael Pradel, Geschäftsführender Direktor des Instituts für Software Engineering (ISTE) der Universität Stuttgart.

Um Fehler zu vermeiden oder sie wenigstens vor der Auslieferung eines Programms zu entdecken, betreibt die Branche einen hohen Aufwand. „Das reicht von den Entwicklungswerkzeugen, die bereits beim Schreiben des Codes auf Fehler hinweisen, bis zu Softwaretests durch Profis und Tests durch die Nutzenden“, zeigt Pradel die Spanne auf. Automatisch arbeitende Werkzeuge, die Softwareentwicklungsteams helfen, Fehler zu vermeiden, analysieren heutzutage den Programmcode streng logisch. Sie können zum Beispiel erkennen, wenn eine Anweisung zu einem Sprung an eine andere Stelle im Programmcode ins Nirwana führt oder im Programmcode in einer Liste aus fünf Elementen auf ein nicht vorhandenes sechstes Element zugegriffen wird. Weltweit gibt es jedoch nur wenige Hundert Fachleute, die solche automatischen „Fehlerfinder“ entwickeln können.

MILLIONENSCHWERE FÖRDERUNG DURCH ERC STARTING GRANT

„Daher hat sich in den vergangenen fünf Jahren die Analyse von Programmcode mithilfe von neuronalen Netzen, also Künstlicher Intelligenz, als Forschungsfeld rasant entwickelt“, sagt Pradel. Mit an der Spitze dieser Entwicklung stehen der Informatiker →

→ und sein Team. Die EU bewilligte ihm 2019 einen ERC Starting Grant. 1,5 Millionen Euro, verteilt über fünf Jahre, stehen Pradel nun für die Forschung an neuronalen Softwareanalysen zur Verfügung.

Mit neuronalen Softwareanalysen wird zum Beispiel ein Reverse Engineering möglich, also die Ableitung des ursprünglichen Codes, des Quellcodes, aus einem einsatzfähigen Programm. Mit ihnen lassen sich auch nachträglich im Quellcode Anmerkungen einfügen, um zum Beispiel die Überprüfbarkeit oder Wartung einer Software zu erleichtern. Auf beiden Feldern ist auch Pradels Team aktiv. Doch die Königsdisziplin, in der sich neben großen Softwarefirmen wie Google, Meta oder Microsoft nur wenige Forschungsgruppen tummeln, ist die Fehleranalyse. Zu diesen Gruppen gehören die Stuttgarter Forscherinnen und Forscher.

„Wir wollen mit unserem Ansatz Fehler im Code finden, mit deren Erkennung die automatischen streng logikbasierten Werkzeuge Probleme haben“, erklärt der Informatiker. Solche Fehler entstehen zum Beispiel, wenn während einer Berechnung eine Variable unbemerkt einen Wert annimmt, den sie per Definition gar nicht haben kann. Eine Wahrscheinlichkeit von 101 Prozent wäre so ein Fall, denn Wahrscheinlichkeiten liegen immer zwischen null und 100 Prozent. Passieren kann das zum Beispiel durch nicht bedachte Rundungsfehler. „So ein Zwischenwert taucht am Ende der Berechnung aber nirgends auf, weil er nicht dauerhaft benötigt wird. Der Fehler ist dadurch schwierig zu finden.“ Ebenfalls schwer zu entdecken sind Fehler, die bei der Nutzung einer Software zwar zu einer Fehlermeldung führen, aber deren Meldung sehr unspezifisch ist. Aufgrund der Komplexität des eigentlichen Fehlers weist die Meldung dann womöglich sogar in die falsche Richtung.



Prof. Michael Pradel, Geschäftsführender Direktor des Instituts für Software Engineering (ISTE) der Universität Stuttgart.

TRAININGSPROGRAMME GEZIELT MIT FEHLERN FÜTTERN

Pradels Team passt nun existierende neuronale Netze an die zu bewältigende Aufgabe an und trainiert sie anschließend, damit sie die gewünschten Fehler erkennen können. „Als Trainingsdaten nutzen wir den von Open-Source-Programmen frei verfügbaren

Code.“ Das neuronale Netz fasst dabei den Quellcode wie eine Sprache auf und sucht nach verdächtigen Mustern. „Um unsere neuronalen Netze effizient trainieren zu können, ist ein Verhältnis von fehlerbehafteten zu fehlerfreien Daten von eins zu eins ideal“, erklärt Pradel. „Daher fügen wir in die Trainingsdaten gezielt Fehler ein.“ Allerdings fällt es dem Menschen schwer, sich die ganze mögliche Bandbreite an seltenen Fehlern auszudenken. „Daher automatisieren wir auch die Erzeugung von Fehlern durch ein weiteres neuronales Netz.“ Das eine Netz kreiert die Fehler, das andere muss sie finden.

Pradels Team hat inzwischen gezeigt, dass solche Ansätze funktionieren. Verschiedene Werkzeuge, die für Fehleranalysen auf der Basis von neuronalen Netzen erforderlich sind, hat das Team prototypisch entwickelt. Sozusagen als Beifang konnten die Forschenden zudem in Open-Source-Software Dutzende unbekannte Fehler finden. „Die jeweiligen Open-Source-Communitys freuten sich natürlich, dass sie jemand darauf hinwies“, sagt Pradel. →

Prof. Dr. Michael Pradel

„Wir wollen mit unserem Ansatz Fehler im Code finden, mit deren Erkennung die automatischen streng logikbasierten Werkzeuge Probleme haben.“

KONTAKT

PROF. DR. MICHAEL PRADEL
Mail: pradel@iste.uni-stuttgart.de Telefon: +49 711 685 88320

Foto: Katrin Binner, Shutterstock/Best-Backgrounds



HÖCHST- LEISTUNG MIT WENIGER ENERGIE

TEXT: Miriam Hoffmeyer

Leistungsstarke Rechenzentren sind unerlässlich für die digitale Welt – doch sie sind auch enorme Stromfresser. Mehrere Projekte an der Universität Stuttgart wollen dazu beitragen, die Energieeffizienz der Zentren zu verbessern.

Fotos: HLRS, Universität Stuttgart/IER



PROF. PETER RADGEN

„In der Politik und bei den Betreibern ist das Bewusstsein gewachsen, dass Rechenzentren umweltfreundlicher werden müssen.“

Flaggschiff des
Höchstleistungs-
rechenzentrums
Stuttgart: der Super-
computer Hawk

Der Energiebedarf von Rechenzentren steigt von Jahr zu Jahr. 2020 verbrauchten die deutschen Rechenzentren nach Schätzungen des Branchenverbands Bitkom schon mehr Strom als die Stadt Berlin – 16 Milliarden Kilowattstunden. Seit Beginn der Pandemie ist das Datenaufkommen durch Videokonferenzen und privates Streaming weiter gestiegen. Neue Technologien wie Künstliche Intelligenz (KI), autonomes Fahren, das Internet der Dinge oder der Ausbau des 5-G-Netzes beschleunigen diese Entwicklung. Weil immer mehr Unternehmen auf eigene Serverräume verzichten und stattdessen als Mieter Co-Location-Center nutzen, geht der Trend zu Großrechenzentren mit bis zu 300 Megawatt Leistung, die lokale Engpässe bei der Stromversorgung verursachen können und sehr viel Abwärme erzeugen.

„Rechenzentren leisten zwar einen wichtigen Beitrag zur Digitalisierung und damit zur Effizienzsteigerung in anderen Bereichen – daher sind sie nicht nur Teil des Problems, sondern auch der Lösung“, sagt Prof. Peter Radgen vom Institut für Energiewirtschaft und rationelle Energieanwendung (IER) der Universität Stuttgart. „Aber in der Politik und bei den Betreibern ist das Bewusstsein gewachsen, dass Rechenzentren umweltfreundlicher werden müssen.“

Die Grundlagen dafür werden derzeit in mehreren Projekten der Universität Stuttgart gelegt. Radgen leitet das vom Umweltbundesamt geförderte Projekt „Peer DC“, das im Oktober 2021 startete. Das IER will dabei zusammen mit fünf Partnern ein bundesweites Energieeffizienz-Register für Rechenzentren aufbauen, um zunächst eine verlässliche Datenbasis zu schaffen. Denn bislang beruhen alle Zahlen nur auf Schätzungen, weil Rechenzentren in Deutschland weder statistisch erfasst noch ihre Energieverbräuche gemessen oder von den Betreibern gemeldet werden. Bundesweit gibt es rund 52.000 Rechenzentren, →

Dr. Thomas Bönisch

„Es geht um die Frage, wie sich die Strukturen so verändern lassen, dass mit weniger Energie dasselbe Ergebnis erreicht wird.“



Auch das HLRS sucht intensiv nach Wegen für mehr Energieeffizienz von Rechenzentren.

→ die größten in Frankfurt am Main und anderen Großstädten. „Aber niemand weiß, wie viele Rechenzentren mit welcher Leistung wo genau stehen“, erklärt Nicola Schuckert, wissenschaftliche Mitarbeiterin am IER.

Am Anfang ihrer Arbeit standen Fragen der Definition und der Einteilung in Größenklassen: „Nicht jedes Unternehmen, das im Keller zwei Server stehen hat, zählt schon als Rechenzentrum“, sagt die Geoinformatikerin. Schwieriger wird es bei der Unterscheidung, welcher Anteil am Stromverbrauch auf die Informations- und Übertragungstechnik entfällt und welcher auf den Betrieb der Gebäude und der technischen Infrastruktur. Am komplexesten ist die Beurteilung der Energieeffizienz der Rechenleistung. Hier gibt es bisher noch keine aussagekräftigen und etablierten Metriken und Kennzahlen. „An manchen Stellen muss man noch stärker in die Tiefe gehen und geeignete Metriken entwickeln, das ist eine Herausforderung“, sagt Peter Radgen.

Neben dem Register entwickelt das „Peer DC“-Forschungsteam eine Software zur Bewertung der Energieeffizienz, die Betreiber von Rechenzentren künftig nutzen können. „Die Software fragt bestimmte Werte ab und gibt am Ende eine Datei aus, die direkt in das Register hochgeladen werden kann“, erklärt Nicola Schuckert. „So können auch die Betreiber erst einen Überblick über ihre Verbräuche bekommen. Das ist in ihrem Interesse, Mieter von Co-Locations werden verstärkt auf energieeffiziente Rechenleistungen achten.“ Das Bewertungssystem, das das Forschungsteam entwickelt, soll auch auf die europäische Ebene übertragbar sein.

ENERGIEEFFIZIENZ-REGISTER SOLL GRUNDLAGEN SCHAFFEN

Ein intensiver Austausch zwischen Forschenden und der Rechenzentrumsbranche soll sicherstellen, dass das neue Register auch akzeptiert wird. „Um die Interessen der Betreiber zu berücksichtigen, planen wir das Register mit zwei Front-Ends“, sagt Schuckert. Im öffentlich zugänglichen Teil werden Postleitzahlenbereiche und Energieverbräuche kartographisch dargestellt, die exakten Standorte der Rechenzentren aber nicht angezeigt. →



Seit 2003 ist Michael Resch Direktor des Höchstleistungsrechenzentrums Stuttgart.

Prof. Michael Resch

„Wir hoffen, dass unsere Ergebnisse und Empfehlungen auch anderen in der IT-Branche dabei helfen, nachhaltigere Betriebsmethoden anzuwenden.“

→ Staatliche Stellen werden dagegen auf alle Daten zugreifen können. Kommunalen Behörden liefert das Register beispielsweise eine Planungsgrundlage, um die Abwärme von Rechenzentren zum Heizen zu nutzen – wodurch auch Kühlenergie eingespart würde.

Ganzheitlich angelegt ist das Projekt „ENRICH“ (Energie, Nachhaltigkeit, Ressourceneffizienz in IT und Rechenzentren) unter Federführung des Höchstleistungsrechenzentrums Stuttgart (HLRS). In mehreren Arbeitsgruppen wird seit April 2021 ein sehr breites Spektrum an Themen rund um die Energieeffizienz von Rechenzentren untersucht: vom Einsatz neuer Technologien wie KI, dem Betrieb digitaler Infrastrukturen bis zu Fragen des Lieferkettenmanagements, der Abwärmennutzung und des Userverhaltens. ENRICH baut auf dem jahrelangen Engagement für Nachhaltigkeit des nach EU-Öko-Audit (EMAS) zertifizierten Höchstleistungsrechenzentrums auf, für das es bereits mit dem Blauen Engel ausgezeichnet wurde. Beteiligt sind auch das IER, das private Forschungsinstitut Dialogik, die Universität Ulm sowie Hewlett Packard Enterprise (HPE), Hersteller des Supercomputers Hawk am HLRS. Auftraggeber des auf zwei Jahre angelegten Projekts ist das Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg.

Früher habe sich in jeder Mikroprozessoren-Generation die Leistungsfähigkeit – bei fast konstantem Energiebedarf – verdoppelt, erklärt Dr. Thomas Bönisch vom HLRS. „Heute steigt die Effizienz nur noch in deutlich kleineren Schritten.“ Im Rahmen von ENRICH befasst sich der Experte für High Performance Computing unter anderem mit der Energieeffizienz tiefer neuronaler Netze: „Es geht um die Frage, wie sich die Strukturen so verändern lassen, dass mit weniger Energie dasselbe Ergebnis erreicht wird.“ Je nach Zielsetzung könne beispielsweise auf manche Verbindungen zwischen Neuronen verzichtet werden.

ENERGIEEFFIZIENZ VON DEN LIEFERKETTEN BIS ZUR HARDWARE

Das Team von Dr. José Gracia am HLRS wiederum untersucht den Einfluss energiesparender Hardware-Komponenten sowie Methoden eines effizienteren Rechnerbetriebs. „Ein Rechner, auf dem nur Word läuft, langweilt sich“, meint er. „Wir modellieren, welche Teile des Prozessors man bei geringer Auslastung schlafen legen kann, ohne dass die Leistungsfähigkeit signifikant leidet.“

Mit Lieferketten befasst sich eine weitere Arbeitsgruppe des HLRS. „Es geht darum, ein besseres Gleichgewicht zwischen den Schlüsselfaktoren zu erreichen, die den Kauf neuer Hardware, Software und weiterer digitaler Büroausstattung beeinflussen“, erläutert die Forschungsassistentin Inna Wöckener: „Neben technischen Anforderungen, Beschaffungsrichtlinien und Wirtschaftlichkeit gehört dazu auch Nachhaltigkeit.“ Sie untersucht den gesamten Lebenszyklus eines Produkts wie beispielsweise einer energiesparenden SSD-Festplatte – von der Gewinnung der Rohstoffe bis zur Entsorgung als Elektroschrott. Wie Peer DC bezieht auch ENRICH die Perspektiven der Nutzer*innen von Supercomputersystemen mit ein: In zwei Workshops zu Videostreaming und Homeoffice wurden User befragt, um auszuloten, wie welche Energieeinsparungen in Rechenzentren zu erzielen wären – etwa mittels einer schnelleren Modernisierung der Zugangsnetze in die heimischen Büros.

Am Ende des Projekts wird ein „Digitaler Atlas“ für Baden-Württemberg erstellt, der Akteuren aus Wirtschaft, Politik, Verwaltung und Bürgerinitiativen einen geografischen Überblick über relevante Fakten, Zahlen und Prognosen zur Digitalisierung geben soll. Auch dieser Atlas könnte Kommunalplanern die Nutzung von Abwärme aus Rechenzentren zum Heizen erleichtern. Projektleiter Prof. Michael Resch, Direktor des HLRS, ist optimistisch, dass durch ENRICH neue Möglichkeiten zur Energieeinsparung in Rechenzentren gefunden werden: „Wir hoffen, dass unsere Ergebnisse und Empfehlungen auch anderen in der IT-Branche dabei helfen, nachhaltigere Betriebsmethoden anzuwenden.“ →

KONTAKT

PROF. DR. PETER RADGEN
Mail: peter.radgen@ier.uni-stuttgart.de Telefon: +49 711 685 87877

PROF. DR. MICHAEL RESCH
Mail: resch@ihr.uni-stuttgart.de Telefon: +49 711 685 87 200

KONNEKTIVITÄT IN ZAHLEN

Vernetzung, Verbindung, Anschlussmöglichkeit, Kompatibilität, aber auch „abhängig von“ – Konnektivität kennt viele Interpretationen. Basierend auf dem Zusammenwachsen digitaler Infrastrukturen und Services gehen die Wirkungen von Konnektivität weit über die technologischen Fragen hinaus. Die Digitalisierung revolutioniert die Kommunikationsmöglichkeiten, macht Produktionsprozesse agiler, Stromnetze anpassungsfähig an die Erfordernisse der Energiewende und vieles mehr. Auch in der Vision der Universität Stuttgart, „Intelligente Systeme für eine zukunftsfähige Gesellschaft“, ist Konnektivität ein zentrales Element. Das Prinzip der vernetzten Disziplinen, der Zusammenarbeit komplementärer Fachrichtungen durch die Integration ihrer Ingenieur-, Natur-, Geistes- und Gesellschaftswissenschaften, ist als „Stuttgarter Weg“ im Leitbild verankert.



4 Zielfelder definiert die Europäische Kommission für den digitalen Wandel in Europa bis 2030: den Ausbau digitaler Kompetenzen, den digitalen Wandel in Unternehmen, die Digitalisierung der öffentlichen Dienste sowie sichere und nachhaltige digitale Infrastrukturen.



12 Megatrends weist das durch Trendforscher Matthias Horx gegründete Frankfurter Zukunftsinstitut derzeit aus. Sie gelten als die großen Treiber des Wandels. Neben Konnektivität gehören dazu zum Beispiel auch Gesundheit, Gender Shift, Mobilität und New Work.

47 Partner vernetzen sich im Innovationscampus Mobilität der Zukunft (ICM), getragen von der Universität Stuttgart und dem Karlsruher Institut für Technologie KIT. Die zwei strategischen Forschungsfelder Advanced Manufacturing und Emissionsfreie Mobilität decken die Themenbereiche Produktentwicklung, Produktion sowie Produkte für eine zukunftsfähige und nachhaltige Mobilität von morgen ab.



7 strategische Ziele umfasst das Leitbild der Universität Stuttgart. Die Vernetzung der Disziplinen ist eines davon.



2036

Im Forschungscampus ARENA2036 an der Universität Stuttgart wird Konnektivität gelebt – in den Forschungsthemen ebenso wie durch die enge Kooperation mit verschiedensten Industriepartnern und Instituten. Durch den ständigen Austausch und die kurzen Wege entstehen völlig neue Ideen, die man vor Ort schnell umsetzen und erproben kann.



500.000.000.000

500 Milliarden vernetzte Endgeräte soll es nach einer Studie des Bundeswirtschaftsministeriums bis zum Jahr 2030 geben. Ihre Anzahl steigt kontinuierlich.

Game-changer in der Energiekrise?

TEXT: Claudia Zöller-Fuß

Alternative grüne Energiequellen und damit die Unabhängigkeit von fossilen Energieträgern und externen Lieferanten sind zentrale Themen in Forschung und Gesellschaft. Einen wesentlichen Beitrag zur angestrebten Energiewende könnte das Projekt H₂Mare leisten, bei dem die Erzeugung von grünem Wasserstoff auf hoher See erforscht wird. Die Universität Stuttgart ist daran mit zwei Instituten beteiligt.

Die Produktion von grünem Wasserstoff und die direkte Weiterverarbeitung zu Power-to-X-Folgeprodukten (PtX) auf hoher See gelten als vielversprechende Zukunftstechnologien – damit befasst sich auch H₂Mare, eines von drei Wasserstoff-Leitprojekten des Bundesministeriums für Bildung und Forschung zur Umsetzung der Nationalen Wasserstoffstrategie. Das Forschungsprojekt PtX-Wind untersucht in diesem Rahmen, wie neuartige Produktionsverfahren für Wasserstoff und dessen Folgeprodukte aussehen können. Die Förderinitiative soll Deutschlands Einstieg in die Wasserstoffwirtschaft entscheidend voranbringen und ist Hoffnungsträger im Kampf gegen den Klimawandel.

Die Arbeit der Stuttgarter Institute setzt an einer der zentralen Herausforderungen des Forschungsprojekts an: Wie kann ein optimales Zusammenspiel aller Anlagenmodule und Akteure auf der geplanten Forschungsplattform gelingen? Für Antworten auf diese Frage bauen die Forschenden unter anderem auf einen Digitalen Zwilling, der die Arbeit im Offshore-Einsatz detailliert abbilden soll.

Konkret arbeiten das Institut für Energiewirtschaft und Rationelle Energieanwendung (IER) und das Institut für Automatisierungstechnik und Softwaresysteme (IAS) der Universität Stuttgart gemeinsam an einer Anwendung, die einen optimalen Betrieb auf den geplanten Offshore-Plattformen sicherstellen soll. Dafür entwickelt das IAS gemeinsam mit Projektpartnern den Digitalen Zwilling, der alle Anlagenmodule im Offshore-Einsatz über den kompletten Lebenszyklus virtuell abbildet.

DIGITALER ZWILLING UNTERSUCHT ANLAGENMODULE

Im Zentrum der Forschungsarbeit stehen die Container der Projektpartner aus Wissenschaft und Industrie, in denen sich die Anlagenmodule der geplanten Offshore-Plattform befinden, von der Meerwasserentsalzungsanlage über den Elektrolyseur bis hin zu den Synthesenanlagen für die PtX-Produkte. Der Digitale Zwilling soll vor und während des realen Offshore-Einsatzes wichtige Anlagenmodule im Sinne eines „Hardware in the Loop“ (HiL)-Ansatzes untersuchen. Getestet werden beispielsweise unterschiedliche Plattformkonfigurationen oder das Zusammenspiel aus dynamischem Betriebsverhalten und der volatilen Energieversorgung aus dem Windpark.

Die Herausforderungen bei der Simulation mithilfe des Digitalen Zwillings beginnen schon bei der Datenerfassung: „Wir erleben oft, dass wir bei den Projektpartnern Parameter der Anlagen abfragen und diese noch nicht vorhanden sind, dadurch muss dann teilweise mit Dummy-Parametern gearbeitet werden, die zu einem späteren Zeitpunkt durch →



PASCAL HÄBIG

„Das Ziel des Projektes ist, einen Nachweis für die grundsätzliche Machbarkeit des neuartigen Produktionskonzeptes zu erbringen.“

Wegweisendes Vorhaben: Das Projekt H₂Mare hat sich zum Ziel gesetzt, auf hoher See grünen Wasserstoff und auch direkt Power-to-X-Folgeprodukte zu erzeugen.

Illustrationen/Fotos: Projektträger Jülich im Auftrag des BMBF, privat



→ Forschungsergebnisse ersetzt werden können“, berichtet Nikola Mößner. Aber auch der Datenaustausch gestaltet sich teilweise schwierig: „Die Daten und auch die Modelle, in denen die Daten verwendet werden, unterliegen teilweise speziellen Datenschutzerfordernungen“, sagt Daniel Dittler, der sich am IAS mit Digitalen Zwillingen beschäftigt. Um die Information nutzen und gleichzeitig aber auch schützen zu können, müssen die Forschenden spezielle Konzepte entwickeln; denn ohne diesen Datenaustausch können keine simulativen Experimente im Digitalen Zwilling durchgeführt werden.

„Das Spannende dabei ist, dass der Digitale Zwilling zwar die Realität abbilden soll, man aktuell aber noch nicht weiß, wie diese Realität aussehen wird“, erklärt Daniel Dittler. Die Anforderungen, denen die Forschungsplattform im Offshore-Einsatz standhalten muss, sind von Offshore-Windparks und aus der Öl- und Gasindustrie weitestgehend bekannt; die Entwicklung der Anlagenkonfiguration ist aber vollständiges Neuland. Daher muss der Digitale Zwilling alle Änderungen, die sich während des Forschungsprojektes an der Anlage ergeben, berücksichtigen. „Genau wie der Digitale Zwilling müssen sich auch →

Offshore-Windparks spielen eine zentrale Rolle bei der Energiewende.



DANIEL DITTLER

„Das Spannende ist, dass der Digitale Zwilling zwar die Realität abbilden soll, man aktuell aber noch nicht weiß, wie diese Realität aussehen wird.“



Nikola Mößner

„Genau wie der Digitale Zwilling müssen sich auch die Modelle anpassen lassen, um mitwachsen zu können.“

→ die Modelle anpassen lassen, um mitwachsen zu können. So kann später wie bei einem Baukasten Neues dazugenommen werden“, erklärt Nikola Mößner. Um dies zu gewährleisten, müssen die Prozesse unter den wechselnden Bedingungen möglichst realitätsnah beschrieben werden.

GRUNDSTEIN FÜR GROSSE OFFSHORE-PLATTFORMEN LEGEN

Das Forschungsprojekt PtX-Wind soll eine Plattform schaffen, die den elektrischen Strom direkt über einen Offshore-Windpark bezieht und so synthetisch erzeugte, stoffliche Energieträger wie Wasserstoff produziert. Neben der Offshore-Wasserstoffproduktion werden dort auch leicht transportierbare sogenannte PtX-Folgeprodukte produziert. Als Einsatzstoffe für Energieträger wie Methan, Kohlenwasserstoffe, grünes Methanol und grünes Ammoniak werden Kohlendioxid und Stickstoff benötigt – beides soll aus der Luft und dem Meerwasser gewonnen werden.

„Das Ziel des Projektes ist, einen Nachweis für die grundsätzliche Machbarkeit des neuartigen Produktionskonzeptes zu erbringen“, erklärt Pascal Häbig vom IER. „Damit können wir den Grundstein für zukünftige netzunabhängige und großskalige Offshore-Plattformen legen.“ Er ist überzeugt, dass das Leitprojekt H₂Mare dazu beitragen kann, den Klimaschutz voranzubringen und gleichzeitig die Abhängigkeit von Energieexporteuren zu verringern.

HOFFUNGSTRÄGER FÜR EIN NACHHALTIGES ENERGIESYSTEM

Auch die beiden Institutsleiter, Prof. Michael Weyrich und Prof. Kai Hufendiek, gehen davon aus, dass grüner Wasserstoff und dessen grüne PtX-Folgeprodukte als Zukunftsenergie weltweit berechnete Hoffnungsträger für wichtige Aufgaben in einem nachhaltigen Energiesystem darstellen. Zudem wird Deutschland durch die drei Wasserstoff-Leitprojekte mit seinen mehr als 240 Projektpartnern aus Wissenschaft und Industrie stark vom Wissens- und Technologietransfer profitieren, und damit wird nicht zuletzt auch der Wirtschaftsstandort gestärkt. Sind die Forschungen zu H₂Mare erfolgreich, könnte dies eine weltweite Skalierbarkeit solcher Offshore-Windpark-Inselsysteme und damit die netzunabhängige Ausschöpfung geeigneter Potenziale möglich machen. Dies wäre ein wichtiger Meilenstein für die angestrebte Energiewende. →

KONTAKT

DANIEL DITTLER
Mail: daniel.dittler@ias.uni-stuttgart.de Telefon: +49 711 685 67321

PASCAL HÄBIG
Mail: pascal.haebig@ier.uni-stuttgart.de Telefon: +49 711 685 60901

Fotos: IStock/CharlieChesvick, privat

NUR FLEXIBEL

STABIL

TEXT: Daniel Völpel

Wie kann die Industrie ihre Stromnachfrage an das Stromangebot anpassen? Dieser für die Energiewende zentralen Frage widmet sich das Kopernikus-Projekt „SynErgie“. Koordiniert wird es vom Institut für Energieeffizienz in der Produktion (EEP) der Universität Stuttgart.



Fotos: AdobeStock, Fraunhofer IPA/Rainer Bez

Sonnenenergie soll künftig einen großen Teil des Stroms liefern. Die produzierte Menge schwankt aber stark.



Dennis Bauer vom Institut für Energieeffizienz in der Produktion leitet die Koordinierungsstelle des Projekts "SynErgie".

Deutschland schaltet um: Statt Atom-, Gas- und Kohlekraftwerken liefern künftig vor allem Photovoltaik- und Windkraftanlagen den elektrischen Strom. Schon bis zum Ende dieses Jahrzehnts soll die Stromversorgung weitgehend auf erneuerbaren Energien beruhen. Bis 2045 soll Deutschland klimaneutral sein. Wie notwendig ein schneller Umbau ist, erfahren die Bürger*innen schon 2022 durch den Ukraine-Krieg und die damit verbundene Energiekrise.

Eine grundsätzliche Herausforderung bei dem Umstieg liegt darin, dass Wind und Sonne nicht konstant Strom liefern. Die Menge schwankt je nach Tageszeit und Witterung. Damit das Netz stabil funktioniert, müssen aber Angebot und Nachfrage stets im Gleichgewicht sein. Wie das gelingen kann und wie die Industrie diese Schwankungen ausgleichen kann, daran arbeiten mehr als 90 Partner aus Wissenschaft, Industrie und Gesellschaft im Kopernikus-Projekt „SynErgie“.

Deutschland mit Strom aus erneuerbaren Energien zu versorgen, bringt für Großverbraucher etwa in der Industrie einen fundamentalen Wandel: Bisher wurden etwa Gießereien, Metall-, Papier- oder Glashersteller mit Preisnachlässen in den Netzentgelten dafür belohnt, dass sie konstant hohe Mengen abnahmen. Zukünftig sollen sie dabei helfen, das Stromnetz stabil zu halten, indem sie mal mehr, mal weniger Wind- und Sonnenstrom verbrauchen, erläutert Dennis Bauer vom Institut für Energieeffizienz in der Produktion (EEP) der Universität Stuttgart, der die Koordinierungsstelle von „SynErgie“ leitet. Das Forschungsvorhaben ist eines von vier Kopernikus-Projekten, die zusammen eine der größten deutschen Initiativen zur Energiewende bilden. Das Bundesministerium für Bildung und Forschung fördert „SynErgie“ seit 2016 mit etwa zehn Millionen Euro jährlich. Sprecher des Gesamtprojekts mit sechs Arbeitsfeldern ist der Leiter des EEP, Prof. Alexander Sauer. →

→ Ein Ansatz, um die Schwankungen bei der Strommenge zu puffern, liegt in veränderten Fertigungsprozessen in der Industrie. Der Aluminiumproduzent Trimet in Essen lieferte ein Beispiel dafür: Eine Produktionslinie brauchte dort nominal eine konstante Leistung von 90 Megawatt (MW). Jetzt kann das Unternehmen die Last variieren: Je nachdem, ob die Sonne scheint oder der Wind weht, kann es in der derzeitigen ersten Ausbaustufe bis zu 22,5 MW zusätzlich aus dem Netz aufnehmen oder seine Last um diese Menge reduzieren.

AUTOMATISIERTE PLATTFORM ZUM HANDEL VON STROM-FLEXIBILITÄT

Doch dieser Umbau würde nichts bringen, wenn sich Stromerzeuger und Verbraucher nicht über Bedarf und Angebot austauschen. Ein zentraler Teil von „SynErgie“ ist daher eine Plattform, um Angebot und Nachfrage zu synchronisieren. Daran arbeitet das EEP gemeinsam mit dem Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik und Automatisierung IPA. Die Energiesynchronisationsplattform (ESP) besteht aus einer Unternehmens- und einer Marktplattform, die Informationen aus Unternehmen und vom Strommarkt erhalten und analysieren. Anfang 2022 zeigten 38 „SynErgie“-Partner in der Modellregion Augsburg, dass das Modell funktioniert, als Produzenten und Netzbetreiber erstmals Daten über die ESP austauschten.

Seit dem Projektstart 2016 habe man eine Referenz-IT-Architektur entworfen und fertiggestellt, schildert Bauer, also ein System aus Funktionen und Schnittstellen, die sich in unterschiedliche Software integrieren lassen. „Es wird nicht die eine Plattform zur energieflexiblen Kontrolle von Produktionsprozessen geben, die alle Unternehmen nutzen“, sagt der Forscher. Daher will das Team, dass möglichst viele Software- und Plattformanbieter die nötigen Funktionen zur Abbildung der ESP einprogrammieren. Nicht nur energiehungrige Konzerne sollen damit ihren Energieverbrauch optimieren, sondern auch kleine und mittelständische Unternehmen aus verschiedensten Branchen. „Unser klarer Auftrag für die dritte Projektphase ist, die Umsetzung noch stärker an die Industrie zu adressieren“, sagt Bauer. Dieses Jahr läuft zunächst die Bewerbung um die Förderperiode bis 2026.

Am Ende des Projekts soll „SynErgie“ alle technischen Voraussetzungen geschaffen und marktseitig Handlungsempfehlungen abgeleitet haben, um den Energiebedarf der deutschen Industrie mit dem volatilen Energieangebot zu synchronisieren. Wird das →

Viel Energie wird auch in der Aluminium-Produktion eingesetzt: Um sie flexibel zu nutzen, beteiligt sich auch das Essener Unternehmen Trimet am SynErgie-Projekt.



Wichtiger Beitrag zur Energiewende: Auf Basis eines neuen Konzepts produziert eine Luftzerlegungsanlage des Unternehmens Linde energieflexibel.

→ System bundesweit eingeführt, könnte die Industrie 45 Terawatt-Stunden (TWh) zusätzliche Last pro Jahr aufnehmen. Um 48 TWh könnte sie ihre Last reduzieren. Das hat das „SynErgie“-Konsortium errechnet. Zur Einordnung: Die jährliche Strommenge in Deutschland liegt bei etwa 500 TWh. 44 Prozent davon verbraucht die Industrie.

NEUE HERAUSFORDERUNGEN DURCH DEN UKRAINE-KRIEG

Auch der russische Angriff auf die Ukraine hat Auswirkungen auf das „SynErgie“-Projekt und seine Partner. Ein Projektpartner hatte beispielsweise seine Magnesium-Gießöfen von Strombetrieb auf zusätzliche Gasfeuerung umgerüstet. Bei Strommangel könnte er auf Gas umschalten. „Noch vor sechs Monaten hätte niemand gedacht, dass Gas einmal so knapp und teuer werden könnte“, sagt Bauer. Nun müssten die Unternehmen ihre Brenner erneut ertüchtigen, damit diese zukünftig etwa mit Biogas oder Wasserstoff arbeiten. Weil Gas in der Stromerzeugung insbesondere immer dann genutzt wird, wenn Angebot und Nachfrage nicht übereinstimmen, gelte es umso mehr, die Flexibilitätpotenziale der Industrie rasch zu nutzen, betont der Experte für Energiedatenanalyse. „Batteriespeicher zu bauen, würde Jahre dauern und enorme Kosten verursachen.“ Doch die Zeit hat Deutschland nicht. Neben Industrieprozessen würden auch Wärmeerzeugung und Verkehr zunehmend elektrifiziert. Der heutige Strombedarf werde sich damit etwa verdoppeln, so Bauer. „Das bedeutet ganz grob gerechnet, dass wir die installierte Leistung der erneuerbaren Energien vervierfachen müssen – bis 2035. Die Problematik der Volatilität, die damit einhergeht, wird drastisch zunehmen.“

Technisch könnte das System damit bereits jetzt umgehen. Doch Bauer sieht auch eine Schwierigkeit in den derzeitigen gesetzlichen Vorgaben: „Für die energieintensive Industrie sind die Netzentgelte das Problem.“ Bei flexiblem Strombezug würden Unternehmen ihren Rabatt für konstante Abnahme verlieren, obwohl sie helfen, das Stromnetz zu stabilisieren. Auch die strikte Trennung von Markt und Netz müsste aufgegeben werden und es müssten regional ausdifferenzierte Strompreise möglich werden. Dafür werben die „SynErgie“-Partner bei der Politik und erarbeiten Handlungsempfehlungen. →

Dennis Bauer

„Ganz grob gerechnet, müssen wir die installierte Leistung der erneuerbaren Energien vervierfachen – bis 2035. Die Problematik der Volatilität, die damit einhergeht, wird drastisch zunehmen.“

KONTAKT

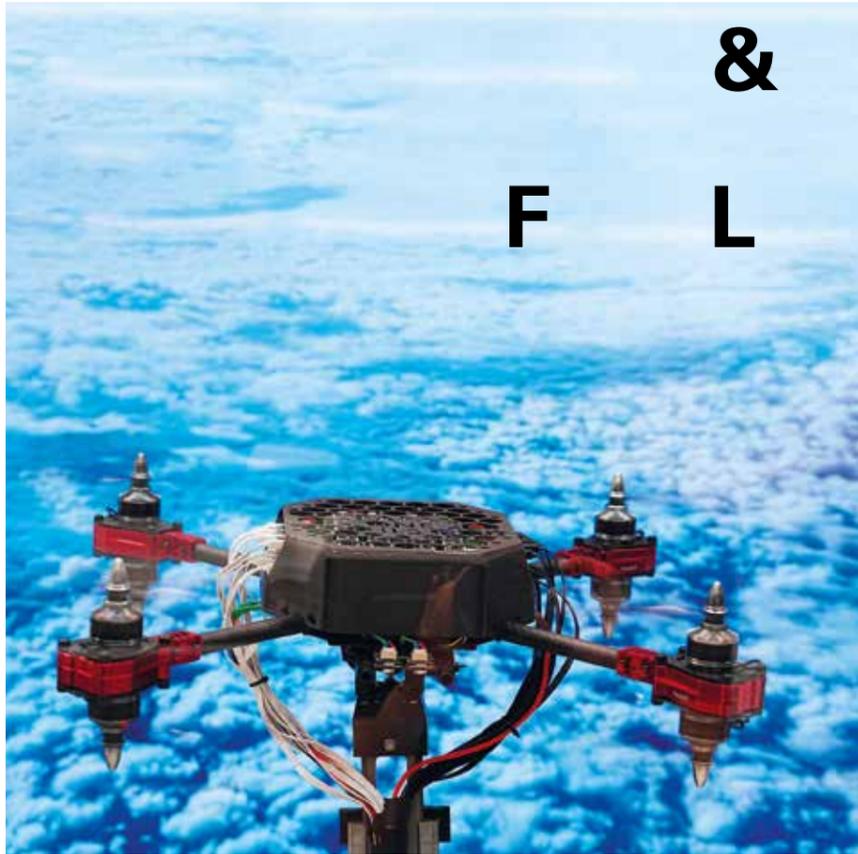
DENNIS BAUER Mail: dennis.bauer@eep.uni-stuttgart.de Telefon: +49 711 9701355

Fotos: SynErgie/Linde plc, SynErgie/Trimet Aluminium SE

P L U G

&

F L Y



Hilfsmittel für die Demonstration der Selbstkonfiguration: der Octocopter

TEXT: Jens Eber

Flugzeuge stecken heute voller digitaler Komponenten, die aufwendig konfiguriert werden müssen. Im Projekt PAFA-ONE wollen Forschende der Universität Stuttgart deshalb Fluggeräten die Selbstkonfiguration beibringen.

Mit dem Airtaxi zum Hauptbahnhof fliegen oder dringend benötigte Ware mittels leistungsfähiger Drohne liefern lassen? Solche Optionen gelten als Bausteine einer Mobilität der Zukunft. Rein technisch betrachtet ist es auch nicht unmöglich, kleine Fluggeräte für den Individualverkehr zu bauen. Weltweit arbeiten bereits zahlreiche Unternehmen daran.

Um ein neuartiges Luftfahrzeug jedoch nach denselben Sicherheitsstandards zuzulassen, wie sie auch für Hubschrauber oder Passagiermaschinen gelten, sind umfangreiche Prüf- und Zulassungsverfahren notwendig, die bis zu zweistellige Millionenbeträge kosten können. Forscherinnen und Forscher des Instituts für Luftfahrtsysteme (ILS) der Universität Stuttgart untersuchen daher im Projekt PAFA-ONE, ob sich diese Prozesse auch vereinfachen und zum Teil automatisieren lassen – ohne Abstriche bei der Sicherheit. PAFA steht für „Plug&Fly-Avionik“. Analog zum einst vom Softwarehersteller Microsoft gegebenen Versprechen sollen sich digitale Komponenten auch in Flugsystemen selbst im System anmelden und konfigurieren können. Der Zusatz ONE deutet zugleich an, dass es sich dabei um eine Mammutaufgabe handelt.

„Es gibt in Flugzeugen heute keine Funktion mehr, die ohne Mikrocontroller auskommt“, sagt Jun. Prof. Björn Annighöfer vom ILS. Die hochkomplexe Flugsteuerung zählt ebenso dazu wie das Kabinenlicht oder die Toilettenspülung. Weil die nötige Software heutzutage meist unabhängig von der Hardware entwickelt wird, müssen die vielen Bestandteile des Systems aufeinander abgestimmt werden. Bei dieser sogenannten Konfiguration wird den Rechnern im Flugzeug gewissermaßen erklärt, wann und wie und mithilfe welcher Sensoren sie das Programm auszuführen haben. „Die →

Jun. Prof. Björn Annighöfer

„Es gibt in Flugzeugen heute keine Funktion mehr, die ohne Mikrocontroller auskommt.“

→ Konfiguration hat sich als großer Zeitfaktor erwiesen, weil auch sie sicherheitskritisch ist“, erklärt Annighöfer. Hard- und Software müssen ebenso fehlerfrei sein wie die Konfiguration, erst im Zusammenspiel dieser Teile kann das System perfekt funktionieren und den sicheren Zustand erreichen, der zum Beispiel für die Flugsteuerung durch maximal einen kritischen Vorfall pro Milliarde Flugstunden definiert ist.

KOMPLETTE SELBSTKONFIGURATION IST NOCH EIN FERNZIEL

Was die Stuttgarter Forschenden mit PAFA-ONE entwickeln wollen, kommt einer neuen Philosophie für diesen Teil der Luftfahrt gleich. Was heute Fachleute in sehr aufwendigen Verfahren abwickeln, sollen künftig die digitalen Systeme des Flugzeugs selbst erledigen: So wie ein Rechner nach dem Einschalten hochfährt und nach ein paar Augenblicken einsatzbereit ist, könnte auch ein weitaus komplexeres System wie ein Flugzeug sich selbst konfigurieren und den verschiedenen digitalen Ressourcen eigenständig Aufgaben zuweisen. „Das ist unser Fernziel“, bestätigt Björn Annighöfer. „Das System kann dann nachweisen, dass es sich in einem sicheren Zustand befindet.“

Zunächst erprobt die Forschungsgruppe ihre Ansätze jedoch in den weniger sensiblen Bereichen. Im Labor auf dem Campus in Stuttgart-Vaihingen arbeiten sie mit einem Demonstrator, der ein selbst konfigurierendes Kabinensystem darstellt. „Das funktioniert schon ganz gut“, sagt Annighöfer. Gerade Kabinen seien ein interessanter Anwendungsbereich, weil sie viele Funktionen haben, nicht in jedem Flugzeug gleich sind und je nach Fluglinie oder gar Jahreszeit immer wieder umkonfiguriert werden.

NUTZUNG ZUNÄCHST IN UNKRITISCHEN BEREICHEN ANGEDACHT

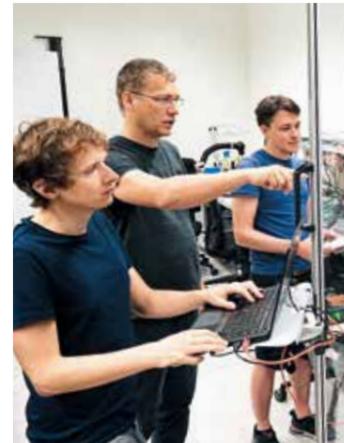
Um mögliche Anwendungen für die Praxis auszuloten, hat das PAFA-ONE-Team mehrere Szenarien entwickelt. Im, so Annighöfer, „konservativsten“ Szenario werden lediglich bei der Erstinstallation des Systems bestimmte Teile automatisch konfiguriert. „Das würde aber nicht den vollen Vorteil ausspielen“, glaubt der Wissenschaftler. Ein Beispiel: An Bord jedes Flugzeugs gebe es Funktionen wie die Tür- oder Fahrwerkssteuerung, die nur in kurzen Phasen benötigt werden, aber die ganze Zeit im Hintergrund Rechnerleistung beanspruchen. Ließe sich das System dynamisch umkonfigurieren, wären nur noch aktuell benötigte Komponenten aktiv. „So ließe sich die Gesamtgröße des Avioniksystems reduzieren“, erklärt Annighöfer. Klar ist aber, dass eine Selbstkonfiguration in der Praxis zunächst nur in unkritischen Bereichen genutzt würde. Erst, wenn sie dort das Vertrauen aller Beteiligten gewonnen habe, sei die Nutzung in anderen Bereichen denkbar, so Annighöfer.

Während sich die herkömmlichen, millionenteuren Verfahren bei Transport- oder Passagierflugzeugen mit der Zeit rechnen, sind sie bei der Entwicklung neuer, autonomer Mobilitätskonzepte eine ungleich größere Hürde. „Solche neuen Konzepte benötigen sehr komplexe Flugsteuerungssysteme“, so der Luftfahrtexperte, zugleich werden sie erst dann wirtschaftlich,

wenn sie ohne Piloten auskommen. „Da könnte eine Plattform helfen, wie wir sie in PAFA-ONE entwickeln“, sagt Annighöfer. →



HighTech für PAFA-ONE: die Hauptplatine des Octocopter



Das PAFA-ONE-Team um Björn Annighöfer (M.) am Prüfstand

KONTAKT

JUN. PROF. DR. BJÖRN ANNIGHÖFER
Mail: bjoern.annighoef@ils.uni-stuttgart.de
Telefon: +49 711 685 62703

Fotos: Jens-Peter Kühn

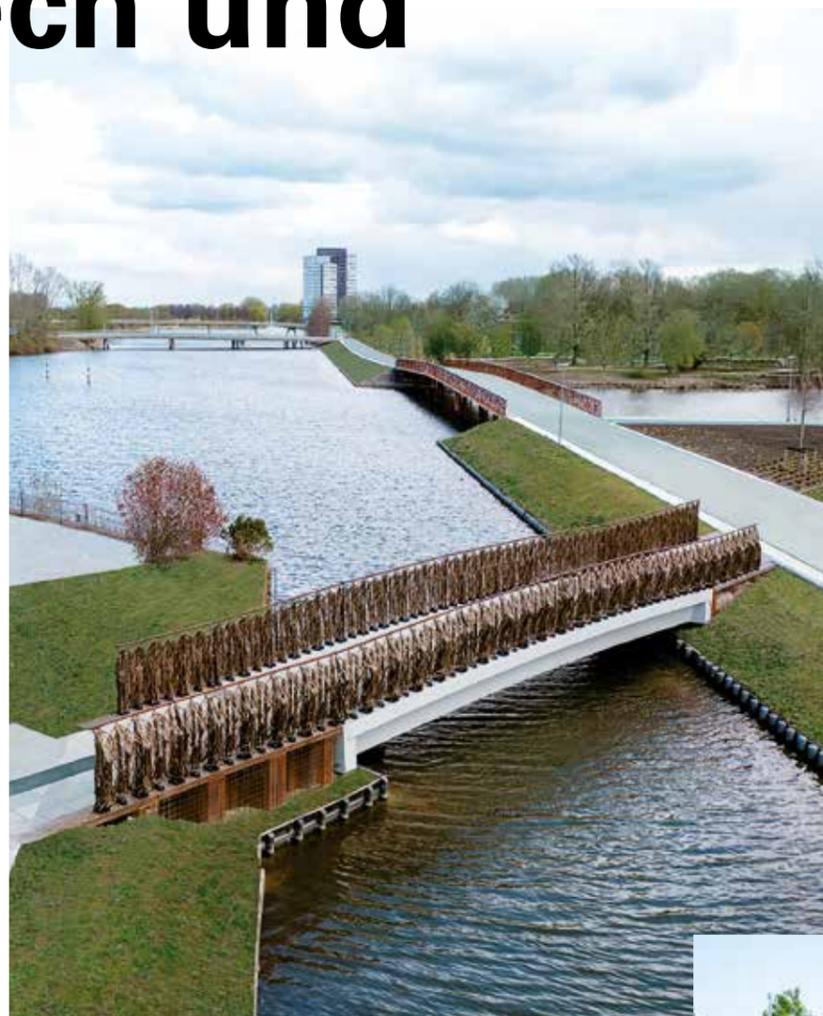
Brücke aus Hightech und Flachs

TEXT: Bettina Wind

Brücken überwinden Flüsse und Schluchten, manchmal auch Differenzen und Konflikte. Das EU-Projekt "Smart Circular Bridge" setzt auf die Verbindung zwischen einer alten Kulturpflanze und moderner Digitaltechnik. Als Architektin ist Jun. Prof. Dr. Hanaa Dahy von der Universität Stuttgart dabei.

Noch sind die allermeisten Brücken aus Stahl und Beton oder auch aus Holz gebaut – doch die Suche nach neuen, nachhaltigeren Baustoffen hat längst begonnen. Ein Beispiel für Innovationen im Brückenbau ist eine Hightech-Brücke aus Flachs, die in den Niederlanden im Zuge des EU-Projekts „Smart Circular Bridge“ entstanden ist. Verantwortlich für das erste von insgesamt drei geplanten Bauwerken im Rahmen des Projekts ist ein interdisziplinäres Konsortium aus 15 Partnern unter Führung der Technischen Universität Eindhoven. Beteiligt sind fünf Universitäten, sieben Unternehmen und drei Städte. Von der Universität Stuttgart ist Jun. Prof. Hanaa Dahy als Architektin dabei.

Die Leiterin der Forschungsgruppe für „Biobasierte Materialien und Stoffkreisläufe in der Architektur“ (BioMat) hat sich darauf spezialisiert, mit biobasierten Materialien zu bauen. Diese Expertise konnte sie auch bei der Hightech-Brücke aus Flachs einbringen: „Das gesamte Projekt gibt einen wichtigen Impuls, wie alternative, auf Biomasse basierende und jährlich erneuerbare Ressourcen in der Bauindustrie eingesetzt werden können. Mithilfe dieser Ressourcen wollen wir die großen Herausforderungen wie hohe CO₂-Emissionen und einen hohen Energieverbrauch bei der Herstellung von Baumaterialien bewältigen“, sagt Dahy. →



In Almere in den Niederlanden steht die erste Hightech-Brücke aus Flachs. Eine zweite in Ulm soll folgen.

Jun. Prof. Dr. Hanaa Dahy

„Wir brauchen die Wälder als CO₂-Speicher im Kampf gegen den Klimawandel.“

Altbekanntes Pflanze und Baumaterial der Zukunft: Mit Flachs kann deutlich nachhaltiger als mit Beton, Metall oder auch Holz gebaut werden.

Fotos: Smart Circular Bridge, BioMat / Evgenia Spiridonos

→ Denn die herkömmlichen Baumaterialien wie Beton oder Metall haben eine schlechte CO₂-Bilanz und sind nicht erneuerbar. Der Bedarf an Baumaterial wächst zugleich stetig. „Holz ist und darf nicht die Lösung für unsere Baumaterialien-Knappheit sein. Es wächst zwar nach, jedoch vergleichsweise langsam. Und wir brauchen die Wälder als CO₂-Speicher im Kampf gegen den Klimawandel“, sagt Dahy. Deshalb richteten die Forschenden ihren Blick auf Rohstoffe, die schnell saisonal und jährlich nachwachsen, insbesondere auf eine altbekannte Pflanze: Flachs.

FLACHS ALS HOFFNUNGSTRÄGER FÜR DAS BAUEN DER ZUKUNFT

Als Faserpflanze vereint Flachs mehrere nützliche Eigenschaften für die Baubranche. Kombiniert mit einem speziellen Bioharz, entsteht aus ihm ein leichter und hochstabiler Werkstoff, ähnlich wie Glasfaser. Zudem ist es nachhaltiger, mit Flachs zu bauen. Die alte Kulturpflanze kommt in ganz Europa vor, weshalb globale Transportwege entfallen. Und Flachs wächst viel schneller als zum Beispiel ein Baum.

Die Forschenden beschäftigen sich aber nicht nur mit dem Bau der Brücke, sondern stellen auch die Frage: Wie können die Materialien der Brücke am Ende der Nutzungsdauer verwertet werden? Für das sogenannte End of Life sind derzeit drei Optionen denkbar: chemisches, mechanisches oder biologisches Recycling mit Pilzen.

Die Flachs-Brücke wird insgesamt als Hoffnungsträger für das Bauen der Zukunft gesehen. Dahy selbst hat sich nach eigenen Worten schon während ihrer Promotion gewundert, dass sich die Architektur bis dahin nur mit den bekannten Materialien Glas, Beton und Metall beschäftigt. „Warum erforscht niemand, welche alternativen Werkstoffe verwendet werden könnten?“, fragte sie sich.

KI UNTERSTÜTZT MATERIALFORSCHUNG

Um neue Materialien für das Bauen der Zukunft zu finden, setzen die Forschenden auch stark auf moderne Technik. „Wir haben großes Glück, dass wir in uns in der digitalen Ära befinden und uns digitalisierte Prozesse beim Planen, Entwerfen, Vorfertigen und Bauen helfen.“ Die Digitalisierung und die Künstliche Intelligenz ermöglichen auch in der Materialforschung große Fortschritte. So wird im Rahmen des Projekts die Brücke systematisch in Echtzeit überwacht. Knapp 100 Sensoren liefern Daten zum Materialverhalten im Alltag. Wie verhält sich das Bauwerk, wenn 200 Menschen zeitgleich darüber laufen? Was geschieht zu verschiedenen Jahreszeiten, bei Sturm, Hagel und Schnee? Wie verläuft der Alterungsprozess des Materials im Detail?

Projektpartner haben ein Structural-Health-Monitoring-System mit optischen Glasfaser-Sensoren in der Brücke entwickelt, die Informationen über Verformungen liefern. Beschleunigungssensoren erfassen selbst feinste Schwingungen, die etwa durch Wind entstehen. Die Auswertung der Daten erfolgt mithilfe von Künstlicher Intelligenz, um Muster im Materialverhalten zu erkennen. Gleichzeitig können die Ingenieure ihre Berechnungs- und Materialmodelle mit diesen Daten verfeinern. Auf dieser Grundlage lassen sich die Konstruktionen für künftige Brücken und auch für viele weitere Bauvorhaben einfacher entwickeln.

WEITERE BRÜCKEN GEPLANT

Im Winter 2022/23 soll im Rahmen des Projekts zunächst eine Brücke aus Flachs in Ulm errichtet werden. Ein Jahr später soll die dritte und letzte Brücke in Bergen op Zoom in den Niederlanden eröffnet werden. Dabei wollen die Forscherinnen und Forscher jeweils die bereits gewonnenen Daten und Erkenntnisse aus dem vorherigen Brückenbau berücksichtigen – und so Schritt für Schritt einen Baustoff der Zukunft entwickeln. →

KONTAKT

JUN. PROF. DR. HANAA DAHY
Mail: h.dahy@itke.uni-stuttgart.de Telefon: +49 711 685 83280

NO- TIZ

B
C
L
O
K



MEILENSTEIN IN DER TERAHERTZ-KOMMUNIKATION

Wissenschaftler*innen des Instituts für Leistungselektronik der Universität Stuttgart ist es im Rahmen des Projekts „ThoR“ gelungen, die weltweit erste bidirektionale Terahertz (THz)-Richtfunkstrecke mit Internetanbindung zu präsentieren.

Terahertz-Richtfunkstrecken sind eine attraktive Alternative in Situationen, in denen die Übertragung hoher Bitraten über Glasfaserkabel nicht möglich ist, zum Beispiel in dicht bebauten Städten, an abgelegenen Orten oder im Katastrophenfall. Sie können Entfernungen von bis zu einem Kilometer überbrücken. So werden wichtige „Backhaul“-Verbindungen zwischen Mobilfunkzellen und den Knotenpunkten des Mobilfunknetzes geschaffen, ohne Straßenbaumaßnahmen vornehmen zu müssen. Die Richtfunkstrecke ist in der Lage, die hohen Datenraten zu übertragen, die der Mobilfunkstandard 5G und perspektivisch der künftige 6G-Standard produzieren.

1 km

Terahertz-Richtfunkstrecken sind eine attraktive Alternative in Situationen, in denen die Übertragung hoher Bitraten über Glasfaserkabel nicht möglich ist. Sie können Entfernungen von bis zu einem Kilometer überbrücken.

INNOVATIVE LUFTFILTERMEDIEN

Luftfilter in Gebäuden sind nicht nur wichtige Instrumente im Kampf gegen Corona, sie schützen auch sensible technische Komponenten vor Verunreinigungen, von Feinstpartikeln bis hin zu Viren oder Keimen. Je nach eingesetztem Filtermedium verbrauchen die Geräte jedoch viel Energie. Das gemeinsame Forschungsprojekt NANOFIL der Universität Stuttgart und des Filterherstellers MANN+HUMMEL soll die Mikrostruktur von Filtermedien optimieren und die Geräte effizienter machen. Die Forschenden setzen dabei auf die Simulationswissenschaft. Insbesondere für die Vorgänge bei der Abscheidung von Feinstpartikeln an feinsten Fasern existieren derzeit noch keine anwendungsgerechten Modellansätze. Ziel von NANOFIL ist es daher, die in der virtuellen Filtermedienentwicklung etablierten Simulationsmodelle zu verbessern und im Hinblick auf die Berücksichtigung von Nanofasern zu erweitern.



PETRUS ERSTMALS IM ALL

Am 13. Juli 2022 startete die Europäische Rakete VEGA-C von Französisch-Guyana aus zu ihrem Jungfernflug. Mit an Bord war der italienische Satellit GreenCube, der mit dem Antriebssystem PETRUS (Pulsed Electric Thruster of University of Stuttgart) des Instituts für Raumfahrtssysteme (IRS) der Universität Stuttgart ausgestattet ist. PETRUS ist ein verhältnismäßig einfacher, sehr robuster und kostengünstiger elektrischer Weltraumantrieb. Er unterstützt an Bord des Satelliten ein Biologie-Experiment der Universität La Sapienza in Rom, in dem unter Weltraumbedingungen Pflanzen gezüchtet und beobachtet werden sollen. Nach der Durchführung des Experiments soll PETRUS seine Fähigkeiten als generelles Antriebssystem für Weltraumanwendungen durch verschiedene Funktionstests im All unter Beweis stellen. Es ist besonders für die Lage- und Bahnregelung sowie den Orbittransfer für kleine Satelliten geeignet.

MIKROPLASTIK: SCHIFFSWRACK ALS REALLABOR

Über fünf Milliarden Plastikteilchen schwimmen an der Oberfläche unserer Meere, zum großen Schaden für Lebewesen, Ökosysteme und das Klima. Wie lange es dauert, bis das Plastik vollständig abgebaut ist, ließ sich bisher nur aus Labordaten hochrechnen. Ein Schiffsunglück vor der Küste Ägyptens im Jahr 1993 kam der Forschung zu Hilfe: Das Schiff war mit Plastikgranulat beladen, von dem ein Teil an den Strand gespült wurde, während der andere Teil in 18 m Wassertiefe im Wrack verblieb.

Ein Team unter der Leitung von Prof. Franz Brümmer vom Institut für Biomaterialien und biomolekulare Systeme der Universität Stuttgart nutzte dies, um erstmals vergleichende Untersuchungen zu Alterungsprozess und zum Abbau von Mikroplastik durchzuführen. Das Ergebnis: Während der Zerfall der Plastikpellets am Strand bereits im vollen Gange ist, zeigen die Plastikpellets am Meeresboden auch mehr als 20 Jahre nach dem Unglück kaum Anzeichen für einen beginnenden Abbau.

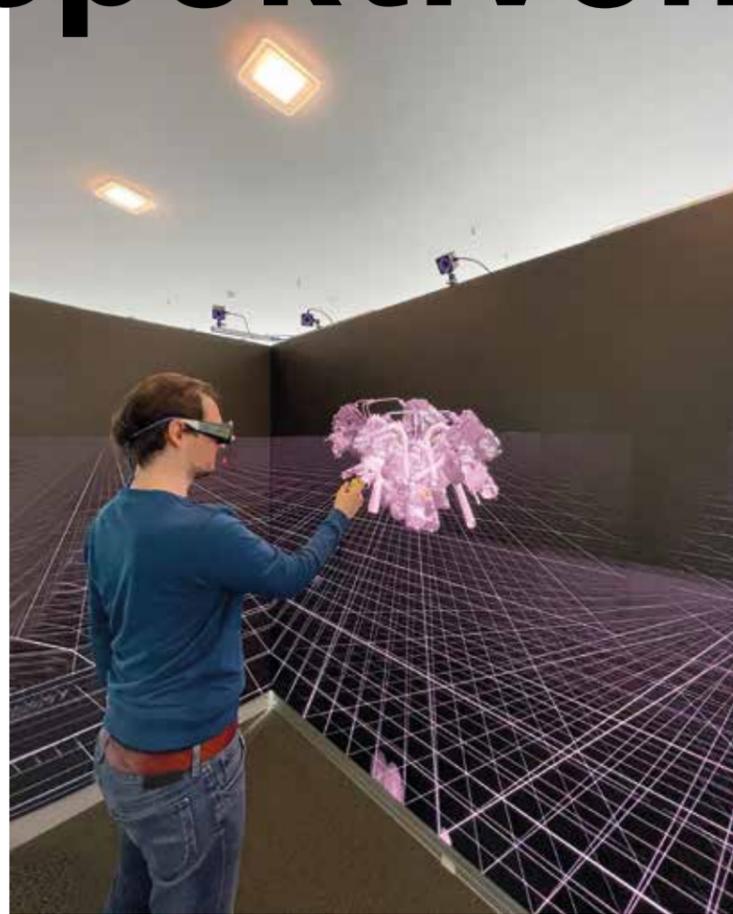
NÄCHSTER SCHRITT ZU SYNTHETISCHEN ZELLEN

Forschende des 2. Physikalischen Instituts der Universität Stuttgart und des Max-Planck-Instituts für medizinische Forschung sind auf ihrem Weg zur synthetischen Zelle einen Schritt weiter: Es ist ihnen gelungen, funktionsfähige DNA-basierte Zytoskelette in zellgroße Tröpfchen einzubringen. Zytoskelette sind wesentliche Bestandteile jeder Zelle und steuern ihre Form, ihre innere Organisation und andere lebenswichtige Funktionen, wie zum Beispiel den Transport von Molekülen zwischen verschiedenen Teilen der Zelle. Nachdem die Forschenden die Zytoskelette in die synthetischen Tröpfchen eingebracht hatten, konnten sie auch verschiedene Zellfunktionen nachweisen, wie zum Beispiel den Transport von Molekülen oder den Auf- und Abbau von DNA-basierten Strukturen nach bestimmten Auslöseimpulsen.

Wichtige Etappe in der medizinischen Forschung zu synthetischen Zellen: Forschenden ist es gelungen, funktionsfähige DNA-basierte Zytoskelette in zellgroße Tröpfchen einzubringen.

Fotos: Universität Stuttgart/Dominik Wrana, MANN+HUMMEL, Universität Stuttgart/IRS, Universität Stuttgart/WITUS

Neue Perspektiven



Individueller Blick:
Daniel Diers kann
auf der CoLEDWall
3D-Objekte aus
seiner eigenen Pers-
pektive betrachten.

TEXT: Bettina Wind

Am Institut für Arbeitswissenschaft und Technologiemanagement arbeiten Wissenschaftler*innen an einer CoLEDWall, die mithilfe visueller Darstellungstechnologie die Arbeit von Ingenieur*innen erleichtern soll.

Sie sieht aus wie eine normale LED-Displaywand, wie sie zum Beispiel in Stadien genutzt wird. Doch die CoLEDWall unterscheidet sich davon in einem wichtigen Punkt: Ihre Pixel liegen so eng zusammen, dass die Betrachterinnen und Betrachter sehr viel näher an sie herantreten können als an herkömmliche LED-Wände. Dadurch können sie Kolleg*innen auch im Arbeitsalltag in Büroräumen nutzen. Und mit 240 Hertz hat sie zudem eine sehr hohe Bildwiederholrate. →



Die neue Technik erleichtert die gemeinsame Arbeit in einer virtuellen Welt.

→ „Wir nutzen das, um mehrere Bilder gleichzeitig damit auszugeben, die man mit 3-D-Brillen herausfiltern kann. Und zwar nicht nur für eine Person, sondern für mehrere Personen gleichzeitig“, erklärt Daniel Diers, wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Arbeitswissenschaft und Technologiemanagement (IAT) der Universität Stuttgart und am Fraunhofer-Institut für Arbeitswirtschaft und Organisation IAO. Sein Fachgebiet ist die Programmimplementierung von VR-Anwendungen. „Unser übergreifendes Ziel ist es, die Arbeitsprozesse und die Zusammenarbeit von Ingenieur*innen mittels visueller Darstellungstechnologie zu verbessern.“ Genau das ermöglicht die CoLEDWall, die das „Collaborative“ bereits in ihrem Namen trägt.

COLEDWALL VERSUS CAVE

Das auf der CoLEDWall abgebildete virtuelle 3-D-Objekt sehen die Betrachterinnen und Betrachter jeweils aus einer individuellen Perspektive. Dass mehrere Menschen gleichzeitig dasselbe Objekt betrachten können, ist einzigartig und ein großer Fortschritt für gemeinsames Arbeiten. Zum Beispiel können sich Ingenieur*innen so gleichzeitig eine sogenannte CAD-Datei, ein Bild in einem zwei- oder dreidimensionalen Format, eines Motorblocks ansehen und überlegen, wie dieser am besten aus einem Fahrzeug ausgebaut werden könnte. Egal, ob sich ein Kollege duckt oder eine Kollegin ihren Kopf dreht: Alle Perspektiven werden für die jeweilige Person auf der LED-Wand sichtbar.

Das Betrachten von virtuellen 3-D-Objekten ist in einer sogenannten Cave Automatic Virtual Environment (CAVE) schon lange möglich, auch an der Universität Stuttgart. Jedoch hat die CoLEDWall einige Pluspunkte. In der CAVE betrachten alle Teilnehmenden das Objekt aus der gleichen Ansicht, während die CoLEDWall allen Beteiligten eine individuelle Perspektive ermöglicht. Und sie benötigen dafür nur eine leichte Brille, die einer herkömmlichen 3-D-Brille, wie man sie aus dem Kino kennt, ähnelt. Damit können sich die Kolleg*innen im Raum sehen und verständigen. „Das erleichtert das gemeinsame Arbeiten und die Kommunikation untereinander“, erklärt Diers. Mit einer Stereobrille in einer CAVE ist das nicht möglich. Auch die Größe spricht für die LED-Wand: Sie ist 2,80 Meter breit, 2,25 Meter hoch, wiegt rund 400 Kilogramm und ist damit deutlich leichter und platzsparender als eine CAVE. Diese Vorteile haben auch Firmen erkannt. „Das Interesse der Industrie ist definitiv vorhanden und das bisherige Feedback sehr gut.“ Da das Interesse am kollaborativen Arbeiten zunimmt, erwarten Diers und seine Kolleg*innen einen weiter steigenden Bedarf. →

240 Hertz

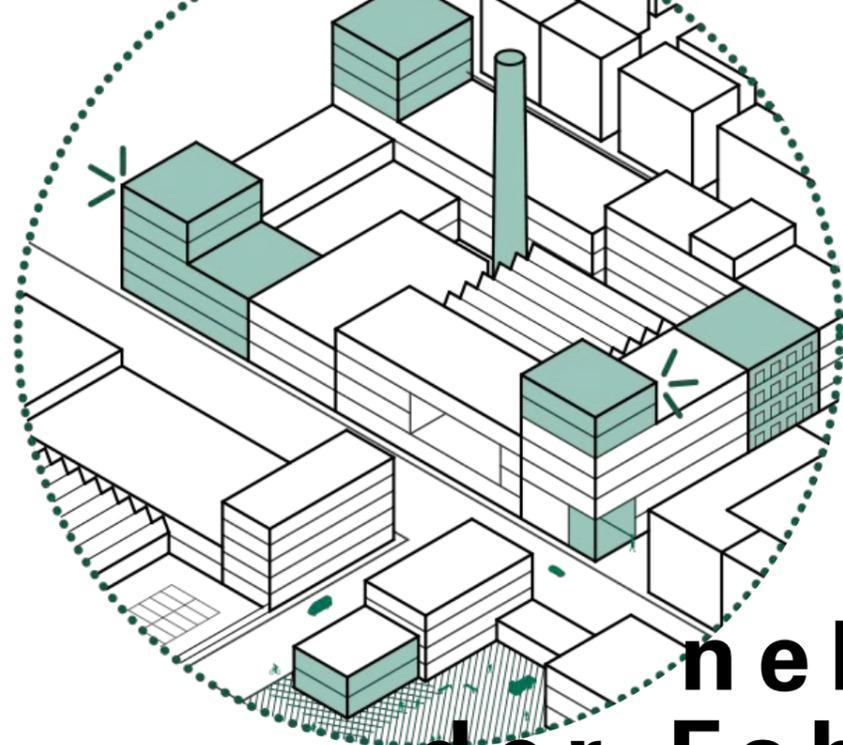
beträgt die Bildwiederholrate der CoLED-Wand. Sie ist damit im Vergleich zu anderen Displaywänden sehr hoch.

KONTAKT

DANIEL DIERS
Mail: daniel.diers@iat.uni-stuttgart.de Telefon: +49 711 970 2233

Foto: Universität Stuttgart/Daniel Diers, Ludmilla Parsyak, Fraunhofer IAO

Wohnen



Fabriksschornstein im Viertel: Am Städtebau-Institut erarbeiten Forschende Strategien, wie Wohnen und Gewerbe zusammenfinden können.

neben der Fabrik

TEXT: Daniel Völpel

Das öde Gewerbegebiet am Stadtrand ist noch immer vielerorts Realität. Wie solche Areale aufgewertet und Leben und Arbeiten vernetzt werden können, erforscht Dr. Britta Hüttenhain am Städtebau-Institut der Universität Stuttgart.



Die Stadtplanerin Dr. Britta Hüttenhain befasst sich mit der Umgestaltung von Gewerbegebieten.

In einer typischen Stadt sind Wohnen, Arbeiten und Freizeit stark voneinander getrennt. Die Industrie ist oft in großen Gewerbegebieten außerhalb der Stadt und weit weg von Wohngebieten angesiedelt. Doch das ändert sich, heute stellt sich die Stadtplanung andere Fragen: Wie lassen sich vernetzte Städte mit kurzen Wegen realisieren, um Ressourcen zu schonen und neue, nachhaltige Formen des Lebens und Arbeitens zu schaffen? Unter welchen Bedingungen können Menschen in unmittelbarer Nachbarschaft zu Gewerbebetrieben leben?

Viele Großunternehmen haben die Nachteile reiner Gewerbeareale längst erkannt und ihre Standorte in den vergangenen Jahren aufgewertet, wie Dr. Britta Hüttenhain, Akademische Direktorin am Städtebau-Institut, in ihrer Forschung festgestellt hat. Wer die besten Köpfe gewinnen will, schuf etwa gastronomische Angebote, Flächen für Dienstleister und Freizeitangebote auf dem Werksareal. Doch was Apple und Google in den USA vormachen und in Deutschland Konzerne wie Bosch, BMW oder Siemens bieten, sucht man in den zahllosen Gewerbegebieten vergeblich, die sich kleine und mittlere Unternehmen (KMU) teilen.

Besonders diese Firmen liegen im Fokus von Hüttenhains Forschung. „Wir erforschen seit einigen Jahren, wie Gewerbegebiete so umgestaltet werden können, dass sie Unternehmen und ihren Arbeitskräften ein produktives Umfeld bieten“, sagt die Forscherin, →

→ deren Fachgebiet die Theorien und Methoden der Stadtplanung sind. Bewusst bezieht sie in ihrer Arbeit auch die Betriebe ein, die Lärm oder Gerüche verursachen. „Wir dürfen nicht nur die Dienstleistung oder Kreativwirtschaft betrachten“, so Hüttenhain. „Auch schmutzige Industrie sowie Handwerksbetriebe sind eine Lebensgrundlage, die unseren Wohlstand begründet und andere Arbeitsplätze überhaupt erst ermöglicht.“

Wegen solcher Zumutungen durch Fabriken forderten Architekten einst, Wohnen und Arbeiten räumlich zu trennen. Eine Haltung, die unser Bild von Stadt einschließlich der Gesetzgebung bis heute prägt, obwohl seit den 1970er-Jahren die Nachteile weiter Wege und fehlender Urbanität bekannt sind, wie Hüttenhain schildert.

RIESIGE FLÄCHEN, DIE MAN VERDICHTEN KÖNNTE

Während man innerstädtische Areale bereits neu denkt und funktional gemischt gestaltet, werden die reinen Gewerbegebiete von der Stadtplanung noch vernachlässigt. Dabei könnte man die oft riesigen Areale mit Park- und Abstellflächen und eingeschossigen Gewerbehallen verdichten, ohne immer mehr Land zu verbrauchen. Im vergangenen Jahr hat Hüttenhain zusammen mit einem Team aus mehreren Universitäten eine Studie dazu veröffentlicht, wie Dienstleistungs- und Industriestandorte zu Laboren und Impulsgebern für nachhaltige Stadtentwicklung werden können. „Wir müssen Wege finden, Gewerbegebiete zu transformieren, ohne die produzierenden Betriebe zu verdrängen. Stadtplanung und Stadtpolitik müssen erkennen, dass sie nicht nur beim Thema bezahlbares Wohnen aktiv handeln, sondern auch der lokalen Ökonomie Perspektiven sichern müssen“, fordert Hüttenhain.

Unternehmen zeigen sich inzwischen offen dafür, auf ihren Firmenarealen oder in ihrer Nachbarschaft Wohnungen zu realisieren – solange sichergestellt ist, dass diese die Produktion nicht verdrängen. Die Alternative wären neue Gewerbeflächen auf der grünen Wiese und somit weiterhin weite Wege und Flächenfraß. „Das ist nicht ressourceneffizient und zudem lassen sich baulich-räumlich Lösungen für ein Nebeneinander finden, das zeigen Projekte der letzten Jahre – wie die Internationale Bauausstellung 2027 Stadt-Region Stuttgart eindrücklich zeigt“, sagt Hüttenhain. Sicher sei das noch kein Lebensmodell für alle, aber Forschung und Stadtplanung müssten sich vorausschauend Gedanken machen: Wie können neue Gebäudetypen aussehen, die ein Miteinander trotz Immissionen möglich machen? Welche Chancen bietet eine andere Mobilität?

MEHR EXPERIMENTIERFREUDE BEI DER STADTPLANUNG

Hüttenhain hofft darauf, dass in Deutschland mehr Experimentierfreude und die Bereitschaft einziehen, „mutig in die Zukunft zu investieren“. Man benötige dafür innovative räumliche Ideen und Lösungen. Dazu gehöre, Ressourceneffizienz und Kreislaufwirtschaft mitzudenken und nicht nur auf kurzfristige Rendite, sondern auf einen dauerhaften Nutzen zu schauen. In Skandinavien und den Beneluxstaaten seien Stadtplanung und Investoren mutiger, für Deutschland stellt sie fest: „Wir können bisher kaum gebaute Beispiele für multifunktionale Gewerbequartiere besichtigen, weil viele gute Ideen noch nicht umgesetzt sind.“ Doch auch ihre Forschung soll dazu beitragen, dass sich das bald ändert. →

KONTAKT

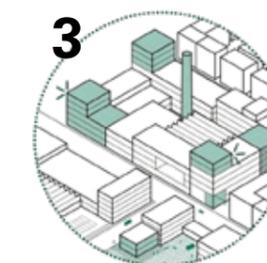
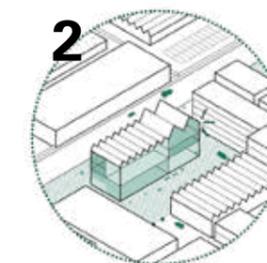
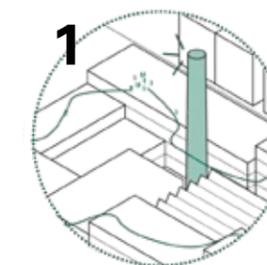
DR. BRITTA HÜTTENHAIN
Mail: britta.huettenhain@si.uni-stuttgart.de Telefon: +49 711 685 83602

Illustrationen/Fotos: Britta Hüttenhain/Anna Kübler, Brigitta Stöckl, Stefan Werrner



Neue Nachbarschaften: Im Werksviertel in München ist die Trennung zwischen Arbeiten, Wohnen und Freizeit aufgehoben.

Schritte für mehr Konnektivität: Der Bevölkerung über Werksführungen Einblick geben (1), Markenbindungen und Akzeptanz über 'gläserne' Manufakturen fördern (2) oder Ausbau von Firmenstandorten zu Erlebniswelten mit Hotel, Park, Besucherzentrum (3).



Eine gemeinsame Sprache für vernetzte Geräte

TEXT: Jutta Witte

Egal ob in der Fabrik, zu Hause oder im Warenlager: Die Software-Plattform von ThingOS bringt smarte Geräte, Maschinen und Systeme in kürzester Zeit miteinander ins Gespräch. 2018 aus der Universität Stuttgart ausgegründet, ist das Start-up mit seinen IoT-Lösungen inzwischen erfolgreich im Markt angekommen.

Der intelligente Fabrikboden ist Sensor, Display und Ladestation zugleich. Lichtsignale steuern Industrieroboter und selbstfahrende Materialboxen, die ihre Energie berührungslos tanken. Sensoren erfassen das Gewicht. Und unter jeder Fliese steckt die Steuerungssoftware von ThingOS: „Wir sorgen dafür, dass alle Systeme miteinander sprechen können“, erklärt Thomas Kubitza, Ko-Geschäftsführer des Start-ups. „Was man hier sieht, ist die Umsetzung des Plattformgedankens in Reinkultur.“

ThingOS steht für „Operating System für vernetzbare Dinge“. Gemeint ist ein plattformgesteuertes Betriebssystem für das Internet of Things, das intelligente Geräte hersteller- und technologieübergreifend miteinander vernetzt. Es steht über einen Hub direkt vor Ort zur Verfügung, kann als App aus der Cloud heruntergeladen werden oder ist als sogenannte Firmware direkt in die Elektronik eingebettet. Der kommunizierende Boden, den das Start-up auf der Hannover Messe 2019 gemeinsam mit seinem Kooperationspartner und Kunden Bosch Rexroth vorgestellt hat, zeigt, wie die neue Software in der smarten Fabrik der Zukunft zum Einsatz kommen kann. Aber auch im vernetzten Zuhause sorgt das Jungunternehmen bereits für Konnektivität – von der Glühbirne über den Wandschalter bis hin zum Sprachassistenten.

KERntechnologie schon in Promotion entwickelt

Plattform und Dienstleistungen verkauft ThingOS an Firmenkunden entweder über ein Lizenzmodell oder als White-Label, also als vorkonfiguriertes Produkt, das der Käufer als eigene Software- oder Hardware-Lösung anbietet und vermarktet. Mit Blick auf das IoT und seine technischen Herausforderungen hatte Kubitza schon vor zehn Jahren den →



Intelligenter Boden:
Unter jeder Fliese liegt Steuerungssoftware von ThingOS, um Systeme zu verbinden.



Dr. Thomas Kubitza

„Wir sorgen dafür, dass alle Systeme miteinander sprechen können.“

→ richtigen Riecher, zu einem Zeitpunkt, als das Internet of Things und seine Potenziale noch nicht in der Breite der Industrie angekommen waren. „Schon damals war die Fragmentierung das zentrale Problem“, sagt der Softwareentwickler. Bis heute erschweren unterschiedliche Technologien, Standards und Protokolle einen schnellen Kommunikationsaufbau und eine effiziente Zusammenarbeit zwischen Geräten.

Also entwickelte Kubitza im Rahmen seiner Promotion am Institut für Visualisierung und Interaktive Systeme (VIS) der Universität Stuttgart die IoT-Plattform meSchup und damit die Kerntechnologie des jetzigen Unternehmens. meSchup stieß schnell auf Interesse sowohl in der Industrie als auch bei Gewerbekunden. Kubitza, der schon mit 18 Jahren seinen ersten Gewerbeschein beantragte und, wie er sagt, das „Gründer-Gen in sich trug“, erkannte das Marktpotenzial und suchte sich Verstärkung. Von Anfang an mit im Boot war sein Institutskollege Patrick Bader. Zum später sechsköpfigen Gründerteam stieß unter anderem auch Prof. Albrecht Schmidt dazu, damals am VIS Leiter der Arbeitsgruppe Mensch-Computer-Interaktion.

IDEALE BEDINGUNGEN AUF DEM FORSCHUNGSCAMPUS ARENA2036

Die ThingOS GmbH war kein „Unicorn“ mit einer milliardenschweren Marktbewertung, aber das technologiegetriebene Start-up brauchte weder Wagniskapitalgeber noch sonstige Investoren und schrieb von Anfang an schwarze Zahlen. „Wir sind nicht rasant schnell gewachsen, dafür aber robust“, meint Kubitza. Sein „Headquarter“ hat ThingOS in der ARENA2036, dem Forschungscampus der Universität Stuttgart. Für den Jungunternehmer ist die rund 4700 Quadratmeter große Werkshalle auf dem Campus Vaihingen „ein super Umfeld für Innovationen“. Sie dient zugleich als Co-Working-Space, Experimentierfläche und Labor für die interdisziplinären Entwicklungsprojekte, die Forschungsinstitute, Großunternehmen, Mittelständler und Start-ups in den Bereichen Automobil und Industrie vorantreiben wollen.

„Hier entstehen neue Ideen beim Austausch am Kaffeeautomaten und werden dann schnell Realität“, berichtet Kubitza. Hier hat ThingOS auch im Gründerwettbewerb „Start-up-Autobahn“ das Rennen gemacht. 15 Menschen – überwiegend Experten und Expertinnen für Softwareentwicklung – beschäftigt das Unternehmen inzwischen. „Wer gute Produkte will, braucht ein gutes Team“, ist Kubitza überzeugt. Er setzt auf agile Arbeitsweisen, flache Hierarchien, Eigenverantwortung und eine moderne Unternehmenskultur: „Homeoffice war bei uns schon vor der Pandemie Standard.“ Die jungen Talente, die hier andocken, müssen in dieses Umfeld passen.

Wenn man es genau nimmt, hat ThingOS vor Kurzem seinen „Exit“ bereits vollzogen. Seit Frühjahr 2022 gehört das Start-up zur Häfele-Unternehmensgruppe, einem mittelständischen Anbieter für Smart-Home-Lösungen – eine Branche, in der Kubitza die Chance sieht, in neuen Dimensionen zu wachsen. Fragt man ihn nach dem Rezept für diese Erfolgsgeschichte, muss er nicht lange nachdenken. „Ein tolles Team, vollen Einsatz für die Idee und sehr viel Ausdauer.“ →

KONTAKT

DR. THOMAS KUBITZA Mail: info@things.io

Fotos: ARENA2036 e.V./Corinna Spitzbarth Fotografie, ThingOS GmbH/Julian Ebert



Fotos: ellis, privat, SimTech

Das ELLIS-Netzwerk will die Forschung zur Künstlichen Intelligenz und zum Maschinellen Lernen in Europa voranbringen.

„Wir bekommen europäische Sichtbarkeit“

INTERVIEW: Michael Vogel

Stuttgart gehört nun offiziell zur europäischen Forschungs-Exzellenz beim maschinellen Lernen. Das European Laboratory for Learning and Intelligent Systems (ELLIS) hat den Standort als neue Einheit ausgewählt. Die Gründungsdirektoren Prof. Andreas Bulling und Prof. Ingo Steinwart sprechen darüber, was die Aufnahme in dieses Netzwerk für die Universität bedeutet.

Gefühlt befassen sich heute unzählige Forschungsgruppen mit Künstlicher Intelligenz. Was ist das Besondere am ELLIS-Netzwerk?

PROF. INGO STEINWART (IS) Das ELLIS-Netzwerk ist eine Graswurzelbewegung, die im Dezember 2018 aus der europäischen Forschung zur Künstlichen Intelligenz und zum maschinellen Lernen entstanden ist. Sie wird von der Europäischen Kommission unterstützt. Ziel ist es, dezentral in Europa sich auf diese Art von Forschung zu fokussieren und dabei stärker zu kooperieren, auch mit der Industrie. Mittlerweile gehören knapp 40 Top-Einrichtungen zu ELLIS, etwa die Universitäten von Cambridge und Oxford, die ETH Zürich, die TU München oder die Universität Tübingen.

PROF. ANDREAS BULLING (AB) Das Besondere ist, dass das Netzwerk europaweit angelegt ist. Man bekommt Verbindungen zu anderen hochkarätigen Universitäten. So werden zum Beispiel gegenseitige Besuche möglich oder der Austausch von Doktoranden. Das birgt ein Riesipotenzial für den Forschungsstandort Stuttgart.

Gibt es in anderen Bereichen vergleichbare Netzwerke?

AB Nicht direkt. Europäische Initiativen wie etwa das Teilchenforschungslabor CERN ähneln sich vielleicht in der Idee, die europäische Forschung zu stärken, sind aber organisatorisch völlig anders umgesetzt.

Mussten Sie in Stuttgart viel Überzeugungsarbeit leisten? Es gibt ja bereits das Cyber Valley, an dem Stuttgart beteiligt ist.

AB ELLIS ist europäisch, ergänzt also das baden-württembergische Cyber Valley perfekt. Daher sah man in Stuttgart die Vorteile, von Beginn an gab es eine große Begeisterung für die Idee. Die Stuttgarter Einheit passt sehr gut in die Gesamtstrategie der Universität, gerade auch im Hinblick auf die Exzellenz-Initiative. Zudem stärkt sie das Stuttgarter Standbein des Cyber Valley.

Wie wird man Mitglied des ELLIS-Netzwerks?

IS Man muss sich bewerben und ein stringentes Auswahlverfahren durchlaufen. Es gibt einerseits formale Kriterien, was zum Beispiel die Größe der beabsichtigten ELLIS-Einheit angeht. Andererseits werden die Forschenden einzeln evaluiert, ob sie den Exzellenz-Anforderungen genügen. Ich habe bereits in Review-Prozessen für andere Einheiten mitgewirkt, da wurden tatsächlich nicht immer alle vorgeschlagenen Forschenden für eine neue Einheit akzeptiert. →



Andreas Bulling ist Professor für Mensch-Computer-Interaktion und Kognitive Systeme.



Prof. Ingo Steinwart leitet das Institut für Stochastik und Anwendungen.

→ Wie wirkt sich die Aufnahme ins ELLIS-Netzwerk konkret aus?

AB Die Universität musste sich bereit erklären, die Stuttgarter Einheit zu unterstützen – finanziell, aber zum Beispiel auch dadurch, dass die ELLIS-Mitglieder mehr Zeit für Forschung eingeräumt bekommen. Die Universität fördert uns fünf Jahre lang großzügig mit jeweils 150.000 Euro. Mit diesem Geld werden wir Internship-Programme finanzieren, auch eine neue Vortragsreihe sowie Workshops und Konferenzen sind bereits in Planung. Zudem konnten wir eine Koordinatorin für die Einheit einstellen. Seitens ELLIS gibt es keine finanzielle Förderung – aber europäische Sichtbarkeit.

IS Solche weichen Faktoren sind nicht zu unterschätzen! Wir haben es zusammen mit dem Stuttgarter Exzellenz-Cluster SimTech geschafft, eine Nachwuchsgruppenleiterstelle zu besetzen, die vor der Gründung der Stuttgarter ELLIS-Einheit bereits einmal ergebnislos ausgeschrieben war.

Welche Forschungsschwerpunkte hat die ELLIS-Einheit Stuttgart?

AB Es sind vier Felder aus dem Bereich des maschinellen Lernens. Sie tragen die Titel Interactive Intelligent Systems, Natural and Programming Language Processing, Learning Theory sowie Robot Learning.

Können sich weitere Forschende der Stuttgarter Einheit anschließen?

IS Die Möglichkeit besteht, ja. Wir lehnen unsere Kriterien eng an die des ELLIS-Netzwerks an. Exzellenz ist dabei zentral. →



Studentinnen
beim ELLIS
Kick-Off im Juli



Prof. Steinwart und
Prof. Bulling präsen-
tieren das Netzwerk

DIE MITGLIEDER DER STUTTGARTER ELLIS-EINHEIT

PROF. DR. ANDREAS BULLING, Institut für Visualisierung und Interaktive Systeme, Universität Stuttgart

DR. PAUL BÜRKNER, Exzellenzcluster Daten-integrierte Simulationswissenschaft SimTech, Universität Stuttgart

DR. KATHERINE KUCHENBECKER, Max-Planck-Institut für Intelligente Systeme Stuttgart

PROF. DR. MATHIAS NIEPERT, Institut für Parallele und Verteilte Systeme, Universität Stuttgart

PROF. DR. MICHAEL PRADEL, Institut für Software Engineering, Universität Stuttgart

APL. PROF. DR. SABINE SCHULTE IM WALDE, Institut für Maschinelle Sprachverarbeitung, Universität Stuttgart

PROF. DR. STEFFEN STAAB, Institut für Parallele und Verteilte Systeme, Universität Stuttgart

PROF. DR. INGO STEINWART, Institut für Stochastik und Anwendungen, Universität Stuttgart

PROF. DR. THANG VU, Institut für Maschinelle Sprachverarbeitung, Universität Stuttgart

DIE VIER FORSCHUNGSSCHWERPUNKTE DER STUTTGARTER ELLIS-EINHEIT

1

Interactive Intelligent Systems: Ziel dieser Forschungsaktivitäten ist es, intelligente Systeme zu entwickeln, mit denen Menschen auf möglichst natürliche Weise kollaborieren können. Für eine gelungene Mensch-Maschine-Interaktion ist insbesondere die sogenannte Nutzermodellierung zentral: Ist eine Person hektisch oder müde? Greift ein angehender Chirurg ein OP-Instrument richtig? Versteht eine Maschine die Intentionen eines Menschen, der mit ihr gemeinsam eine Aufgabe erledigen muss, korrekt?

2

Natural and Programming Language Processing: Sprache ist in Stuttgart ein hochaktuelles Forschungsgebiet, sowohl die maschinelle Verarbeitung menschlicher Sprache als auch die Verarbeitung von Programmiersprachen. Spracherkennung funktioniert schon heute erstaunlich gut, doch wenn etwa Akzente oder Hintergrundgeräusche dazukommen, wird es schwierig. Bei Programmiersprachen wiederum ist das Ziel der Forschung, Code nicht mehr formal einzutippen, sondern ihn in natürlicher Sprache einzugeben, oder zum Beispiel Fehler im Programmcode automatisiert mit Verfahren des maschinellen Lernens zu finden (siehe auch Seite 48).

3

Robot Learning: Der Standort Stuttgart ist stark im Hardware-Engineering, bei dem mit maschinellem Lernen intelligente Robotersysteme entwickelt werden, die in komplexen Umfeldern selbständig agieren können. Autonome Roboter müssen zum Beispiel Objekte der jeweiligen Aufgabe entsprechend sanft oder fest greifen können. Diesen Schwerpunkt werden auch zwei weitere W3-Professuren repräsentieren: „Machine Learning and Robotics“ und „Autonomous Systems“, für die gerade Berufungsverfahren laufen.

4

Learning Theory: Beim maschinellen Lernen ist es entscheidend, die richtigen Parameter zu finden, damit Verfahren zuverlässig und schnell die richtigen Ergebnisse liefern. Diese Parameter kann man sich im übertragenen Sinne wie Stellschrauben vorstellen – und dabei muss man aus Millionen die richtigen auswählen und anpassen. Das ist bei weitem nicht trivial. Nötig ist ein tiefgehendes theoretisches Verständnis der mathematischen Verfahren, um Systeme verbessern zu können

KONTAKT

PROF. DR. ANDREAS BULLING

Mail: andreas.bulling@vis.uni-stuttgart.de Telefon: +49 711 685 60048

PROF. DR. INGO STEINWART

Mail: ingo.steinwart@mathematik.uni-stuttgart.de Telefon: +49 711 685 65388

Fotos: Katherine J. Kuchenbecker, Perceptual User Interfaces

CANSU KÖSE

BEGEISTERT VON DER STUTTGARTER S-BAHN



TEXT: Miriam Hoffmeyer

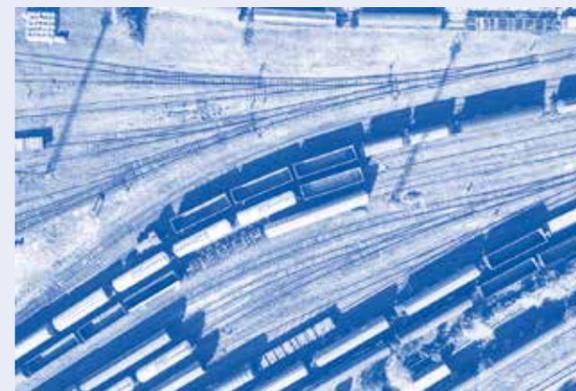
Das Studium weckte bei Cansu Köse die Faszination für hochkomplexe Netze und Sicherheitstechnik. Heute arbeitet die Bauingenieurin beim Technologiekonzern Thales.

„Was wäre, wenn...“ beginnen die Fragen, die sich Cansu Köse täglich stellt. Was wäre zum Beispiel, wenn ein Soft- oder Hardwarefehler die Blockade eines Bediensystems in einem Stellwerk aufheben würde, das gerade gewartet wird? Wo könnte so ein Fehler auch an anderen Stellen auftreten, wie kann man ihm vorbeugen? „Wir spielen in der Theorie eine sehr große Zahl an Anwendungsfällen durch, denn viele Gefahrenquellen sind nicht offensichtlich“, sagt Cansu Köse. Die junge Bauingenieurin, die in Istanbul aufgewachsen ist und in Stuttgart studiert hat, ist Expertin für die Schnittstellen zwischen Leit- und Bedienoberflächen und anderen elektronischen Systemen. Seit vier Jahren arbeitet sie in der Abteilung „Safety“ des Technologiekonzerns Thales Deutschland in Ditzingen. Ihr Team legt die Anforderungen fest, die sicherheitsrelevante Systeme und Produkte entsprechend den europäischen Normen erfüllen müssen, bevor sie im Bahnverkehr eingesetzt werden dürfen. „Wir definieren auch, welche Anforderungen getestet werden müssen und mit welchen Methoden die Gefährdungsanalysen entsprechend den vorgegebenen Sicherheitsstandards vorzunehmen sind“, erklärt Köse.

Ihre Faszination für hochkomplexe Netze und Sicherheitstechnik entdeckte sie 2011 an der Universität Stuttgart, wo sie während ihres Bachelorstudiums an der Sakariya-Universität ein Auslandssemester verbrachte: „Ich war auf Anhieb begeistert, wie schnell man hier mit der S-Bahn überall hinkommt! In Istanbul war man damals noch auf Bus und →

Cansu Köse

„Wir definieren auch, welche Anforderungen getestet werden müssen und mit welchen Methoden die Gefährdungsanalysen entsprechend den vorgegebenen Sicherheitsstandards vorzunehmen sind.“



Fotos: privat, iStock

→ Fähre angewiesen, wenn man von der asiatischen auf die europäische Seite wollte.“ Nach dem Bachelorabschluss bewarb sich Cansu Köse 2014 erfolgreich um ein Masterstudium in Stuttgart. „Ich habe mich sehr schnell eingelebt, auch wegen der großen türkischsprachigen Community. Dass die Stadt so viel kleiner ist als Istanbul, finde ich inzwischen sehr angenehm. Nur das Meer vermisse ich!“

MENTORIN FÜR ANDERE STUDIERENDE AUS DEM AUSLAND

Um ihr Studium zu finanzieren, arbeitete sie zunächst als wissenschaftliche Hilfskraft am Institut für Eisenbahn- und Verkehrswesen (IEV) der Universität Stuttgart, später als Werkstudentin bei Thales Deutschland. Trotzdem fand Cansu Köse immer Zeit dafür, sich als Mentorin und „Buddy“ für Studierende aus dem Ausland zu engagieren. „Mein erster Flug nach Stuttgart war damals auch meine erste Reise ins Ausland. Es war ein schönes Gefühl zu wissen, dass mein Buddy mich vom Flughafen abholt und mir beim Ankommen hilft“, erinnert sie sich. „Diese Unterstützung wollte ich gern zurückgeben. Und es hat mir auch sehr viel Spaß gemacht, viele internationale Studierende und ihre Kulturen kennenzulernen.“

Ihre Masterarbeit schrieb Cansu Köse über Fragen der Nachrichtenübermittlung zwischen Zug und Zentrale beim teilautomatisierten Fahren, die nach dem europäischen Standard ETCS Level 2 (European Train Control System) ständig stattfinden muss. Schon vor der Abschlusspräsentation konnte sie ihre heutige Stelle antreten. Seitdem halten ihr Abteilungsleiter und sie einmal im Jahr am IEV Gastvorträge über sicherheitstechnische Themen, auf ihre Initiative hin: „Für die Studierenden sind einige Aspekte unserer Arbeit sehr interessant. Und ich freue mich, dass ich so den Kontakt zur Universität halten kann!“ →

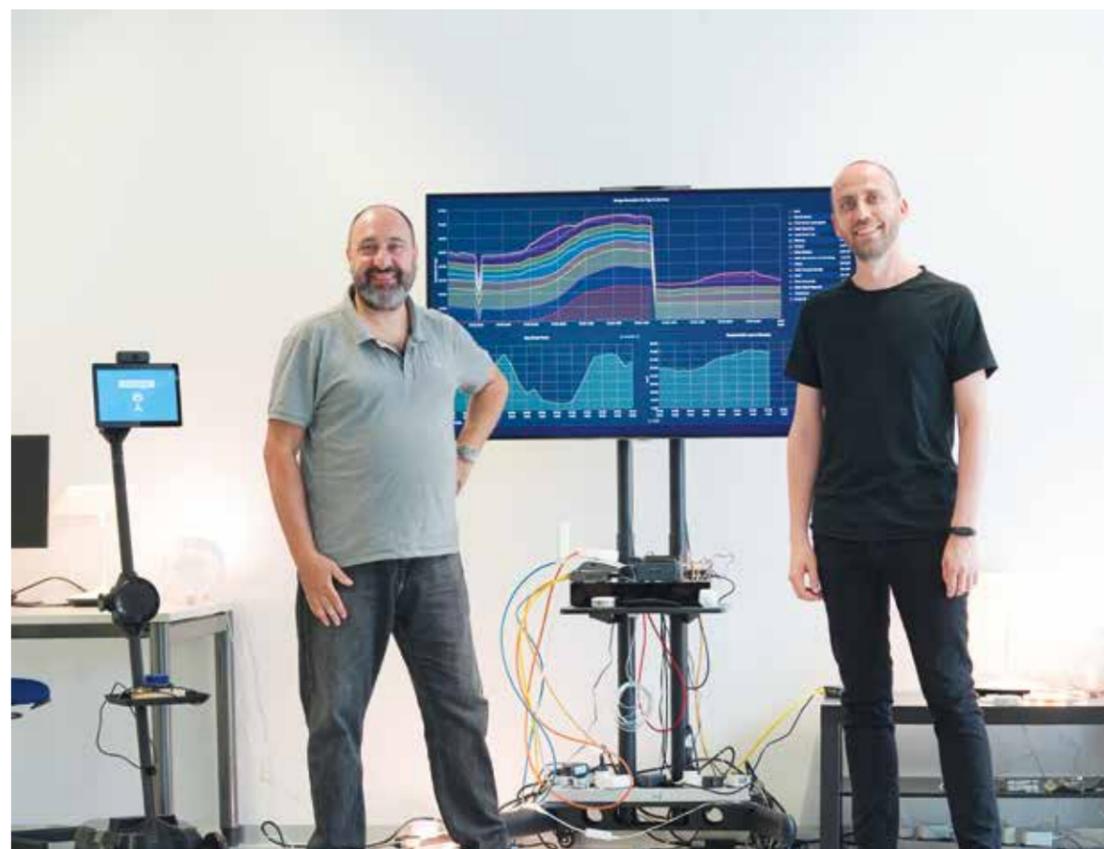
Gemeinsame Leidenschaft für intelligente Gebäude

TEXT: Michael Vogel

Ilche Georgievski und sein Doktorvater Marco Aiello forschen schon seit mehr als einem Jahrzehnt zusammen. Ihre Wege kreuzten sich in den Niederlanden, jetzt suchen sie an der Universität Stuttgart nach Wegen, wie sich intelligente Gebäude nachhaltig betreiben lassen.

Beide stammen aus Südeuropa. Beide verbrachten die Hälfte ihres Lebens im Ausland. Beide sind Informatiker. Und beide forschen in Stuttgart an der Frage, wie Gebäude sich smart machen lassen, um nachhaltiger zu werden. Prof. Marco Aiello leitet die Abteilung Service Computing am Institut für Architektur von Anwendungssystemen (IAAS) der Universität Stuttgart, sein Kollege Dr. Ilche Georgievski ist in dieser Abteilung für den Arbeitsbereich Smart Energy Systems verantwortlich. „In modernen Gebäuden überwacht ein Netzwerk aus Sensoren und Aktuatoren den Betrieb der Immobilie“, sagt Aiello. „Doch diese Flut an Daten, die dadurch anfällt, liefert noch keine Lösung, wie sich ein Gebäude nachhaltiger betreiben lässt.“ Hier setzen Aiello und Georgievski an. Die beiden Informatiker kennen sich schon seit Jahren, Aiello war sogar Georgievskis Doktorvater an der Reichsuniversität Groningen in den Niederlanden.

„Unser Ziel ist es, dass künftig die Nutzenden ihren Bedarf in Alltagssprache formulieren können und das intelligente Gebäude selbstständig den optimalen Weg ermittelt, wie sich dieser Bedarf erreichen lässt“, so Aiello. Nicht „Licht aus und Jalousien hoch“, um das Tageslicht zu nutzen, sondern „bitte heller“. Nicht „bitte die Temperatur für drei Tage absenken“, weil ein Raum ungenutzt bleibt, sondern „bitte den Raum möglichst nachhaltig klimatisieren“. „Ich formuliere also nur mein Ziel, den Rest erledigt das →



Marco Aiello (l.) und Ilche Georgievski in ihrem Forschungslabor

Ein Dashboard zeigt verschiedene Daten für ein Gebäude an.

→ Gebäude selbst“, sagt Aiello. Zum Beispiel könnte ein höherer Energieverbrauch für die Klimatisierung zu bestimmten Tageszeiten und Witterungen akzeptabel sein, weil die Energie von der Fotovoltaikanlage auf dem Dach stammt, sodass in der Summe trotzdem wenig CO₂ emittiert wird. Bei Regen könnte dieser höhere Energieverbrauch dagegen nicht akzeptabel sein, weil er aus weniger nachhaltigen Quellen zu decken wäre. Wer ein Gebäude etwa als Büro nutzt, will sich mit solchen Entscheidungen nicht herumschlagen müssen.

MIT KI-PLANUNG DEN BESTEN WEG FINDEN

In verschiedenen Forschungsprojekten hat Aiellos Team Demonstratoren aufgebaut, etwa für Hochschulgebäude, für eine Cafeteria oder für ein Rechenzentrum. Angesichts der großen Vielzahl an Möglichkeiten, um zu einer gegebenen Zeit in einer gegebenen Situation ein bestimmtes Ziel zu erreichen, setzt Aiellos Team auf Künstliche Intelligenz (KI), genauer auf Verfahren der KI-Planung. „Anders als beim maschinellen Lernen, wo es darum geht, viele Daten zu klassifizieren und Ergebnisse ohne ausdrückliche Anweisungen vorherzusagen, beruht die KI-Planung auf einer symbolischen Darstellung der Welt“, erklärt Georgievski. Man formuliert ein Ziel und hat sehr viele Wege, dieses Ziel zu erreichen. „Jeder Weg setzt sich aus vielen Einzelschritten zusammen, denen sich vorab jeweils Kosten zuordnen lassen.“ Diese „Kosten“ können unmittelbare Kosten sein, etwa der Preis für eine Kilowattstunde Strom oder eine bestimmte Menge an CO₂-Emissionen. Es können aber auch versteckte Kosten sein, etwa ein Zeitaufwand oder ein Produktivitätsverlust.

„Mit KI-Planung lässt sich die optimale Aneinanderreihung der Einzelschritte finden, wenn sie existiert. Diese Entscheidung, wie das Ziel am besten zu erreichen ist, dient dann als Grundlage für die Regelung der Aktoren im Gebäude“, sagt Georgievski. „Leider ist die Zahl der potenziellen Lösungen so groß, dass wir schlaue Verfahren finden müssen, um möglichst effizient zu einem Ergebnis zu kommen.“ Müsste ein intelligentes Gebäude zum Beispiel erst eine Minute lang berechnen, wie sich die Beleuchtung in einem Raum optimal anpassen lässt, dann gibt es ein Akzeptanzproblem.

Aiello befasst sich seit zwei Jahrzehnten mit smarten Gebäuden. Der Italiener hat in Rom Informatik studiert und in den Niederlanden an der Universität Amsterdam in Logik promoviert. Er folgte damit dem Rat seines Vorgesetzten während eines Praktikums bei Apple in den USA. „Er empfahl mir zu promovieren, um wirklich ein tiefes Verständnis →

PROF. MARCO AIELLO

„Ich formuliere nur mein Ziel, den Rest erledigt das Gebäude selbst.“



Fotos: privat



Prof. Marco Aiello bei einer Vorlesung

→ zu entwickeln“, erzählt Aiello. Nach einigen Jahren als Nachwuchsforscher an der Universität Trient habilitierte er an der TU Wien in angewandter Informatik. 2006 ging er wieder in die Niederlande, diesmal an die Reichsuniversität Groningen, zunächst als außerordentlicher, ab 2012 als ordentlicher Professor. 2018 folgte er einem Ruf an die Universität Stuttgart, in Groningen ist er weiterhin Honorarprofessor. „Geplant war das alles nicht“, sagt er. „Mehrfach ging ich davon aus, dass es der letzte Ortswechsel wird. Doch dann bot sich eine neue interessante Gelegenheit...“

Auf seinem Twitter-Account bezeichnet sich Aiello treffend als „europäischer Nomade“. Das spiegelt sich auch in der Sprachenvielfalt seiner Familie wider. Er ist verheiratet mit einer Deutschen, die Kinder sind in den Niederlanden geboren und haben dort einen Teil ihrer Schulzeit verbracht. Beide Elternteile sprechen in ihrer jeweiligen Muttersprache mit den Kindern. Unterhält sich die ganze Familie miteinander, dann bevorzugt auf Englisch.

GEMEINSAMER WEG VON GRONINGEN NACH STUTT GART

In Groningen lernte Georgievski Aiello kennen, seinen Doktorvater. Er stamme aus dem Land, das heute Nordmazedonien heiße, sagt Georgievski. „Nach meinem Abitur eröffnete ich meinen Eltern, dass ich im Ausland studieren will“, erzählt er. Konkret: in einem Land, dessen Abschle in Europa automatisch anerkannt werden. Er ging zum Informatikstudium nach Slowenien. Da er des Slowenischen nicht mächtig war, begann er ein Jahr zuvor, die Sprache zu lernen, und wagte den Sprung ins kalte Wasser. „Danach wollte ich promovieren und suchte dafür nach einem europäischen Land, in dem Englisch im akademischen Umfeld Standard ist“, so Georgievski. Die Niederlande waren ein naheliegender Kandidat. Er recherchierte nach möglichen Doktorvtern, las deren Veröffentlichungen und bewarb sich auch bei Aiello. Erfolgreich.

Er promovierte an der Reichsuniversität Groningen, maßgeblich über Automatisierungsalgorithmen für smarte Gebäude. Mehrere Kollegen gründeten unter der Federführung von Aiello einen Start-up, der Softwarelösungen für nachhaltige Gebäude entwickeln wollte. Diesem schloss sich Georgievski an. 2020 wurde der Start-up von einem Unternehmen übernommen.

Georgievski war damals schon weg. „Ich war ein Jahr beim Start-up, was eine sehr lehrreiche und arbeitsintensive Zeit war“, erinnert er sich. „Aber mir wurde in dieser Zeit auch klar, dass ich die Freiheit der Forschung schtze. Ich tat mich schwer, in meinen Augen zu einschränkende Anforderungen von Unternehmenskunden zu erfüllen.“ Georgievski teilte seinem ehemaligen Doktorvater mit, dass er beim Start-up aussteige und wieder in die Wissenschaft zurückkehren wolle. Aiello entgegnete, dass er nach Stuttgart wechseln werde – ob Georgievski mitkommen wolle. „Ich hatte mir vorab überlegt, dass ich für eine akademische Laufbahn eine Stelle antreten will, bei der ich habilitieren kann“, sagt Georgievski. Diese Chance bietet sich in Stuttgart – und mit Aiello hatte er eh ein gutes Verhältnis. So kam es, dass beide im April 2018 am IAAS zeitgleich ihre Stellen antraten. →

Dr. Ilche Georgievski

„Mir wurde auch klar, dass ich die Freiheit der Forschung schtze.“

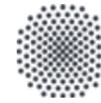


Fotos: privat

KONTAKT

PROF. DR. MARCO AIELLO
Mail: marco.aiello@iaas.uni-stuttgart.de Telefon: +49 711 685 88464

DR. ILCHE GEORGIEVSKI
Mail: ilche.georgievski@iaas.uni-stuttgart.de Telefon: +49 711 685 88459



Universität Stuttgart

Impressum

HERAUSGEBER
Universität Stuttgart
Keplerstraße 7
70174 Stuttgart
Telefon 0711 685-82211
hkom@uni-stuttgart.de
www.uni-stuttgart.de

REDAKTION
Lydia Lehmann (komm. Leitung),
Andrea Mayer-Grenu (Chefredaktion),
Bettina Wind, Claudia Zöller-Fuß,
Fazit Communication GmbH

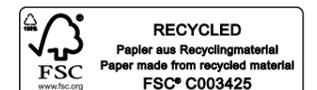
KONZEPT
Fazit Communication GmbH
www.fazit.de

GESTALTUNG
3st kommunikation GmbH
www.3st.de

ÜBERSETZUNG
Proverb oHG

ANZEIGEN
vmm wirtschaftsverlag gmbh & co.kg
Barbara Vogt
b.vogt@vmm-wirtschaftsverlag.de
www.vmm-wirtschaftsverlag.de

DRUCK
Zarbock GmbH & Co. KG



ZUR ONLINEAUSGABE

www.uni-stuttgart.de/forschung-leben



Universität Stuttgart
Keplerstraße 7
70174 Stuttgart
www.uni-stuttgart.de