

Universität Stuttgart

**KÜNSTLICHE
INTELLIGENZ**

FORSCHUNG LEBEN

DAS MAGAZIN DER UNIVERSITÄT STUTTGART

NR. 12 MAI 2019

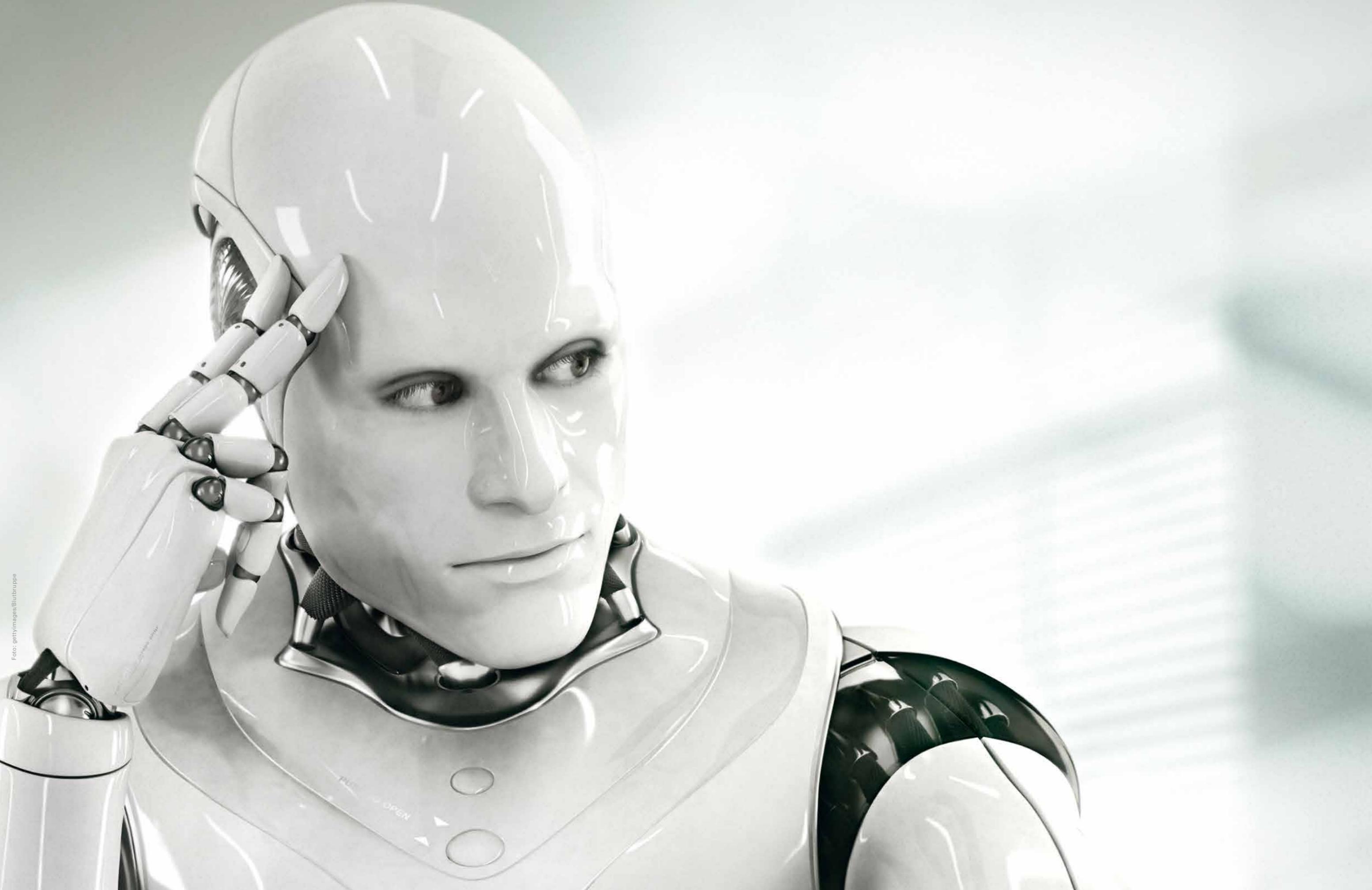


Foto: gettyimages/Blutgruppe

Liebe Leserinnen und Leser,

ob Navi im Auto oder Siri im Handy: Künstliche Intelligenz hat längst Einzug in den Alltag der Menschen gehalten und gilt als der Treibstoff für die Wettbewerbsfähigkeit Deutschlands und Europas. So beschloss die Bundesregierung im vergangenen Jahr eine Strategie für die Künstliche Intelligenz und die baden-württembergische Landesregierung investiert in dieser Legislaturperiode rund eine Milliarde Euro, um digitale Leitregion zu werden. Der Ministerpräsident Winfried Kretschmann, Gastautor in dieser Ausgabe von FORSCHUNG LEBEN, sieht dabei gerade auch die Universitäten als Impulsgeber. An der Universität Stuttgart spielt Künstliche Intelligenz bei der Umsetzung ihrer Vision „Intelligente Systeme für eine zukunftsfähige Gesellschaft“ eine zentrale Rolle und tangiert die interdisziplinäre Zusammenarbeit einer Vielzahl von Disziplinen. In diese Aktivitäten möchten wir Sie mit der aktuellen Ausgabe unseres Magazins FORSCHUNG LEBEN mit hineinnehmen.

Lesen Sie, wie sich in einer kognitiven Produktion Roboter künftig selbst trainieren und neue Fertigungsanlagen in wenigen Tagen einsatzbereit sind. Erfahren Sie, wie – Stichwort Neurorobotik – das Zusammenspiel von Künstlicher Intelligenz und biologischem Design das Maschinelle Lernen beflügeln. Erleben Sie auch, wie Künstliche Intelligenz eine Vielzahl anderer Bereiche grundlegend verändern wird, von der Telekommunikation über die Energieversorgung bis zu unserer Bekleidung. Und in der Serie „Im Bilde“ zeigen wir Ihnen, was sich hinter dem Potenzialbereich „Autonome Systeme“ der Universität Stuttgart verbirgt und welche Rolle das baden-württembergische Cyber Valley dabei spielt.

Eine „intelligente“ Lektüre wünscht Ihnen
Ihr

Wolfram Ressel



Foto: Universität Stuttgart/M. Kovalenko

„An der Universität Stuttgart spielt Künstliche Intelligenz bei der Umsetzung ihrer Vision ‚Intelligente Systeme für eine zukunftsfähige Gesellschaft‘ eine zentrale Rolle.“

Wolfram Ressel
Rektor der Universität Stuttgart

”

**FREIRAUM** 02
Editorial**NACHRICHTEN** 06**GEMEINT****Das Neue gestalten**

Im Gastbeitrag erklärt Ministerpräsident Winfried Kretschmann, wie es gelingen kann, Baden-Württemberg als digitale Leitregion für Künstliche Intelligenz zu etablieren.

WIE SOLL DAS GEHEN? 14**Selbstoptimierung in der Fabrikhalle**

In kognitiven Produktionssystemen trainieren sich Maschinen automatisiert und schnell

PATENT 20
Neues Denken

Achim Menges sieht im digitalen Co-Design das Potenzial für die Architektur Zukunft

IM BILDE 24**KI-Spitzenforschung und Unternehmergeist**

Der Innovationscampus Cyber Valley ist eine der größten Forschungsk Kooperationen Europas auf dem Gebiet der Künstlichen Intelligenz (KI). "Im Bilde" stellt einige der Spitzenforschungsprojekte aus dem Cyber Valley exemplarisch vor.

FAKTOR X 42**Maschinen mit Moral**

Philosophen entwickeln ethische Prinzipien zu künstlicher Intelligenz für eine gelungene Kooperation zwischen Mensch und Maschine

Eine Frage des Vertrauens 44

Die Deutschen und ihre Akzeptanz intelligenter Systeme

Gedichte auf Knopfdruck 46

Auf den Spuren der Geschichte der Informationsästhetik und den Ursprüngen der „digitalen Literatur“

**RPM – REVOLUTIONS PER MINUTE** 48**FUTUR 22** 60**Im Aufwind**

Maschinelles Lernen in der Luftfahrt verbessert das Fliegen

SATELLIT 74**Der Hochdruckdigitalisierer**

Hartmut Jenner, Alumnus der Universität Stuttgart und Vorstandsvorsitzender der Alfred Kärcher SE & Co. KG, über das Automatisieren von Reinigungsaufgaben

**WELTSICHT** 90**Im Zentrum weltweiter Performance****Form follows material** 92

Die Ägypterin Hanaa Dahy will intelligente Materialien in der Architektur verankern

IMPRESSUM 96

50

HUMANOIDER MUSKELPROTZ

Wissenschaftler bringen einem Roboterarm das Erlernen von Bewegungen bei

56

DIE KAPAZITÄTENSCHAFFER

Über das Potenzial von Künstlicher Intelligenz in der Sachbearbeitung

58

MAN MERKT DIE ABSICHT ...

Intelligente Benutzerschnittstellen machen Computer zu aufmerksamen Begleitern

62

CHIPS AUF DEM PRÜFSTAND

Neue Testmethoden und Künstliche Intelligenz verbessern die Halbleiterfertigung

65

AGENTEN WISSEN, WAS ZU TUN IST

Konstruktion und Fertigungsplanung werden mithilfe von KI leistungsfähiger

68

INTELLIGENTE IMPULSGEBER

Von der klassischen Signalverarbeitung zur Nachrichtenübertragung mit neuronalen Netzen

71

SCHLAUE BOHRER

Maschinelles Lernen in der Zerspanungstechnologie

78

KEINE KOMPROMISSE

Multiphysikalische Untersuchungen sollen leichter, besser und schneller werden

82

SEKUNDENSCHNELL UND UNBEIRRBAR

Ein selbstlernendes Programm erkennt, ob Solarzellen noch intakt sind

84

NETZSTABILITÄT AUS DEM HEIZKELLER

Intelligente Steuerungen machen regenerative Energieerzeugung wetterunabhängig

86

DAS ENDE DER MASSLOSIGKEIT

Künstliche Intelligenz sorgt dafür, dass Kleidung optimal passt

88

ASSISTENZARZT DR. KI

Forschende aus Medizin und Signalverarbeitung nutzen KI für verbesserte Diagnostik



...aufgespießt

6

Intelligente Systeme auf der Hannover Messe

Auch in diesem Jahr zeigte die Universität Stuttgart auf der weltweit bedeutendsten Industriemesse in Hannover Flagge. Im Sektor „Research & Technology“ für Forschung, Entwicklung und Technologietransfer, einem Publikumsmagneten, präsentierte sie visionäre Produkte und Anwendungen. Zu erleben war Spitzenforschung aus den beiden Exzellenzclustern „Daten-integrierte Simulationswissenschaft“ und „Integratives computerbasiertes Planen und Bauen für die Architektur“. Dazu kamen zukunftsweisende Exponate aus den Bereichen Autonomous Systems, Biomedical Systems, Dichtungstechnik der Zukunft sowie Mobilitätskonzepte aus der Forschungsfabrik ARENA2036.



Foto: ARENA2036

Einzigartige Pavillons auf der BUGA

Die Architektur neu denken – zu welchen faszinierenden Ergebnissen dies führt, zeigen zwei weltweit einzigartige Pavillons der Universität Stuttgart, die auf der Bundesgartenschau (BUGA) in Heilbronn zu sehen sind. Realisiert wurden sie durch die Institute für Tragkonstruktionen und Konstruktives Entwerfen (ITKE, Prof. Jan Knippers) und für Computerbasiertes Entwerfen und Baufertigung (ICD, Prof. Achim Menges) der Universität Stuttgart.



Foto: Universität Stuttgart/ICD/ITKE

Einer der Pavillons besteht aus heimisch vorkommenden Holzsorten, ist sieben Meter hoch und hat einen Durchmesser von rund 30 Metern. Seine Konstruktion setzt auf drei Punkten auf und spannt stützenfrei über eine Grundfläche von rund 500 m². Möglich wird dies durch biologische Plattenstrukturen, die sich durch besonders hohe Leistungsfähigkeit und Materialeffizienz auszeichnen. Das Schalentragswerk besteht aus 376 hohlen, also besonders materialeffizient hergestellten Holzkassetten, die voll automatisiert in einem robotischen Vorfertigungsprozess entstanden sind.

Die tragende Konstruktion des zweiten Pavillons mit einem Durchmesser von 23 Metern und einer Höhe von sieben Metern besteht ausschließlich aus Faserverbundkomponenten (Glasfasern und Kohlenstofffasern). Diese wurden in einem sogenannten additiven, robotischen Fertigungsprozess hergestellt. Dadurch war es möglich, die 60 Bauteile den jeweiligen Anforderungen anzupassen, ohne dass dafür besondere Formen benötigt oder Abfall verursacht wurden. Die daraus hervorgehenden Konstruktionen sind um ein Vielfaches leichter als alle herkömmlichen Bauweisen.



Gemeinsam bringen wir die Dinge voran: Wir von der EnBW entwickeln intelligente Energieprodukte, machen unsere Städte nachhaltiger und setzen uns für den Ausbau erneuerbarer Energien ein. Und dafür benötigen wir tatkräftige Unterstützung.

Egal, ob Praxiseinsätze während des Studiums oder direkter Berufseinstieg danach – wir sind immer auf der Suche nach engagierten Talenten, die sich mit ihrem Fachwissen einbringen und zusammen mit uns die Energiezukunft gestalten. Im Gegenzug bieten wir spannende Aufgaben und vielfältige Entwicklungsmöglichkeiten.

Machen Sie jetzt mit: www.enbw.com/jobmarkt





Foto: Universität Stuttgart/SimTech

Magne Espedal-Professor

Prof. Rainer Helmig vom Institut für Wasser- und Umweltsystemmodellierung der Universität Stuttgart erhielt die „Magne Espedal“-Ehrenprofessur der Universität Bergen (Norwegen).

Die Auszeichnung würdigt Helmigs international anerkannte Forschung im Bereich der porösen Medien. Magne S. Espedal, ein weltbekannter Professor der Universität Bergen, war der erste Forscher, der das Gebiet der angewandten Mathematik mit dem Forschungsfeld der porösen Medien verband und damit ein neues Forschungsgebiet schuf. Die Universität Stuttgart realisiert seit mehr als 20 Jahren gemeinsame Projekte und Promotionsvorhaben mit der Universität Bergen, anfangs auch insbesondere mit Magne S. Espedal.

Science Data Center für Born-digitals

Moderne Formate wie Weblogs rutschen durch das Netz der allgemeinen Versorgung mit Literatur. Neben der mangelnden Verfügbarkeit erfordert auch die Masse und Vielfalt digitaler literarischer Formate neue digitale Methoden der Archivierung. ›Born-digital-Literaturmaterialien – also Materialien, die ihren Ursprung in digitaler Form haben – zu sammeln und dauerhaft zu erhalten, ist das Ziel eines neuen Science Data Centers, das durch das Deutsche Literaturarchiv Marbach in Kooperation mit dem Höchstleistungsrechenzentrum Stuttgart sowie dem Institut für Maschinelle Sprachverarbeitung und der Abteilung Digital Humanities der Universität Stuttgart eingerichtet wurde. Zudem sollen neue digitale Methoden zur Erforschung dieses heterogenen, innovativen Bestandes entwickelt werden. Das Land Baden-Württemberg fördert das Projekt mit knapp zwei Millionen Euro.

Terra incognita

Gemäß ihrer Vision „Intelligente Systeme für eine zukunftsfähige Gesellschaft“ möchte die Universität Stuttgart erfolgversprechende Forschungsfelder der Zukunft identifizieren und sich als Entstehungsort des Neuen positionieren. Umgesetzt werden soll dies unter anderem mit dem neuen Forschungsförderprogramm „Terra incognita“. Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler sollen damit ermutigt werden, risikobehaftete originäre Projektideen zu wagen und auf unbekanntem Wege zu neuen Forschungsergebnissen zu gelangen.

„Terra incognita“ grenzt sich zu bestehenden Förderangeboten im Bereich der Hochrisiko-Forschung dadurch ab, dass gezielt trans- und interdisziplinäre, völlig neue Forschungsgebiete und Forschungsthemen angestoßen werden sollen. Die Fördersumme beträgt bis zu 50.000 Euro.

Vordenken im Video

Das neue Video der Universität Stuttgart greift das Motto der Universität „Vordenken für die Themen der Zukunft“ auf. Der Clip visualisiert den Spirit einer visionären Forschungskultur, der auf dem gesamten Campus der Universität zu spüren ist. In den Szenen werden Vielschichtigkeit und Exzellenz der Forschungsleistungen an der Universität Stuttgart sichtbar. Die Gesichter der Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler aus aller Welt spiegeln die Faszination an den Zukunftsthemen wider. Der Clip ist von einer hohen Dynamik geprägt und erzeugt durch seine akzelerierende Bildsprache, den kurzen Bildfolgen und seiner schnellen Rhythmik eine finale Steigerung, die auf die Zukunftsorientierung des intelligenten Systems Universität Stuttgart verweist.

<https://www.youtube.com/watch?v=kgaELc5zrHs&feature=youtu.be>



Foto: Universität Stuttgart

Erste Professur für Unternehmensgeschichte

Die Ferry-Porsche-Stiftung finanziert die erste Professur in Deutschland, die ausschließlich dem Thema Unternehmensgeschichte gewidmet ist. Die Stiftungsprofessur soll Unternehmen helfen, ihre Historie wissenschaftlich unabhängig zu analysieren sowie wirtschaftliche und industrielle Errungenschaften im Kontext historischer und gesellschaftlicher Zusammenhänge besser einzuordnen. Auch die individuellen Leistungen von Unternehmerpersönlichkeiten sollen untersucht werden. Ausgangspunkt für die Initiative zu diesem Lehrstuhl war die intensive Beschäftigung



Foto: Universität Stuttgart/B. Künzler

Fliegen, aber günstig

Die Studentische Gruppe Akaflieg an der Universität Stuttgart hat einen Segelflieger gebaut, mit dem sich viel Geld sparen lässt. Das Besondere an dem Flugzeug, das nach einer Greifvogelart den Namen „Harpyie“ trägt: Es hat einen vergleichsweise leistungsstarken Motor und kann damit andere Segelflugzeuge schleppen, fällt aber rechtlich in die Kategorie eines Segelflugzeugs, weil die Studierenden das Gewicht des Flugzeugs durch drastischen Leichtbau auf das eines Segelfliegers reduziert haben. Zudem brauchen die Piloten für diese Flugzeugklasse nicht den kostspieligen Flugschein für Motorflugzeuge. Deshalb ist der neue Flieger auch für Vereine interessant.

des Sportwagenherstellers Porsche mit der eigenen Geschichte. Prof. Wolfram Pyta vom Historischen Institut der Universität Stuttgart hatte eine umfassende Betrachtung der Anfangsjahre des Unternehmens vorgelegt – von der Entstehung des Volkswagens über die Rolle des Fahrzeugkonstruktors Ferdinand Porsche im Nationalsozialismus und die Kriegsproduktion bis zum Tod von Ferdinand Porsche im Jahr 1951. Im Kontext der Studienergebnisse hat die Porsche AG die Dauerausstellung in ihrem Museum um Inhalte über diesen Zeitraum erweitert und am Stammwerk eine Gedenktafel für die eingesetzten Zwangsarbeiterinnen und Zwangsarbeiter installiert.



AUSGEZEICHNET

Emmett N. Leith Medaille

Die Optische Gesellschaft (OSA) hat den ehemaligen Direktor des Instituts für Technische Optik (ITO) der Universität Stuttgart, Prof. em. Wolfgang Osten, mit der Emmett N. Leith Medaille 2019 geehrt. Osten erhielt die Auszeichnung für die Erweiterung der Grenzen der optischen Messtechnik durch die Integration der digitalen Bildverarbeitung. Seine Forschungsarbeit konzentriert sich auf neue Konzepte für die industrielle Überwachung und Messtechnik, indem sie moderne Prinzipien der optischen Messtechnik, Sensorik und der digitalen Bildverarbeitung kombiniert. Besonderes Augenmerk richtet er auf die Entwicklung digitaler optischer Technologien wie der digitalen Holografie sowie auf auflösungsgesteigerte Technologien zur Untersuchung von Mikro- und Nanostrukturen.

Das Neue gestalten In Baden-Württemberg entsteht ein einzigartiges Ökosystem für Künstliche Intelligenz

Künstliche Intelligenz (KI) ist der Treiber für durchgreifende Veränderungen. Ihr Potenzial ist groß, der Wettbewerb um die Kommerzialisierung innovativer Anwendungen hat begonnen. Neben finanzieller Förderung und gezielter Forschung sind ethische Fragen und das Einbeziehen der Gesellschaft von großer Wichtigkeit. Wie es gelingen kann, Baden-Württemberg als digitale Leitregion zu etablieren, erklärt Winfried Kretschmann, Ministerpräsident von Baden-Württemberg, in einem Gastbeitrag für FORSCHUNG LEBEN.

Manche Erfindungen prägen ganze Epochen: radikale Innovationen wie der Buchdruck, die Dampfmaschine oder die Elektrizität. Ökonomen sprechen in diesem Zusammenhang von Basistechnologien, die Schritt für Schritt alle Bereiche des Lebens durchdringen und die Entwicklungsrichtung von Wirtschaft, Gesellschaft und Politik grundlegend ändern. Die wichtigste Basistechnologie unserer Zeit ist die Künstliche Intelligenz (KI). Ihr Feld ist die Digitalisierung. Ihr Futter sind Daten.

Auch wenn die Grundlage der KI schon vor langer Zeit gelegt wurde, hat die Kindheit der KI gerade erst begonnen. Eine Kindheit, in der Maschinen sehen, sprechen und lesen lernen. Dabei müssen wir zwei Phasen unterscheiden: Einen ersten Wachstumsschub, als es mit Hilfe von immer leistungsfähigeren Chips und Speichern möglich wurde, riesige Datenmengen zu analysieren und auszuwerten („alte KI“). Und einen zweiten Wachstumsschub, in dem sich KI vom Daten-Fließbandarbeiter zum dynamischen Problemlöser entwickelt. Zu einem Problemlöser, der selbst experimentiert, Daten generiert und lernt („neue KI“).

Für unsere Zukunft kommt es entscheidend darauf an, voll auf neue KI zu setzen, auf maschinelles Lernen und tiefe neuronale Netze. Ihr Potenzial ist un-

gleich größer als das der alten KI. Ihre Effekte werden schon bald überall spürbar werden, gerade auch in den für Baden-Württemberg prägenden Branchen, den „drei M“: Mobilität, Maschinenbau, Medizin. Dabei geht es nicht nur um Produktivitätssteigerungen, sondern um eine neue Denkweise, neue Geschäftsmodelle und neu strukturierte Märkte. Wir in Baden-Württemberg wollen die Chancen dieser Entwicklung nutzen und ihre Risiken minimieren.

Auf dem Weg zur digitalen Leitregion

Um dieses Ziel zu erreichen, investiert die Landesregierung in dieser Legislaturperiode rund eine Milliarde Euro. Wir wollen digitale Leitregion werden, etwa um Krankheiten noch frühzeitiger zu erkennen und gezielter bekämpfen zu können, um eine ganz neue, intelligentere Form der Mobilität zu erfinden und unsere natürlichen Lebensgrundlagen effektiver zu schützen.

Dabei spielen die Hochschulen eine entscheidende Rolle: als Treiber, Nutzer und kritischer Begleiter von Digitalisierung und Künstlicher Intelligenz. Und auch als Investor in die wichtigste Ressource unseres Landes: die Köpfe der Menschen.

Die Grundlagen der neuen KI wurden vor allem bei uns in Europa gelegt. Die Mustererkennung, der Allzweckrechner und „deep learning“ sind europäische Erfindungen. Dass wir bei dieser Entwicklung abgehängt sind, ist ein Marketing-Märchen. Richtig ist, dass wir in einem harten internationalen Wettbewerb stehen. Und dass insbesondere die USA und China erhebliche Mittel einsetzen, um bei der Kommerzialisierung innovativer Anwendungen voranzukommen. Nur wenn wir hier Schritt halten, können wir in Zukunft wirtschaftlich mitziehen. Nur wenn wir hier vorangehen, können wir über die ethischen Standards mitentscheiden, die in Zukunft gelten. Deshalb hat die Landesregierung eine ressortübergreifende Strategie für Künstliche Intelligenz erarbeitet. Wir wollen die baden-württembergischen Stärken nut-

zen: eine starke Wirtschaft, eine hervorragende Wissenschaft und eine gute Verdrahtung beider Bereiche. Auf dieser Grundlage wollen wir ein einzigartiges Ökosystem für Künstliche Intelligenz aufbauen. Zentrales Anliegen ist dabei auch, die Bürgerinnen und Bürger in die Gestaltung des digitalen Wandels einzubeziehen und den digitalen Wandel ethisch zu reflektieren. Aus demselben Grund bringen wir die transdisziplinäre Kooperation der Geistes- und Sozialwissenschaften mit den Technikwissenschaften voran und haben im Juli 2018 den Forschungsverbund „Gesellschaft im digitalen Wandel“ ausgeschrieben. Hier geht es um ethisches Orientierungswissen, die Veränderungen der Arbeitswelt und Fragen der nachhaltigen Entwicklung. Es geht nicht nur um schneller, höher, weiter, sondern auch um den bewussten Umgang mit KI mit Blick auf ihre Folgen für Mensch und Natur.

Cyber Valley als Magnet für Wissenschaftsnachwuchs

Gleichzeitig sind wir dabei, eine baden-württembergische KI-Forschung auf höchstem Niveau zu etablieren und Top-Talenten aus der ganzen Welt bei uns eine Heimat zu bieten. Nur ein solcher Standort ist attraktiv genug, um Forschende und Wirtschaftsunternehmen zu inspirieren und langfristig zu binden. Deshalb haben wir zusammen mit der Max-Planck-Gesellschaft, den Universitäten Stuttgart und Tübingen und starken Unternehmen im Jahr 2016 das „Cyber Valley“ gegründet.

Schon heute ist es ein Leuchtturm der Wissenschaftslandschaft unseres Landes und gehört weltweit zu den Top 10 beim maschinellen Lernen. Schon heute ist es ein Magnet für führende Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler, für junge Leute aus aller Welt, die hier forschen, oder sich als kreative Gründerinnen und Gründer versuchen wollen.

Weitere Aktivitäten sind hinzugetreten, beispielsweise die Einrichtung von Stiftungsprofessuren und



Foto: Staatsministerium Baden-Württemberg

„Die Hochschulen spielen eine entscheidende Rolle: als Treiber, Nutzer und kritischer Begleiter von Digitalisierung und KI.“

Winfried Kretschmann
Ministerpräsident des Landes Baden-Württemberg

”

große Drittmittelvorhaben wie die Exzellenzcluster „Datenintegrierte Simulationswissenschaften“ und „Maschinelles Lernen – Neue Perspektiven für die Wissenschaft“ an den Universitäten Stuttgart und Tübingen oder das Kompetenzzentrum „Maschinelles Lernen“ der Universität Tübingen und des Max-Planck-Instituts für Intelligente Systeme Tübingen/Stuttgart. Das Kompetenzzentrum soll nach den Planungen des Bundes ein Baustein des deutschen KI-Netzwerks werden – und damit wohl auch Teil eines deutsch-französischen KI-Verbunds.

Europäische Forschung vernetzen

Die ersten Schritte haben wir getan, und unsere Investitionen tragen erste Früchte. Dennoch liegt noch



Besuch im Cyber Valley: Ministerpräsident Winfried Kretschmann und der österreichische Bundespräsident Dr. Alexander Van der Bellen (r.) mit Roboter Apollo, einer Entwicklung des Max-Planck-Instituts für Intelligente Systeme.

viel Arbeit vor uns. Bund und Länder müssen eine gemeinsame Strategie entwickeln und europäisch abstimmen, um ihre Kräfte zu bündeln. Länder wie Kanada mit seinen drei KI-Zentren (u. a. dem Vector-Institut) zeigen: Wenn alle an einem Strang ziehen, kann uns in kürzester Zeit viel gelingen! Die Landesregierung leistet hierzu einen wichtigen Beitrag und unterstützt diese Entwicklung mit erheblichen Mitteln. Wir wollen, dass das Cyber Valley rasch weiterwächst, an Struktur gewinnt und sich mit der hochkarätigen KI-Forschung – die es ja auch an weiteren Orten im Land wie zum Beispiel in Karlsruhe oder Freiburg gibt – verbindet. Und wir wollen das Cyber Valley zu einem wichtigen Element einer vernetzten europäischen KI-Forschung machen. Nur wenn wir unsere Kräfte in Europa konzentrieren, können wir ein Gegengewicht zu den USA und China bilden.

Deshalb begrüßen wir die KI-Strategie der Europäischen Union und unterstützen die ELLIS-Initiative von europäischen KI-Spitzenforschenden zur Etablierung eines europäischen KI-Instituts nach dem Vorbild des European Molecular Biology Laboratory (EMBL). Wir brauchen ein gemeinsames Vorgehen

und den Mut, größer zu denken! Wir begrüßen auch die Idee der Bundesregierung, Anwendungshubs aufzubauen. Im Land gibt es viele starke Einrichtungen, die für die Anwendung nachhaltige Impulse mit neuem Wissen setzen können, zum Beispiel im Bereich der Medizin und der Cybersicherheit. Öffentliches Geld kann allerdings nicht alles richten. Wir brauchen auch ein Umdenken in Wirtschaft, Gesellschaft und Politik. Wir dürfen uns nicht darauf ausruhen, dass wir die zu Ende gehende industrielle Epoche entscheidend mitgeprägt haben. Unser Ziel muss es vielmehr sein, die gerade beginnende digitale Ära entscheidend mitzugestalten, neue Visionen für die Welt der Daten zu entwickeln. Eine Hochschule wie die Universität Stuttgart ist dafür ein hervorragender Partner.

Ihr
Winfried Kretschmann
Ministerpräsident des Landes Baden-Württemberg

➤ **Winfried Kretschmann studierte Biologie und Chemie auf Lehramt in Hohenheim und unterrichtete unter anderem in Stuttgart. Seit dem Studium politisch aktiv, hat er die Partei „Die Grünen“ in Baden-Württemberg mitgegründet. Angefangen als Grundsatzreferent im grünen Umweltministerium, war Kretschmann von 2002 bis 2011 Fraktionsvorsitzender seiner Partei. Seit dem 12. Mai 2011 ist er Ministerpräsident von Baden-Württemberg.**



exyte

SHAPE THE FUTURE! Start Now!

Was wir mit Ihnen gemeinsam vorhaben ...

Exyte Technology GmbH sucht neue Mitarbeiter und bietet Herausforderungen, Chancen und Perspektiven.

Das Unternehmen

Exyte Technology GmbH ist ein Tochterunternehmen der Exyte AG. Wir entwickeln und fertigen in Deutschland, China und Tschechien innovative Produkte und kundenspezifische Lösungen im Bereich der Reinraum- und Präzisionsklimatechnik. Unsere Schlüsselkunden sind führende Unternehmen der Halbleiter- und Pharmaindustrie. In unserem im Januar 2019 fertig gestelltem modernen Fertigungs- und Bürogebäude arbeiten zur Zeit 300 Mitarbeiter. Mit ca. 25.500 m² Gesamtfläche bietet das Grundstück nachhaltige Wachstumsreserven für die Zukunft.

Was wir bieten

- Eine anspruchsvolle Position in unserem Sondermaschinen- und Anlagenbau
- Spannende Perspektiven in den Bereichen „Sales“, „Technologie und Entwicklung“, „Produktion und Qualität“ bis hin zum „Service“
- Flexible Arbeitszeitgestaltung

Wen wir suchen

- Leistungsorientierte, interessierte Mitarbeiter, die sich gerne der Herausforderung stellen
- Elektrotechnik-, Maschinenbau-, Wirtschafts- oder Informatikingenieure mit guten Studienergebnissen, Praxisnähe und vor allem Ambitionen
- Meister oder Techniker, die auf der Grundlage nachweisbarer Erfolge den nächsten Schritt gehen wollen

Schlüsselqualifikationen, die für bestimmte Aufgaben hilfreich sind

Für Technik und Service

- Berufserfahrung, idealerweise im Bereich Klima- oder Lüftungstechnik
- Erfahrung im Programmieren von SPS Systemen, idealerweise B&R
- Gute MSR-Kenntnisse

Für Qualität und Produktion

- Weiterbildung und Erfahrung im Qualitätsmanagement inkl. Kenntnis der einschlägigen Normen z.B. DIN EN ISO 9001:2015
- Erfahrung in der Anwendung von Lean-Prinzipien zur Optimierung von Prozessen
- Kenntnisse in der Produktionslogistik

Wir erwarten

- Belastbarkeit und Flexibilität
- Englisch in Wort und Schrift
- Gute Kenntnisse in MS-Office-Anwendungen

Wir freuen uns auf Sie

Bitte senden Sie Ihre vollständigen Bewerbungsunterlagen an:

Exyte Technology GmbH

Frau Dagmar Kull
Rosine-Starz-Str. 2-4, 71272 Renningen, Deutschland
Phone +49 711 8804-1048
E-Mail: dagmar.kull@exyte.net

Für mehr Informationen:



www.exyte-technology.net

Selbstoptimierung in der Fabrikhalle In kognitiven Produktionssystemen trainieren sich Maschinen automatisiert und schnell

Maschinen, die sich quasi von selbst programmieren, sollen die Produktion künftig schneller, flexibler, vorausschauender und wirtschaftlicher machen. Noch ist eine solche „Lernende Fabrik“ eine Zukunftsvision und die Herausforderungen sind groß. Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler der Universität Stuttgart sowie der Forschungsfabrik ARENA2036 arbeiten an der Realisierung.

Aus einer Werkzeugbox eine Schraube herauszufischen und der Produktion zuzuführen, das scheint auf den ersten Blick ganz einfach zu sein. Doch hinter dem Vorgang verbirgt sich eine Vielzahl an Teilschritten: Die Schraube im Durcheinander der Teile zu erkennen, sie an der richtigen Stelle zu greifen, das Werkstück anzusteuern, die Schraube an der richtigen Stelle und in der richtigen Richtung einzudrehen – der Mensch erfasst solche Abläufe intuitiv. Ein klassischer Produktionsroboter dagegen muss für jeden einzelnen Teilschritt von einem Experten programmiert werden. „Bis der Roboter zuverlässig funktioniert, vergeht viel Zeit, und die personalintensive Programmierung ist teuer“, erklärt Prof. Marco Huber, der am Institut für Industrielle Fertigung und Fabrikbetrieb (IFF) der Universität Stuttgart die Abteilung Kognitive Produktionssysteme leitet.

In einem kognitiven Produktionssystem erfolgt eine solche Programmierung ohne menschliches Zutun. Der Roboter lernt autonom, zum Beispiel in einer simulativen Umgebung oder durch Nachahmung, welche Schritte er auszuführen hat. Daraus generiert er selbst sein Programm und führt dieses schließlich aus. Dass Maschinen sich tatsächlich selbst programmieren, sei zwar noch Zukunftsmusik, „aber in Teilbereichen, wie etwa der Objekterkennung, funktioniert das zumindest unter Laborbedingungen schon sehr gut“, erläutert Hu-

ber. „Das wollen wir jetzt in die Praxis bringen“, ergänzt der Wissenschaftler, der auch das Zentrum für Cyber Cognitive Intelligence (CCI) am Fraunhofer IPA leitet, das insbesondere mittelständische Unternehmen beim maschinellen Lernen für die Produktion unterstützt.

Mehr Komplexität durch Deep Learning

Ein zentraler Faktor für diese Fortschritte ist das Deep Learning, ein Teilbereich des maschinellen Lernens, der auf neuronalen Netzen basiert. Das Konzept geht in seinen Anfängen bereits in die 1940-Jahre zurück und knüpft an der Funktionsweise der Nervenzellen (Neuronen) im menschlichen Gehirn an. Diese nehmen über Synapsen Informationen auf und „feuern“, wenn ein kritischer Wert erreicht ist. Der amerikanische Psychologe und Informatiker Frank Rosenblatt leitete daraus das sogenannte Perzeptron (von englisch perception, „Wahrnehmung“) ab. Perzeptren wandeln einen Eingabevektor in einen Ausgabevektor um und stellen damit einen einfachen Speicher dar, auf dessen Inhalt assoziativ zugegriffen werden kann. Neuronale Netze ordnen eine Vielzahl an Perzeptren in Schichten an und ermöglichen es so, nicht-lineare mathematische Funktionen zu repräsentieren.

„Je mehr Schichten ein solches Netz hat, desto komplexere Probleme lassen sich lösen“, erklärt Huber. Zumindest in der Theorie. Denn das eigentlich Essenzielle, das Trainieren neuronaler Netze, war lange Zeit eine große Herausforderung. Für das Training gilt es, die Gewichte auf den Verbindungen zwischen den Neuronen einzustellen – bei mehreren 100.000 oder gar Millionen Gewichten ein enormer Aufwand. Erste Abhilfe brachte in den 1980er-Jahren ein Kernalgorithmus, der die automatisierte Gewichtung ermöglichte. Der Name „Backpropagation“ des Algorithmus suggeriert dabei das Grundprinzip: Abweichungen zwischen

Maschinen, die eigenständig lernen und sich selbst programmieren – das funktioniert bereits in Teilbereichen und unter Laborbedingungen. Prof. Marco Huber und sein Team wollen sie praxistauglich machen.

der Vorhersage des Systems und dem tatsächlichen Datensatz werden „von hinten nach vorne“ in das Netz zurückgespielt. Dadurch kann sich das System schrittweise anpassen, bis die Fehler minimiert sind. Mathematisch verbirgt sich dahinter das bekannte Prinzip des Gradientenabstiegs, ein Verfahren, das in der Numerik eingesetzt wird, um allgemeine Optimierungsprobleme zu lösen.

Treiber des Durchbruchs

Den eigentlichen Durchbruch für Deep Learning brachten dann drei Entwicklungen der vergangenen Jahre: „Durch die Verwendung von Grafikkarten haben wir erstens inzwischen eine Rechenleistung, die es erlaubt, den Trainingsaufwand zu beschleunigen. Zweitens steht uns gerade durch das Internet eine Masse an Daten zur Verfügung, und es gibt drittens Softwarepakete in hoher Qualität teilweise preisgünstig oder sogar open source“, beschreibt Huber die Treiber des Fortschritts.

Herausforderungen bleiben dennoch zu Genüge. Eine nennt sich Sim-to-Real-Transfer und beschreibt die Übertragung einer Rechnersimulation zum Beispiel auf einen realen Roboter. Das Problem dabei: Es gibt keine perfekte Simulation – daher kann es auch kein perfektes Training geben. Eine weitere

Schwierigkeit: Maschinelles Lernen erfordert sehr viele Daten in hoher Qualität. Tatsächlich fallen in der Produktion auch massenhaft Daten an, doch deren Güte lässt oft zu wünschen übrig. Sensordaten sind verrauscht, manchmal fehlen komplette Datenfelder oder die Daten tragen unterschiedliche Zeitstempel, weil sie aus Maschinen stammen, deren Uhren minimal unterschiedlich ticken. „Daten sind der Schlüssel für maschinelles Lernen“, sagt Huber, „und da gilt das bekannte Prinzip ‚garbage in, garbage out‘.“

Bis eine Maschine so komplexe Entscheidungen fällen kann wie ein Mensch, müssen auch die Lernmethoden noch weiter erforscht werden. Ein vielversprechender Weg für das Planen von Aktionen ist das sogenannte Reinforcement Learning. Ein Roboter beispielsweise erlernt dabei seine Tätigkeit wie ein Kind durch Versuch und Irrtum und erhält im Erfolgsfall eine Belohnung: Bringt er sein Werkstück an die richtige Stelle, erhält er einen Punktwert gutgeschrieben, lässt er es fallen, gibt es Minuspunkte – so lange, bis er seinen Job beherrscht.

Ein weiteres Forschungsthema ist das „Transfer Learning“, also die Übertragung des Gelernten auf eine andere Aufgabe. Denn während der Mensch bei ähnlich gelagerten Fragestellungen auf seinen



Foto: Universität Stuttgart U. Regenscheid

Erfahrungsschatz zurückgreifen kann, muss man bei der Programmierung einer Maschine bisher jedes Mal wieder ganz von vorne beginnen. Eng damit verbunden ist das „Meta-Learning“, also das Lernen, wie man lernt. Momentan besteht Maschinelles Lernen noch viel aus „Rumprobieren“. Wie viele Schichten braucht ein neuronales Netz, was macht jede Schicht, wie viele Neuronen braucht eine Schicht? „Gut wäre ein Algorithmus, der die passende Architektur des neuronalen Netzes selbst bestimmen kann“, hofft Huber.

Das Forschungsgebiet von Dr. Matthias Reichenbach sind Roboterassistenten, die sich einfach und ohne IT-Kenntnisse programmieren lassen, um Routineaufgaben abzunehmen.



Foto: Universität Stuttgart/S. Cichowicz

Licht in die Blackbox bringen

Last but not least gleichen neuronale Netze derzeit noch einer Art Blackbox. Was in ihr geschieht und warum ein neuronales Netz eine bestimmte Entscheidung trifft, bleibt im Dunkeln. Kritisch wird dies zum Beispiel bei der Klärung von Schuldfragen bei Unfällen im Bereich des autonomen Fahrens, im Finanzbereich, wenn ein Kunde wissen möchte, warum er einen Kredit nicht erhält, oder in der Medizin, wenn ein OP-Roboter über die Entfernung eines Tumors entscheidet. Laut Datenschutzgrundverordnung hat der Mensch einen Anspruch auf die Erklärung einer automatisierten Entscheidung. Im Grenzfall kann die Blackbox daher dazu führen, dass das technisch Mögliche nicht in die Anwendung kommt.

Deshalb versuchen Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler, Entscheidungsregeln für neuronale Netzwerke zu extrahieren und aus der Blackbox eine Whitebox zu machen. Fertig sei man damit leider nie, meint Huber. „Bei komplexen Systemen kommen mit der Zeit immer mehr Regeln dazu, die sich teilweise auch noch widersprechen. Dann wird das Regelsystem irgendwann selbst zur Blackbox.“ Dennoch: Der Siegeszug von Deep Learning ist nicht aufzuhalten. Die Bandbreite der Anwendungsmöglichkeiten reicht heute von allen Phasen der Produktion über das Autonome Fahren bis hin zu Chatbots wie Alexa und Siri oder dem Online-Übersetzer DeepL. Ein Klassiker in der Produktion ist die Qualitätssicherung, wo Künstliche Intelligenz insbesondere

bei der Endkontrolle bereits intensiv zum Einsatz kommt. Früher, bisweilen auch heute noch, untersuchte ein Mensch, ob ein Werkstück beispielsweise eine einwandfreie Oberfläche hat. Das Ergebnis ist subjektiv, die Aufgabe ermüdend. Inzwischen erfolgt die Kontrolle meist kamerabasiert, doch die Bildverarbeitung muss sehr aufwendig parametrisiert werden. Kombiniert man die Kamerabilder mit neuronalen Netzen, kann das System Fehler sehr viel zuverlässiger erkennen, und die Gefahr falscher Alarme verringert sich. Zudem werden die Systeme robuster, sodass sich beispielsweise Schwankungen in der Beleuchtung weniger stark auswirken. Mit Künstlicher Intelligenz gut lösbar sind auch Fragestellungen der vorausschauenden Instandhaltung (predictive maintenance), eine Kernkompo-



1. Jessica Alice Huth; 2. Achim Wendt; 3. bloomimages; 4. Brigida Gonzalez; 5. Johannes Vogt; 6. Christian Richters; 7. Dietmar Strauß.

35.752 km², um sich selbst zu verwirklichen.

Vermögen und Bau Baden-Württemberg

Wenn wir morgens zur Arbeit gehen, wissen wir genau wofür. Dafür, dass im Land alles nach Plan läuft, das Immobilienvermögen erhalten bleibt, Forschung und Lehre stattfinden können und unsere Kulturdenkmäler auch zukünftig eine breite Öffentlichkeit begeistern.

Informieren Sie sich jetzt über eine Karriere als Ingenieurin oder Ingenieur, Architektin oder Architekt unter: www.vermoegenundbau-bw.de

Wir bauen Baden-Württemberg. Bauen Sie mit.



Baden-Württemberg
VERMÖGEN UND BAU

nente von Industrie 4.0. Hierbei werden Zustandsdaten aus Maschinen genutzt, um vorzusagen, wann ein Teil ausfällt, und um den optimalen Wartungszeitpunkt zu planen. Hier können neuronale Netze beispielsweise die Prognosemodelle zur Bestimmung der Restlaufzeit einer Maschine verbessern.

Agile Produktionsanlagen

Was in einzelnen Produktionsbereichen schon möglich ist, soll bald auch für komplette Produktionsstraßen gelten. Daran arbeitet Dr. Matthias Reichenbach, Leiter des Teams FutureTec der Daimler AG in der in der Forschungsfabrik ARENA2036 an der Universität Stuttgart. Die Errichtung solcher Anlagen nimmt von der Planung über die Programmierung bis zur Inbetriebnahme derzeit noch mehrere Monate in Anspruch. Ob der Prozess am Ende funktioniert und welche Qualität die Erzeugnisse haben, weiß man erst, wenn die Anlage in Betrieb ist.

Damit es künftig schneller und agiler geht, setzt die Gruppe auf eine Vereinfachung der Systeme, auf Intuition – und auf die Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter in der Produktion. „Die Menschen am Montageband kennen die Produktionsprozesse am besten und beherrschen die ‚Schraub-Skills‘. Für sie wollen wir die Arbeit erleichtern, sie emotional begeistern und ihre Kreativität entfesseln“, beschreibt Reichenbach die Zielgröße. „Der Mensch soll an der Technologie Spaß haben und sie für mehr nutzen als für deren Ursprungszweck.“

Ein ganz praktisches Beispiel sind kleine Roboterassistenten, die von jedermann ganz einfach und ohne IT-Kenntnisse programmiert werden können. Der Mitarbeiter oder die Mitarbeiterin zeigt dem Roboter einfach, was zu tun ist. Dieser imitiert dann den Bewegungsablauf – Mensch und Maschine können Hand in Hand arbeiten. Die Technik unterstützt den Menschen in seiner täglichen Arbeit auf die Art und Weise, wie es für ihn individuell am besten ist.

Möglich wird dies durch eine Drehmoment-Sensorik, die am Deutschen Zentrum für Luft- und Raumfahrt ursprünglich für die Internationale Raumstation ISS entwickelt wurde. „Der Roboter fühlt, was er tut“, erklärt Reichenbach. Schon nach knapp zehn Minuten sitzt der Ablauf, und der Roboter kann nun zum Beispiel Schrauben eindrehen oder einen Batteriesatz einbauen und auf die richtige Position hin überprüfen.

Im Rahmen des Projekts „FluPro“ (Fluide Produktion), an dem unter Federführung des Fraunhofer-Instituts für Produktionstechnik und Automatisierung IPA insgesamt 18 Partner beteiligt sind, sollen die leicht zu rekonfigurierenden und einfach programmierbaren Fertigungsmodule nun schrittweise zu einem kompletten Montageband für die Elektromobilität verkettet werden. Hierbei setzen die Forscherinnen und Forscher in der ARENA2036 auf das Prinzip der Schwarmintelligenz: Die Anlage wird nicht als Ganzes geplant, sondern jeder Experte optimiert seinen spezifischen Bereich, der dann in die Gesamtanlage integriert wird. Ende 2019 soll der Prototyp fertig sein. Bis sich auch im wahren Leben eine Produktionsanlage in zwei Tagen programmieren lässt, dürfte allerdings noch einige Zeit vergehen. „Für den Dauerbetrieb brauchen wir eine ganz andere Stabilität und Prozesssicherheit. Daran arbeiten wir in der ARENA gemeinsam mit unseren Partnern, oder dann schon in einer realen Fabrik“, ist Reichenbach zuversichtlich.

Weitere Potenziale für KI

Doch nicht nur in der Produktion sind selbsttrainierende Systeme interessant. Predictive Maintenance zum Beispiel ist auch im Bauwesen ein Thema, da gerade in Industriegebäuden viel Technik steckt und sich mit der vorausschauenden Instandhaltung viel Geld sparen lässt.

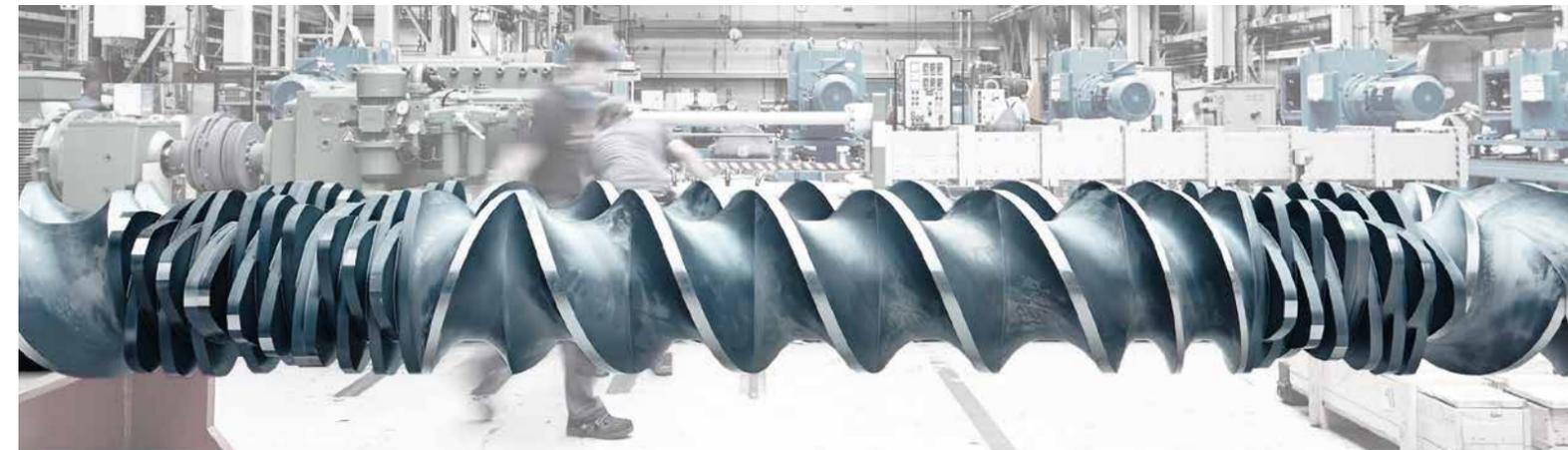
Auch in den Lebenswissenschaften steckt enormes Potenzial für Künstliche Intelligenz. Die Erfor-

schung neuer Medikamente etwa dauert derzeit im Schnitt zwischen sieben und acht Jahren, da für die Suche nach einem Wirkstoff unzählige Datenbanken manuell durchforstet werden müssen. Hier könnte Künstliche Intelligenz die Suche automatisieren und treffsicherer machen, was die Entwicklungszeit wie auch die finanziellen Risiken enorm verringern könnte.

Biologische Transformation heißt das Schlagwort der Zukunft. Dahinter verbirgt sich das Zusammenwachsen von technischen und biologischen Prozessen, was mehr Nachhaltigkeit in verschiedensten Bereichen wie etwa der Produktion oder dem Wohnen bringen soll. Wie auch schon bei der digitalen Transformation spielen Informationstechnologien wie die KI eine wesentliche Rolle, um einen hohen

Grad an Automatisierung oder gar Autonomie zu erlangen. Ein Kompetenzzentrum Biointelligenz, in dem die Stuttgarter Fraunhofer-Institute sowie die Universitäten Stuttgart und Hohenheim vertreten sind, befindet sich derzeit im Aufbau. Hier sollen die Entwicklung und der Einsatz von biointelligenten Systemen in unterschiedlichen Anwendungsfeldern untersucht werden.

Andrea Mayer-Grenu



KARRIERE BEI COPERION. EINE ENTSCHEIDUNG FÜR DIE ZUKUNFT.

Seit über 140 Jahren arbeiten wir an technologisch höchst anspruchsvollen Compoundier- und Extrusionsanlagen überall auf der Welt. Unser Versprechen „confidence through partnership“ begleitet uns nicht nur in der Zusammenarbeit mit Kunden oder externen Partnern, sondern auch dann, wenn es darum geht, neue Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter für uns zu begeistern.

Coperion als Arbeitgeber: Das sind hervorragende Perspektiven an den verschiedensten Standorten weltweit. Sie erwarten vielfältige Tätigkeitsbereiche, abwechslungsreiche Aufgaben und ideale Bedingungen für Ihre berufliche und persönliche Entwicklung in einem internationalen Umfeld. www.coperion.com/karriere



Neues Denken

Achim Menges sieht im digitalen Co-Design das Potenzial für die Architektur der Zukunft

Mit seinem Prinzip der Formfindung revolutionierte der berühmte Stuttgarter Architekt Frei Otto einst den Entwurfsprozess von Bauwerken. Nun soll wieder eine umwälzende Neuerung von Stuttgart ausgehen: das Co-Design, die digitale Vernetzung von Planung, Bauprozessen und Bausystemen. Einer der Väter dieser Methode ist Architektur-Professor Achim Menges. Gemeinsam mit mehr als 100 Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftlern will er im Exzellenzcluster „Integratives computerbasiertes Planen und Bauen für die Architektur“ das prädigitale Bauen fit machen für die Zukunft.

Eine gewisse Unzufriedenheit mit dem Stand der Dinge ist oft der Beginn neuen Fortschritts. Diese Unzufriedenheit spürte Achim Menges schon in den 1990er-Jahren: Als der heutige Professor und Leiter des Instituts für Computerbasiertes Entwerfen (ICD) der Universität Stuttgart an der TU Darmstadt und später an der Architectural Association in London studierte, galt die „Blob-Architektur“ oder auch „Freiform-Architektur“ mit ihren organisch anmutenden Formen als vorwärts gewandt. Denn sie war durch die computerbasierte Planung (CAD) erst möglich geworden. „Mich hat daran irritiert, dass die Gebäude zwar andersartig aussahen, die Methoden der Planung aber relativ konventionell waren“, erinnert sich Menges. „Besonders überrascht hat mich, dass sich die Ambitionen immer nur auf das Entwerfen und Planen bezogen haben und es zu einem Bruch kam, wenn es um das Materialisieren und Bauen ging.“

Man baute wie bisher – nur mit digitaler Unterstützung. Menges hingegen reizte die Frage, wie sich digitale Technologien so einsetzen ließen, dass sie Planung und Bauen verbinden, um daraus eine ganz neue Form der Architektur abzuleiten. Heute,

20 Jahre später, ist der 43-Jährige auf diesem Weg ein gutes Stück vorangekommen. Das zeigen aktuell zwei Pavillons auf der Bundesgartenschau (BUGA) 2019 in Heilbronn. Menges und sein Team haben sie gemeinsam mit dem Institut für Tragkonstruktionen und konstruktives Entwerfen (ITKE) unter der Leitung des Bauingenieurs Prof. Jan Knippers entworfen und gebaut. Sie führen eine Reihe von visionären Arbeiten weiter, die das interdisziplinäre Team Jahr für Jahr in Stuttgart im Stadtgarten aufstellt. Nie gehe es beim Bauen und in der Architektur nur um die Leistung eines Einzelnen, das ist Menges wichtig zu betonen.

Analog ganz unmöglich

Wie viele der in Stuttgart Forschenden sieht er sich maßgeblich durch Frei Otto beeinflusst. Dessen in Stuttgart entwickelte Formfindung hat die aktuelle Wissenschaftsgeneration um Menges und Knippers ins digitale Zeitalter übertragen. Während der 2015 verstorbene Architekt noch einfache Modelle aus Draht mit Seifenhaut überzog, um die perfekte Form etwa für das Zeltdach des Münchner Olympiastadions zu finden, nutzen die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler heute digitale Techniken. Mit ihnen übertragen sie unter anderem komplexe Bauprinzipien der Natur in Leichtbauwerke, die analog gar nicht möglich wären: Für einen der früheren Pavillons aus Faserverbund-Werkstoffen stand eine Spinne Pate. Der hölzerne Forstpavillon für die Landesgartenschau Schwäbisch Gmünd 2014 entstand nach dem Panzer eines Seeigels, dem Sanddollar.

Das Prinzip Co-Design

Den Bruch, der Menges Ende der 1990er-Jahre störte, überbrückt der Computer jetzt, indem er eine Rückkopplung einbringt: „Wir versuchen, Entwurfs- und Planungsmethoden, Fertigungs- und Bauprozesse sowie Material- und Bausysteme von Anfang an



„Es geht um um genuin digitale Bausysteme der nächsten Generation. Und damit auch um ein neuartiges Bauschaffen, das die Architektur verändern wird.“

Achim Menges

Foto: Universität Stuttgart/ U. Regenscheit

Planen, Fertigen und Aufbauen im Co-Design: Für den Holzpavillon der BUGA 2019 ließen sich die von Robotern erstellten, geometrisch unterschiedlichen Hohlkassetten wie ein 3D-Puzzle zusammenstecken.



Foto: Universität Stuttgart/IGD/ITKE

gemeinsam zu denken und digital rückzukoppeln. Dabei stellen wir uns die Frage: Welche neuartigen Bausysteme und Bauweisen können dabei entstehen, die genuin digital sind?“ Co-Design nennt Menges dieses Prinzip. Für den Holzpavillon der BUGA 2019 entwickelten die Forscher dazu gleichzeitig mit den Entwurfsmethoden ein voll automatisiertes Fertigungssystem. Zwei Roboter erstellten 376 geometrisch unterschiedliche Hohlkassetten aus Furnierschichtplatten: Ein Roboter nimmt eine dünne Holzplatte und platziert sie auf einer Halterung. Der zweite bringt ringsum Leim auf. Entlang der Kanten setzt dann die erste Maschine einen Ringbalken auf, die zweite nagelt ihn mit Holznägeln fest. Nun folgt die Deckplatte nach demselben Prinzip. Zuletzt fräsen die Roboter an den Seiten Fingerzinken ein. Die ermöglichen es, den Pavillon wie ein 3D-Puzzle zusammenzustecken. Genauso, wie Planung, Material und Fertigung ineinander greifen: Die Geometrie der Platten hatte der Computer zuvor selbst errechnet, indem er unter anderem die Maße des Bauwerks mit den Begrenzungen der Roboterarme sowie den Festigkeitswerten und Maßen des Buchenholzes in Einklang brachte. Immer unter der Voraussetzung, so wenige und leichte Platten wie möglich zu erstellen. Erklärtes Ziel sei es gewesen, den eigenen Pavillon von Schwäbisch Gmünd zu übertreffen, erklärt Menges. Der neue ist dreimal so groß, ohne dass das Flächengewicht von 42 Kilogramm pro Quadratmeter zunahm. „Das ging nur, weil wir nicht mehr mit Massivplatten bauten, sondern mit Hohlkassetten.“ Ohne ein automatisiertes System wäre eine solche Bauweise nicht zu bewältigen – zumindest nicht wirtschaftlich und innerhalb von zwölf Monaten. Denn die konkreten Planungen begannen erst ein Jahr vor der Fertigstellung des Pavillons zur Eröff-

nung der Bundesgartenschau. Noch augenfälliger trifft das Prinzip des Co-Designs auf den Faser-Pavillon der BUGA 2019 zu. Die 60 einzelnen Elemente dieses Schauobjekts entstanden praktisch im freien Raum. Ein Roboter wickelte die Glas- und Kohlefasern um zwei entfernt stehende Rahmen herum. Das Kunstharz auf den Fasern härtete aus, und das entstandene Element ließ sich aus der Halterung nehmen und einbauen. Jedes hat eine andere Form, Geometrie und Faseranordnung je nach auftretenden Kräften und architektonischen Anforderungen. Das ermöglicht bei 400 Quadratmetern überspannter Fläche ein Flächengewicht von gerade einmal 7,6 Kilogramm pro Quadratmeter tragender Faserkonstruktion. Eine transparente ETFE-Folie macht den Pavillon wetterfest. Beide Konstruktionen erfüllen alle deutschen Baunormen und Anforderungen an ein Gebäude. „Die Pavillons geben einen Ausblick auf das Bauen der Zukunft, die Technologie ist so weit“, sagt Menges.

Exzellenzcluster für das Bauwesen 4.0

Diese Technologie nun für die breite Masse der Bauanwendungen weiterzuentwickeln, nennt Menges als Anspruch des Exzellenzclusters „Integratives computerbasiertes Planen und Bauen für die Architektur“, dessen Sprecher er ist. Von 2019 bis 2025 erhält die Universität Stuttgart von der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG) dazu Fördergelder in Höhe von mehreren Millionen Euro pro Jahr. Mehr als 100 Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler aus sieben Fakultäten sowie vom Max-Planck-Institut für Intelligente Systeme wollen das Co-Design ins Bauwesen überführen. Neben der Architektur und dem Bauingenieurwesen beteiligen sich unter anderem die Bauphysik, die Ingenieursgeodäsie, die Produktions-

und die Systemtechnik, Informatik und Robotik sowie Sozial- und Geisteswissenschaftler. In drei Netzwerken werden die Forscherinnen und Forscher digitale und zumindest teilautonome Bauprozesse entwickeln: für mehrgeschossiges Bauen, für Bauen im Bestand sowie für weitgespannte Bauwerke. „Es geht um die Erforschung integrativer, computerbasierter Entwurfs- und Planungsmethoden, um neue Fertigungs- und Bauprozesse, um genuin digitale Bausysteme der nächsten Generation. Und damit auch um ein neuartiges Bauschaffen, das die Architektur verändern wird“, sagt Menges. Bereits in drei Jahren will jedes der drei Netzwerke einen ersten Baudemonstrator verwirklicht haben, 2025 einen zweiten. Denn die Zeit drängt: „Unsere Bauweise belastet den Planeten massiv“, sagt er.

Sie verschlinge 40 Prozent der globalen Ressourcen und der Energie. Noch dazu erzeuge sie 50 Prozent des globalen Mülls. Gleichzeitig muss sich bis 2050 der Gebäudebestand weltweit verdoppeln – wegen des Bevölkerungswachstums, aber auch wegen der globalen Verstärkung. Angesichts dieser Aussichten redet der Visionär seiner Zukunft ins Gewissen: „Dafür sind weder unsere Methoden noch unsere Bauprozesse oder Bauweisen geeignet.“ Bei der Digitalisierung nehme das Bauwesen aktuell den letzten Platz aller Industriezweige ein – noch hinter der Forstwirtschaft oder der Fischerei. Die Produktivität sei zuletzt sogar gesunken. Zeit für echten Fortschritt also im Bauschaffen. Und wieder einmal dürfte er in Stuttgart seinen Anfang nehmen.

Daniel Völpel



HOLZBAU IST UNSERE PASSION. DAS KANN MAN SEHEN.

- Öffentliche Bauwerke
- Gewerbliche Bauwerke
- Wohnbauwerke
- Sonderbauwerke

KI-Spitzenforschung und Unternehmergeist

Von autonomen Fahr- und Flugzeugen über die automatisierte Produktion bis hin zu Assistenzrobotern und intelligenten Medizingeräten: Intelligente Systeme für eine zukunftsfähige Gesellschaft sind die übergreifende Vision der Universität Stuttgart. Dabei sind autonome Systeme eines der Forschungsfelder mit viel Zukunftspotenzial.

Der Innovationscampus Cyber Valley ist wiederum eine der größten Forschungsk Kooperationen Europas auf dem Gebiet der Künstlichen Intelligenz (KI) und inzwischen ein internationales Aushängeschild. Beteiligt sind an der durch das Land Baden-Württemberg geförderten Initiative das Max-Planck-Institut für Intelligente Systeme, die Universitäten Stuttgart und Tübingen sowie die Unternehmen Amazon, BMW, Daimler, der Automotive Engineering-Dienstleister IAV, Porsche, Bosch und ZF Friedrichshafen.

Forschungsschwerpunkte sind das Maschinelle Lernen, Robotik sowie Computer Vision. Unter dem Cyber Valley-Dach sind bereits zehn neue Forschungsgruppen und drei Universitätslehrstühle entstanden, sieben weitere sind in der Ausschreibung. Zudem ist dem Cyber Valley mit der International Max Planck Research School for Intelligent Systems (IMPRS-IS) eine Doktorandenschule angeschlossen. Last, but not least, bildet das Cyber Valley ein ideales Umfeld für die Gründung von Start-ups – wodurch nicht zuletzt die Grenzen zwischen Industrieforschung und von Neugier getriebener Grundlagenforschung aufbrechen.

Die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler des Cyber Valleys betreiben Spitzenforschung auf dem jeweiligen Gebiet. Sie wurden in einem zielgerichteten Auswahlverfahren aus aller Welt rekrutiert, um ihre Forschung in der Region Stuttgart-Tübingen voranzutreiben. Einige von ihnen stellen wir auf den folgenden Seiten exemplarisch vor.

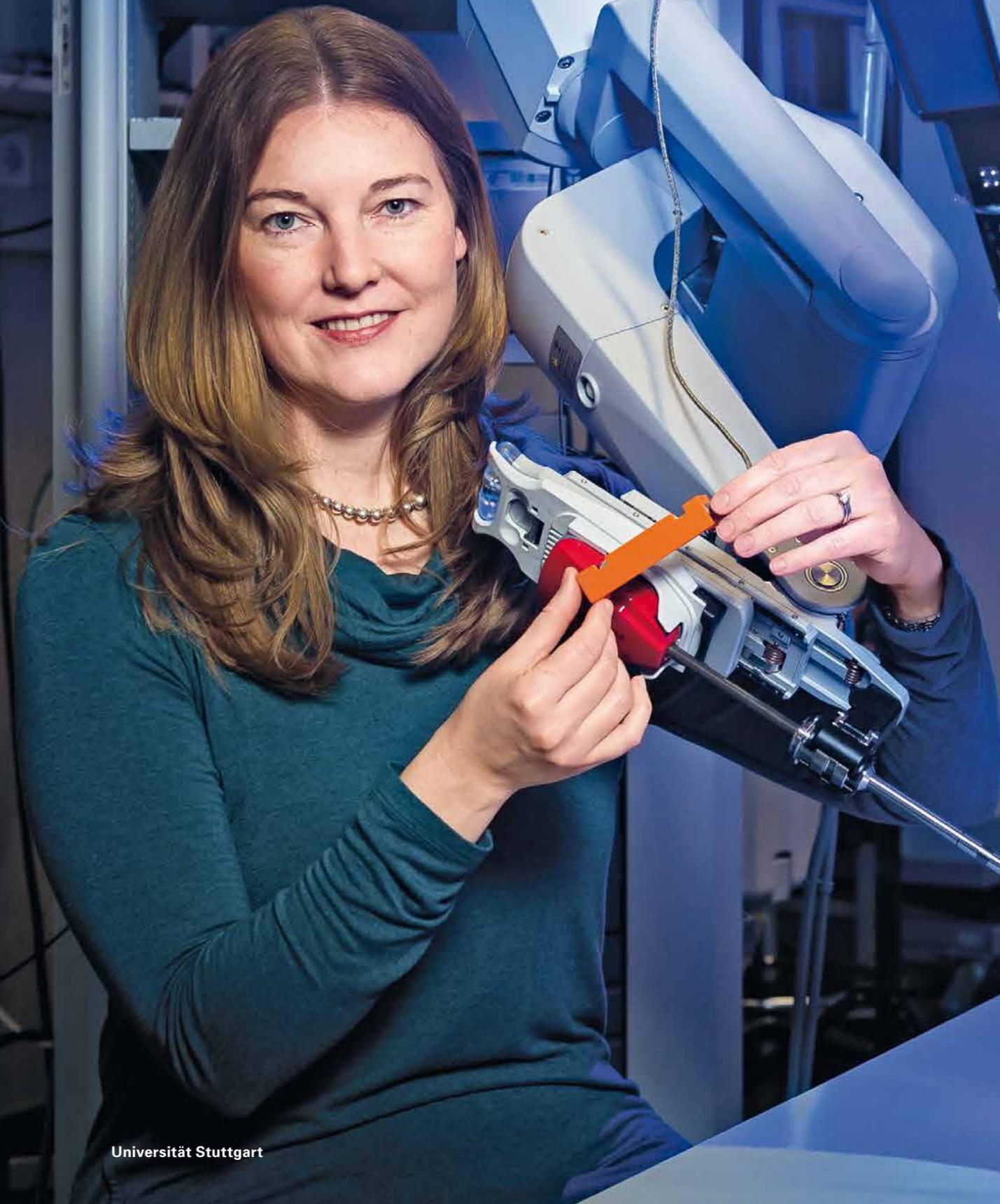
Vermeintlich so unterschiedliche Forschungsbereiche wie Robotik, Regelungstechnik, Computer Vision, Künstliche Intelligenz und Maschinelles Lernen haben eines gemeinsam: Sie basieren auf einem kybernetischen Regelkreis. Dieser ist ein Forschungsfeld von Prof. Frank Allgöwer, Leiter des Instituts für Systemtheorie und Regelungstechnik der Universität Stuttgart und einer der Mitbegründer des Cyber Valleys. „Wahrnehmen, Lernen, Handeln“ lautet der Dreiklang im kybernetischen Zyklus. Läuft dabei etwas schief, kommt es zu Instabilitäten mit manchmal dramatischen Folgen. Deshalb muss die Lernfähigkeit in die Algorithmen einbezogen werden.

Mithilfe der im Hintergrund zu sehenden Vakuumanlage und eines von ihr entwickelten Aufdampfprozesses ist es der Arbeitsgruppe um Prof. Peer Fischer am Institut für Physikalische Chemie der Universität Stuttgart und am Max-Planck-Institut für Intelligente Systeme möglich, auf einem Wafer in wenigen Stunden hunderte Milliarden von maßgeschneiderten, 20 nm bis 1 Mikrometer große Nanostrukturen herzustellen. Der computergesteuerte Wachstumsprozess erlaubt die Kontrolle über die dreidimensionale Form und Materialzusammensetzung. Auf diese Weise stellen die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler unter anderem Nanopropeller her, die sie durch Gewebe bewegen können.



Wie lassen sich wissenschaftlich spannende Phänomene in virtuellen Welten betrachten und dabei interaktiv und in Echtzeit verändern? Wie können wir Menschen Einfluss auf die Art der Darstellung oder die sichtbaren Daten nehmen? Das möchte Michael Sedlmair, Junior-Professor für Augmented und Virtual Reality am Visualisierungsinstitut der Universität Stuttgart, mit seiner Forschung herausfinden. Gemeinsam mit Studierenden entwickelt er Ideen und geeignete Algorithmen, die solche Lösungen ermöglichen und die Interaktion zwischen Mensch und Daten schaffen könnten. Zu den größten Herausforderungen gehört es dabei, zu ergründen, wie sich komplexe Daten im realen Kontext darstellen lassen und welche neuen Interaktionsmöglichkeiten für AR- und VR-Technologien geeignet sind.

An den Schnittstellen zwischen Künstlicher Intelligenz, Robotik und maschinellem Lernen forscht Prof. Marc Toussaint, Leiter der Gruppe Maschinelles Lernen und Robotik am Institut für Parallele und Verteilte Systeme der Universität Stuttgart und Fellow am Max-Planck-Institut für Intelligente Systeme. Im Rahmen des Cyber Valley beschäftigt er sich unter anderem damit, wie Roboter ihre physikalische Umwelt manipulieren und verstehen können, um darin zu lernen.



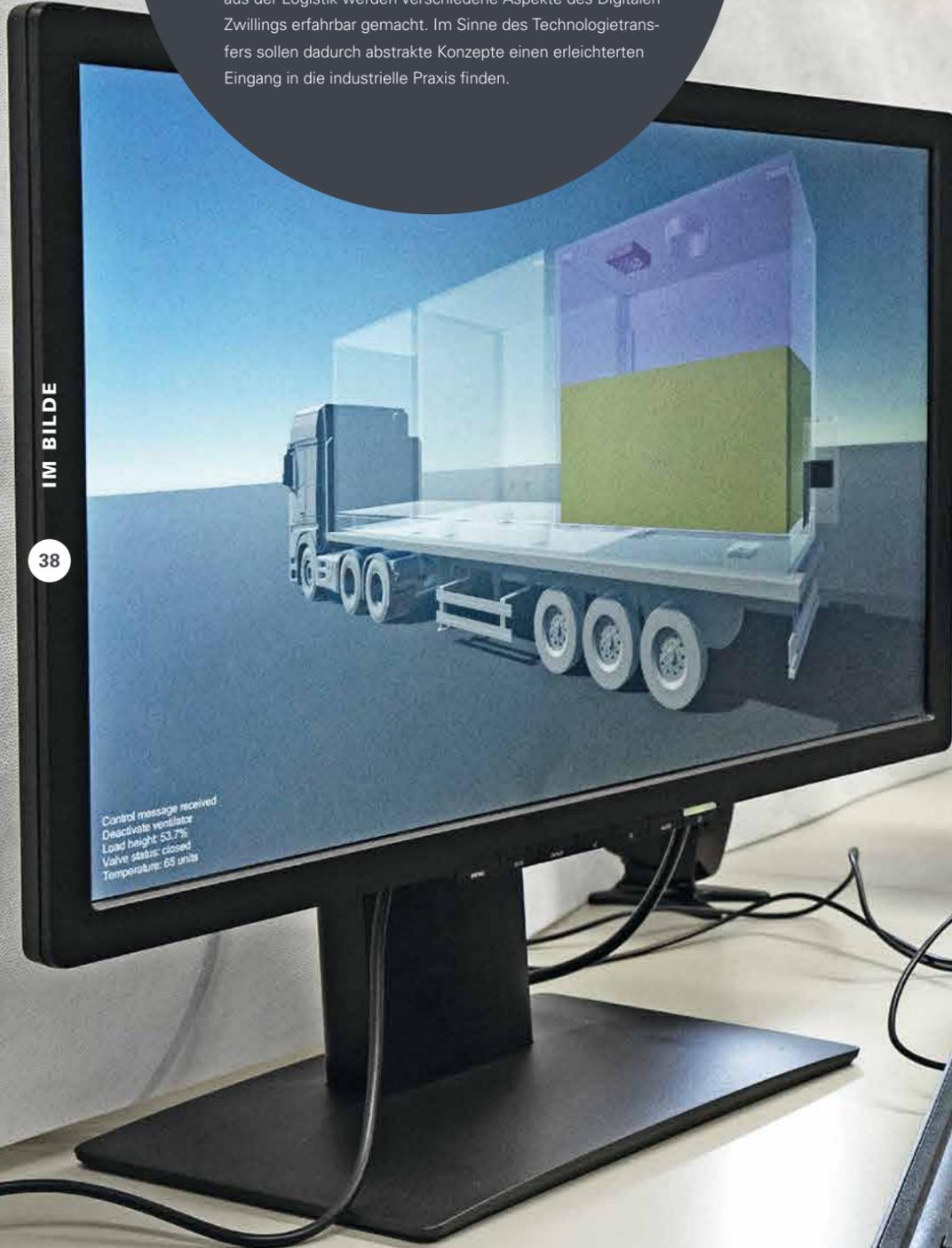
Wenn Fingerspitzengefühl gefragt ist, müssen Roboter kapitulieren: Ihnen fehlt in der Regel der Tastsinn. Hier will Prof. Katherine J. Kuchenbecker Abhilfe schaffen. Die Direktorin der Abteilung „Haptische Intelligenz“ am Max-Planck-Institut für Intelligente Systeme und ihre wissenschaftlichen Mitstreiterinnen und Mitstreiter streben an, Roboter mit einer ausgeklügelten haptischen Wahrnehmung auszustatten. Ein Projekt ist das Operationssystem „Intuitive da Vinci Si“. Das roboterassistierte Chirurgesystem ermöglicht Operateuren bereits heute eine Vielzahl minimalinvasiver Eingriffe. Künftig soll der maschinelle OP-Assistent haptisches Feedback geben können.



Die Fähigkeit, selbstständig zu lernen, ist ein Merkmal von mit KI ausgestatteten Systemen. Die Forschenden um Prof. Ingo Steinwart, Leiter des Instituts für Stochastik und Anwendungen der Universität Stuttgart, setzen auf mathematische Disziplinen wie Funktionsanalysis, Approximations- und Wahrscheinlichkeitstheorie, um die Methoden des maschinellen Lernens und ihre Mechanismen in der Tiefe zu verstehen. Dieses Verständnis ist wiederum die Voraussetzung dafür, die existierenden Lernalgorithmen der mit KI ausgestatteten Systeme zu optimieren und auf neue Szenarien anpassen zu können.

Industrie 4.0 en miniature: Die Versuchs- und Modellanlage für getaktete Fertigungsszenarien am Institut für Steuerungstechnik der Werkzeugmaschinen und Fertigungseinrichtungen ist das Modell einer modernen Fabrik mit digital geschlossenen, flexiblen Prozessketten. Die Anlage, die unter der Regie von Prof. Oliver Riedel, dem Leiter des Lehrstuhls "Produktionstechnische Informationstechnologien" entstanden ist, verfügt nicht nur über Aktorik, Sensorik sowie Steuer- und Regelungstechnik. Ein Beispiel: Die Werkstückträger nehmen im laufenden Betrieb eigenständig Messdaten auf, die mithilfe von Datenanalyse und KI vorverarbeitet an einen Server übermittelt und dort weiter ausgewertet werden. Dadurch lassen sich Produktionsanlagen in Echtzeit überwachen, Probleme frühzeitig erkennen und Arbeitsabläufe optimieren – im besten Fall vollautomatisch.

Cyber-physische Systeme durchdringen zunehmend die Automatisierungstechnik. In diesem Kontext beschäftigt sich das Institut für Automatisierungstechnik und Softwaresysteme (IAS) der Universität Stuttgart in Kooperation mit Siemens Corporate Technology in München mit digitalen Zwillingen als virtuellem Abbild einer physischen Anlage. Das Team um Prof. Michael Weyrich konzentriert sich dabei auf mögliche Vorteile des Einsatzes digitaler Zwillinge in verschiedenen Anwendungsszenarien und schuf zu diesem Zweck den hier abgebildeten Demonstrator. Anhand eines eingängigen Beispiels aus der Logistik werden verschiedene Aspekte des Digitalen Zwillings erfahrbar gemacht. Im Sinne des Technologietransfers sollen dadurch abstrakte Konzepte einen erleichterten Eingang in die industrielle Praxis finden.



IM BILDE

38



39



Wahrnehmen, Entscheiden und Handeln: Dieser Dreiklang ist für intelligente Maschinen die Grundlage, um in der physischen Welt eigenständig agieren zu können. Dafür nehmen die Maschinen über Sensoren den Zustand der Umwelt auf, entscheiden – basierend auf diesen Daten – welche Aktion als Nächstes ausgeführt werden soll und setzen diese dann in eine Handlung um. Gleichzeitig sollen sie aus den Daten selbstständig lernen – zum Beispiel schneller oder besser zu werden. Das Lernen und Entscheiden muss in Robotern über Algorithmen verankert werden. An diesen forscht Dr. Sebastian Trimpe, Cyber Valley Forschungsgruppenleiter am Max-Planck-Institut für Intelligente Systeme und Gastwissenschaftler am Institut für Systemtheorie und Regelungstechnik der Universität Stuttgart, mit seinem Team.

Maschinen mit Moral

Philosophen entwickeln ethische Prinzipien für eine gelungene Kooperation zwischen Mensch und Maschine

Kriegsroboter, die eigenständig töten könnten, – sie sind ganz sicher das Horrorszenario angewandter künstlicher Intelligenz (KI). Doch auch für deren Einsatz in Smartphones, Autos, der Arbeitswelt und in der Haustechnik stellt sich die Frage: Wie sollen KI-Anwendungen beschaffen sein, damit sie dem Menschen nicht schaden, sondern nutzen und seine Selbstbestimmung respektieren? Wissenschaftler am Institut für Philosophie der Universität Stuttgart versuchen, darauf Antworten zu geben.

Erhält ein Patient die Diagnose Demenz, ist er in der Anfangsphase der Erkrankung durchaus in der Lage, sein Leben weiterhin selbstständig zu führen. Die Eigenständigkeit auch im weiteren Verlauf möglichst lange zu erhalten, ist das Ziel von Assistenzsystemen im Wohnumfeld. Prototypen einer solchen intelligenten Haustechnik haben Forscherinnen und Forscher der Universität Stuttgart gemeinsam mit externen Partnern im Projekt „Design Adaptiver Ambienter Notifikationsumgebungen“ (DAAN) entwickelt. Neben Ingenieuren waren auch Philosophen im Team: Sie entwarfen für DAAN ein moralisches Gerüst, denn die Technik soll den Menschen nicht bevormunden, sondern dessen persönliche Vorlieben und selbstbestimmte Tagesgestaltung respektieren. Dazu muss das System lernen, auf den Nutzer einzugehen. „Techniken der Biografiearbeit und Erinnerungspflege wenden Fachkräfte in der Pflege auch bisher schon an“, erklärt Hauke Behrendt, wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Philosophie. „Das zu automatisieren und zu digitalisieren, ist jedoch neu: selbstlernende Systeme, die sich den Interessen und Bedürfnissen der Nutzer automatisch anpassen.“

Zentrale Aufgabe der Philosophen war es, eine Entscheidungsgrundlage zu finden, mit welcher

Dringlichkeit DAAN den Bewohner an Tätigkeiten erinnert. „Vergisst er, die Blumen zu gießen, ist das weniger schlimm, als wenn er das Trinken vergisst“, gibt Behrendt ein Beispiel. Als Erinnerungshilfe könnte das Wasserglas auf dem Tisch vibrieren. Wird das ebenfalls ignoriert, lässt sich festlegen, was der nächste Schritt ist, ab wann DAAN beispielsweise Angehörige informiert. „Doch wie viel Autonomie wird hier aufgegeben? Wie viel Manipulation ist im Spiel? Philosophische Aspekte mit einzubeziehen, um Antworten auf Fragen wie diese zu finden, ist für die Entwicklungen sehr fruchtbar“, sagt Behrendt. „Gleichzeitig müssen bestimmte Werte berücksichtigt werden, die uns am Herzen liegen.“ Hier stellen sich Fragen der Datenethik, etwa wem die Daten gehören, die die Assistenzsysteme erfassen, oder wer sie nutzen darf. Nicht zuletzt kommt auch der klassische Konflikt zwischen Autonomie und Wohlergehen ins Spiel: „Sollte das System Trinker daran erinnern, dass sie ihre Alkoholdosis noch nicht erreicht haben?“, verdeutlicht Behrendt. Ohnehin solle DAAN nur Möglichkeiten aufzeigen, die Entscheidung jedoch dem Nutzer überlassen. „Voraussetzung ist, dass diese Möglichkeiten stark selbstschädigendes Verhalten ausschließen.“

Ethische KI als Alleinstellungsmerkmal

KI stand auch im Mittelpunkt des interdisziplinären Projekts „motionEAP“: Unter den Augen einer Kamera mit Bewegungserkennung setzen Monteure Bauteile zusammen, zum Beispiel in Behindertenwerkstätten. Machen sie dabei einen Fehler oder wissen nicht weiter, projiziert das System entsprechende Hinweise direkt auf die Arbeitsfläche. Das stellte die Entwickler vor ganz verwandte Fragen: Wie stark darf das System den Arbeiter überwachen, wie sehr eingreifen? Wer hat Zugriff auf die Daten? Ähnlich wie bei DAAN arbeiteten die Philosophen hier mit dem Institut für Visualisierung und Interaktive Systeme (VIS) zusammen. „Die Bundes-



Fremdbestimmung oder Hilfe? Am personalisierten Montagearbeitsplatz Future Work Lab des Fraunhofer IAO projiziert das System Anleitungen direkt auf die Arbeitsfläche.

Foto: Ludmila Parsyuk/Fraunhofer IAO

regierung nimmt das Thema Digitalisierung sehr ernst und vergibt viele Forschungsgelder in diesem Bereich. Die Maßgabe ist allerdings immer, dass Projektpartner für eine ethische Reflexion beteiligt werden“, sagt Behrendt. Er ist überzeugt, dass sich hier ein Alleinstellungsmerkmal herauskristallisieren könnte: „Die ethische Reflexion hat in Ländern wie China aktuell nicht denselben Stellenwert wie bei uns in Deutschland.“

Um zu ihren Urteilen zu gelangen, bedienen sich die Philosophen sogenannter reflexiver Zirkel. Dafür leiten sie aus moralischen Prinzipien konkrete Handlungsanweisungen ab, die sie gegen Intuition und andere Urteile abwägen, was wiederum zu Anpassungen der Prinzipien führen kann. Um zu prüfen, ob ihre Gedankengänge nachvollziehbar, widerspruchsfrei und schlüssig sind, tauschen sie sich mit fachfremden Kollegen, Nutzern und Betroffenen aus und stellen ihre Überlegungen in Kolloquien zur Diskussion.

Neben der angewandten Ethik für konkrete Projekte betrachten sie Grundsatzfragen zur Digitalisierung. „Natürliche Ressourcen gehen zu Ende, der Klimawandel droht, der produzierte Mehrwert wird immer ungleicher verteilt: Wird die Digitalisierung diese Entwicklung verschärfen? Es ist notwendig,

darüber nachzudenken, welche Form des Wirtschaftens, der gesellschaftlichen Teilhabe und des Zusammenlebens es braucht, um den digitalen Wandel nachhaltig zu gestalten“, führt Behrendt aus. Wie die früheren industriellen Revolutionen könnte die Digitalisierung für viele Menschen in einer Katastrophe münden. Behrendt hingegen betont die Chancen: „Wenn wir das reflektieren und den Willen zur Gestaltung haben, dann könnten wir mit einem großen Gewinn herausgehen – an Aufklärung, an Selbstermächtigung.“ Statt den Gegensatz Mensch oder Maschine hervorzuheben, plädiert der Philosoph dafür, das Beste beider Welten zu vereinen: „Schon heute können Algorithmen Krebserkrankungen deutlich besser erkennen als erfahrene Chefärzte. Ein Chefarzt mit dieser Technologie ist aber noch kompetenter in seinem Urteil. Meine Hoffnung wäre, dass wir auf bestimmte Effizienzgewinne verzichten und den Menschen mit der Technologie ausstatten.“ Dann müsste auch niemand Angst haben, dass ihm ein Roboter den Job wegnimmt. Oder ihn gar erschießt.

Daniel Völpel

Eine Frage des Vertrauens Die Deutschen und ihre Akzeptanz intelligenter Systeme

Das Auto sucht eigenständig nach einem Parkplatz, ein Roboter kümmert sich ums tägliche Wohl der Großmutter: Technisch ist das bald möglich. Was aber halten die Menschen von den Versprechungen künstlicher Intelligenz (KI)? Forscherinnen und Forscher der Universität Stuttgart haben in einer Repräsentativbefragung ermittelt, wie die Deutschen den Einsatz intelligenter Systeme beim Autofahren und in der Pflege bewerten.

Einmal kurz nicht aufgepasst – und schon fährt man auf das bremsende Auto vor einem auf. Menschliches Fehlverhalten gilt gegenwärtig zu 90 Prozent als Grund für Verkehrsunfälle. Ein voll automatisiertes Fahrzeug könnte diesen Unfall verhindern. Außerdem besteht die Hoffnung, dass intelligente Technik Staus vermeiden und das Parkraum-Management erleichtern kann. Für Menschen mit einer Behinderung oder Senioren könnte sie die Mobilität erhöhen. Ob die Digitalisierung angesichts solcher technischer Möglichkeiten akzeptiert wird, dazu haben Prof. Cordula Kropp, Michael Zwick und Jürgen Hampel vom Institut für Sozialwissenschaften der Universität Stuttgart zusammen mit der Deutschen Akademie der Technikwissenschaften (acatech) und der Körper-Stiftung Befragungen durchgeführt. Publiziert haben sie ihre Ergebnisse im „TechnikRadar“*, der untersucht, was die Deutschen über Technik im Allgemeinen und speziell über voll autonomes Fahren, „Dr. Google“ oder Pflegerobotik denken.

Kritisch stehen die Deutschen dem voll autonomen Fahren gegenüber, bei dem sich Fahrzeuge selbstständig auf Autobahn, Landstraße oder in der Stadt bewegen und sich fahrerlos einen Parkplatz suchen. Insgesamt sind nur rund 16 Prozent der deutschen Autofahrer bereit, die Verantwortung an ein voll automatisiertes Fahrzeug abzugeben. Knapp zwei

Drittel lehnen dies (eher) ab. „Die Bevölkerung fühlt sich den intelligenten Systemen und den Entscheidungen der Politik stark ausgeliefert. Sie hat aber wenig Vertrauen in deren Glaubwürdigkeit und Lösungskompetenz“, sagt Kropp. Maßgeblich Schuld daran seien auch die Datenskandale und Angriffe aus dem Internet, wie zum Beispiel 2017 bei der Deutschen Bahn. Damals war das Unternehmen von dem weltweiten Trojanerangriff „WannaCry“ betroffen: Die Hacker forderten Lösegeld auf den Anzeigetafeln in Bahnhöfen.

Furcht vor Datenmissbrauch

Am meisten stört die Deutschen, dass die Fahrzeuge viele personenbezogene Daten sammeln. Sie sehen die Gefahr, dass diese Daten missbraucht und zum Beispiel an Versicherungen, Fahrzeughersteller oder die Werbebranche verkauft werden. „Die Bevölkerung hat Werbung satt“, sagt Zwick. Außerdem befürchten sie, dass Computerpannen ein Verkehrschaos verursachen könnten oder Angriffe aus dem Internet erfolgen. „Stellen Sie sich vor, Kriminelle erpressen einen Fahrer in seinem Auto: Wenn er nicht zahlt, wird sein Auto an den nächsten Brückenpfeiler gelenkt.“ Denkt man das Horrorszenerium weiter, könnten Städte mit der kompletten Stilllegung des Verkehrs erpresst werden. Davon wären auch sämtliche Hilfsdienste wie Polizei und Feuerwehr betroffen.

Nicht alle europäischen Länder sind beim voll automatisierten Fahren so skeptisch wie die Deutschen. Die skandinavische Bevölkerung steht den digitalen Technologien zum Beispiel positiver gegenüber. Das könnte, verglichen mit Deutschland, an einem größeren Vertrauen in Hersteller und Betreiber, vor allem aber in politische Akteure und Institutionen liegen, vermutet Zwick. In Schweden sind aufgrund der dünnen Besiedlung und der weiten Strecken die Verwaltungen schon lange vollkommen digitalisiert – und es funktioniert. „Deshalb sind die Schweden

mit dem digitalen Fortschritt besser vertraut als die Deutschen. Sie gehen nicht davon aus, dass ihnen jemand etwas Böses will.“

Bei Pflegerobotern uneins

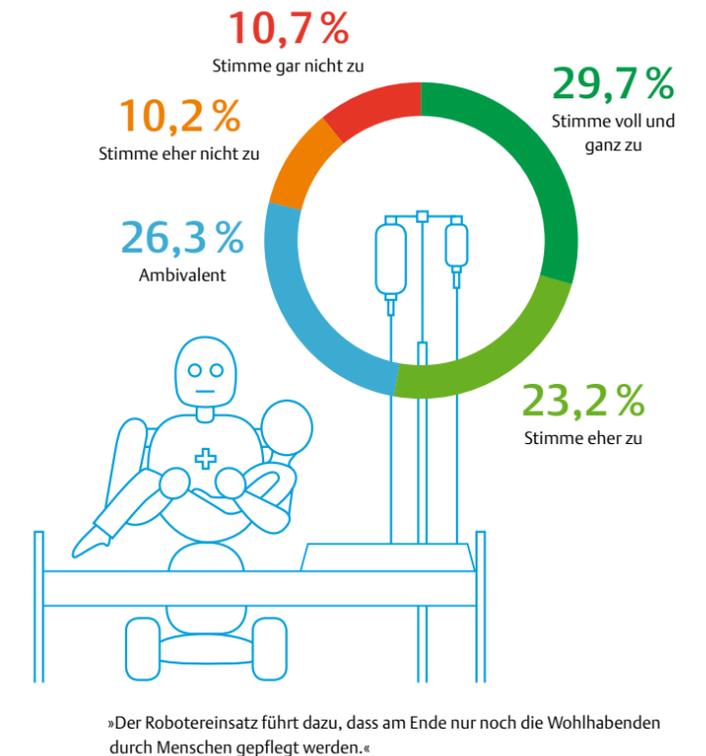
Ein weiterer Einsatzbereich für digitale Technik stellen die Pflegeberufe dar, die aufgrund des demografischen Wandels und des wachsenden Fachkräftemangels zunehmend unter Druck geraten. Als eine mögliche Lösung bringt die Industrie den Einsatz von Robotern ins Spiel. Was die Forschergruppe von Cordula Kropp dazu veranlasste, die Bundesbürgerinnen und -bürger zu fragen, wie sie den Einsatz von Robotern in der Pflege bewerten.

Das Ergebnis: Die Meinungen gehen stark auseinander. 40 Prozent beurteilen Roboter in der Pflege positiv, 32 Prozent lehnen sie ab und rund 28 Prozent stehen dem Thema unentschlossen gegenüber. Genauer betrachtet befürchten aber 81 Prozent, dass die Pflege durch den Einsatz von Robotern weniger menschlich wird, und mehr als die Hälfte denkt, dass sich künftig nur noch Wohlhabende eine Pflege durch Menschen leisten könnten. „Zustimmung oder Ablehnung von Pflegerobotern hängen maßgeblich davon ab, ob sie Pflegekräfte entlasten oder diese ersetzen sollen“, so die Beobachtung Zwicks.

Während Wirtschaft und Politik – getrieben vom globalen Wettbewerb – Fortschritt um jeden Preis fordern, akzeptieren die Deutschen die ungehemmte Digitalisierung nur bedingt. Das liege auch an der mangelnden Einbindung der Bevölkerung in politische Entscheidungen, so die Einschätzung des Forschungsteams. „Die Deutschen sollten sich dem technischen Fortschritt nicht fatalistisch ausgeliefert sehen, sondern an seiner Gestaltung beteiligt werden“, fordert Kropp. „Die Politik und die Betreiber der Technik müssen das Vertrauen der Verbraucher gewinnen. Bislang ist das nicht geschehen.“

Bettina Künzler

Roboter in der Pflege Menschliche Zuwendung als »Luxus«?



Gedichte auf Knopfdruck Auf den Spuren der Geschichte der Informations- ästhetik und den Ursprüngen der „digitalen Literatur“

Der Kulturwissenschaftler Claus-Michael Schlesinger forscht am Institut für Literaturwissenschaft der Universität Stuttgart zur Geschichte der Informationsästhetik und befasst sich auch mit der Frage, ob Computer eines Tages Romane schreiben werden.

Literatur oder Texte, die auf mehreren Ebenen Informationen liefern, gelten als Privileg der intellektuellen Leistungsfähigkeit des menschlichen Gehirns. Dieser Annahme würde Claus-Michael Schlesinger jedoch nur bedingt zustimmen. Der wissenschaftliche Mitarbeiter in der Abteilung Digital Humanities am Institut für Literaturwissenschaft der Universität Stuttgart weiß, dass Computer durchaus in der Lage sind, sinnvolle Texte zu schreiben. Mehr noch: Solche Texte sind nicht einmal eine Innovation unserer Zeit, in der Künstliche Intelligenz zunehmend Raum im Alltag der Menschen gewinnt. So war Stuttgart schon in der Frühzeit des Computers nicht nur ein Zentrum technischer Entwicklung, sondern auch der verblüffenden Nutzung von Computertechnik für die Kunst.

Dass seine Zuse-Rechenanlagen einmal dazu genutzt würden, Kunst zu schaffen, hätte ihr Erfinder Konrad Zuse sich sicherlich nicht träumen lassen.



Foto: ZKM Karlsruhe

Erste Versuche

„NICHT JEDER BLICK IST NAH UND KEIN DORF IST SPAET“. Diesen Satz gab 1959 eine Zuse Z22-Rechenanlage an der Universität Stuttgart aus, die zu den ersten in Deutschland in Serie gebauten Röhrenrechnern gehörte. Der gebürtige Esslinger Theo Lutz, Informatiker und langjähriger Professor an der Hochschule Esslingen, hatte einen Algorithmus geschrieben und den Rechner mit je 16 Subjekten und Prädikaten aus Franz Kafkas „Das Schloss“ sowie logischen Konstanten und Operatoren gefüttert. Das Ergebnis waren mehrere Millionen möglicher Satzpaare wie das oben genannte, die ersten literarischen Versuche mithilfe des Computers.

„Lutz hat sogenannte kombinatorische Textgeneratoren genutzt“, erklärt Claus-Michael Schlesinger. In einem weiteren Versuch erzeugte das Programm zufällige mathematische Sätze, die Lutz anhand einer „Wahrheitsmatrix“ überprüfte. Je ausführlicher die Matrix, umso besser sollte sie selbst einschätzen, welcher Satz tatsächlich wahr ist. „Das war ein sehr früher Vorschlag dafür, was man heute als Künstliche Intelligenz bezeichnet“, so Schlesinger. Zwar sei diese Idee vor fast 60 Jahren vor allem theoretisch entwickelt und noch nicht praktisch umgesetzt worden, dennoch lasse sich von Lutz' Ansätzen eine direkte Linie zur Künstlichen Intelligenz nach heutigen Maßstäben ziehen.

Claus-Michael Schlesinger kam 2016 als Postdoc in die Abteilung Digital Humanities, um seine Arbeiten zur Geschichte der Informationsästhetik fortzusetzen. „Es ist für mich ein großes Glück, hier zu arbeiten, weil Stuttgart ein Hotspot im Zusammenspiel von Kybernetik und Geisteswissenschaft war.“ Zu Schlesingers Arbeit gehört es unter anderem, damals entstandene Texte nicht nur auszuwerten, sondern teilweise sogar wiederzuentdecken, denn die literarischen Pioniertaten sind in vielen Fällen nur als Ausdrucke auf Papier erhalten. So erhielt Schlesinger vom langjährigen Leiter des Instituts für Deutsche



Sind Rechner die besseren Autoren?
Nach Meinung des Kulturwissenschaftlers
Claus-Michael Schlesinger werden literarisch
anspruchsvolle Romane wohl auch längerfristig
noch die Sache von Schriftstellern bleiben.

Sprache in Mannheim, einen Karton mit bislang unveröffentlichten Texten. Darunter befand sich auch der Programmcode, den Stickel in den 1960er-Jahren als wissenschaftlicher Mitarbeiter am Deutschen Rechenzentrum in Darmstadt geschrieben hatte, um seine „Autopoeme“ auf einer IBM-7090-Maschine zu erstellen.

Am Anfang stand der Großrechner

Den Begriff der Informationsästhetik hat der Philosoph Max Bense geprägt, der ab 1949 an der Universität Stuttgart lehrte. Benses Ansatz: mit informationstheoretischen Mitteln und den damals verfügbaren Großrechnern ästhetische Ausdrucksformen zu finden. Aus heutiger Sicht, da Computer vielfach untrennbar an der Entstehung von Musik oder bildender Kunst beteiligt sind, mag das wie aus der Zeit gefallen erscheinen. Aber, so Schlesinger, „in den 60er-Jahren gab es eine ganz andere Geisteswissenschaft, die mit Informationstheorie und Kybernetik nichts zu tun hatte und vor allem werkimmanente Interpretation betrieb.“ Die informationsästhetische Richtung hingegen dachte weit in die Zukunft, wie Schlesinger bestätigt. Die Sorge, Rechner könnten eines Tages selbstständig literarisch anspruchsvolle Romane schreiben,

entkräftet Schlesinger. Grammatisch richtige Sätze seien noch relativ einfach zu erlernen, bei der Semantik, der Inhaltsebene eines Textes, seien die Maschinen jedoch weitgehend überfordert. „Man müsste sie mit extrem großen Textmengen füttern, um sie Semantik lernen zu lassen.“ Und selbst dann würde noch immer die tatsächlich literarische Ebene, die Poetik des Textes, fehlen.

Zu Zeiten von Bense und Lutz wurde so stark experimentell gearbeitet, dass Texte von literarischer Qualität entstanden. Bis heute überdauert haben aber wohl vor allem die theoretischen Grundlagen. Dass ästhetische Fragen eine Rolle bei der Entwicklung komplexer Systeme zu spielen begannen, führte auch zu heutigen Maschinen, die als Bots Social-Media-Kommentare schreiben oder Sport- und Börsenergebnisse zu journalistischen Meldungen umformulieren. „Mein Eindruck ist, dass im Hinblick auf solche Gebrauchstexte viel geschieht, weil das auch industrielle Anwendungen verspricht“, sagt Schlesinger. In der „digitalen Literatur“ werde aktuell wieder viel experimentiert. Gerade der sogenannte Uncanny-Effekt, also das etwas Unheimliche und Mysteriöse computergenerierter Literatur, finde dabei durchaus eine kleine Fan-Gemeinde.

Jens Eber



Foto: Universität Stuttgart/M. Kovalev

Google Maps für drinnen

Es ähnelt Google Maps, funktioniert aber innerhalb von Gebäuden und ist viel exakter: das Indoor-Navigationssystem NaiSE, das das gleichnamige Start-up der Universität Stuttgart derzeit entwickelt. NaiSE lokalisiert und steuert motorisierte Roboter, Personen und Fahrzeuge wie zum Beispiel Gabelstapler und ermöglicht eine Kommunikation aller Teilnehmer untereinander. Ziel ist es, Roboter und Menschen flexibel auf einer Fläche zu verbinden, um eine optimale Zusammenarbeit zu gewährleisten. „Wir machen autonome Intralogistik“, erklären die NaiSE-Gründer Jens Heinrich (l.) und Kai Przybysz-Herz (r.). Besonders Augenmerk gilt dabei der Sicherheit. Stürzt in der Produktionshalle beispielsweise jemand und bleibt am Boden liegen, erkennt der Sensor dies und schickt blitzschnell eine Eilmeldung an die Bildschirme der Kolleginnen und Kollegen im Umkreis.

Fahrerloser Bolide

Neben seinem Elektro-Flitzer hat das GreenTeam der Universität Stuttgart erstmals einen autonom fahrenden Rennwagen entwickelt, mit dem es 2019 beim Konstruktionswettbewerb Formula Student antreten wird. Das Auto verhält sich nach dem Motto „see, think, act“: Es nimmt die Daten wahr, verarbeitet sie und reagiert dementsprechend. Dafür scannt ein Lidar, ein sehr genauer Laserscanner, während der Fahrt die Umgebung, erkennt Objekte und berechnet deren Distanz. Zusätzlich erfassen zwei bis vier Kameras am Fahrzeug die Farbe und Größe der Pylonen, die die Strecke begrenzen. Weitere Sensoren messen unter anderem Beschleunigung und Geschwindigkeit des Fahrzeugs.



Foto: GreenTeam Driverless

Tierische Laufroboter

Roboter, die entweder selbst laufen oder als Trainingssysteme in der Rehabilitation den Menschen bei der Genesung helfen beziehungsweise Funktionalitäten ganz übernehmen, sind das Ziel von Prof. David Remy am Institut für Nichtlineare Mechanik der Universität Stuttgart. Um den Stromverbrauch von Laufrobotern zu senken, analysiert Remy auch die biomechanischen Effekte in den Bewegungsmustern von Tieren. Die Ergebnisse der Bewegungsstudien lassen sich auf Roboter übertragen. Über Algorithmen lässt sich wiederum errechnen, welche Bewegungsart für Roboter bei einer vorgegebenen Geschwindigkeit am energieeffizientesten ist. Daraus können Richtlinien für den Roboterbau formuliert werden, die zum Beispiel Hinweise geben, ob sich der Einbau einer Feder in die Wirbelsäule eines Roboters lohnt oder nicht.

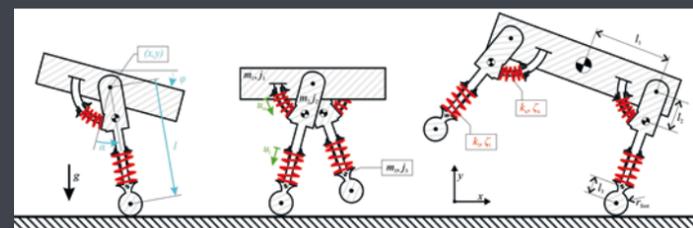


Abbildung: David Remy/University of Michigan, Ann Arbor



Abbildung: Fraport/Volocopter

die sich über die Aerodynamik von Flügeln und Leitwerk stabilisieren, werden sie über die Drehmomente der einzelnen Propeller stabilisiert. Gleichzeitig sind die Leistungsreserven bemannter Multikopter aufgrund der großen Nutzlast wesentlich geringer als bei üblichen Drohnen; zudem stellt der bemannte Flug zusätzliche Anforderungen an Handling und Komfort. All dies macht geeignete Algorithmen der Flugsteuerung und Regelung zu einem Schlüsselaspekt für die Realisierung von Flugtaxi.

Drei auf einen Streich

Quantencomputer sollen bestimmte Rechenprobleme künftig sehr viel schneller lösen können als ein klassischer Computer. Einer der vielversprechendsten Ansätze hierfür basiert auf der Verwendung einzelner Photonen zur Übertragung und Verarbeitung von Quanteninformation. Wissenschaftlern am Institut für Halbleiteroptik und Funktionelle Grenzflächen (IHFG) der Universität Stuttgart und des Karlsruher Instituts für Technologie (KIT) ist es erstmals gelungen, drei notwen-



Abbildung: Universität Stuttgart/M. Schwartz

dige Hauptkomponenten (Einzelphotonenquellen, Strahlteiler und Einzelphotonendetektoren) auf einem einzigen Chip zu integrieren und diesen auf dem Level einzelner Photonen zu betreiben. Das Experiment zeigt das Potenzial von komplett integrierten, photonischen Schaltkreisen mit allen Hauptkomponenten auf einem einzigen Chip. Die Wissenschaftler hoffen, die Komplexität des Chips in naher Zukunft erhöhen zu können.

Sicherheit für Flugtaxi

Per Flugtaxi von der City an den Airport: Seit der Flughafenbetreiber Fraport und das Bruchsaler Start-up Volocopter die Integration autonomer Flugtaxi in den Betrieb am Frankfurter Flughafen prüfen, ist das keine Fiktion mehr. Für die Sicherheit und Zuverlässigkeit der neuen Fluggeräte sorgt eine Steuerungssoftware, deren Algorithmen in einer Kooperation mit dem Institut für Flugmechanik und Flugregelung der Universität Stuttgart entwickelt wurden.

Volocopter sind emissionsfreie, von 18 Elektromotoren angetriebene Multikopter, die auf Drohentechnologie basieren. Anders als Flugzeuge,

Humanoider Muskelprotz Wissenschaftler bringen einem Roboterarm das Erlernen von Bewegungen bei

Was uns Menschen mühelos gelingt, sollen Roboter künftig selbstständig lernen: eine Vielzahl unterschiedlicher Bewegungen auszuführen. Doch braucht es dazu den komplizierten Bewegungsapparat des Menschen oder waren Muskeln eher ein evolutionärer Zufall? Forscherinnen und Forscher um die Professoren Marc Toussaint und Syn Schmitt untersuchen, ob ein intelligenter Roboterarm dank künstlicher Muskeln Bewegungen schneller und einfacher lernt.

Nach einem Glas greifen, einen Brief schreiben, den Ball werfen und fangen, gehen, hüpfen oder balancieren: Der Mensch ist zweifellos ein Multitalent. Zwar gibt es schon Roboter, die einzelne Bewegungsabläufe beeindruckend gut beherrschen, etwa Pfannkuchen backen, eine Flasche aufschrauben oder hüpfen. Es ist aber bisher noch kein Roboter bekannt, der etwa auf einer Slackline balancieren könnte oder das nötige Fingerspitzengefühl hätte, um mit dem Finger über eine Smartphone-Oberfläche zu wischen. „Das hört sich trivial an, aber solche Bewegungen sind gar nicht so leicht zu regeln“, sagt Marc Toussaint, Leiter der Gruppe Maschinelles Lernen und Robotik am Institut für Parallele und Verteilte Systeme der Universität Stuttgart. Beim Wischen etwa muss der Finger die Oberfläche detektieren und währenddessen ständig den Kontakt halten. „Der Roboterfinger würde schnell zu stark drücken und dann quasi stolpern“, erklärt der Experte für Künstliche Intelligenz und ahmt mit seinem Finger die klopfende Vorwärtsbewegung des Roboterfingers nach.

In dem Projekt „Deep Control“, das Toussaint koordiniert, untersuchen Physiker, Informatiker und Regelungstechniker, ob Muskeln helfen könnten, die Bewegungen von Robotern besser zu regeln, damit diese künftig auch komplizierte Bewegungsabläufe

durchführen können. Als Testobjekte dienen Computersimulationen und ein muskelbepackter Roboterarm, der autonom lernen soll, irgendwohin zu zeigen. Die Baden-Württemberg Stiftung fördert das Vorhaben im Rahmen ihres Forschungsprogramms Neurorobotik seit Frühjahr 2017 für insgesamt drei Jahre. Zudem sind beide Physiker auch in der „Cyber Valley“-Initiative des Landes Baden-Württemberg zur Förderung der Forschung zu Künstlicher Intelligenz aktiv.

Bisher werden die Gliedmaßen von menschenähnlichen Robotern nach dem Vorbild von Industrierobotern meist direkt von Elektromotoren gedreht und gebeugt. Zwar können heutige Roboter bereits sehr präzise irgendwohin zeigen, aber der Aufwand dafür ist hoch. „Um einen Roboterarm von einem Punkt zum nächsten zu bewegen, muss der Regler in jeder Millisekunde neue Signale an den Motor schicken“, sagt Toussaint. Parallel messen Sensoren zu jedem Zeitpunkt, wo sich der Arm befindet. Das menschliche Gehirn habe es in der Hinsicht einfacher: Es brauche nur einen Nervenimpuls an die Armmuskulatur zu schicken, woraufhin die Muskeln kontrahierten und der Arm automatisch die Bewegung ausführe, so Toussaint.

Unberechenbares Muskelspiel

Stattet man Roboter mit künstlichen Muskeln aus, in der Hoffnung, dass sie dadurch künftig auch schwierigere Bewegungen durchführen können, so müssen sie wie der Mensch die Bewegung erst lernen. Die menschliche Bewegung ist nämlich ein komplexes Zusammenspiel von verschiedenen Gehirnarealen, unterschiedlichen Muskelgruppen, die sich zeitlich exakt koordiniert an- beziehungsweise entspannen, und Sehnen, die die Muskelkraft auf die Knochen übertragen. „Regelungsalgorithmen von muskelgetriebenen Robotern bleibt gar nichts anderes übrig, als die Bewegung zu lernen“, erklärt Toussaint. „Wenn ich die Gelenke mit Motoren

„Regelungsalgorithmen von muskelgetriebenen Robotern bleibt gar nichts anderes übrig, als Bewegung zu lernen“
Prof. Marc Toussaint

direkt ansteuere, kann ich über die Gelenkwinkel ausrechnen, wo der Finger gerade ist und dann über einen Algorithmus den Finger in eine gewünschte Position bringen. Das ist simple Mathematik“, sagt Toussaint. Wolle man aber Muskeln als weitere Regelungsebene einführen, gebe es keine Mathematik. Nicht von ungefähr lautet der Name des Projekts „Deep Control“, was nichts anderes bedeutet als tiefe Kontrolle der Bewegung über mehrere Hierarchieebenen.

Inzwischen haben zwei Masterstudenten der Informatik aus Toussaints Forschungsgruppe das „Gehirn“ für einen Roboterarm programmiert, einen intelligenten Ansteuerungsalgorithmus, der auf maschinellem Lernen beruht. Syn Schmitts kürzlich umbenannte Forschungsgruppe „Computational Biophysics and Biorobotics“ hat sozusagen die künstlichen Muskeln, Sehnen und Knochen beigesteuert. Der Roboterarm existiert einerseits rein virtuell als Simulationsmodell auf dem Computer. Zusätzlich hat Schmitt, Co-Direktor des neuen Instituts für Modellierung und Simulation biomechanischer Systeme, einen realen lebensgroßen Torso mit rechtem Arm bauen lassen.

Der metallene Roboterarm ist über ein Schulter- und Ellenbogengelenk beweglich und mündet in

eine starre Hand mit ausgestrecktem Zeigefinger. Als Muskeln dienen dem Arm Zylinder aus einem druckdichten Gummischlauch mit innen liegendem Garnelege. Sie werden pneumatisch betrieben: Sobald ein Kompressor Druckluft in den Schlauch presst, dehnt er sich aus und wird wie der natürliche Muskel dicker und kürzer. Er kontrahiert. Insgesamt fünf dieser künstlichen Muskeln lassen den Roboterarm in einer Ebene nach unten, oben, vorne oder hinten schnellen.

Dafür spielen die Muskeln ähnlich zusammen wie beim menschlichen Vorbild: Ein „Bizeps“-Muskel auf der Oberseite des Oberarms setzt am Ellenbogengelenk an und beugt den Arm, sein Gegenspieler, der „Trizeps“-Muskel auf der Rückseite des Oberarms, streckt den Arm wieder. Nach dem gleichen Prinzip bewegen zwei antagonistische Muskeln im Torso das Schultergelenk. Ein weiterer Muskel im Torso kann den Arm im Schultergelenk sowohl nach vorne bewegen als auch beugen. Zusätzlich haben Schmitts Mitarbeiter fingerdicke Sprungfedern als Sehnen eingebaut, die oben am Schultergelenk herausragen, außerdem verschiedene Sensoren, die die Kraft und die Länge der künstlichen Muskeln sowie den Gelenkwinkel messen und an den Computer melden.

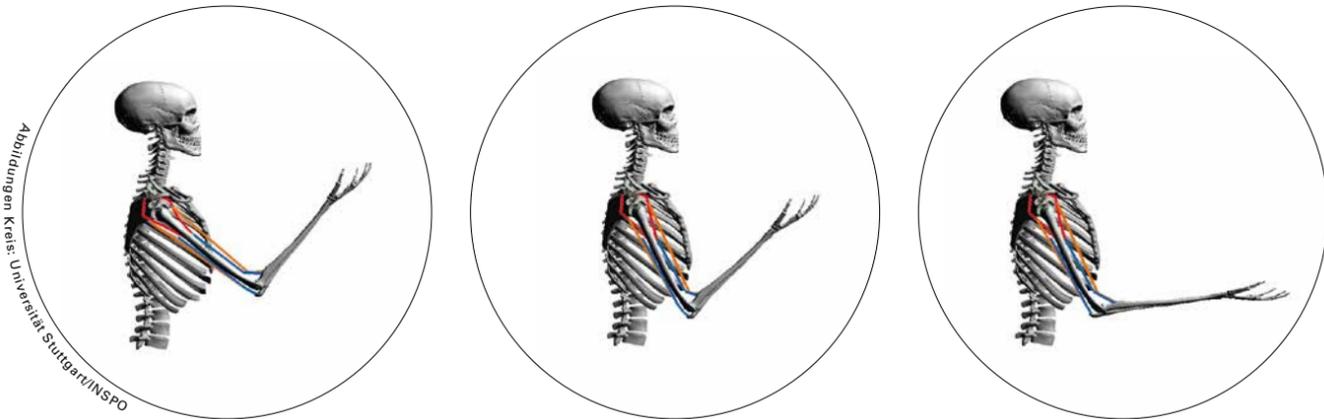


Digitale Forschung ganz analog: Anstelle eines Skelettmodells greift die Forschungsgruppe um Syn Schmitt zum Verständnis dessen, was menschliche Bewegung ermöglicht, auf die Informationen aus einschlägiger Fachliteratur zurück.

Foto: Universität Stuttgart/U. Regenscheit

Roboter lernt wie ein Baby aus Erfahrung
Doch wie lernt die Künstliche Intelligenz des Roboters, genauer der dahintersteckende Regelalgorithmus, den Arm gezielt irgendwohin zeigen zu

der Ausgangsposition schickt er als Nächstes zufällig vielleicht ein gegenteiliges Signal und tatsächlich bewegt sich der Arm in die entgegengesetzte Richtung. Das ist der zweite Datenpunkt. „Das bringt den Arm

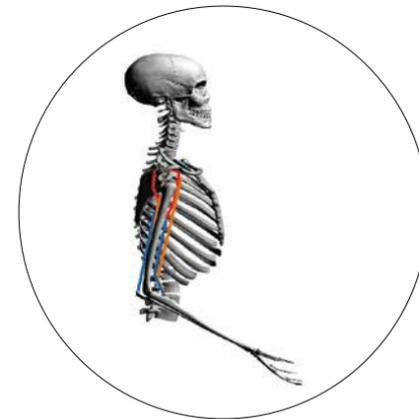


Abbildungen Kreis: Universität Stuttgart/INSPO

lassen? Vereinfacht gesagt, lernt sie so wie ein Baby, das anfangs unkoordiniert herumzappelt und aus den Erfahrungen, die es macht, irgendwann zu besser koordinierten Bewegungen übergeht. „Anfangs hat der Algorithmus keine Idee, welche Signale er an den Muskel schicken muss, um den Arm an einen gewissen Punkt zu bewegen“, erklärt Toussaint. Also schickt er ein beliebiges Signal, und der Arm bewegt sich vielleicht nach unten. Diese Erfahrung speichert er als Datenpunkt ab. Aus diesem ersten Datenpunkt generiert er ein grobes Modell, nämlich wie er den Arm nach unten oder oben bewegen kann. Zurück in

bestimmt noch nicht zum richtigen Ziel, aber eventuell schon viel näher“, sagt Toussaint. So vergeht Runde um Runde, in der das künstliche neuronale Netz trainiert und das gelernte Modell immer genauer wird: Bis zu 700-mal, in der Simulation sogar über 1.000-mal, immer wieder eine neue Zeigebewegung. Die virtuelle „Landkarte“ füllt sich allmählich mit Datenpunkten. Darin ist jedem möglichen Ziel, das der Arm angesteuert hat, das nötige Muskelsignal zugeordnet. „Wenn der Arm in Zukunft nach unten will, dann weiß er das jetzt, weil er zuvor die Erfahrung ‚nach unten‘ gemacht hat“, erklärt Toussaint.

Die Lernmethode geht auf sogenannte tiefe Lernverfahren (Deep Learning) zurück, die bereits seit Jahren bei der Bilderkennung oder beim Spracherkennungsmodul von Siri, dem digitalen Assistenten auf dem iPhone, eingesetzt werden. Dabei wird ein Netzwerk von Knoten, die den Neuronen im Gehirn entsprechen, zu Ebenen angeordnet, die immer komplexere Merkmale verwenden, um etwa ein Gesicht zu erkennen. Beispielsweise wird die erste Ebene nur Helligkeitswerte der Pixel identifizieren. Die zweite Ebene würde registrieren, dass einige Pixel zu Kanten verbunden sind. Die nächste wiederum würde zwischen horizontalen und vertikalen Linien unterscheiden, bis irgendwann eine Ebene erreicht



ist, auf der gelernt wird, welche Formen geeignet sind, um ein Gesicht zu erkennen. Beim verstärkenden Lernen (Reinforcement Learning) werden nach dem Prinzip von Zuckerbrot und Peitsche Verbindungen zwischen den Knoten entweder verstärkt oder abgeschwächt, je nachdem welche Erfahrungen nach jeder Trainingsrunde gemacht wurden. „Wir haben uns gefragt, was das Analogon von dieser Idee der Signalverarbeitung ist, wenn es darum geht, ein System zu regeln“, sagt Toussaint, „Was bedeutet es für ein Regelungsproblem, immer mehr Hierarchieebenen einzuführen?“ Bislang gebe es

kaum Konzepte für die Regelung von Roboterbewegungen, allenfalls für Computerspiele, in der etwa eine Spielfigur lernt, durch ein Labyrinth zu laufen oder bestimmte Aktionen auszuführen. Als wesentliche Neuerung haben die Forscherinnen und Forscher um Toussaint das „Gehirn“ des Roboters zusätzlich mit einer Explorationsstrategie ausgestattet, damit der Roboterarm während des Trainings systematisch seinen gesamten Bewegungsraum erkundet. „Wenn der Algorithmus als Nächstes ein Ziel auswählt, das total weit weg ist von allen vorhergehenden Zielen,



Universität Stuttgart/M. Kovalenko

Im Projekt „Deep Control“ soll sich zeigen, ob Muskeln helfen könnten, Robotern auch komplizierte Bewegungsabläufe zu ermöglichen. Testobjekte sind Computersimulationen und ein Roboterarm, der autonom lernen soll, irgendwohin zu zeigen.

wird er aus den Daten genauso wenig lernen, wie wenn er zig Mal das gleiche Ziel ansteuert“, erklärt Toussaint. Der Programmcode, den die Forscher eingefügt haben, sieht dagegen vor, dass der Roboterarm sich immer Ziele zwischen den beiden Extremen aussucht – von bisherigen Erfahrungen entfernt, aber nicht zu weit weg. „Dann ist garantiert, dass der Algorithmus am meisten aus den Erfahrungen lernt, die er macht“, sagt Toussaint.

„Aus Ingenieurssicht absoluter Quatsch“

Wenn Schmitt an seinem Institut nun den Knopf einer Fernbedienung drückt, fährt der Roboterarm zwar leicht schwingend, aber zielstrebig an die gewünschte Position. „Die Abweichung für einen Zielpunkt beträgt etwa acht Millimeter, in der Simulation sind es sogar weniger als zwei Millimeter“, berichtet er. Zukünftig könnte eine korrigierend eingreifende Kamera die Präzision noch erhöhen, hofft Schmitt. Doch was den Biophysiker am meisten antreibt, ist die Frage, warum die Biologie so komplizierte Dinge wie Muskeln hervorgebracht hat. Entstand der menschliche Bewegungsapparat evolutionsgetrieben, oder weil es schlicht keine anderen Baumaterialien gibt? „Aus Ingenieurssicht ist es absoluter Quatsch, sozusagen zwei Motoren, sprich antagonistische künstliche Muskeln, um ein Gelenk zu bauen, anstatt eines Elektromotors, der sich in beide Richtungen drehen kann“, analysiert Schmitt.

Die Antwort liefern die Stuttgarter nun selbst, indem sie den Roboterarm die Zeigebewegung einmal mit Muskelantrieb haben lernen lassen und einmal mit der direkten Gelenkansteuerung über einen Elektromotor. Die Ergebnisse haben sie anschließend miteinander verglichen. Tatsächlich wird die Regelung der Bewegung dank Muskeln und Sehnen einfacher. „Einfacher heißt besser verständlich, schneller erlernbar – das bedeutet, der Algorithmus braucht für das Training deutlich weniger Datenpunkte. Einfacher heißt auch, es braucht weniger Rechenaufwand, also kleinere Prozessoren, was zu mehr Energieeffizienz führt“, fasst Schmitt zusammen.

Bereits zuvor hat ein ehemaliger Doktorand Schmitts in der Computersimulation eines hüpfenden Roboters festgestellt, dass viel weniger Informationen zwischen den Sensoren, dem Regelungsalgorithmus und dem Antrieb ausgetauscht und verrechnet werden müssen, wenn der Roboter von Muskeln angetrieben wird. Das Maß, um den Kontrollaufwand

für Bewegungen messen zu können, hat er eigens entwickelt. Im aktuellen Projekt testeten die Forschenden aber auch, was passiert, wenn der Arm in seiner Bewegung gestört wird, indem jemand dagegen drückt. Wird der Roboterarm danach immer noch präzise sein Ziel ansteuern? „Da sehen wir deutlich, dass das, was auf der Ebene der Muskeln gelernt wurde, viel robuster ist, als das, was auf der Ebene der Gelenke direkt gelernt wurde“, berichtet Toussaint.

Als Nächstes soll der Roboter lernen, eine richtig schwierige Aufgabe zu meistern: mit dem Finger entlang einer Oberfläche zu wischen. Bis sich ihre Forschungsergebnisse für einen marktfähigen Roboter nutzen lassen, sei es aber noch ein weiter Weg, schränken Toussaint und Schmitt ein. „Es gibt noch viele Herausforderungen: der begrenzte Bauraum, in dem viele mechanische Teile untergebracht werden müssen; die pneumatischen Muskeln, die einen Riesenkompessor brauchen; die Robustheit des Antriebssystems“, zählt Schmitt auf. „Im Grunde müssten wir jetzt testen, welche Muskelmodelle besonders gut funktionieren“, ergänzt Toussaint. Möglich, dass nach der Optimierung „die Muskeln“ dann gar keine Ähnlichkeit mehr mit echten Muskeln haben.

Seite an Seite mit dem Roboter der Zukunft

In Zukunft könnte der muskelbepackte, autonom lernende Roboter dann zum Einsatz kommen, wenn es auf natürliche, variantenreiche Bewegungen ankommt, oder der Roboter die Kraft, mit der er die Bewegung ausführt, an unvorhergesehene Ereignisse anpassen soll. Kollaborative Arbeitsplätze, wo Roboter und Mensch nebeneinander arbeiten, wären zum Beispiel so ein Bereich. Stoßen Mensch und Roboter zufällig aneinander, würde der Roboter nachgeben und ausweichen. Ein Industrieroboter kann das nicht. „Ich bin überzeugt, dass ein muskelgetriebener Roboter solche Ausweichaktionen

viel einfacher durchführen kann“, sagt Schmitt. Denkbar sind auch natürlichere Exoskelette, die Arbeitern „Superkräfte“ verleihen, etwa für Überkopf-Montagen oder um schwere Lasten zu heben. In der Rehabilitation könnten sie Schlaganfallpatienten oder Querschnittgelähmten beim wieder Gehen lernen unterstützen. „Das Exoskelett würde lernen, zusammen mit dem Träger die Bewegung so auszuführen, dass sie adäquat ist“, sagt Schmitt. Noch sind Menschen den Robotern haushoch überlegen. Die nächste Stufe zu den intelligenten Robotern von morgen, die Toussaint in den kommenden Jahren erklimmen will: physikalisches Denken. Beispielsweise könnte ein Roboter, der einen Holzklotz greifen soll, aber nicht rankommt,

versuchen, einen greifbaren Ball gegen die Wand zu schleudern, sodass dieser im richtigen Winkel abprallt. Beim Herunterfallen würde der Ball den Holzklotz in Greifnähe des Roboters rücken. Freinach Neil Armstrong, ist diese Aufgabe ein kleiner Schritt für einen Menschen, aber ein großer Schritt für die Robotik.

Michael Vogel

Lakhta Center
Europas höchster
Wolkenkratzer

Ort
St. Petersburg, Russland

Fassadenelemente
16.500

Höhe
462 Meter

Fassadenfläche
100.000 Quadratmeter

GARTNER

PERMASTEELISA GROUP

© Kamil Nureev

Gute Aussichten gesucht?

Alles nur Fassade? Nicht bei uns – mit Gartner geht es hoch hinaus! Wir arbeiten an anspruchsvollen Projekten an außergewöhnlichen Orten. Studenten und junge Ingenieure finden bei uns den perfekten Einstieg in die faszinierende Welt des Fassadenbaus.

Praktikant (m/w/d)
Bachelorand/Masterand (m/w/d)

Trainee (m/w/d)
Young Professional (m/w/d)

Hoch hinaus mit Gartner. www.josef-gartner.de/jobs
Josef Gartner GmbH · Gartnerstraße 20 · 89423 Gundelfingen

Die Kapazitätenschafter Über das Potenzial von Künstlicher Intelligenz in der Sachbearbeitung

Jeden Tag das Gleiche: Das Berufsleben vieler Sachbearbeiterinnen und Sachbearbeiter wird von Routinearbeiten bestimmt. Inwiefern sich Künstliche Intelligenz in diesem Bereich nutzbringend einsetzen lässt, müsse dringend erforscht werden, sagen Helmut Zaiser und Tobias Müller vom Institut für Arbeitswissenschaft und Technologiemanagement IAT der Universität Stuttgart. Hier setzt das Projekt „SmartAIwork“ an.

Gemeinsam mit dem Fraunhofer-Institut für Arbeitswirtschaft und Organisation IAO und sieben weiteren Partnerorganisationen untersuchen die beiden IAT-Wissenschaftler Helmut Zaiser und Tobias Müller den sinnvollen Einsatz von Künstlicher Intelligenz (KI) in der Sachbearbeitung. Dabei erforschen sie, wie KI-gestützte Arbeit produktiver und menschengerecht, zugleich fordernd aber nicht überfordernd gestaltet werden kann. Das Verbundprojekt „SmartAIwork“ wird vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) im Programm „Innovationen für die Produktion, Arbeit und Dienstleistung von morgen“ gefördert.

Im ersten Schritt des dreijährigen Projekts haben die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler die Auswirkungen des Einsatzes von Künstlicher Intelligenz in der Sachbearbeitung analysiert und Studien erstellt. Die daraus gewonnenen Erkenntnisse setzen sie in Pilotprojekten in drei Projektpartner-Unternehmen um. Im letzten Schritt erstellt das Team um Zaiser und Müller Handlungs- und Orientierungshilfen für den zukünftigen Einsatz von KI. Dabei erarbeiten sie auch Forschungs- und Entwicklungsempfehlungen für Politik, Forschung und Praxis.

KI im ÖPNV-Beschwerdemanagement

Eine konkrete Idee für den Einsatz von KI bei einem ihrer Projektpartner haben Zaiser und Müller bereits

beschrieben: im Beschwerdemanagement bei einem Unternehmen des Öffentlichen Personennahverkehrs (ÖPNV). Täglich beschwerten sich viele Kunden über unpünktliche Busse, mangelnde Sauberkeit an Haltestellen oder den Fahrstil. Die Sachbearbeiterin oder der Sachbearbeiter müsse zunächst die Themen sortieren und sie an die jeweilige Fachabteilung weiterleiten. „Diese Kategorisierung könnte ein Programm übernehmen und dadurch die Arbeitskraft entlasten“, sagt Müller. Und er denkt noch weiter: KI könnte auch eine passende Antwort an den Kunden vorformulieren und sie den Beschäftigten vorschlagen. Routineanfragen ließen sich dadurch schneller beantworten, während der Mensch mehr Zeit für anspruchsvollere Aufgaben, wie rechercheaufwendigere Anfragen, hat. „Das ist unsere Vision über den Einsatz von KI als unterstützendes System.“

Doch bevor es so weit ist, stehen Zaiser und Müller noch vor einer entscheidenden Herausforderung. In kleinen und mittelständischen Unternehmen fehle bislang häufig die Digitalisierung der Arbeitsschritte. „Es ist erschreckend, was noch immer alles auf dem Schreibtisch stattfindet, obwohl es die dementsprechenden technischen Möglichkeiten für eine digitale Verarbeitung schon gibt“, sagt Müller. „Daten sind der Treibstoff des KI-Motors. Dementsprechend ist eine grundlegende Digitalisierung in der Sachbearbeitung eine Voraussetzung, die noch aussteht.“ KI hat das Potenzial, Wissensarbeit zu automatisieren. Sie kann aber auch dafür eingesetzt werden, Arbeit innovations- und kompetenzfördernd zu unterstützen. „KI soll Sachbearbeiterinnen und Sachbearbeiter nicht ersetzen, sondern sie unterstützen und sie in ihrem Alltag entlasten“, sagt Zaiser. Der KI-Einsatz solle dazu dienen, die Arbeitsfelder so zu gestalten, dass die Arbeit produktiver und innovativer werde. „Mensch und Maschine gehen Hand in Hand“, fasst Müller das Ziel von KI in der Sachbearbeitung zusammen.

Bettina Künzler



Raus aus der Routine: Tobias Müller (li.) und Helmut Zaiser vom IAT arbeiten daran, Sachbearbeitern mithilfe von KI mehr Freiraum für Aufgaben abseits der Routine zu schaffen.

Weitere Informationen zum Projekt: www.smart-ai-work.de

Man merkt die Absicht ... Intelligente Benutzerschnittstellen machen Computer zu aufmerksamen Begleitern

Wie können Computer in Zukunft besser auf ihre Nutzerinnen und Nutzer reagieren? Wie schaffen sie es, festzustellen, worauf deren Aufmerksamkeit gerichtet ist und was sie als Nächstes im Sinn haben? Gelingen soll dies künftig durch den Einsatz von intelligenten Benutzerschnittstellen, wie sie das Institut für Visualisierung und Interaktive Systeme der Universität Stuttgart entwickelt.

Von Benutzerschnittstellen spricht man in der Informatik dort, wo der Mensch mit dem Computer in Kontakt tritt und eine Handlung vollzieht. Das gilt also sowohl für die Bedienung mit Tastatur, Bildschirm oder Maus als auch für weitere Formen der Steuerung von Computerprogrammen, die grafisch, textuell, auditiv oder auch anders gestaltet sein können. Stattet man diese Bereiche mit Künstlicher Intelligenz (KI) aus und erweitert sie mit Kompetenzen, die der menschlichen Wahrnehmung gleichen, sind Computer in der Lage, ihre Nutzerinnen und Nutzer besser zu verstehen und mit ihnen menschenähnlich zu interagieren. Als aufmerksame Helfer könnten sie den Menschen dabei unterstützen, seine Situation besser zu kontrollieren und Fehler zu vermeiden. Schon heute kommen intelligente Benutzerschnittstellen in der Automobilindustrie zum Einsatz, um die Schläfrigkeit von Fahrerinnen oder Fahrern zu erkennen und sie rechtzeitig darauf hinzuweisen, eine Pause einzulegen. Aber auch im Büro oder bei alltäglichen Handlungen werden die Computer schon bald wissen, worauf die Aufmerksamkeit ihrer Anwender gerichtet ist, wo sie Hilfe brauchen, oder was sie als Nächstes zu tun gedenken.

Was Menschen auszeichnet ist ihre Fähigkeit, sich in andere hineinzuversetzen und beispielsweise anhand der Körpersprache des Gegenübers dessen Gefühlslage, Absichten oder Aufmerksamkeit abschätzen zu können. Damit das auch Computern in Zukunft ge-

lingt, brauchen sie intelligente Benutzerschnittstellen, um etwa die Absicht von Nutzern oder ihre Aufmerksamkeit genau zu messen und zu interpretieren. Hierfür werden Methoden aus dem maschinellen Lernen („Machine Learning“) und dem maschinellen Sehen („Computer Vision“) eingesetzt und weiterentwickelt.

Neue Schnittstellengeneration

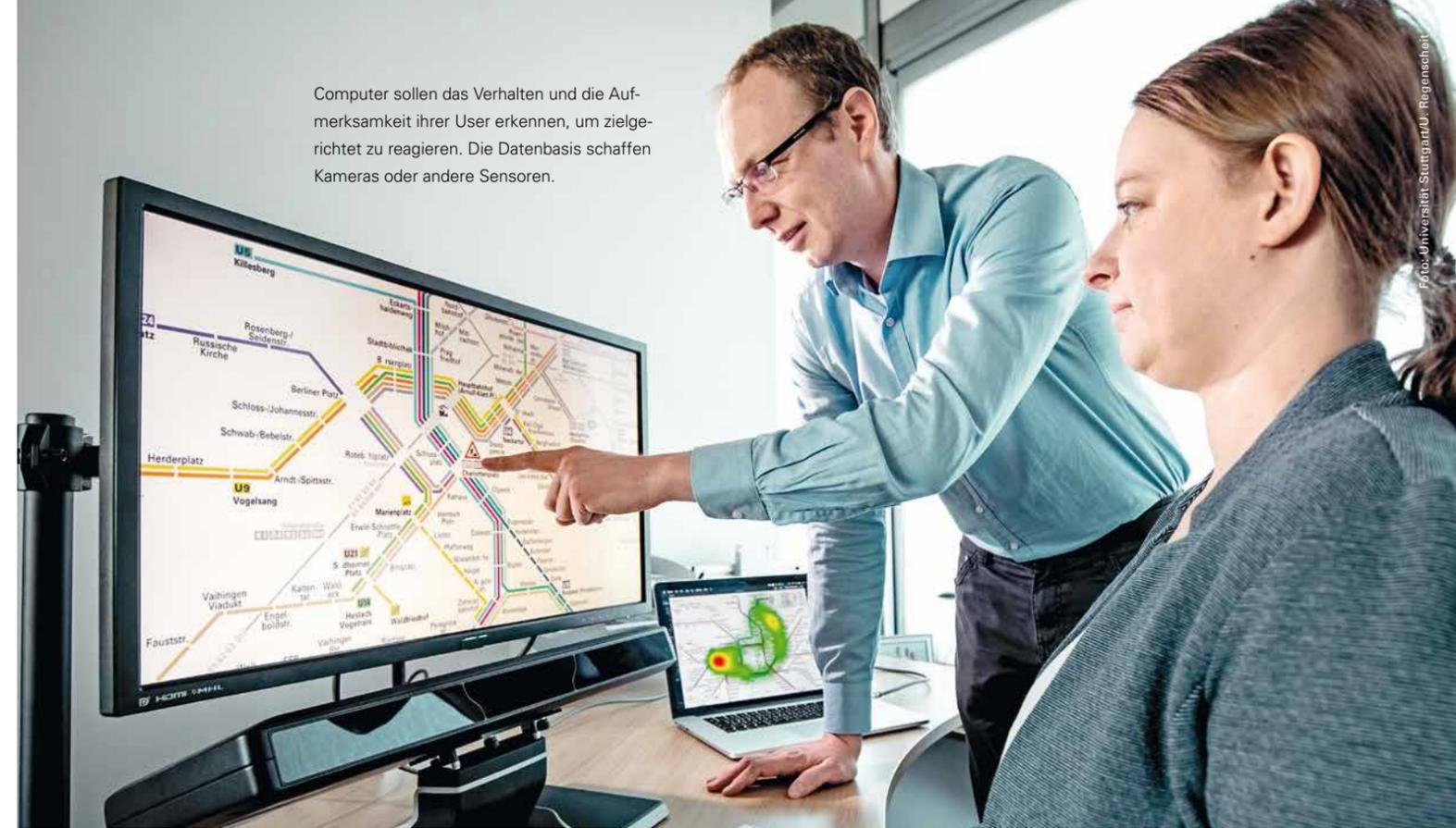
Solche „Intelligent User Interfaces“ entwickelt Prof. Andreas Bulling, Leiter des Lehrstuhls für „Mensch-Computer-Interaktion und Kognitive Systeme“ am Institut für Visualisierung und Interaktive Systeme der Universität Stuttgart. Das Ziel seiner Forschung ist es, eine neue Generation von intelligenten Benutzerschnittstellen zu entwickeln, die sich eng an der zwischenmenschlichen Interaktion orientieren. Die rasanten Entwicklungen in der Computertechnologie der vergangenen Jahre halten auch für die Gestaltung der Schnittstellen zwischen Mensch und Computer viele neue Möglichkeiten bereit. Sie profitiert etwa von sehr hohen Rechenleistungen im Super-Computing und nutzt die revolutionären Entwicklungen im Bereich der KI.

Nutzerverhalten erkennen

Damit es den Computern möglich wird, das Verhalten und die Aufmerksamkeit ihrer User zu erkennen, benötigen sie eine möglichst breite Basis an Daten. Diese werden von Kameras oder anderen Sensoren aufgenommen, automatisch analysiert und interpretiert. Je besser der Computer so in der Lage ist, zu verstehen, wie aufmerksam die Nutzerin oder der Nutzer ist, umso zielgerichteter kann er darauf reagieren.

Die Auswertung dieser umfangreichen Datenmengen erfolgt mithilfe des Machine Learning: Durch intensives Training ist es Computern möglich, hunderttausende Datensätze auf rechenstarken Grafikarchitekturen zu verarbeiten und anhand wiederkehrender Muster zunehmend bessere Vorhersagen zu treffen. Eine Methode, wie der Computer lernt, das Ver-

Computer sollen das Verhalten und die Aufmerksamkeit ihrer User erkennen, um zielgerichtet zu reagieren. Die Datenbasis schaffen Kameras oder andere Sensoren.



halten der Nutzerinnen und Nutzer sowie deren Aufmerksamkeit richtig einzuordnen, ist die Blickrichtungsschätzung oder auch „Gaze Estimation“, die am Lehrstuhl von Andreas Bulling maßgeblich entwickelt wird. Der Computer misst hierbei mithilfe von Kameras die Blickrichtung und Bewegungen der Augen von Nutzern. Aufgezeichnet werden die Augenbewegungen entweder durch fest installierte oder mobile Kameras am Computer oder integriert in Laptops oder Mobilgeräten.

„Die Blickrichtungsschätzung erlaubt es uns, beispielsweise zu messen, wie oft jemand während der Arbeit vom Bildschirm wegschaut, durch eine Benachrichtigung abgelenkt wird oder während eines Gesprächs Blickkontakt aufnimmt. Wir erhalten dadurch wichtige Anhaltspunkte für die Konzentrationsfähigkeit, wie gut sich eine Person mit ihren Kommunikationspartnern versteht, oder auch welche persönliche Einstellung sie hat“, erläutert Andreas Bulling. Wer den Blickkontakt im Gespräch lange hält, signalisiert dem Gegenüber Interesse oder Verständnis.

Einfühlsam wie ein Mensch

Der nächste, wichtige Schritt auf dem Weg zu intelligenten Benutzerschnittstellen ist, dass sie auch die

Absichten des Nutzers erkennen, besonders auch in Alltagssituationen. Computer sollen sich so in den Benutzer hineinversetzen können und wissen, was dieser beabsichtigt oder als Nächstes benötigt. Hierfür ist wiederum der Mensch das Vorbild. Seine Fähigkeit, mithilfe der Analyse von Aufmerksamkeit und Intentionen Annahmen über Bewusstseinsvorgänge anderer zu machen, wird auch als „Theory of Mind“ bezeichnet – grundlegend für die zwischenmenschliche Interaktion.

Dieses Ziel verfolgt Andreas Bulling in seinem neuen Projekt „Anticipate: Anticipatory Human-Computer Interaction“, für das er zeitgleich mit seinem Start an der Universität Stuttgart einen ERC-Starting Grant erhalten hat – eine der höchsten Auszeichnungen für einen Forscher in Europa. Der Europäische Forschungsrat fördert sein Projekt fünf Jahre lang mit insgesamt 1,5 Millionen Euro. In Vorbereitung ist außerdem ein Projekt im Rahmen des Exzellenzclusters „Simulations-Technologie“ (SimTech) der Universität Stuttgart, das zum Ziel hat, Prozesse des menschlichen Denkens und der menschlichen Wahrnehmung mit dem Computer nachzubilden und mittels „Deep Learning“-Architekturen die Genauigkeit der Vorhersagen weiter zu verbessern.

Petra Enderle

Im Aufwind Maschinelles Lernen in der Luftfahrt verbessert das Fliegen

Am Beispiel der Segelfliegerei wollen die Forscherinnen und Forscher am Institut für Flugmechanik und Flugregelung (IFR) der Universität Stuttgart Erkenntnisse darüber gewinnen, wie sich der Luftverkehr in Zukunft ökoeffizienter gestalten lässt.

Die Möglichkeiten der Künstlichen Intelligenz (KI) erweitern das Spektrum der Methoden auch in der Flugregelung. „Diese neuen Methoden untersuchen wir kritisch, folgen dabei der populären Welle aber nicht einfach blindlings, sondern versuchen KI in den klassisch systemtheoretischen Kontext einzuordnen“, erklärt Prof. Walter Fichter, Leiter des Instituts für Flugmechanik und Flugregelung. In seinem Team beschäftigt er mit Pascal Groß und Stefan Notter zwei Wissenschaftler, die sich im Rahmen des Forschungsprojekts TakeOF, kurz für „Taktisches EnergieOptimales Fliegen“, mit diesem Aspekt befassen. Ein höherer Automatisierungsgrad bis hin zum autonomen Fliegen soll zum Ziel einer umweltfreundlicheren Luftfahrt unterhalb der Wolkenbasis beitragen.

Aktuell kommen Beiträge zur Automatisierung aus zwei Richtungen: aus der Systemtheorie und der Informatik. „Wir gehören zur ersten Fraktion, sind aber eigentlich Anwender“, so Fichter. Konkret entstehen am Institut unter anderem die Algorithmen für „Urban Air Mobility Vehicles“ – besser bekannt als Flugtaxis – wie dem Volocopter und City Airbus. Ob unterhalb der Wolkendecke oder im All: Die Fragestellungen und Probleme seien ähnlich, meint Fichter. Dass die Wahl letztlich auf das Segelfliegen fiel, hat fundierte Gründe: Diese Art des Fliegens ist vielschichtig, verlangt Abwägung, Erfahrung und Empfindung. Alles dreht sich um die Thermik und deren möglichst intelligente Nutzung. „Piloten müssen vieles leisten. Segelfliegen ist aber noch fordernder als die motorisierte Fliegerei“, resümiert Fichter. „So reifte in uns die Überzeugung, dass die

hier geforderten Parameter sich als Messlatte auf breiter Ebene eignen“, berichten Pascal Groß und Stefan Notter, die das vom Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi) auf zwei Jahre geförderte Projekt erdacht haben und bearbeiten.

Methoden finden ihre Nischen

Wie immer bei neuen Methoden, stellt sich auch für die Flugmechanik die Frage, wo sich die KI festsetzt. „Wir sind gerade dabei zu untersuchen, wie sich klassische Regelungstechnik nutzbringend mit Methoden aus dem Bereich der Künstlichen Intelligenz – insbesondere des Maschinellen Lernens – vereinen lassen“, sagt Notter. Fichter betont die notwendige Offenheit im Ergebnis. „Die Regelungstechnik hat ihre Ursprünge in den 1940er-Jahren und seither viele Wellen neuer Methoden durchlebt. Diese wurden zunächst immer kritisch beäugt, haben aber mit der Zeit stets ihre Anwendungen und Nischen gefunden“, weiß er aus Erfahrung. Natürlich hofft man im IFR, eine solche Nische mit den neuen Verfahren erfolgreich besetzen zu können. Zumal erste Ergebnisse vorliegen, die zumindest in einem abgegrenzten Bereich vielversprechend aussehen. „Wir halten es für spannend, das Szenario des Wettbewerb-Segelflugs, das in manchen Aspekten einem Brettspiel gleicht, mit Methoden des Maschinellen Lernens zu automatisieren“, berichtet Notter. „Wir sind vorsichtig optimistisch, mit diesem Verfahren das zu erreichen, was ein guter menschlicher Pilot zu leisten im Stande ist.“

Es sei schon eine echte Herausforderung, dem mathematischen Optimum nahezukommen. „Bei einem Szenario, bei dem wir alle Randbedingungen kennen, alle Informationen haben, können wir ein optimales Verhalten zwar mühsam, aber sehr gut auch mit klassischen Verfahren errechnen. Denn wir wissen, wie sich ein Flugzeug in ruhiger Atmosphäre verhält.“ Gibt es aber zusätzliche Umgebungsbedingungen, etwa in Form einer Aufwindverteilung, die zunächst

nicht bekannt sind, kann man sich durch Bestärkendes Lernen, einer Form des Maschinellen Lernens, dennoch einer optimalen Lösung annähern. Notter erklärt: „Diese optimale Lösung basiert darauf, dass wir schon vorher genau wissen, wie die Umgebung aussieht. Und obwohl unser Agent, der mit Bestärkendem Lernen trainiert wurde, das nicht weiß, ist er trotzdem in der Lage, sich basierend auf seinen gesammelten Erfahrungen sinnrichtig in dieser ihm zunächst unbekanntem Umgebung zu bewegen.“ Die Wissenschaftler am IFR halten diese Form von KI für eine geeignete Methode, „weil wir es eben mit einer unbekanntem Atmosphäre zu tun haben, die wir davor schwer modellieren können“.

Massenhafter Datenabgleich

Um vorhersagen zu können, unter welchen Bedingungen Aufwinde auftreten, braucht es massenhaft Daten. Weil die Segelflieger ihre Überlandflüge allesamt aufzeichnen und die Daten zugänglich sind, können Groß und Notter über 26.000 Segelflüge mit über 110 Millionen Positionsmessungen auswerten: „Es wird alle paar Sekunden gemessen, wo das

jeweilige Flugzeug gerade ist.“ Zusätzlich zu diesen Daten können die Wissenschaftler auf die Daten des Deutschen Wetterdienstes zugreifen, die oftmals stundenaktuell eingehen. „Allein das sind mehrere Gigabyte pro Tag.“ Diese Datenmengen, die sich oft auf unterschiedliche Koordinatensysteme beziehen, müssen per Softwareprogramm aufeinander abgestimmt werden. Eine knifflige Angelegenheit. Aber genau das ist die Stärke des Instituts: „Wir sind sehr algorithmenlastig, aber wir entwerfen die Algorithmen nicht nur. Es geht uns darum, sie zu implementieren, um sie testen zu können.“ Ein Folgeprojekt, in dem es um die unmittelbare Anwendung geht, ist schon beantragt: Gerade bei Katastropheneinsätzen wie bei Waldbränden ist die Energiebilanz der Flugzeuge wichtig, um möglichst lange in der Luft bleiben zu können. „Hier ist der Clou, dass sich mehrere unbemannte Flugzeuge ergänzen sollen“, sagt Notter. Klar ist schon jetzt, dass das Nutzen von Aufwinden viel Sprit spart. „Somit kann das unbemannte System wesentlich mehr Nutzlast mit sich führen – oder eben deutlich länger fliegen.“

Susanne Röder

Chips auf dem Prüfstand Neue Testmethoden und Künstliche Intelligenz verbessern die Halbleiterfertigung

Internet, Zahlungsverkehr, Stromversorgung, Verkehr: Nichts kommt mehr ohne integrierte Schaltkreise aus. Durch die Allgegenwart von Chips und Computern gewinnen auch Halbleitertests zunehmend an Bedeutung. Um den wissenschaftlichen Nachwuchs und die Forschung auf diesem Gebiet zu fördern, richtet die Universität Stuttgart in enger Kooperation mit der Firma Advantest eine Graduiertenschule ein.

Die Erzeugnisse der 480 Milliarden US-Dollar schweren Halbleiterindustrie werden zum Wegbereiter für neue oder verbesserte Funktionen in immer mehr Produkten des Alltags. „Tatsächlich hängen moderne Gesellschaften heutzutage davon ab, dass Chips zuverlässig und sicher funktionieren“, sagt Prof. Hans-Joachim Wunderlich, Inhaber des Lehrstuhls für Rechnerarchitektur am Institut für Technische Informatik der Universität Stuttgart. „Ohne regelmäßige Überprüfung lassen sich Zuverlässigkeit und Sicherheit der Chips nicht sicherstellen“, so Wunderlich. „Darum erstrecken sich die Tests auch auf den gesamten Lebenszyklus eines integrierten Schaltkreises – von der Entwicklung über die Produktion bis hin zur Überwachung während seines Betriebs.“

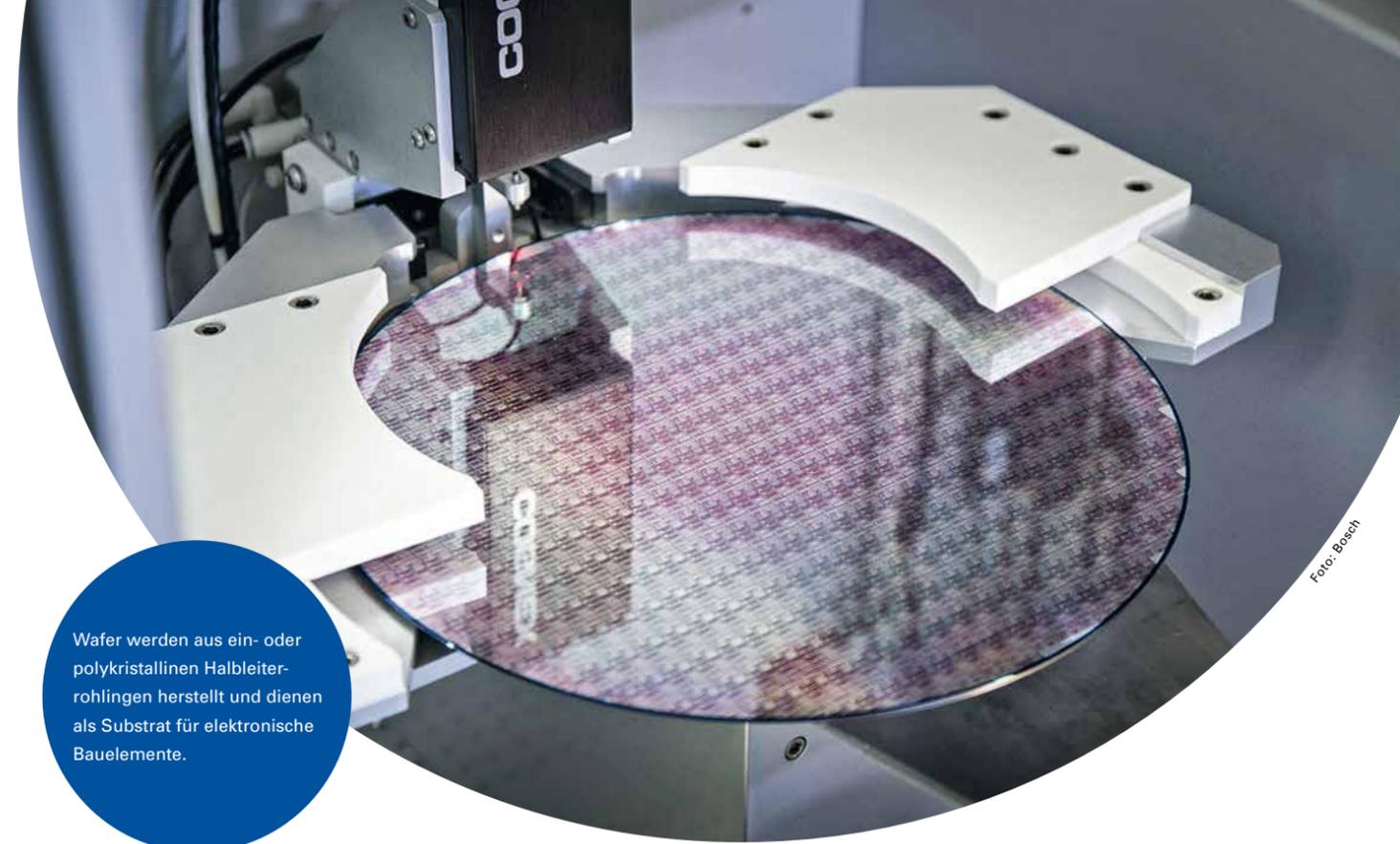
Früherkennung senkt Kosten

Entwickler, die einen neuen Chip designen, können dafür zwar immer präziser werdende mathematische Modelle nutzen. Doch parallel schreiten die Miniaturisierung der Strukturen und die Steigerung der Komplexität gleichermaßen rasch voran. So machen allein die Größenordnungen im Bereich weniger Nanometer eine genaue Vorhersage zum Verhalten des neuen Chips schwierig. „Tests an Prototypen tragen deshalb bereits in dieser frühen Phase zu besseren Entwicklungsergebnissen bei“,

sagt Wunderlich. Geht der Chip dann in Produktion, wird der Fertigungsprozess sukzessive optimiert. Die Folge: Zu Beginn des Prozesses sind viele Chips auf einem Wafer Ausschuss bzw. entsprechen nicht den strengen Anforderungen, die für sie spezifiziert sind. Daher liegt die Ausbeute anfangs oft nur bei wenigen Prozent. „Die Aufgabe von Testläufen ist hier einerseits, die Spreu vom Weizen zu trennen, und andererseits, wichtige Erkenntnisse aus den Messdaten abzuleiten, was den Fertigungsprozess verbessern könnte“, erläutert Wunderlich. „So gelingt es dem Hersteller nach und nach, die Ausbeute pro Wafer zu steigern und damit die Stückkosten zu senken.“ Bei Speicherchips, wie sie zum Beispiel in jedem PC oder Smartphone zu finden sind, streben die Hersteller in der Massenproduktion Ausbeuten von 99 Prozent an. Doch auch, wenn ein integrierter Schaltkreis das Werk verlassen hat und in einem wie auch immer gearteten Computersystem arbeitet, spielen Tests weiterhin eine Rolle. „Auf dem Chip sind sogenannte Instrumente integriert, die die Arbeit der anderen Schaltkreise überwachen“, sagt Wunderlich. „Anhand der gewonnenen Testdaten kann der Hersteller einen Rückläufer nach einem Ausfall analysieren, um bestenfalls den Entwicklungs- oder Fertigungsprozess entsprechend anzupassen.“ Und so das aufgetretene Problem künftig zu vermeiden.

Experten gesucht

Was für den Laien sehr kompliziert klingt, ist für Fachleute ein wahrer Fundus an Optionen. „Sie bekommen beim Testen von Chips Daten darüber, wie sich einige hundert Größen im Lauf der Zeit verändern, viele hängen voneinander wechselseitig ab“, umreißt Wunderlich die Herausforderung. Solche Größen können zum Beispiel Temperaturen, Spannungen, Ströme oder die Störanfälligkeit eines Signals sein. „Diese Daten sind schwer zu interpre-



Wafer werden aus ein- oder polykristallinen Halbleiterrohlingen hergestellt und dienen als Substrat für elektronische Bauelemente.

Foto: Bosen

tieren“, sagt der Wissenschaftler, denn oft spielen für den untersuchten Effekt nur eine Handvoll der Parameter überhaupt eine Rolle. Sie zu finden gleicht der berühmten Suche nach der Stecknadel im Heuhaufen. Eine Suche, die zudem viel Expertise erfordert. Die Fakultät Fünf der Universität Stuttgart will daher im Rahmen der neuen Graduiertenschule gemeinsam mit Advantest an solchen Fragestellungen forschen. Das Unternehmen mit Sitz in Tokio, dessen zweitgrößter Standort in Böblingen angesiedelt ist, gehört zu den führenden Anbietern von automatischen Testlösungen und Messinstrumenten für die Halbleiterindustrie. Es finanziert Ausstattung, Stellen und das Qualifizierungsprogramm und stellt den Promovierenden je einen Mentor oder eine Mentorin zur Seite. Vorgesehen ist auch ein Auslandsaufenthalt.

Forschen mit echten Daten

„Wir arbeiten mit Professor Wunderlichs und anderen Teams der Universität schon seit Jahrzehnten fallbezogen zusammen“, sagt Klaus Siegert, Vice President Forschung & Entwicklung bei Advantest in Böblingen. „Die Graduiertenschule ist aber eine neue Dimension.“ Diese mittelfristige Strategie des Unternehmens sieht den Aufbau einer Cloud-

basierten Testinfrastruktur für eigene Kunden vor, die auf Daten und künstlicher Intelligenz beruhen wird. Auch hierzu sollen Kollaborationen wie die mit der Universität Stuttgart beitragen. „Der deutsche Standort ist der erste, der jetzt eine so enge Zusammenarbeit auf den Weg gebracht hat“, sagt Siegert. Die Kooperation ist zunächst auf sechs Jahre angelegt, eine Verlängerung nicht ausgeschlossen. Beide Partner werden aus der gemeinsamen Forschung keine Patente beantragen. So stellen sie sicher, dass weder Publikationen noch die Kommerzialisierung von Resultaten verhindert werden. „Die Graduiertenschule bietet die Möglichkeit, mit echten Daten an etwas zu arbeiten, das in der Industrie auf großes Interesse stoßen wird“, verspricht Siegert, der vor 28 Jahren Elektrotechnik an der Universität Stuttgart studiert hat.

KI im Test

Bei der Arbeit des Graduiertenkollegs wird auch Künstliche Intelligenz (KI) ein wichtiges Thema sein. Teilweise bei den Methodikern, um eine bestimmte Fragestellung zu bearbeiten. Teilweise aber auch, wenn es darum geht, die für ein Problem jeweils richtigen Größen zu identifizieren. „Wichtig ist, dass es bei Halbleitertests – anders als in manch

Prof. Hans-Joachim Wunderlich (li.) beim Kooperationspartner Advantest in Böblingen an einem der Tester, mithilfe deren Halbleiter über ihren gesamten Lebenszyklus hinweg geprüft werden können.



Foto: Universität Stuttgart/U. Regenscheit

anderer Branche, die mit KI-Verfahren arbeitet – nicht nur auf die Klassifizierung ankommt“, betont Wunderlich. „Vielmehr geht es immer auch darum, zu verstehen, warum bestimmte Abhängigkeiten auftreten.“ Sonst lassen sich Entwicklungs- und Fertigungsprozess oder Betrieb nicht optimieren. Der Wissenschaftler sieht neben der Ursachensuche bei Design- und Produktproblemen vier weitere Felder, auf denen KI beim Testen nützlich sein kann. Das gilt etwa für Methoden, die dabei helfen, unübersichtliche Testdaten grundsätzlich besser zu verstehen. Darüber hinaus könnte sie zum Einsatz kommen, um die jeweils besten Arbeitszustände eines Chips einzustellen. „Auch die Vorhersage der Lebenszeit und eines Wartungsbedarfs ist eine

Aufgabe, die sich mit KI bearbeiten lässt“, so Wunderlich. Und schließlich werde es dank KI möglich, Tests möglichst effizient und effektiv zu gestalten. „Adaptive Tests – also solche, die aus ihren Ergebnissen selbst lernen – sind unsere Vision.“

Michael Vogel

Agenten wissen, was zu tun ist Konstruktion und Fertigungsplanung werden mithilfe von KI leistungsfähiger

Die individualisierte Massenfertigung wird zunehmend Realität. Allerdings können Konstruktion und Fertigungsplanung dabei zum Flaschenhals werden, wenn Ingenieure nicht genug Arbeitskapazität haben. Das Institut für Steuerungstechnik der Werkzeugmaschinen und Fertigungseinrichtungen (ISW) der Universität Stuttgart erforscht, wie die künstliche Intelligenz (KI) Ingenieurinnen und Ingenieure entlasten kann.

Die Automobilproduktion ist hochgradig automatisiert. Ein so komplexes Produkt wie ein Fahrzeug ließe sich sonst nicht in der geforderten Qualität und Geschwindigkeit herstellen, geschweige denn bezahlen. Es ist eine Massenproduktion, die allerdings sehr viele Varianten zulässt: Die Auswahl an Fahrwerken, Sitzbezügen, Lacken, Infotainment-Ausstattungen oder Assistenzsystemen ist so groß, dass für ein Fahrzeugmodell schon mal mehrere hundert Millionen Kombinationsmöglichkeiten zusammenkommen können. Daher ist die Automobilfertigung bereits heute eher eine kundenindividuelle als eine klassische Massenproduktion – die Automatisierung macht es möglich. Inzwischen ist in der Branche die Rede von der Losgröße 1: Fahrzeuge werden individuell für jeden Kunden gefertigt, ohne dass dafür unwirtschaftlich hohe Kosten in der Produktion anfallen. Diese hochautomatisierte Manufaktur ist nicht mehr nur die Vision der Automobilindustrie, sondern auch überall dort, wo industriell in hohen Stückzahlen produziert wird.

Selbstständige Fertigung ist Stand der Technik

„Früher hat ein Hersteller einmal geplant und mehrmals gefertigt, bei der Losgröße 1 muss er einmal planen, um einmal zu fertigen“, verdeutlicht Akos



„Einmal planen, mehrmals fertigen“ ist heute dank CNC-Werkzeugmaschinen Usus. Mit KI will Akos Csiszar von der Universität Stuttgart die Programme der computergesteuerten Maschinen automatisiert anpassbar machen.

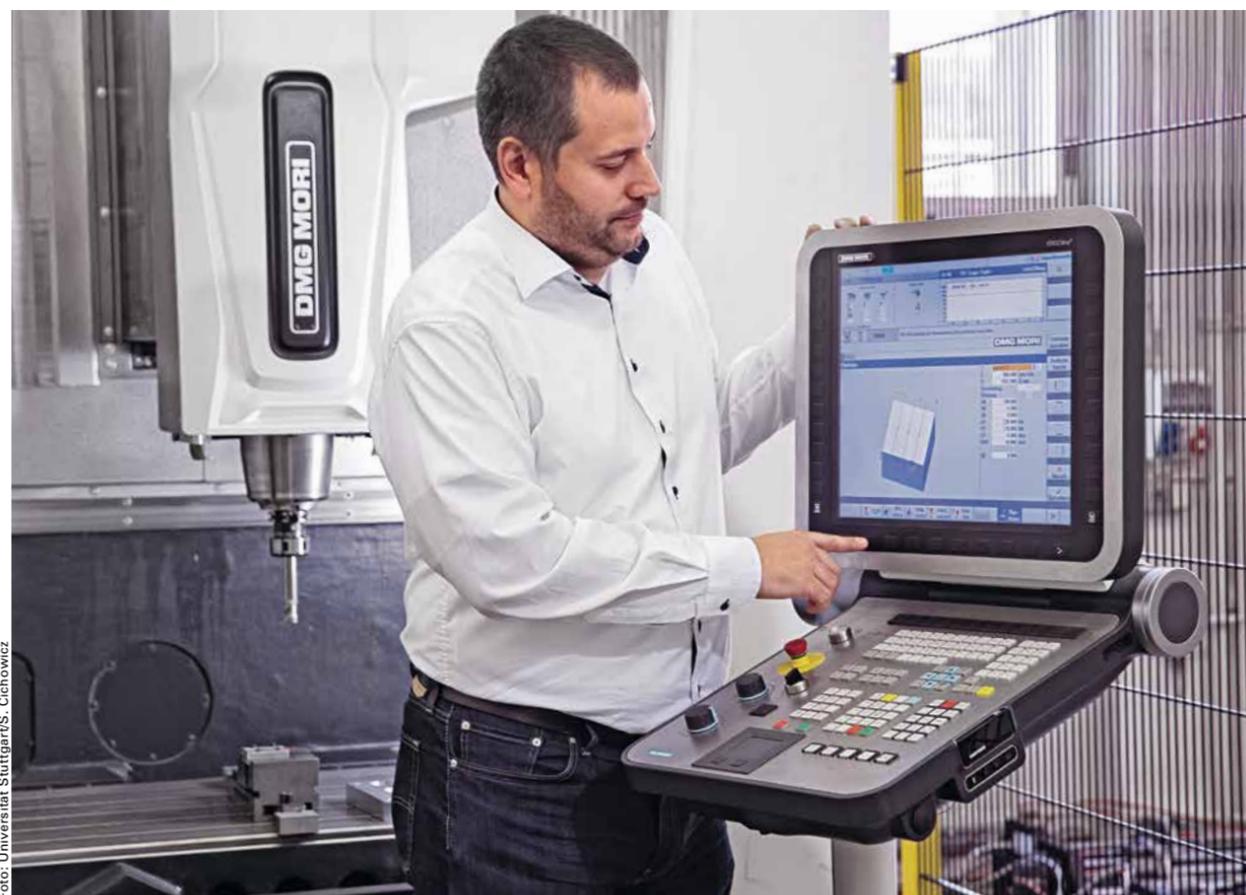


Foto: Universität Stuttgart/S. Cichowicz

Csiszar die Folgen dieses Trends. Csiszar ist Wissenschaftler am ISW der Universität Stuttgart, das von Prof. Alexander Verl und Prof. Oliver Riedel geleitet wird. In der Fertigung ist dieses „Einmal planen, mehrmals fertigen“ heute Usus: CNC-Werkzeugmaschinen, also computergesteuerte Maschinen, sind Standard. „Ein Operator kann gleichzeitig mehrere dieser CNC-Maschinen bedienen“, sagt Csiszar. „Er muss keiner seine volle Aufmerksamkeit schenken, solange sie reibungslos läuft und ihre Aufgabe abarbeitet.“ Anders sieht es in den zeitlich davor liegenden Stadien der Produktionskette aus:

Werkstücke lassen sich zwar rechnergestützt konstruieren und planen. Doch die hierfür verwendete Software kann ohne das ständige Eingreifen des Konstrukteurs nur sehr rudimentäre Aufgaben ausführen. „Jeder Schritt muss manuell definiert werden“, verdeutlicht Csiszar und fügt mit einem Augenzwinkern hinzu: „Bei diesen Softwarelösungen arbeiten die Ingenieurinnen und Ingenieure mehr als die Rechner.“ Während also ein Operator drei bis fünf CNC-Maschinen parallel betreuen kann, erfordern softwaregestützte Konstruktion und Fertigungsplanung das ständige Eingreifen.

Diese Arbeitsweise ähnelt dem heutigen Autofahren: Die verfügbaren Softwaretools sind die Landkarten. Sie bieten alle Möglichkeiten, aber die unmittelbare Aufmerksamkeit der Fahrerin oder des Fahrers ist permanent gefordert, um auf dem richtigen Weg zu bleiben. Dagegen ist bei einem autonomen Fahrzeug die Aufmerksamkeit des Fahrers nur noch in bestimmten Situationen gefragt, ansonsten kann er sich anderen Dingen widmen. „Im übertragenen Sinne bräuchte man also auch beim Konstruieren so ein hochautomatisiertes Auto, das von Standardaufgaben entlastet“, sagt der ISW-Wissenschaftler. Und wie bei der Mobilität der Zukunft gilt auch bei der automatisierten Konstruktion Künstliche Intelligenz (KI) als Hoffnungsträger.

KI-Agenten übernehmen Teilaufgaben

„Wir wollen für die computerunterstützte Fertigungsplanung existierende KI-Algorithmen nutzen, die oft sogar als Open-Source frei verfügbar sind“, sagt Csiszar. „Die Schwierigkeit dabei ist, typische Probleme der Produktionstechnik so zu formulieren, dass sie sich mit den KI-Algorithmen bearbeiten lassen.“ Dass das weniger trivial ist, als es klingt, zeigt folgendes Beispiel: Ziel beim Fräsen ist es, möglichst rasch – zum Beispiel aus einem Metallblock – ein Werkstück mit der gewünschten Geometrie und Oberflächengenauigkeit herzustellen. Planen die Ingenieurinnen und Ingenieure diesen Bearbeitungsvorgang am Computer, haben sie sehr viele Varianten zur Auswahl. Ob der Fräskopf auf parallelen Streifen hin und her bewegt oder immer nur in dieselbe Richtung, wo der Fräskopf ansetzt und mit welchem Vorschub er vorangeht – das alles hat Einfluss auf die Genauigkeit und den erforderlichen Zeitaufwand. „In unserem KI-Ansatz sollen die Ingenieure nun nicht mehr alle Einstellungen im Programm durchspielen müssen“, erklärt Csiszar. „Vielmehr haben sie ein kleines Dienstprogramm,

einen sogenannten Agenten, als Helfer. Dieser beauftragt wiederum weitere nachrangige Agenten mit Spezialaufgaben, etwa das Bohren von Löchern oder das möglichst schnelle Abtragen von Material.“ Damit das Endergebnis den Ansprüchen genügt, lernt das Agentensystem dank KI anhand realitätsnaher Simulationen. Und handelt selbstständig nach vorgegebenen Zielvorgaben. Zeit also für die Ingenieurinnen und Ingenieure, sich bis zum Vorliegen des Ergebnisses mit anderen Dingen zu beschäftigen, ohne den Optimierungsprozess selbst durchgehen zu müssen.

„Am ISW haben wir bereits mit Simulationsmethoden untersucht, wie sich KI-Agenten trainieren lassen“, erzählt Csiszar. „Ein weiterer Schritt wird sein, existierende Methoden und Formalismen zur Problembeschreibung zu katalogisieren, um zu beurteilen, welche dieser KI-Ansätze sich am besten für unsere Fragestellungen eignen.“ Es sind notwendige Vorarbeiten für ein Forschungsprojekt, das das ISW derzeit vorbereitet: Gemeinsam mit internationalen wissenschaftlichen Einrichtungen und mittelständischen Unternehmen will das ISW-Team die Grundlagen schaffen, um Tools für die computerunterstützte Fertigungsplanung künftig automatisieren zu können. Dieses Jahr ist Projektstart.

Michael Vogel

Intelligente Impulsgeber Von der klassischen Signalverarbeitung zur Nachrichtenübertragung mit neuronalen Netzen

Glasfaser- oder Breitbandkabel gehören zu den klassischen Übertragungsmedien. Die Forscher am INT untersuchen, wie sich die Telekommunikation per KI optimieren lässt.

Prof. Stephan ten Brink, Leiter des Institut für Elektrische und Optische Nachrichtentechnik (INT) der Universität Stuttgart, erforscht mit seinem 15-köpfigen Team, wie sich Künstliche Intelligenz für die Nachrichtentechnik sinnvoll einsetzen lässt. Er setzt dabei auf einen klugen Mix aus klassischer Mathematik und selbstlernenden Verfahren.

Ob Funkkanal, Glasfaser oder Breitbandkabelnetz wie beim Internet oder Kabelfernsehen: Nachrichtentechnische Systeme arbeiten heutzutage mit klassischen Signalverarbeitungsmethoden. „Das Übertragungsmedium ist uns relativ egal, solange es sich eignet“, sagt INT-Leiter Stephan ten Brink. „Wir entwickeln Verfahren, um dieses Medium möglichst gut zu nutzen.“ Jenseits der klassischen Methoden befassen sich ten Brink und sein Team mit Künstlicher Intelligenz (KI). Damit gehört das Institut zu den wenigen Forschungseinrichtungen innerhalb Deutschlands und Europas, die auf dem Gebiet der KI-Verfahren für die physikalische Übertragungsschicht arbeiten. Ziel der Ingenieurinnen

und Ingenieure ist es herauszufinden, wo die Vorteile gegenüber klassischen, mathematisch modellbasierten Verfahren liegen.

Da die physikalische Übertragungsschicht die spezifischen Gegebenheiten des Übertragungsmediums bedingt, gilt es Fragen zu klären wie: Welche Störungen sind auf einem spezifischen Funkkanal? Welche Ausbreitungsbedingungen liegen vor? Welche Echos treten auf, welche Reflexionen oder Beugungen? Welche Variationen über die Zeit sind messbar – Kurz- und Langzeit? „Insgesamt geht es darum, die physikalischen Phänomene zu ermitteln, die jedem Kanal zu eigen sind. Die Signalformung oder ‚Verpackung‘ der zu übermittelnden Information kann dann mit klassischer Signalverarbeitung und Codierung erfolgen – oder mit neuen Verfahren der KI“, beschreibt ten Brink das Prozedere am Institut. „Auf der Bit-Übertragungsschicht geht es um Fehlerschutz und die besonders gute Detektion im Rauschen, also um Störrobustheit.“ Sein Institut arbeitet derzeit daran, besonders gute Übertragungsverfahren zu entwickeln. Und leistet damit wichtige Grundlagenarbeit, um ein bestmögliches Fundament zu liefern, auf dem dann das sogenannte

Scheduling stattfinden kann. Hierbei geht es darum, Frequenzkanäle und Zeitressourcen zuzuweisen. Das Institut beherrscht das Scheduling zwar auch, fokussiert sich allerdings auf die zugrunde liegenden physikalischen Bedingungen. „Auf der Bit-Übertragungsschicht geht es um Fehlerschutz und die besonders gute Detektion im Rauschen, also um Störrobustheit.“

„Wenn Sie das Übertragungsmedium austauschen, also aus dem Funkkanal einen Glasfaser- oder Drahtkanal machen, dann ändert sich in den oberen Schichten das Routing oder Scheduling fast nicht“, erklärt der INT-Leiter. „Die Bit-Übertragungsschicht, also unser Wirkungsbereich, ist jedoch eine völlig andere, weil die physikalischen Phänomene ganz andere sind.“ So zeigen sich etwa bei der Glasfaser Dispersionsphänomene, während sich beim Kabel völlig andere Rauschphänomene ergeben.

Zerfließen der Impulse entgegenwirken

Bei der chromatischen Dispersion der Glasfaser etwa kann man die digitalen Lichtimpulse am Anfang der Faser gut sehen. Nach 80 Kilometern aber zerfließen diese Impulse, es kommt zur Dispersion

oder Zerstreung. Das geschieht, weil der Brechungsindex von der Wellenlänge abhängig ist. Die verschiedenen Signalanteile in der Glasfaser laufen also unterschiedlich schnell, weshalb sie auch unterschiedlich schnell beim Empfänger ankommen – der Impuls ist zerflossen. Da die Signaltechniker die Eigenschaften der Glasfaser sehr gut kennen, können sie eine geeignete Signalaufbereitung nach der bekannten nicht linearen Schrödinger-Gleichung klassisch mathematisch modellieren. Einfacher ausgedrückt: Sie können mathematisch bestimmen, was sie beim Empfänger tun müssen, um die Dispersion zurückzurechnen.

Genau an dieser Stelle sind Methoden der KI einsetzbar. „Diese Methoden sind viel allgemeiner anwendbar. Sie lernen den Kanal, ich muss also gar kein genaues Modell mehr abstrahieren, sondern kann einfach los senden. Ohne genaues Modell lernt dann der Empfänger zusammen mit dem Sender, wie der Kanal aussieht, kann gegebenenfalls das Signal dadurch sogar noch besser übertragen“, erklärt ten Brink. Der Grund dafür: „Viele Effekte, die vielleicht nur im echten Kanal passieren, sind im mathematischen Modell nicht berücksichtigt.“

Bessere Leistungsfähigkeit dank KI

Am Institut hat sein Team eine Funkstrecke aufgebaut. „Die haben wir zuerst mit klassischer Signalverarbeitung beaufschlagt und so übertragen. Dann haben wir neuronale Netze beim Sender und Empfänger aufgebaut. Dabei stellte sich heraus, dass die Übertragung damit noch besser werden kann.“ Es entstehen viele Effekte, die nicht im Modell abgebildet werden können, aber implizit ausgenutzt werden. Jedoch sei es „gar nicht so einfach, genau zu wissen, was das neuronale Netz via KI da an zusätzlicher Struktur erkannt hat“, berichtet ten Brink. Kurzum: Bislang können die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler am Institut zwar feststellen, dass die Leistungsfähigkeit dank KI besser wurde. Der Nachteil des Verfahrens ist aber, dass es aktuell

Das INT unter der Leitung von Prof. Stephan ten Brink (li.) gehört zu den wenigen Forschungseinrichtungen innerhalb Deutschlands und Europas, die auf dem Gebiet der KI-Verfahren für die physikalische Übertragungsschicht arbeiten.

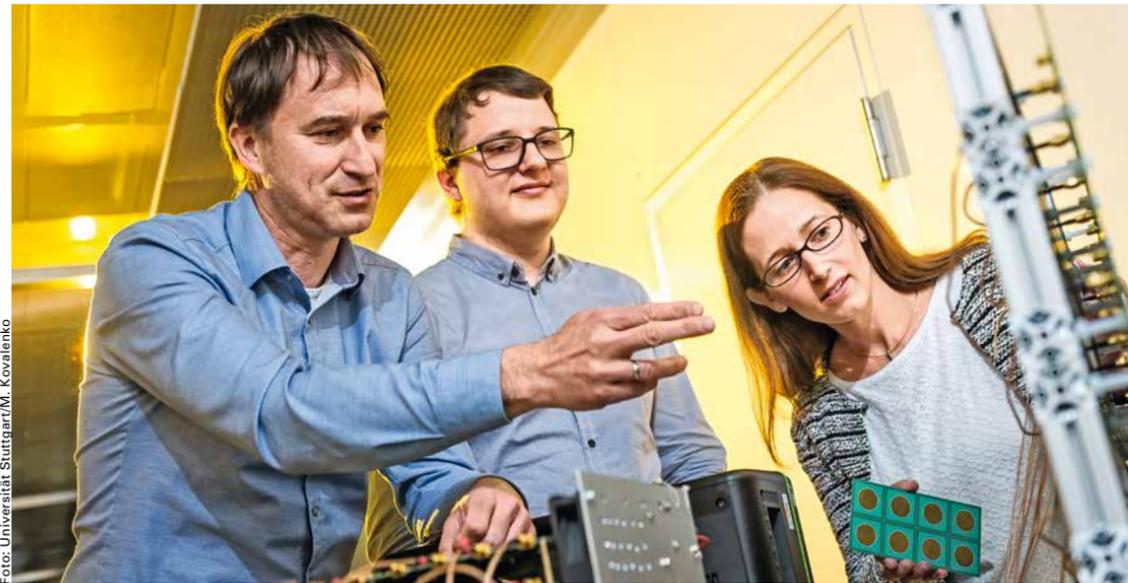


Foto: Universität Stuttgart/M. Kovalenko

beinahe unmöglich ist, aus dem trainierten Netz einfache Regeln abzuleiten, um besser zu verstehen, wodurch genau die Robustheit erhöht wurde.

Doch der Nachteil von KI ist gleichzeitig ein Vorteil. „Das Verfahren ist insbesondere dann interessant, wenn es um Kanäle geht, die schwer modellierbare Eigenschaften haben.“ Dazu gibt ten Brink einen Ausblick, wo und wie KI zukünftig eingesetzt werden könnte: „Bei uns Funktechnikern geht es immer um elektromagnetische Wellen – und das ist Physik. Bei molekularbasierter Übertragung sind als Informationsträger chemische Substanzen im Spiel und die übertragen viel langsamer.“ Manchmal gebe es aber auch Kombinationen aus beidem, beispielsweise bei Nervenbahnen. Es gibt also Übertragungskanäle, die extrem schwer mathematisch modellierbar sind und deswegen klassisch schwer behandelbar. Auch da gibt es dann vielleicht eine Möglichkeit, mit KI-Verfahren weiterzukommen.“ Bisher sei jedoch noch nicht eindeutig geklärt, dass KI in jedem Fall besser sei.

Susanne Röder

Schlaue Bohrer

Maschinelles Lernen in der Zerspanungstechnologie

Ein Produktionsschritt setzt auf dem anderen auf, die unterschiedlichen Herstellungsprozesse greifen reibungslos ineinander: Was in der industriellen Fertigung heute teils so einfach aussieht, ist mit einem gewaltigen Aufwand und viel Erfahrung verbunden. Nur deshalb lassen sich heute Massenprodukte mit null oder fast keinem Fehler wirtschaftlich herstellen. Den Entwicklern und Bedienern kommt dabei eine wichtige Rolle zu. Am Institut für Werkzeugmaschinen (IfW) der Universität Stuttgart wird erforscht, wie sich zerspanende Fertigungssysteme selbst optimieren können.

Bohrung ist Bohrung – das stimmt nur vordergründig. Tatsächlich können sie sich, obwohl mit demselben Bohrer auf derselben Maschine entstanden, sogar ziemlich voneinander unterscheiden. Womöglich sind die Bohrungen nämlich minimal elliptisch oder ihre Innenflächen sind unterschiedlich rau. Selbst wenn die Abweichungen nur im Bereich von einigen tausendstel Millimetern liegen, kann das im industriellen Alltag den Unterschied zwischen Qualitätsprodukt und Ausschuss bedeuten. „Die Ursachen für diese Schwankungen können vielfältiger Natur sein“, sagt Rocco Eisseler, Gruppenleiter Zerspanungstechnologie am IfW der Universität Stuttgart. „Drehzahl oder Vorschub des Bohrers spielen dabei eine Rolle, die Art des Materials von Werkstück und Bohrer, aber auch Faktoren wie die Kühlung während des Bohrens.“ Wie man es dreht und wendet: Keine Bohrung ist wie die andere. Und das gilt im Ergebnis auch für jede andere Zerspanungstechnologie, etwa für das Drehen oder Fräsen.

Arbeiten im Grenzbereich

„Natürlich haben die Personen, die solche Fertigungsmaschinen bedienen, das Wissen und die Erfahrung,



Foto: Universität Stuttgart/U. Regenscheit

Das Team um Rocco Eisseler (li.), Gruppenleiter Zerspanungstechnologie am Institut für Werkzeugmaschinen (IfW), erforscht, wie sich zerspanende Fertigungssysteme selbst optimieren können.

um bei den vorgegebenen Toleranzen ein Werkstück in der erforderlichen Qualität herzustellen“, sagt Eisseler. „Ausgehend von den Vorgaben der Werkzeughersteller ist es jedoch meist erforderlich, die Bearbeitungsparameter speziell an die jeweiligen Zerspanungsprozesse anzupassen, also immer das Optimum zu finden.“ Zum Beispiel, wenn es sich um sehr komplexe Anforderungen beim Werkstück handelt, oder wenn es darum geht, einen Fertigungsprozess möglichst wirtschaftlich zu gestalten. „Und immer gibt es das Problem, dass all die genannten Einflussgrößen sich gegenseitig beeinflussen“, sagt der Gruppenleiter. Bei einer bestimmten Drehzahl und einem bestimmten Vorschub des Bohrers erfüllt vielleicht die Bohrung

die geometrischen Qualitätsvorgaben, aber womöglich verschleißt der Bohrer relativ schnell. Das erzwingt dann nicht nur seinen schnelleren Austausch, vielmehr führt der Verschleiß auch zu einer geringeren Qualität des Ergebnisses in puncto Rundheit und Oberflächenrauigkeit. Alles hängt also mit allem zusammen. „Wir haben daher exemplarisch am Beispiel des Bohrens erforscht, wie sich mit einem Expertensystem die verschiedenen Anforderungen an den Fertigungsprozess optimieren lassen“, sagt der Wissenschaftler. Dazu bedurfte es vieler Bohrungen. Der Durchmesser des Bohrers und das Material des Werkstücks waren jedoch immer gleich. „Was variierte, waren quantifizierbare Parameter, also etwa die Drehzahl und die Vor-

schubgeschwindigkeit“, so Eisseler. Diese Eingangsgrößen galt es dann mit den Ausgangsgrößen von Rundheit und Oberflächenrauigkeit in Beziehung zu setzen. Dazu bediente sich das Team eines Verfahrens, das als Bayes-Netz bezeichnet wird. „Bayes-Netze ermöglichen es, einen Zusammenhang zwischen Ursache und Wirkung herzustellen, auch wenn es keine einfachen kausalen Zusammenhänge gibt“, erklärt Eisseler. „Mit ihnen lässt sich auch berücksichtigen, dass sich der Verschleiß des Bohrers sowohl auf die Eingangs- als auch auf die Ausgangsgrößen auswirkt – Bayes-Netze funktionieren sozusagen in beide Richtungen.“ Das sei insofern entscheidend, weil so neben den Korrelationen eben auch Kausalitäten erkennbar seien.

Interdisziplinäre Zusammenarbeit

Die größere Vision hinter solchen Forschungsarbeiten ist die des selbst optimierenden Fertigungssystems. IfW-Direktor Prof. Hans-Christian Möhring erklärt: „So ein System identifiziert selbstständig die Optimierungspotenziale eines Fertigungsprozesses und leitet die erforderlichen Maßnahmen ein, um diese Potenziale zu heben.“ Entweder kann dies automatisch geschehen – ein Schwerpunkt in der Forschung des IfW – oder in der Interaktion mit der Bedienerin oder dem Bediener. „Aktuell ist so ein System nur eine Vision“, sagt Möhring, „denn der ausgebildete menschliche Bediener kann vielfältige Informationen permanent erfassen, sich anbahnende Zustände intuitiv antizipieren und quasi in Echtzeit bei der Prozessführung berücksichtigen.“ Aber mithilfe des maschinellen Lernens soll sich das künftig ändern. „Das können wie im Fall des Bohrprozesses Bayes-Netze sein, es sind aber auch ganz andere Methoden wie etwa tiefe neuronale Netze denkbar“, sagt der Ingenieur. Letztlich komme das auf die konkrete Fragestellung an. „Wir arbeiten dazu interdisziplinär mit anderen Fakultäten von inner- und außerhalb der Universität

zusammen.“ Dabei geht Möhrings Team das selbst optimierende Fertigungssystem ganzheitlich an, ausgehend von der Definition des Zerspanungsprozesses in den CAD/CAM-Programmen und endend mit dem fertigen Resultat, der Qualität des Werkstücks und dem Verschleiß des Werkzeugs. „Wichtig ist immer, die dabei gewonnenen Erkenntnisse auf die Prozessparameter zurückzuführen“, betont Möhring. „Angesichts der mannigfaltigen, teils gegenläufigen Abhängigkeiten ist das nicht einfach.“ In der Industrie steckt das Thema noch in den Kinderschuhen. „Aber es gibt eine große Aufgeschlossenheit seitens der Hersteller und der Anwender der Fertigungssysteme“, so Möhring. „Nicht zuletzt durch das Schlagwort Industrie 4.0 verändert sich die Wahrnehmung.“ Auch wenn die Vision des selbst optimierenden Fertigungssystems sehr viel älter sei als die Digitalisierung der industriellen Produktionsprozesse, fügt er an. „Es gibt Betriebe, die schon viele Jahre Daten aus der Fertigung sammeln. Ungelöst ist bei vielen die Frage, wie sie diese Daten nutzen können.“ Hier gibt es aus seiner Sicht jedoch nicht die eine Lösung, sondern nur Antworten auf jeden Einzelfall.

Auch bei der Frage, ob selbst optimierende Fertigungssysteme künftig automatisch agieren sollen oder nur in Interaktion mit dem Bediener, gibt es in Möhrings Augen kein einfaches Ja oder Nein. Das verdeutlicht er mit einer Analogie zum autonomen Fahren: „Würden Sie sich einem autonomen Fahrzeug bei 160 Kilometer pro Stunde blind anvertrauen oder müsste Ihnen das Auto zumindest regelmäßig und nachvollziehbar signalisieren, dass es alles im Griff hat?“, fragt er – und es klingt rhetorisch.

Michael Vogel

Der Hochdruckdigitalisierer Das Automatisieren von Reinigungsaufgaben ist eine der anspruchsvollsten Herausforderungen

„Das bisschen Haushalt macht sich von allein“ sang Ende der 1970er-Jahre Schlagersängerin Johanna von Koczian und machte auf humorvolle Weise darauf aufmerksam, dass Putzen, Waschen und Kochen ernst zu nehmende, aufgrund wenig entwickelter Technik körperlich anstrengende Tätigkeiten waren. In den vergangenen Jahrzehnten hat sich jedoch viel verändert: Inzwischen machen sich Böden tatsächlich von alleine sauber – mithilfe von Saugrobotern. Einer der ersten Anbieter der automatischen Haushaltshelfer war das Unternehmen Kärcher, das früh erkannt hat, welche Chancen die Digitalisierung mit sich bringt. Und zwar mehr Chancen als Risiken – da ist sich Hartmut Jenner, Alumnus der Universität Stuttgart und Vorstandsvorsitzender der Alfred Kärcher SE & Co. KG, sicher.

? Kärcher hat einst den ersten Saugroboter produziert – wie steht es inzwischen um das autonome Putzen?

➤ Wir hatten tatsächlich als weltweit erster Anbieter einen vollautomatischen Bodenreinigungsroboter für Privathaushalte im Programm. Das Gerät war zu dieser Zeit nicht nur technisch führend, sondern vor allem auch konzeptionell dem Wettbewerb um Jahre voraus. Das aktuelle Nachfolgemodell, der RC 3, ist dank des Fortschritts in Rechnerleistung und Sensorik nochmals intelligenter und verfügt zum Beispiel über ein Lasernavigationssystem zur Raumvermessung. Auch kann ich über eine App und eine Kalenderfunktion nach meinen persönlichen Bedürfnissen Reinigungszone(n) bzw. -zeiten definieren. Auch im gewerblichen Bereich sind wir in Forschung und Entwicklung viel weiter als noch vor wenigen Jahren. Das gilt für Roboter für die Boden-, aber auch die Fensterreinigung. Hier beteiligen wir uns

beispielsweise über die Kärcher New Venture GmbH an Start-up-Unternehmen, die auf diesem Gebiet sehr kreative Ansätze verfolgen.

Dabei sollte man sich eines immer vor Augen führen: Die Automatisierung von Reinigungsaufgaben zählt zu den anspruchsvollsten technischen Herausforderungen überhaupt. Aus einem einfachen Grund: Reinigung ist stets ein nachgelagerter Prozess. Hinsichtlich Komplexität bedeutet dies unter anderem, dass die Umgebung, in der Reinigung stattfindet, in der Regel von jemandem vordefiniert ist, dem es herzlich egal ist, wie die Reinigung anschließend vonstattgeht. Insofern gilt für die Robotik dasselbe wie für die konventionelle Reinigungstechnik: Wer in unserer Branche nicht im Detail verstanden hat, was der Kunde jeden Tag tut und benötigt, der wird nicht lange am Markt bestehen.

? Sie stehen seit nunmehr fast zwei Jahrzehnten an der Spitze von Kärcher. Wie hat die Digitalisierung den Markt für Reinigungsgeräte in dieser Zeit verändert?

➤ Wie ich eben beim Thema Robotik schon angedeutet habe: Die teuersten Chips und Sensoren allein führen nicht zum Erfolg. Entscheidend sind kluge Konzepte, die den Kunden in seiner Arbeits- und Lebenswirklichkeit begreifen und ihm hier und heute einen sichtbaren Mehrwert bieten. Ein Stichwort in diesem Zusammenhang lautet aktuell: vernetzte Reinigung. „Vernetzt“ in vielfachem Sinne: Vernetzung von Maschine und Software, von Anwenderwissen und Datenbanksystemen, von Kunden und Dienstleister und nicht zuletzt von Hersteller und Dienstleister. Mit unserer Systemlösung „Connected Cleaning“ beispielsweise können Reinigungsfachkräfte genau dann eingesetzt werden, wenn ein Bedarf zur Reinigung entstanden ist. Unsere Branche macht in dieser Hinsicht eine Entwicklung durch, die mit der der Telematik im Kfz-Verkehr durchaus vergleichbar ist.

“

„Die Künstliche Intelligenz ist eine Technologie, die viele Bereiche des menschlichen Lebens revolutionieren wird. An uns ist es, daraus etwas wirklich Gutes für möglichst viele zu machen.“

Hartmut Jenner, Vorstandsvorsitzender der Alfred Kärcher SE & Co. KG

”

? Wie hat Kärcher auf diese Herausforderungen reagiert und was sind die Strategien für die Zukunft?

➤ Das Thema Digitalisierung haben wir bereits vor über zehn Jahren in unsere strategischen Planungen aufgenommen. Dazu zählen selbstverständlich unsere internen Prozesse vom papierlosen Büro bis zu Industrie 4.0, aber auch ganz neue, disruptive Geschäftsmodelle. So sind wir über unsere Tochter Kärcher New Venture in der Start-up-Szene international aktiv. 2017 haben wir mit der Zoi TechCon GmbH eine eigene IT-Beratung gegründet, die sich auf die Entwicklung digitaler Lösungen, Cloud Transformation und Elektrotechnik konzentriert und diese Dienstleistungen auch Dritten anbietet.

? Industrie 4.0 schafft auch neue Wettbewerbsbedingungen auf den Weltmärkten. Dennoch hat Kärcher sich bewusst gegen einen Börsengang entschieden. Wie können Kultur und Werte eines Familienunternehmens vor dem Hintergrund der Globalisierung bewahrt und entwickelt werden?

➤ Familienunternehmen und Globalisierung sind kein Gegensatz – im Gegenteil: Die Werteorientie-

rung und der starke Zusammenhalt von Eigentümern, Vorstand und Belegschaft, die für Familienunternehmen typisch sind, geben den Menschen die Sicherheit und das Selbstvertrauen, die notwendig sind, um sich Neuem und Fremdem gegenüber zu öffnen. Und letztlich kommt es doch immer auf die Menschen an. Die gesetzlichen Bestimmungen zwingen uns, bei der Bilanzierung Mitarbeiter nicht als Vermögen, sondern als Aufwand aufzuführen. Doch liegt es auf der Hand, dass der eigentliche Wert eines Unternehmens nicht in Maschinen, Gebäuden oder finanziellen Mitteln besteht, sondern in seinen Menschen. Denn Maschinen und Gebäude ohne Menschen sind ohne Wert, während ein Mensch ohne Maschinen und Gebäude nichts an seinem Wert verliert. Es ist also nicht nur ein Gebot des Anstands, den Menschen in den Mittelpunkt zu stellen, sondern auch Grundvoraussetzung für eine nachhaltige Unternehmensführung.

? Kärcher setzt seine Technologie auch für die Erhaltung von Kulturdenkmälern ein, auch in Zusammenarbeit mit der Materialprüfungsanstalt der Universität Stuttgart, wie etwa am Mount Rushmore in den USA. Worin besteht der besondere Reiz solcher Projekte?



Reinigung 4.0: Die Kombination aus innovativer Technik und klugen Konzepten, die die Arbeits- und Lebenswirklichkeit der Kunden begreifen und ihnen einen sichtbaren Mehrwert bieten, ist für Kärcher die Basis für eine effektive, intelligente Automatisierung von Reinigungsaufgaben.

Abbildung: Kärcher

➤ Unser Engagement für denkmalgeschützte Objekte ist weltweit einmalig. Keinem unserer Wettbewerber ist es bisher gelungen, uns darin zu kopieren – obwohl dieses Programm seit 1980 besteht. Welcher Sponsor kann das noch von sich sagen? Über 140 Denkmäler haben wir in den vergangenen 40 Jahren im restauratorischen Sinne gereinigt. Jedes der durchgeführten Projekte ist für sich einzigartig und stellt eine neu zu lösende Herausforderung für unsere Fachleute dar. Neben dem unschätzbaren Erfahrungsgewinn für Kärcher können wir bei diesen Aktionen öffentlichkeitswirksam unsere technische Kompetenz unter Beweis stellen und unsere Reinigungsprodukte mit Kulturgütern in Verbindung bringen, die zu dem Wertvollsten zählen, was die Menschheit besitzt.

❓ **Als Alumnus sind Sie der Universität Stuttgart in vielfacher Weise verbunden. Worin besteht Ihr Engagement und was motiviert Sie dazu?**

➤ Mein Studium zum Diplom-Kaufmann und Diplom-Ingenieur in Stuttgart hat den Grundstein für meine spätere Laufbahn gelegt. Dafür bin ich heute noch sehr dankbar. Ich selbst halte weiter engen Kontakt zur Universität Stuttgart und bringe mich immer wieder bei Vorträgen und Diskussionen ein. Unser Unternehmen kooperiert mit Ihrer Hochschule und fördert unter anderem Veranstaltungen und Projekte. Und nicht zuletzt bin ich Mitglied im Kuratorium des Förderkreises Betriebswirtschaft an der Universität Stuttgart e. V.

❓ **Was brauchen Studierende, um sich den durch Künstliche Intelligenz induzierten Veränderungen stellen zu können?**

➤ Studenten brauchen das, was ihre Vorgänger seit der Antike durch alle Jahrhunderte schon immer benötigt haben: Neugier, die Lust am Staunen, die nach Platon der Anfang aller Philosophie, also allen wissenschaftlichen Nachdenkens ist. Neugier heißt

offen zu sein, scheinbar Selbstverständliches zu hinterfragen. Freude am Wissen und Forschen, verbunden mit dem Willen, den Dingen auf den Grund zu gehen. Dazu noch die Bereitschaft, Verantwortung für sich und die Gesellschaft zu übernehmen: Mehr braucht es nicht, um auch in unserer Zeit, die sicher eine des Umbruchs ist, seinen Weg zu machen und Erfolg zu haben. Selbstverständlich kann niemand sagen, wohin die Reise geht. Aber das war schon immer so. Derjenige, der das Rad erfunden hat, hat dabei vermutlich nicht an die Formel 1 gedacht. Die Künstliche Intelligenz ist eine Technologie, die viele Bereiche des menschlichen Lebens revolutionieren wird. An uns ist es, daraus etwas wirklich Gutes für möglichst viele zu machen. Ich beneide die jungen Menschen geradezu, die in den kommenden Jahrzehnten dabei mitmachen und diese Entwicklung vorantreiben dürfen.

❓ **Was wünschen Sie sich vor diesem Hintergrund von Ihrer Alma Mater?**

➤ Ich bin mir sicher, dass die Digitalisierung nicht nur Unternehmen, sondern auch die Hochschulen vor große Herausforderungen stellt – und zugleich

Hartmut Jenner ist Vorsitzender des Vorstands der Alfred Kärcher SE & Co. KG. Der Diplom-Kaufmann und Diplom-Ingenieur arbeitet seit 1991 im Hause Kärcher. Nach seinem Studium an der Universität Stuttgart war er zunächst Assistent des kaufmännischen Geschäftsführers, bevor er zum Leiter des betrieblichen Rechnungswesens avancierte. 1994 wurde er kaufmännischer Leiter und stellvertretender Spartenleiter der Anlagentechnik.

Chancen bietet. Und zwar mehr Chancen als Risiken. Ich wünsche mir deshalb, dass die Universität Stuttgart eine Vorreiterrolle einnimmt und auch beim Thema Digitalisierung ein Zeichen setzt, dass wir in Baden-Württemberg auch in den kommenden Jahren unsere technische, wissenschaftliche und gesellschaftliche Zukunft selbst in die Hand nehmen und mit vielen Ideen mitgestalten werden.

Die Fragen stellte Andrea Mayer-Grenu



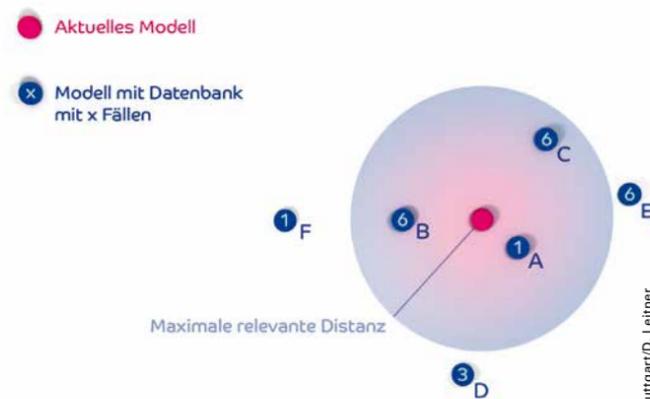
Abbildung: Kärcher

1997 übernahm Hartmut Jenner die Leitung des Geschäftsfelds Home & Garden (Endverbraucherprodukte) und war ab 1998 gleichzeitig Chief Executive Officer für Nordamerika. Zum Geschäftsführer wurde er im Jahr 2000 ernannt, ein Jahr später dann zum Vorsitzenden der Geschäftsführung der Kärcher-Gruppe und zum Vorstand der Alfred Kärcher-Förderstiftung.

Keine Kompromisse Multiphysikalische Untersuchungen sollen leichter, besser und schneller werden

Kaum ein technisches System entsteht heute noch ohne Computersimulationen. Mit ihrer Hilfe können Entwickler den Erfolg ihrer bisherigen Arbeit schneller beurteilen, als das mit dem Bau von schrittweise verbesserten Prototypen möglich wäre. Kompliziert und langwierig wird es allerdings, wenn eine Simulation gleich mehrere physikalische Eigenschaften berücksichtigen soll. Ein Forscherteam an der Universität Stuttgart nutzt Verfahren der Künstlichen Intelligenz, um solche Multiphysik-Simulationen für elektrotechnische Fragestellungen besser und schneller zu machen.

Dank Simulationen können Unternehmen die Entwicklungszeit neuer Produkte deutlich verringern. Zwar durchläuft das Objekt immer noch die klassischen Phasen der Entwicklung – von Konzept, Entwurf und Detaillierung über Prototypenbau und



Ist das Modell der aktuellen Fragestellung ähnlich genug, um bei einer Simulation vom Nutzer akzeptiert zu werden? Liegen die blauen Punkte innerhalb des Kreises, ist dies der Fall.

Abbildung: Universität Stuttgart/D. Leitner

Erprobung bis hin zur Überarbeitung –, sie sind jedoch kürzer. Mithilfe simulierter Anwendungsszenarien wissen die Entwickler sehr viel früher, wie sich ein Produkt in verschiedenen, womöglich auch extremen Situationen verhält. Solche Simulationen können allerdings nahezu beliebig komplex werden: Das gilt einerseits für den Rechenaufwand, der rasch gewaltig werden kann. Es gilt andererseits auch für die Entwickler, die alle Parameter sehr genau verstehen müssen, damit die Ergebnisse auch tatsächlich die Realität abbilden. „Besonders deutlich wird das bei sogenannten Multiphysik-Simulationen“, sagt Prof. Jens Anders, Leiter des Instituts für Smarte Sensoren (IIS) an der Universität Stuttgart. „Sie berücksichtigen gleichzeitig mehrere Teilgebiete der Physik, etwa das thermische und das mechanische Verhalten eines Systems.“ Bewegt eine Pumpe beispielsweise ihren Kolben, dann erwärmt dieser sich dabei gleichzeitig. So ist auch für das Verhalten eines Elektromotors nicht nur die Form des Magnetfelds wichtig, in dem sich der Rotor dreht, sondern auch die Frage, wie warm der Motor im Betrieb wird. Mehr noch: Zwischen den Teilgebieten bestehen wechselseitige Abhängigkeiten. Bezogen auf den Motor heißt das zum Beispiel, zunehmende elektrische Ströme bedeuten auch mehr Wärme.

Vertrackte Multiphysik

„Für die Verhaltenssimulation eines solchen Motors müssten wir zum Beispiel die Temperatur und das Magnetfeld an vielen Punkten berechnen“, erläutert Anders. „Wäre beliebig viel Rechenleistung verfügbar, ließen sich diese Punkte wie ein engmaschiges Netz über das gesamte Modell des Motors legen.“ Aber da mit Rechenleistung trotz zunehmend besserer Computertechnik auch heute noch gehaushaltet werden muss, gilt es, dieses Netz stets so grobmaschig wie möglich zu wählen. „Nur so genau wie nötig, lautet die Regel beim Simulieren“, sagt



Prof. Jens Anders (li.), Leiter des Instituts für Smarte Sensoren (IIS) und Prof. Michael Weyrich vom Institut für Automatisierungstechnik und Softwaresysteme (IAS)

Foto: Universität Stuttgart/U. Regenscheid

Anders. Es ist ein ständiger Kompromiss zwischen Rechengeschwindigkeit und Genauigkeit – bei dem allerdings kein wichtiger physikalischer Effekt verpasst werden darf.

So wissen die Expertinnen und Experten, dass sie das Netz für die Berechnung des Magnetfelds besonders entlang von Ecken und Kanten sehr engmaschig wählen müssen. Dagegen dürfen die Berechnungspunkte im Metallkörper des Motors eher weiter auseinander liegen. Anders ist es bei der Temperaturberechnung: Ecken und Kanten oder der Luftspalt des Motors sind hier eher uninteressant; dagegen leitet der Metallkörper einen Großteil der entstehenden Wärme ab, sodass es für Berechnungen dazu wiederum eines engmaschigen Netzes bedarf. „Für jedes physikalische Teilgebiet braucht es unterschiedliche Netze, die jedoch so aneinander angepasst werden müssen, dass die Ergebnisse insgesamt einen Sinn ergeben“, sagt Anders.

Aufgrund dieser komplexen Ausgangslage schöpfen Wissenschaft und Industrie das Potenzial von Multiphysik-Simulationen bislang nicht voll aus. Für das IIS und das Institut für Automatisierungstechnik und Softwaresysteme (IAS) der Universität Stuttgart war das bereits vor mehreren Jahren der Anlass, ein gemeinsames, von der Deutschen Forschungsge-

meinschaft (DFG) gefördertes Forschungsprojekt zu starten. „Die meisten Entwicklungsingenieure befassen sich nicht nur mit Multiphysik-Simulationen, sondern haben auch viele andere Aufgaben“, sagt IAS-Leiter Prof. Michael Weyrich. So kann es passieren, dass sie komplexe Multiphysik-Simulationen nicht richtig aufsetzen, viele Anläufe benötigen oder gar externe Hilfe von Spezialisten in Anspruch nehmen müssten. „Das kostet mindestens Zeit und Geld und führt im Extremfall sogar dazu, dass man die Finger lieber ganz von Multiphysik-Simulationen lässt“, so Weyrich.

Diese Hürde wollen die Forschenden der beiden Institute aus der Welt schaffen. „Für eine Multiphysik-Simulation von elektrotechnischen Systemen haben wir dem Nutzer einen intelligenten Assistenten zur Seite gestellt. Dieser erledigt verschiedene Arbeiten eigenständig, sodass der Nutzer nicht mehr ganz so tief mit der Thematik vertraut sein muss“, erklärt Weyrich. „Ausgehend von bereits vorliegenden Simulationsergebnissen, die physikalisch sinnvoll sind, empfiehlt der Assistent Lösungsansätze für bestehende Simulationsprobleme.“ Dazu erstellten die Projektbeteiligten eine Datenbank, in der der Assistent für ein zu lösendes Teilproblem einer Simulation nach ähnlichen

bekannten Fällen suchen kann. „Findet er eine entsprechende Übereinstimmung, macht er dem Nutzer davon ausgehend Lösungsvorschläge für Teilprobleme der neuen Simulation“, so Weyrich.

Intelligente Assistenz für Experten

Tatsächlich ist dieser Assistent in Aufbau und Arbeitsweise viel komplexer als hier beschrieben. Er koordiniert nämlich wiederum selbst mehrere nachgeordnete Assistenten, die jeweils für eine Teilaufgabe wie Mechanik oder Temperatur verantwortlich sind. Darüber hinaus gibt es immer verschiedene Optionen, über die die nachgeordneten Assistenten selbst entscheiden können, um jeweils den ressourcenschonendsten Assistenten auszuwählen, mit dem sich das Ziel erreichen lässt.

Trainiert haben die Projektbeteiligten das Assistenzsystem mit maschinellen Lernverfahren, prototypisch ausgeführt an der Simulation eines Mikrowellenherds, in dem ein Gefäß mit Wasser erwärmt werden soll. Anhand der gut hundert verfügbaren Lösungsverfahren spielte das Forscherteam dazu verschiedene Fälle durch, um so die beste Lösungsstrategie für die Simulation zu finden. Die Rechenzeiten verkürzten sich dadurch um das bis zu Vierfache. Um die Rechenzeit zu optimieren, kann die Software selbstständig die Rechenlast einer Simulation auf verschiedene Computer verteilen, auch dann, wenn einer ausfällt. Außerdem ist der Assistent in der Lage, die Schrittweite der Netze der physikalischen Teilbereiche zu optimieren.

„Damit ein Entwicklungsingenieur einen solchen Assistenten akzeptiert, darf das System natürlich nur die jeweils passenden Altfälle in seiner Datenbank identifizieren“, sagt Weyrich. Um dies zu erreichen, definierten die Projektbeteiligten Metriken: mathematische Maße dafür, wie gut die Altfälle in der Datenbank zur aktuellen Problemstellung passen. „Dann haben wir den Algorithmus trainiert, indem wir jeweils berücksichtigen, wie gut ein vor-

Am Beispiel eines Einspritzventils für einen Pkw-Erdgasmotor mit Direkteinspritzung untersuchten die Forschenden das Schaltverhalten sowie die Betriebssicherheit des Ventils. Die Rechnung wurden hier klassisch durchgeführt, die komplexe multiphysikalische Aufgabenstellung eignet sich aber auch für eine Prüfung mit Softwareagenten.



Foto: Universität Stuttgart/IAS

geschlagener Fall zum aktuellen Problem passt“, erklärt Weyrich. Ermutigt durch die Ergebnisse wollen Anders und Weyrich mit ihren Teams nun in einem Transferprojekt anhand von Fallbeispielen mit Realdaten zeigen, dass intelligente Assistenten beim Lösen von Multiphysik-Simulationen hilfreich sind. Warnmeldungen, um den Nutzer auf kritische Stellen in der Simulation hinzuweisen, und eine automatische Festlegung der Netzweiten könnten daraus als erster praktischer Nutzen hervorgehen. Was letztlich zu schneller verfügbaren, zuverlässigeren Ergebnissen führen könnte. Das Projekt setzen die beiden Institute der Universität Stuttgart mit Comsol um, einem schwedischen Anbieter von Software für die Multiphysik-Simulation. Dieses Jahr soll es losgehen. Welche Tragweite bessere Multiphysik-Simulationen haben, verdeutlicht Jens Anders an einem einfachen Zahlenspiel: „Angenommen, für ein zu entwickelndes Produkt müssen 30 Varianten simuliert werden. Wenn Sie nur zwei Simulationen pro Woche schaffen, dann können Sie in den benötigten 15 Wochen auch einen physischen Prototyp bauen und ihn untersuchen. Wenn Sie dagegen 15 Simulationen pro Woche schaffen, können Sie sich den Prototypenbau sparen, weil die Simulationen nach zwei Wochen fertig sind.“ Dann könnte der Entwicklungsprozess nicht nur insgesamt kürzer werden, vielmehr würden einzelne Schritte komplett verschwinden, was Zeit und Kosten spart. „Doch damit das nicht nur bei den Unternehmen gelingt, die Multiphysik-Spezialisten in der Entwicklungsabteilung haben“, sagt Weyrich, „müssen Konzepte wie unser intelligenter Assistent den Weg in die industrielle Praxis finden.“

Michael Vogel



Durchstarten in Deine Zukunft!

Wir sind ein international führender Hersteller von hochwertigen Spezialprodukten der Medizintechnik und beschäftigen weltweit in über 40 Ländern mehr als 7.500 Mitarbeiter. Wir bieten kontinuierlich spannende Themen für Praktika und Abschlussarbeiten in verschiedenen kaufmännischen und technischen Bereichen an.

Schau doch rein unter www.karlstorz.com

Generation
Education

STORZ
KARL STORZ — ENDOSKOPE

Sekundenschnell und unbeirrbar Ein selbstlernendes Programm erkennt, ob Solarzellen noch intakt sind

Mehrere Zehntausend Photovoltaik-Module erzeugen in großen Solarparks gemeinsam Strom. Ob Unwetter oder Alterung einzelne Solarzellen beschädigt haben, ermitteln Experten bislang, indem sie Fotos jeder einzelnen Zelle in diesen Modulen begutachten. Forscherinnen und Forscher der Universität Stuttgart haben ein Computerprogramm darauf trainiert, Millionen Bilder zuverlässig und schnell zu analysieren.

Der Hagelschlag hat dem Solarmodul zugesetzt: Ganze Bereiche auf dem Foto, das das Solarzentrum Stuttgart (SZS) von einem Photovoltaik-Modul aufgenommen hat, sind schwarz. Das heißt, diese Bereiche sind ausgefallen. Denn nur dort, wo die Elektrolumineszenz-Aufnahmen (EL) hell sind, fließt Strom. Die weltweit patentierte Methode der Tageslicht-EL (Daylight Luminescence System DaySy) zur Inspektion großer Solarparks hat das SZS, eine Ausgründung des Instituts für Photovoltaik (IPV) der Universität Stuttgart, zusammen mit dem IPV entwickelt. In einem vom Bundeswirtschaftsministerium geförderten Forschungsprojekt mit dem Titel „PARK“ entwickeln die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler gemeinsam mit dem Institut für Signalverarbeitung und Systemtheorie (ISS) ein Programm, das mit DaySy EL-Aufnahmen von Solarparks automatisiert untersucht. „Photovoltaik leistet einen wichtigen Beitrag beim Umstieg auf Erneuerbare Energien“, sagt Alexander Bartler, wissenschaftlicher Mitarbeiter am ISS. Er hat über das selbstlernende künstliche Prüfer-Auge seine Masterarbeit verfasst. Große Parks erzeugen schon heute ein Gigawatt und mehr Leistung. „Das kann jedoch im Laufe der Zeit absinken, wenn in den Modulen Defekte auftreten.“

Augenschein allein genügt nicht

Schon um einen mittelgroßen Solarpark mit 300 Megawatt Leistung auf diese Defekte hin zu un-

tersuchen, müssen beim DaySy EL-Verfahren mehr als 86 Millionen Bilder einzelner Solarzellen begutachtet werden. Vereinfacht gesagt, wird dabei die Arbeitsweise der Zelle umgekehrt: Normalerweise trifft Strahlung auf die Siliziumzelle, die sie in elektrische Energie umwandelt. Schickt man stattdessen Strom durch die Zelle, so sendet sie infrarote Strahlung aus – aber nur dort, wo sie intakt ist. „Indem dies mit einer speziellen Kamera und einem speziellen Messverfahren aufgezeichnet wird, lässt sich erkennen, welche Strukturen im Halbleiter defekt und welche intakt sind. Das geht mit bloßem Auge nicht“, erklärt Bartler. „Bis vor eineinhalb Jahren mussten Expertinnen und Experten jedes Bild manuell analysieren“, berichtet der Forscher. Bei der Vielzahl der Bilder kann das für die Betreiber von Solarparks ein teures Unterfangen werden. Denn nach Angaben von Michael Reuter, Geschäftsführer des SZS, empfiehlt es sich nicht nur, nach Lieferung, Montage und vor Ablauf der Gewährleistung alle Module zu prüfen, sondern auch nach jedem schweren Unwetter.

Deshalb entstand die Idee, das Verfahren zu automatisieren: „Wir haben bereits ausgewertete Zellbilder des SZS genommen und diese als Trainingsdaten für ein künstliches neuronales Netz verwendet“, führt Bartler aus. In der ersten Stufe sollte das Programm „intakt“ und „defekt“ unterscheiden. „Damit erreichen wir eine enorme Zeitersparnis.“ Für ein Modul mit 60 Zellen benötigt der Computer maximal eine Sekunde. Ein Mensch braucht bei gleicher Genauigkeit für diese Begutachtung etwa 60 bis 120 Sekunden – kann dies aber nicht über einige Stunden hinweg tun, da die Tätigkeit anstrengt und Konzentration erfordert. Eine noch statische Software korrigiert nun im ersten Schritt die Perspektive der Aufnahmen, die das SZS aus weltweiten Messkampagnen erhält. Danach unterteilt sie das Bild in Einzelaufnahmen jeder Solarzelle. Erst im folgenden Schritt übernimmt die künstliche Intelligenz die

bisherige Arbeit der Photovoltaik-Experten: die einzelnen Zellen zu begutachten und im Falle eines Defekts diesen als solchen zu klassifizieren.

Genauigkeitstraining mit 1.800.000 Bildern

Für seine ersten Versuche verwendete das Team ein bestehendes künstliches neuronales Netz der Visual Geometry Group (VGG) der University of Oxford als Ausgangsarchitektur, das es anpasste und neu trainierte. Dazu spielten die Forscherinnen und Forscher 98.000 Bilder ein, auf denen die Experten des SZS markiert hatten, welche Defekte zu sehen sind. „Wir wissen, in welchem Modul an welcher Stelle die Solarzelle sitzt und wie das Unternehmen sie klassifiziert hat. Diese Klassifikationsaufgabe übernimmt jetzt das neuronale Netz“, erklärt Bartler. Es lernt dabei lediglich die Vorschriften, wie von den Zellbildern auf die Fehler geschlossen werden kann. Schon mit dem angepassten VGG-Netz erreichte das Team eine Genauigkeit von 93 Prozent. „Das größere Problem war, dass der Datensatz sehr ungleich verteilt war: In den Daten waren etwa 95 Prozent der Solarzellen intakt, wir wollen jedoch die anderen fünf Prozent finden – und dafür hatten wir wenige Beispiele.“ Deshalb mussten die Forscher das Training speziell hierfür anpassen: Sie spielten die Bilder defekter Zellen mehrfach und leicht abgewandelt zu ihrem eigentlichen Auftreten in das Training ein. Inzwischen verwenden sie weitere Netzarchitekturen, die dem aktuellen Stand der Technik entsprechen. „Jetzt brauchen wir noch einen größeren Trainingsdatensatz, mit dem wir eine finale Version erstellen“, sagt Bartler. Dieser umfasst 1.800.000 Zellbilder. Wenn es damit trainiert hat, soll das intelligente

künstliche Gutachter-Auge noch im ersten Halbjahr 2019 endgültig einsatzbereit sein. Gleichzeitig arbeiten die Wissenschaftler daran, das System weiter zu verfeinern: Wenn es unterschiedliche Defektarten erkennt, könnte sich damit in Zukunft auch genau vorhersagen lassen, wie stark der Leistungseinbruch bei einem Modul ausfällt, berichtet Bartler. „Wenn bekannt ist, dass die Leistung um fünf Prozent pro Jahr bei einer Restlaufzeit von 15 Jahren sinkt, kann man genau ausrechnen, ob sich ein Austausch lohnt.“

Daniel Völpel



Die schwarzen Flecken auf den Panels der Testanlage sind das Ergebnis eines Hagelschauers.

Foto: Solarzentrum Stuttgart

Netzstabilität aus dem Heizkeller Intelligente Steuerungen machen regenerative Energieerzeugung wetterunabhängig

Wie kann man in Gebäuden dafür sorgen, dass Wärme genau dann erzeugt wird, wenn es für die Stabilität des Stromsystems am besten ist? Das am Institut für Energiewirtschaft und Rationelle Energieanwendung (IER) der Universität Stuttgart geplante Smart Energy Lab soll dafür intelligente Steuerungen entwickeln und so einen wichtigen Baustein zur Energiewende liefern.

Der Atomausstieg läuft, der Kohleausstieg ist für 2038 geplant. Die Bundespolitik reagiert damit einerseits auf das Sicherheitsempfinden vieler Menschen und andererseits auf die Notwendigkeit, den Kohlenstoffdioxidausstoß zu reduzieren. Klar ist aber, dass auch nach 2038, wenn das letzte Kohlekraftwerk in Deutschland abgeschaltet sein soll, eine ausreichende, stabile und sowohl wirtschaftliche als auch umweltgerechte Stromversorgung benötigt wird. Im Jahr 2018 wurden zwar bereits mehr als 40 Prozent des in der Bundesrepublik erzeugten Stroms aus regenerativen Quellen gewonnen. Dieser Anteil wird bis in 20 Jahren aller Voraussicht nach auch weiter deutlich steigen. Dennoch stellt die Energiewende – neben anderen Sektoren – auch die Stromversorgung vor Herausforderungen. Denn: Windkraftwerke oder Photovoltaikanlagen stellen den Strom nicht zwingend dann zur Verfügung, wenn er benötigt wird. Was also tun, wenn mitten in einer Bedarfsspitze Flaute herrscht und Wolken am Himmel stehen?!

Mit Fragen wie diesen beschäftigt sich Julia Kumm vom IER der Universität Stuttgart. Auf dem früheren Telekom-Areal auf dem Campus der Universität Stuttgart in Vaihingen bauen Julia Kumm und ihre Kollegen das Smart Energy Lab auf, eine Versuchsanlage für dezentrale intelligente Energiesysteme. Konzipiert wurde das Smart Energy Lab von Prof. Kai Hufendiek, dem Leiter des IER. In dem Komplex

sollen künftig Seminarräume, Büros für Forscher und Mitarbeiter, aber auch ein Gästehaus Platz finden – Nutzungsarten, die den IER-Wissenschaftlerinnen und -wissenschaftlern künftig ermöglicht, unter Realbedingungen zu forschen.

Übungsraum für intelligentes Zusammenspiel

„Das Smart Energy Lab wird ein Experimentier- raum, in dem wir möglichst flexibel unterschiedlichste Konfigurationen untersuchen wollen“, erklärt Julia Kumm. Die Versuchsaufbauten für die Heizsysteme der Zukunft dürften dabei gar nicht so spektakulär wirken, wie man im ersten Moment vielleicht denkt: „Wir nutzen aktuelle Standard- geräte, wie sie in jedem Gebäude im Heizkeller stehen könnten. Das Spannende passiert hinter der Fassade, durch das intelligente Zusammenspiel der Komponenten.“

Im Smart Energy Lab liegt der Fokus nicht darauf, die einzelnen Heizungstechnologien selbst technisch weiterzuentwickeln. „Unser Ziel ist, dass Heizungen künftig nicht mehr nur die eigene Versorgungs- aufgabe sehen, sondern intelligent auf die Situation im gesamten Energiesystem reagieren“, so Julia Kumm.

Ein Beispiel: In vielen Heizräumen stehen heute Wärme- erzeuger, die dann Warmwasser erzeugen, wenn es benötigt wird. Was aber wäre, wenn dort eine Luftwärmepumpe und ein großer Warmwasser- speicher stünden? Die Wärmepumpe könnte in einer windigen Nacht, wenn im Netz viel Strom vorhan- den ist, viel heißes Wasser erzeugen und im Speicher puffern. Im Umkehrschluss lieferte dieser Speicher auch dann Wärme, wenn gerade weniger Strom ver- fügbar ist. „Theoretisch könnte jeder Heizungskeller auf diese Weise Flexibilisierungs- oder Stabilisie- rungsaufgaben für das Gesamtsystem übernehmen“, sagt Julia Kumm. „Man kann Speicher dazu nutzen, die Erzeuger genau dann laufen zu lassen, wenn es

für das System sinnvoll ist, unabhängig vom aktuellen Wärmebedarf.“ Wichtigste Bedin- gung sei jedoch, dass die Wärmeversorgung jederzeit gesichert bleibt. Und für die Nutzer sollen die innovativen Steuerungen keinen Mehraufwand oder Einbußen an Komfort mit sich bringen. „Niemand müsste seine Gewohnheiten ändern“, betont Kumm, die außerdem dafür plä- diert, die „Teilnahme“ am Versorgungssystem fair zu vergüten.

Das Smart Energy Lab soll über Jahre hinweg als Versuchsplattform dienen, um Steuer- algorithmen für diese komplexe Aufgabe zu testen. Nimmt man Wärme- erzeuger unterschiedlicher Hersteller, ver- schiedene Speichersysteme, Gebäudegrößen und Nutzergewohnheiten sowie mehrere Steuerungs- varianten in den Versuchsaufbau auf, ergibt sich eine riesige Zahl an möglichen Konfigurationen, die die Forschenden in Stuttgart auf ihren Nutzen für das Gesamtsystem hin untersuchen wollen. Und das alles unter Realbedingungen. Das Smart Energy Lab wird auf dem Campus Vaihingen während der Versuchszeiträume eine Nutzfläche von bis zu 5.000 Quadratmetern mit Energie versorgen, unterstützt von einem redundanten Heizsystem, das außerhalb der Versuchszeitreihen die Versorgung übernimmt. Vorgesehen ist unter anderem ein Wärmespeicher mit einem Volumen von etwa 70 Kubikmetern. Am Ende sollen möglichst robuste, intelligente Steue- rungen stehen.

„Gebäudescharfe“ Prognosen

Welcher Vielzahl an Herausforderungen sich die Forscher hierbei stellen müssen, offenbart sich erst auf den zweiten Blick. Die Steuerung beruht zunächst einmal auf Lastprognosen für das Gebäu- de. Das heißt, dass das System eine „Vorstellung“ davon bekommen muss, wie der Wärmeverbrauch der nächsten Stunden und Tage aussehen wird. Außerdem muss es – etwa beim Einsatz einer

Intelligente Heizungs-
technologien sind das Ziel
der Forschungsgruppe um
Prof. Kai Hufendiek und
Julia Kumm vom IER

Foto: Universität Stuttgart/U. Regenscheit

Photovoltaikanlage – abschätzen, wie sich die Strom- erzeugung entwickelt. Und all das soll praktisch „gebäudescharf“ geschehen, also nicht etwa über eine Region hinweg betrachtet. Die Steuerungen müssen daher so lernfähig ausgestattet sein, dass sie individuelles Nutzerverhalten und das Wetter mit den Bedürfnissen des übergeordneten Stromnetzes vereinbaren können.

Wer bezweifelt, dass dezentrale Wärmespeicher einen nennenswerten Beitrag zur Energiewende und zur Netzstabilisierung leisten können, dem hält Julia Kumm einige wenige Zahlen entgegen: Ein Drittel des deutschen Endenergieverbrauchs wird in den Sektoren Haushalt und Gewerbe, Handel, Dienst- leistung für Wärme- erzeugung verursacht. Bislang werden hierfür zu rund 80 Prozent konventionelle Energieträger verwendet, wohingegen die Bundes- regierung bis 2050 einen „nahezu klimaneutralen Gebäudebestand“ anstrebt. Viel Spielraum also für kluge Steuerungssysteme, die auf Basis Künstlicher Intelligenz zur Energiewende beitragen.

„Ich finde vor allem die interdisziplinären Frage- stellungen spannend“, verdeutlicht Julia Kumm, die seit rund vier Jahren am IER forscht, den Reiz ihrer Arbeit. Sie sieht darin eine sehr praxisnahe Anwendung Künstlicher Intelligenz: Die Steuerung „erspürt“ in Echtzeit, was im angeschlossenen Haus passiert und bringt diese Erkenntnisse mit dem weitverzweigten und hochkomplexen Netz überein. Der genaue Starttermin des Smart Energy Labs steht noch nicht fest. Erste Komponenten sollen jedoch noch 2019 in den Testbetrieb gebracht werden.

Jens Eber

Das Ende der Maßlosigkeit Künstliche Intelligenz sorgt dafür, dass Kleidung optimal passt

Jeder Mensch hat eine individuelle Gestalt. Angesichts der vielfältigen Körperformen ist es gar nicht so einfach, Kleidung zu finden, die nicht nur schick ist, sondern auch optimal „sitzt“. Bei der richtigen Passform aber kommen klassische Konfektionsgrößen oft an ihre Grenzen. Expertinnen und Experten der Universität Stuttgart und der Deutschen Institute für Textil- und Faserforschung Denkendorf (DITF) nutzen deshalb KI: Sie hilft, Körperformen zu klassifizieren und das richtige Maß zu finden.

Konfektionsgrößen lassen großen Gestaltungsspielraum. Der Berechnung liegen Standardtabellen auf der Basis von Körpermaßen – in der Regel Körpergröße sowie Brust- und Taillenumfang – zugrunde. Eine verbindliche Norm gibt es jedoch nicht und jedes Modelabel macht seinen eigenen Schnitt. Zwei Menschen mit derselben Größe passen also nicht automatisch in dasselbe Kleidungsstück und derselbe Mensch kann nur selten in allen Kleidungsstücken dieselbe Größe tragen. „Wenn wir den Körper nur vermessen, können wir die vollständige Gestalt, die zum Beispiel auch durch die Proportionen zwischen einzelnen Körperteilen bestimmt wird, nicht vollständig abbilden“, erklärt Prof. Meike Tilebein. Die Kybernetikerin leitet das Institut für Diversity Studies an der Universität Stuttgart und am DITF das Zentrum für Management Research. Sie hat Diversität schon in vielen Facetten erforscht. In Kooperation mit der Avalution GmbH, einem Anbieter für Dienstleistungen und Software rund um die Themen Mode und Körpermodelle, haben sie und ihr Team die Vielfalt von Körperformen analysiert. Auf der Basis klassifizierter Morphotypen und mittels KI-Methoden gelingt es ihnen mittlerweile, die Passform von Kleidung zu verbessern.

Auf die Morphologie kommt es an

Wie groß die Bandbreite sein kann, zeigt ein Blick auf die Körperscans von verschiedenen Personen, die alle Größe 38 haben, aber jeweils eine andere Gestalt. Hohlkreuz oder aufrechte Haltung? X-Beine oder kräftige Oberschenkel? Gerade oder abfallende Schultern? „Diese und viele andere morphologische Merkmale entscheiden mit darüber, ob Kleidung richtig passt“, erläutert Thomas Fischer, Wissenschaftler an den DITF. Auswertungen von Daten aus dem Pool der Reihemessungen „Size Germany“ von Avalution verdeutlichen das Problem: Von 455 repräsentativen Frauenkörpern konnten 331 keiner eindeutigen Größe zugeordnet werden.

Das Team entwickelte für das neue Klassifikationsmodell zunächst zehn Basismerkmale, die unterteilt sind in den Gesamtkörper sowie den Ober- und Unterkörper. Hierzu gehören zum Beispiel typische Grundformen wie die „Triangel“ mit schmälere Schultern als Hüften oder das „Rechteck“, bei dem Schultern und Hüfte ähnlich breit sind. Sortiert wird unter anderem auch nach der Taillenform: Ist die Taille wie bei einer Sanduhr klar ausgeprägt oder wie in einem Kreis eher nicht? Beim Unterkörper kalkuliert das Modell unter anderem die Beinlänge mit ein, beim Oberkörper das Verhältnis zwischen Brustumfang und Rückenlänge.

Vier „menschliche“ Experten glichen unabhängig voneinander jedes einzelne dieser zehn Merkmale mit den 455 Körperscans aus der „SizeGERMANY“-Datenbank ab. So entstand eine validierte Wissensbasis, die den KI-Algorithmen als Trainingsset zur Verfügung steht und vor allem skalierbar ist. „Dies bietet die Möglichkeit, auch weitaus größere Datenpools mithilfe Künstlicher Intelligenz zu klassifizieren“, berichtet Tilebein. Zum Einsatz kommt dabei ein seit Langem etabliertes KI-Teilgebiet namens Case Based Reasoning (CBR), zu Deutsch fallbasiertes Schließen. Diese Methode des maschinellen Lernens imitiert das



Körperformen gibt es so viele unterschiedliche, wie es Menschen gibt. Sie so zu klassifizieren, dass Hersteller Bekleidung produzieren können, die passt, daran arbeiten die Wissenschaftler Prof. Meike Tilebein und Thomas Fischer.

Verhalten menschlicher Fachleute und beruht auf dem Prinzip der Ähnlichkeit. Das bedeutet: Die Software lernt und arbeitet – wie Menschen auch – unter der Prämisse, dass es für ähnliche Probleme ähnliche Lösungen gibt.

Vorteile für Hersteller und Kundschaft

Übertragen auf die Klassifizierung von Körperformen funktioniert der Prozess so: Die an den DITF entwickelten Algorithmen halten den sogenannten CBR-Kreislauf in Gang. Soll eine neue Person beziehungsweise ihre Gestalt klassifiziert werden, greift der Algorithmus auf die in der Fallbasis gespeicherten „Altfälle“ zurück und sucht dabei nach der Klassifizierung, die dem neuen Fall am ähnlichsten ist. Ausgehend von dieser Blaupause erarbeitet das System einen Klassifizierungsvorschlag. Dieser wird soweit wie möglich angepasst und dann als neue Klassifizierung in der Fallbasis gespeichert. Auf diese Weise erweitert die KI ihr Wissen Zug und Zug. Die CBR-Methode lässt nicht nur Rückschlüsse auf die individuell passendste Größe zu, sondern zum Beispiel auch auf die Häufigkeit und die Verteilung bestimmter Morphotypen. Das bietet Modefirmen, aber auch deren Kun-

dinnen und Kunden enorme Vorteile. Unternehmen können den Markt besser analysieren, über passgenauere Konfektionsgrößen ihre Produkte optimieren und die Produktion zielgerichteter planen. Vor allem im E-Commerce können die Anbieter das individuell beste Produkt in der optimalen Größe empfehlen und damit überflüssige Retouren minimieren. Und auch die Kundschaft dürfte mit ihrem neuen Lieblingsstück länger zufrieden sein, wenn es optimal passt.

Mittlerweile wird die neue Technologie erfolgreich in der Praxis eingesetzt. Morphotypen fließen in die Analysen von Avalution ein; an den DITF wiederum liefen die Auswertungen für spezielle Kundengruppen erfolgreich. Aktuell erforschen Tilebein und ihr Team die Anwendungspotenziale im Online-Handel. Und sie überprüfen, ob und in wie weit Künstliche Neuronale Netze der CBR-Methode überlegen sind. Bringt KI also mehr bezahlbare Individualisierung in die Modebranche? „Wir haben schon die Vision, uns mit digitalen Technologien dem individuellen ‚Fit‘ soweit wie möglich anzunähern, bevor wir zu nähen beginnen“, sagt Tilebein. „Aber ob dies zu den Konditionen der Massenproduktion funktioniert, muss sich erst noch zeigen.“

Dr. Jutta Witte



Foto: Stock/stockphoto-graf

Assistenzarzt Dr. KI Forschende aus Medizin und Signalverarbeitung nutzen Künstliche Intelligenz für verbesserte Diagnostik

Ein Roboter, der Menschen untersucht und Diagnosen stellt, ist wissenschaftlich-technische Zukunftsmusik und wird es vorerst auch bleiben. Doch die Künstliche Intelligenz ist heute schon in der Lage, die Diagnostik zu unterstützen. Am Institut für Signalverarbeitung und Systemtheorie (ISS, Leitung Prof. Bin Yang) der Universität Stuttgart laufen hierzu gleich mehrere Forschungsprojekte.

Künstliche Intelligenz (KI), die auf der Suche nach schwerwiegenden Erkrankungen Aufnahmen des menschlichen Körpers prüft – vielen Menschen dürfte dieser Gedanke erst einmal Unbehagen bereiten. Denn für die meisten sind Wissen und Erfahrung von Ärztinnen und Ärzten zu wichtig, als dass sie ihre Gesundheit einer Maschine überlassen wollten. Dabei sieht es so aus, als habe KI gerade in der Medizin Hochkonjunktur.

Das ist der Punkt, an dem Annika Liebgott gleich einhakt: „Ich denke, Ärzte lassen sich nicht komplett ersetzen – und das will auch niemand.“ Hauptziel sei vielmehr, Medizinerinnen und Mediziner mit den Mitteln der Künstlichen Intelligenz gute Werkzeuge für ihre Arbeit an die Hand zu geben. Insgesamt vier Doktorandinnen und Doktoranden sowie ein Postdoc arbeiten am ISS aktuell an den Schnittstellen zwischen Medizin und Informationstechnik. In dem von der Deutschen Forschungsgesellschaft (DFG) unterstützten Schwerpunkt laufen nicht nur Arbeiten an mehreren Projekten, das ISS pflegt darin auch die enge Zusammenarbeit mit der diagnostischen und interventionellen Radiologie des Universitätsklinikums Tübingen.

Technisierung schafft neue Spielräume

Aus Sicht von Doktorandin Liebgott ist gerade das Zusammenspiel von Medizin und Ingenieurwesen äußerst fruchtbar. Am ISS werden methodische Un-

tersuchungen über Signalverarbeitung und maschinelles Lernen, in den vergangenen Jahren besonders intensiv über Deep Learning und KI, durchgeführt. Diese methodischen Kenntnisse werden dann auf medizinische Fragestellungen übertragen, die in enger Kooperation mit den Experteninnen und Experten in Tübingen sind. „Wir sind zwar begeistert vom Thema, aber eben keine Mediziner“, erklärt die 29-Jährige. „In der Zusammenarbeit mit Tübingen können wir unsere Ergebnisse immer sofort auf ihren medizinischen Wert hin überprüfen.“

Aktuell wird am ISS zum Beispiel an der Detektion von Bewegungsartefakten gearbeitet. Diese entstehen unter anderem, wenn sich Patienten im MRT versehentlich bewegen. Ein Modell der Zukunft könnte sein, störende Bewegungsartefakte noch während des Scans zu erkennen und einzelne Körperpartien erneut aufzunehmen. Dies würde Kosten sparen und die Patientinnen und Patienten schonen, die nicht erneut „in die Röhre“ müssten. Auch die automatische Korrektur von unvermeidbaren Bewegungsartefakten, beispielsweise durch den Herzschlag, wird am ISS erforscht.

Ein weiteres Projekt befasst sich mit der Immuntherapie bei Krebserkrankungen. Anhand von Bildern, die vor und nach Behandlungsbeginn erstellt werden, versucht man abzuschätzen, wie sich der Behandlungsverlauf entwickeln wird. „Wir können den Radiologen viel Zeit abnehmen“, ist Annika Liebgott überzeugt. Zwar gibt es heute mehr Bilder vom menschlichen Körper denn je. Allerdings muss zum Beispiel die Vielzahl an Bildschichten eines MRT-Scans manuell durchgesehen werden. Hin und wieder lässt es sich außerdem nicht vermeiden, die Bilder für bestimmte Fragestellungen zunächst aufzubereiten. „Mediziner haben aber besseres zu tun, als Bilder zu bearbeiten“, ist sich die Doktorandin sicher. „Die manuelle Segmentierung von Organen ist beispielsweise enorm zeitaufwendig. Am ISS forschen Kollegen daher an automatisierten



Das Team um Annika Liebgott (Mitte) vom ISS der Universität Stuttgart und Radiologen des Universitätsklinikums Tübingen wollen mithilfe von KI in Aufnahmen des menschlichen Körpers nach schwerwiegenden Erkrankungen suchen.

Ansätzen mithilfe von Deep Learning.“ Nehme man ihnen Routineaufgaben ab, senke dies zum einen die Kosten, vor allem aber bleibe den spezialisierten Ärztinnen und Ärzten mehr Zeit für ihre eigentliche Aufgabe – die Diagnose.

Die Akzeptanz steigt mit dem Nutzen

Diese Aussicht, sich mehr auf die eigenen Kernkompetenzen konzentrieren zu können, war auch ein entscheidender Faktor für die Kooperation mit Tübingen, erzählt Annika Liebgott. Zu Beginn hätten manche Radiologinnen und Radiologen dem Thema Künstliche Intelligenz eher skeptisch gegenüberstanden. Nach den Erfahrungen der vergangenen Jahre habe sich das jedoch gewandelt: Immer öfter kämen heute auch Mediziner mit speziellen Fragestellungen auf die Stuttgarter Signalspezialisten zu. Die Frage der Akzeptanz stellt sich selbstverständlich auch bei den Betroffenen. Wie werden Menschen darauf reagieren, wenn Künstliche Intelligenz in so sensible Bereiche wie die Diagnose schwerer Erkrankungen vordringt? „Das wird auf die jeweilige Anwendung ankommen“, sagt Liebgott. Gegen eine Bewegungskorrektur auf den Bildern werde sich kaum jemand verwehren. Je mehr sich „Maschinen“ tatsächlicher Diagnose näherten, umso größer

könnten Bedenken sein. Auch hier verweisen die Forschenden am ISS vor allem auf die unterstützende Funktion der KI und die realistischen Potenziale der Technologie. Ein Rechner, der komplette Diagnosen erstellen kann, braucht zunächst riesige Datenmengen für seinen Lernprozess. Spätestens bei selteneren Krankheiten ist die verfügbare Datenmenge viel zu gering, um damit einen Rechner zu „trainieren“. Viel sinnvoller erscheint es daher, Künstliche Intelligenz so weit zu entwickeln, dass sie dem Diagnostiker Hinweise und praktische Hilfestellung geben kann. Untersucht ein Arzt beispielsweise gezielt die Lunge eines Patienten, könnte ein Algorithmus parallel die Aufnahmen weiterer Organe und Körperpartien auf Auffälligkeiten hin untersuchen.

Neben dem Projekt zur Immuntherapie untersucht Annika Liebgott derzeit, ob sich in Aufnahmen aus dem Computertomografen Strukturen sichtbar machen lassen, die bislang nur auf Bildern des Positronen-Emissions-Tomografen (PET) erkennbar sind. Da den Patienten für die PET-Untersuchung radioaktiv markierte Stoffe verabreicht werden müssen, ist das Verfahren relativ belastend. Die Forscherin hofft, die Zahl solcher Untersuchungen mit radioaktiv markierten Stoffen reduzieren zu können.

Jens Eber

Im Zentrum weltweiter Performance

Als Betreiber eines der schnellsten Supercomputer der Welt unterhält das Höchstleistungsrechenzentrum Stuttgart (HLRS) Kooperationsabkommen mit zahlreichen international führenden Supercomputing-Institutionen. Diese Kooperationen, die insbesondere dem Wissens- und Erfahrungsaustausch um die neuesten Trends, Entwicklungen und Anwendungen im Höchstleistungsrechnen (High-Performance Computing/HPC) dienen, resultieren in gemeinschaftlichen Forschungs- und Weiterbildungsaktivitäten.

Die internationalen Kooperationsabkommen widmen sich Möglichkeiten und Herausforderungen in Sachen der fortlaufend leistungsfähiger werdenden Hardware, Algorithmen und Softwareentwicklungen im Supercomputing-Umfeld und adressieren zukunftsweisende Visualisierungstechnologien für die Analyse von hochkomplexen Datensätzen. Die Kooperationen unterstützen den Austausch von Mitarbeitern sowie Fortbildungsmaßnahmen wie etwa regelmäßige Workshops und Trainings.

So veranstalten das HLRS und die Tohoku Universität beispielsweise einen alljährlich wiederkehrenden Sustained Simulation Performance Workshop. Zudem ist das HLRS Mitorganisator eines jährlichen deutsch-russischen Workshops, im Rahmen dessen sich Wissenschaftler beider Länder gemeinsam Problemen in HPC und der angewandten Mathematik zuwenden. Im Jahr 2018 besiegelten das HLRS und das Korean Institute of Science and Technology Information (KISTI) eine Partnerschaft, die zum Ziel hat, eine in den beiden Zentren unabhängig voneinander entwickelte Software für die Visualisierung von Simulationsdaten zusammenzuführen.

Auf Basis der verschiedenen, langfristig ausgelegten Kollaborationen, in die das HLRS sich engagiert einbringt, fördert es die länderübergreifende Zusammenarbeit zwischen der Universität Stuttgart und anderen namhaften internationalen Zentren für computergestützte Forschung.

red



Form follows material

Die Ägypterin Hanaa Dahy will intelligente Materialien in der Architektur verankern

Sie ging den üblichen Berufsweg einer Architektin, bis ihr ein Ereignis in ihrer Heimat die Augen öffnete. Fortan interessierte sich Hanaa Dahy für nachhaltiges Bauen. Ein von ihr entwickeltes Verbundmaterial aus Stroh erhielt mehrere Preise. Als Juniorprofessorin und Leiterin der Abteilung Biomaterialien und Stoffkreisläufe in der Architektur (BioMat) der Universität Stuttgart ermöglicht sie Architektur-Studierenden, Komponenten für Gebäude zu entwickeln, die nachhaltig und intelligent sind.

Auf Plakaten im Eingangsbereich des Kollegiengebäudes I auf dem Campus Stadtmitte haben Architektur-Studierende ihre Vorstellungen von einem Gebäude skizziert. Vor den Stellwänden stehen auf kleinen Podesten jeweils die dreidimensionalen Modelle dazu in Miniaturformat – filigran herausgeschnitten aus Pappe, Sperrholz, Styropor oder Plastikfolie. Vier Stockwerke darüber hat Hanaa Dahy ihr Büro im Institut für Tragkonstruktionen und konstruktives Entwerfen (ITKE). Die Juniorprofessorin fordert ein Umdenken bei der Planung von Gebäuden und setzt dafür bei den Studierenden an. „Normalerweise fertigen Architekten im Studium schöne Entwürfe an, wissen aber nicht unbedingt, wie das Gebäude gebaut werden könnte“, erzählt Dahy. Für die Architektin stehen jedoch das Material und seine Eigenschaften am Anfang jedes Konzepts. Gibt es ein Material für den gewünschten Zweck? Wie lässt sich das gewünschte Material anpassen oder eigens kreieren? Dass selbst in heißen Ländern Häuser im Stil der internationalen Architektur mit großen Glasfronten gebaut werden, die mit Klimaanlagen heruntergekühlt werden müssen, kann die 38-Jährige nicht nachvollziehen. „Die lokale Architektur, die zu den Ressourcen und dem Klima vor Ort passen, gibt es fast nicht mehr“, klagt Dahy.

Anstatt nur auf bewährte Materialien zurückzugreifen, gibt Dahy den Studierenden die Möglichkeit, auch neue Materialien zu entwickeln und mit smarten Systemen wie Solarzellen oder Sensoren zu experimentieren. „Das ermöglicht innovative Systeme, die wirklich nachhaltig sind und den enormen Energieverbrauch reduzieren können“, erklärt Dahy. Im „Material Matter Lab“, das sie am Institut eingerichtet hat, tauchen die angehenden Architektinnen und Architekten in die Materialwissenschaft ein, eignen sich elektrotechnische Grundlagen an und lernen zu programmieren.

Materialien inspirieren zu Design

Zu den Design-Modellen, zu denen sich die Studierenden in der Folge inspiriert fühlten, gehört etwa eine Fassade aus pyramidenförmigen Elementen. Diese erzeugt nachts dank eines lichtstreuenden Textilüberzugs besondere Lichteffekte. Die Energie für die auf der Rückseite befestigten LEDs kommt von Solarzellen, die geschickt in die Fassadenelemente integriert sind. Ein weiteres Ergebnis: Ein wellenförmig gearbeitetes Holz wird durch Elektromagneten beweglich und lässt sich so an unterschiedliche Lasten anpassen bei gleichzeitiger Materialersparnis. Es ließe sich etwa in Stühlen oder Brücken einsetzen.

Eine andere Studentin entwickelte eine intelligente Wand, die ihre Farbe ändert, wenn sich ihr eine Person nähert. „Normalerweise macht es einen nicht glücklich, sich einer Wand zu nähern, aber diese Wand interagiert mit einem“, freut sich Dahy. Es gebe diesen Trend in der Architektur, auch Unterhaltungsräume zu schaffen: Die Wand könnte so zu einem Besuchermagneten für Museen oder Treffpunkte werden. 2016 zeichnete die Baden-Württemberg Stiftung das Lehrkonzept mit einem Senior-Fellowship für Innovationen in der Hochschullehre aus. Zufälligerweise markierte diese Förderzusage gleichzeitig den Beginn ihrer Junior-Professur am ITKE.

Seit Kurzem beschäftigt sich Dahys Arbeitsgruppe auch mit weichen, anschmiegsamen Robotern für das smarte Gebäude der Zukunft, vor allem aber mit den dafür benötigten Materialien. Anders als die massiven Roboter aus Metall, können sie amöbenartig ihre Gestalt verändern und künftig noch in den entlegensten Ecken eines Gebäudes rechtzeitig Schäden detektieren, um das Gebäude möglichst lange zu erhalten. Soft Robotics könnte auch helfen, mobile, sich selbst aufbauende Wandelemente zu verankern, um etwa Sporthallen oder andere große Räume je nach Bedarf zu unterteilen. Jan Petrs, ein Mitarbeiter Dahys, forscht an solchen Robotern, die über ein Röhrensystem dorthin kriechen, wo sie gerade gebraucht werden. „Motoren oder elektrische Teile



Foto: Universität Stuttgart/U. Regenscheit

können das Gebäude extrem teuer machen“, sagt der Architekt. Daher habe man darüber nachgedacht, solche gemeinsam genutzten mechatronischen Teile einzusetzen.

„Die Strände waren verschwunden“

Dahy erinnert sich noch genau an den Moment vor etwa 15 Jahren, als sie begann, sich für nachhaltiges Bauen zu interessieren. Als künstlerisch begabtes Kind, das schon viele Mal-Wettbewerbe gewonnen hatte, ist sie als einziges von fünf Geschwistern in die Fußstapfen ihrer Mutter getreten, einer Architektur-Professorin. Bereits während des Architekturstudiums in Kairo gründete sie ein eigenes Architekturbüro und entwarf ganz klassisch Gebäude. Das erste Projekt waren zwei Krankenhäuser. Doch dann besuchte sie eines Tages erstmals nach fünf Jahren wieder den Strand ihrer Kindheit in Alexandria: „Die Strände, an denen ich immer gespielt habe, waren einfach verschwunden“, erzählt Dahy. Der Wasserspiegel war in sehr kurzer Zeit angestiegen und hatte die Strände überschwemmt. Der Schock über die Folgen des Klimawandels habe sie wachgerüttelt, so Dahy. Das Naheliegendste, was sie dem als Architektin entgegensetzen konnte: den Einsatz ressourchenschonender Materialien beim Bauen.

„In Ägypten gibt es einzelne Forscherinnen und Forscher sowie Nicht-Regierungs-Organisationen, die sich mit dem Thema Nachhaltigkeit beschäftigen, und tolle junge Architektinnen und Architekten, die das lokale Klima in ihren Entwürfen berücksichtigen. Aber es gibt keine gesetzliche Regelung wie in Deutschland, die Bauherren verpflichtet, energieeffizient zu bauen, besonders in staatlichen Gebäuden“, berichtet Dahy. 2009 kam die Architektin mit ihrer Familie und einem Stipendium der ägyptischen Regierung nach Stuttgart, um ihre Doktorarbeit zu beginnen. „Ein wichtiger Grund war dieser großartige Verbund zwischen Industrie und Forschung, den es in Stuttgart gibt“, sagt Dahy.

An der Universität Stuttgart, an der bereits viele ihrer ägyptischen Professoren promoviert hatten, fand sie ihre zweite Heimat. Weil Verbundwerkstoffe am ITKE ein großes Forschungsthema sind, konzentrierte sich Dahy auf Alternativen aus nachwachsenden Rohstoffen. Aus Stroh, das bei der Getreideernte als Abfall anfällt, und Biokunststoffen hat sie biegsame und zudem recyclingfähige Faserplatten entwickelt. Die Anwendungsmöglichkeiten sind vielfältig, egal ob Design-Möbel, gekrümmte Trennwand oder Sandwich-Element zur Wärmedämmung. Auf der Fensterbank ihres Büros hat Dahy die Preise aufgereiht, die sie dafür bekommen hat. Einige Materialproben auf dem hinteren Ende des großen Tisches in Dahys Büro zeugen von den vielfältigen Formen, die der neue, mittlerweile patentierte Verbundwerkstoff einnehmen kann.

Bewährungsprobe für neue Materialien: ein Forschungspavillon

Von nachhaltigen Materialien war es dann nur noch der konsequente nächste Schritt Richtung zukunftsweisende Architektur, auch Komponenten zu verwenden, die auf intelligente Art und Weise auf ihre Umwelt reagieren. So entstand unter anderem aus Dahys flexiblen Platten, die sie während der Doktorarbeit entwickelt hatte, im Sommer 2018 direkt neben den beiden Kollegengebäuden der erste Forschungspavillon der Abteilung BioMat. Rund 40 Studierende hatten davor über zwei Semester lang verschiedene Designvorschläge erarbeitet. Anschließend analysierten andere Nachwuchsarchitektinnen und -architekten, wie sich die gekrümmten Pavillon-Elemente optimal mit flexiblen Solarzellen zur Stromerzeugung ausstatten, oder wie sich Schäden detektierende Roboter in den Pavillon integrieren lassen.

„Es gibt eine riesige Bewegung Richtung Digitalisierung und Smartness in allen Bereichen. Deutschland war hierbei schon immer stark und gehört in diesem Bereich besonders in Europa zu den führenden

Nationen“, konstatiert Dahy. Ihre Erfahrung mit biobasierten Verbundwerkstoffen und die Ideen zu nachhaltigem Bauen fasst sie zurzeit in einem Fachbuch zusammen. Auch die Markteinführung für ihr Produkt würde sie gerne weiter vorantreiben, doch es fehlte neben Forschung, Lehre und dem Aufbau der neuen Forschungsgruppe bisher schlicht die Zeit. Selbst wenn sie die Nacht zum Tag macht, etwa um die Fragen des chinesischen Patentamts zu beantworten, um eine Patentausweitung für ihren Stroh-basierten Verbundstoff auch auf China zu erreichen. Wenn es um die Sache geht, ist sie bereit, hart zu arbeiten. Selbst als sie in der Halbzeit ihrer Doktorarbeit ihr zweites Kind bekommt und ihr Mann in Tübingen parallel an seiner Doktorarbeit arbeitet, erlaubt sie sich keine Auszeit. „In bestimmten Zeiten war ich nicht so glücklich mit meinen Schritten, es ging mir nicht schnell genug, aber letztlich lief es doch ganz gut“, erzählt Dahy und lacht. Der Erfolg gibt ihr Recht.

Helmine Braitmaier



Foto: Universität Stuttgart/ITKE, BioMat

Der Jahresbericht der Universität Stuttgart enthält eine übersichtliche Leistungsbilanz in kompakter Form für das zurückliegende Jahr 2018.

Bei Interesse können Sie den Bericht bei der Hochschulkommunikation der Universität Stuttgart anfordern (E-Mail: hkom@uni-stuttgart.de) oder unter folgendem Weblink als PDF herunterladen:

<https://www.uni-stuttgart.de/universitaet/profil/zahlen/>

**ZAHLEN
DATEN
FAKTEN**

2018

Impressum

Herausgeber: Universität Stuttgart

Anschrift: Universität Stuttgart, Keplerstraße 7, 70174 Stuttgart
Telefon 0711 685-82211, Fax 0711 685-82291
hkom@uni-stuttgart.de, www.uni-stuttgart.de

Redaktion: Dr. Hans-Herwig Geyer, Andrea Mayer-Grenu,
Sympra GmbH (GPRA)

Konzept: Tempus Corporate
www.tempuscorporate.zeitverlag.de

Gestaltung und Umsetzung: Zimmermann Visuelle Kommunikation
www.zimmermann-online.info

Anzeigen: ALPHA Informationsgesellschaft mbH
info@alphapublic.de, www.alphapublic.de

Druck: Nino Druck GmbH

Auflage: 7.000

ISSN: 2198-2848

Internet: www.uni-stuttgart.de/forschung-leben/



Gedruckt auf RecySatin, hergestellt aus 100% Recyclingfasern.

Universität Stuttgart



MONTEUR M/W/D ANLAGENBETRIEB

Ob Industrie, Verkehrssicherheit oder Privathaus: Ein Stromausfall würde eine Krise auslösen. Im schlimmsten Fall auch menschlich. Damit das nie geschieht, braucht unser Land eine sichere Energieversorgung. Dies ist eine Herausforderung, der wir uns tagtäglich stellen. Sie wollten schon immer Ihre Fähigkeiten für eine sinnvolle Sache einsetzen und am Wohlergehen unserer Gesellschaft mitwirken? Spontan auftretende und knifflige Systemfehler lösen Sie mit Leichtigkeit? Und wenn es drauf ankommt, ist auf Sie Verlass? Dann sollten wir uns kennenlernen.

Als Übertragungsnetzbetreiber in Baden-Württemberg arbeiten wir gemeinsam mit unseren Partnern daran, die Energiewende möglich und die Stromversorgung für alle sicher zu machen.

Wollen Sie das größte Umweltprojekt Deutschlands mitgestalten und vorantreiben? Dann schicken Sie uns Ihre aussagekräftige Bewerbung, mit dem möglichen Eintrittsdatum und Ihrer Gehaltsvorstellung. Gestalten Sie das Netz für eine lebenswerte Zukunft. Mit uns. Wir freuen uns auf Sie.

Weitere Fragen beantwortet Ihnen gerne Frau Saskia Hartmann unter der Telefonnummer +49 711 21858- 3606 oder per E-Mail bewerbung@transnetbw.de

IHRE HERAUSFORDERUNGEN

- / Sie betreuen das Höchstspannungsnetz in den Themen Freileitung, Umspannwerke und Infrastruktur
- / Sie sind verantwortlich für den Betrieb und die Instandhaltung des Höchstspannungsnetzes nach VDE 0105 T 100 einschließlich der dazugehörigen Umspannwerke
- / Sie führen Fehlersuche und Entstörungsmaßnahmen durch
- / Sie unterstützen den Bereich in der kontinuierlichen Verbesserung der Prozesse und Methoden
- / Sie beraten und unterstützen den Teamleiter in Fragen der Wartung, Instandhaltung und Entstörung
- / Sie nehmen am Bereitschaftsdienst der Betriebsstelle teil und starten Ihre Tätigkeit von Ihrem Wohnort aus, für welche Sie ein Betriebsfahrzeug erhalten

IHR PROFIL

- / Sie besitzen eine abgeschlossene Berufsausbildung im Bereich der Elektrotechnik
- / Sie verfügen idealerweise bereits über Kenntnisse und Erfahrungen im Schaltanlagenbau, Betrieb oder der Instandhaltung von Übertragungs- oder Verteilnetzen (Hoch-, Mittel- und Niederspannung)
- / Sie zeichnen sich durch Teamfähigkeit, selbstständige Arbeitsweise und Flexibilität aus
- / Sie haben eine hohe Einsatz- und Reisebereitschaft und besitzen einen Führerschein der Klasse B



Universität Stuttgart

TAG DER WISSENSCHAFT

Vorbeikommen – Staunen – Mitmachen

Campus Vaihingen
13:00 – 19:00 Uhr

- Schüler-Campus
- Workshops & Wettbewerbe
- Experimente zum Anfassen und Mitmachen
- Science Espresso – Slam mit Vorträgen aus Mathematik und Physik

2019
29.06.



Mehr Infos zum Programm unter:
www.uni-stuttgart.de/tag

Jan Reich,
Leiter Softwareentwicklung
Prozessautomatisierung

FESTO

Kreativer Vollblut-Informatiker?

Dann lassen Sie uns Industrielwelten bewegen.

Festo ist ein unabhängiges Familienunternehmen mit über 20.000 Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern und weltweit führend in der Automatisierungstechnik. Grundlage unseres Erfolgs ist das gelungene Zusammenspiel großartiger Ingenieurskunst und ausgezeichneter Software-Entwicklung. Damit das funktioniert, setzen wir Ideen keine Grenzen. Ein großes Versprechen. Mit dem wir gemeinsam mit Ihnen Industriegeschichte schreiben möchten. Egal ob als Vollblut-Informatiker, Freak oder Softwareentwickler m/w/d: Ihr Talent wird sich bei uns wohlfühlen. Mit Sicherheit.

Your solid base for lift-off

www.festo.com/karriere