

Universität Stuttgart

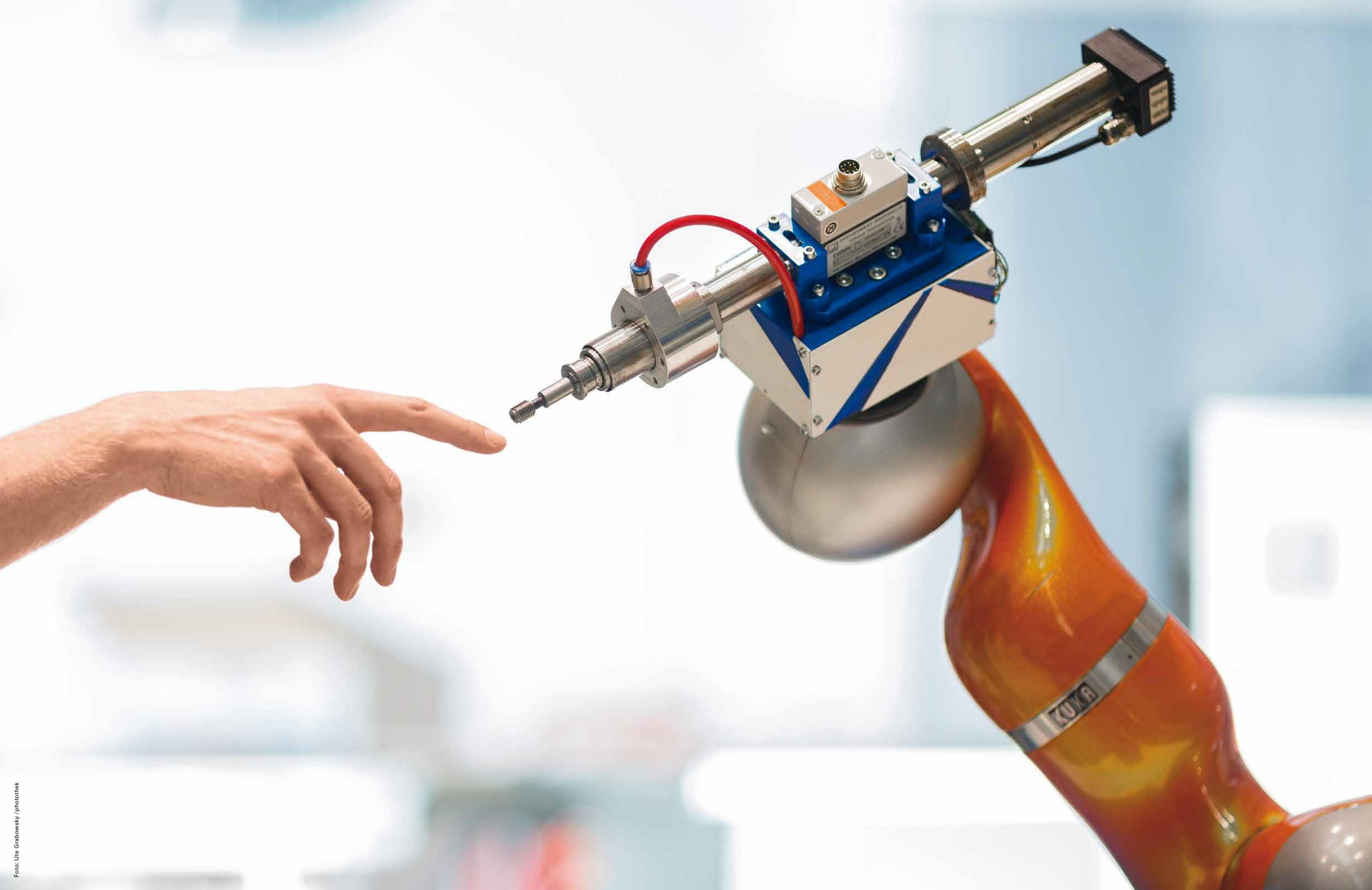
ARBEIT  
TECHNIK  
4.0



# FORSCHUNG LEBEN

DAS MAGAZIN DER UNIVERSITÄT STUTTGART

NR. 09 NOVEMBER 2017



## Liebe Leserinnen und Leser,

auf der Grundlage der vielfältigen Erfolge, die die Universität Stuttgart in den zurückliegenden Jahren in Forschung und Lehre erzielt hat, werden wir die inner- und außeruniversitäre Zusammenarbeit aller Disziplinen künftig noch intensiver ausprägen. Gemäß unserer strategischen Prämisse der vernetzten Disziplinen zu interdisziplinären Forschungsverbänden sollen daher im kommenden Jahrzehnt alle Kernbereiche der Universität noch enger zusammenrücken und einen übergreifenden Profilbereich für die gesamte Universität bilden. Diesen Profilbereich haben wir mit der Zielsetzung überschrieben: „Intelligente Systeme für eine nachhaltige Gesellschaft“. Denn es ist unsere Überzeugung, dass wir nur mit einem solchen ganzheitlichen Ansatz die großen gesellschaftlichen Themen unserer Zeit erfolgreich bearbeiten können – von Digitalisierung, Klimawandel über Energie und Mobilität bis zur Produktion der Zukunft, deren Ausgestaltung und Folgen in dieser Ausgabe von FORSCHUNG LEBEN im Mittelpunkt stehen.

Die Zukunft der Arbeit ist das Thema des Wissenschaftsjahres 2018. Unter dem Zeichen „4.0“ soll es beleuchten, wie die Digitalisierung in rasantem Tempo unsere Produktions-, Arbeits- und Lebenswelt verändert. Neue Technologien und Fabrikationsprozesse faszinieren und versprechen einen enormen Zuwachs an Effizienz. Doch sie werfen auch Fragen auf. Wie kann das Zusammenspiel von Mensch und moderner Technik gelingen? Wie müssen die Abläufe gestaltet werden, damit Firmen profitieren und die Beschäftigten „mitkommen“? Und welche Anforderungen stellen sich an das Bildungssystem?

Vor diesem Hintergrund widmet sich die vorliegende Ausgabe unseres Magazins FORSCHUNG LEBEN unter dem Rahmenthema „Arbeit Technik 4.0“ der gesamten Bandbreite eines durch die Digitalisierung angestoßenen Transformationsprozesses, der alle Bereiche der Wirtschafts- und Arbeitswelt,



Foto: Ulf Regenscheid

„Es ist unsere Überzeugung, dass wir große gesellschaftliche Themen unserer Zeit wie die Digitalisierung nur mit einem ganzheitlichen Ansatz erfolgreich bearbeiten können.“

Wolfram Ressel  
Rektor der Universität Stuttgart

”

aber auch Individuum, Gesellschaft und Umwelt erfasst. Lesen Sie, wie Mensch und Maschine in der neuen (Arbeits-)Welt zusammenfinden und wie dieses Miteinander per Tablet oder Smartwatch gesteuert werden kann. Lassen Sie sich mitnehmen in die ARENA2036, in der die Fabrik der Zukunft schon heute Realität wird. Erfahren Sie, ob digital gesteuerte Autoflotten tatsächlich den befürchteten Verkehrskollaps verhindern oder wie Industrie 4.0-fähige Batteriesysteme dem Elektroauto zum Durchbruch verhelfen können.

Eine spannende Lektüre wünscht Ihnen  
Ihr

*Wolfram Ressel*



**FREIRAUM** 02  
Editorial

**NACHRICHTEN** 06

**GEMEINT****Potenziale nicht nur für die Industrie**

Dr. Nicole Hoffmeister-Kraut, MdL, Wirtschaftsministerin Baden-Württemberg, über die Auswirkungen der Transformation 4.0 auf die Wirtschafts- und Arbeitswelt.

**WIE SOLL DAS GEHEN?** 14  
**Schöne neue (Arbeits-)Welt**

Im „Future Work Lab“ untersuchen Forscherinnen und Forscher das Miteinander von Mensch und Maschinen.

**Reales Lernen im virtuellen Raum** 20  
Forscher setzen bei der Weiterbildung in Unternehmen auf Virtual Reality und Smart Data.

**PATENT** 24  
**Die Entwicklungshelferin**

Birgit Renzl kennt die Arbeitswelt der Zukunft.



**IM BILDE** 28

**ARENA2036 – Zusammenarbeit unter einem Dach**

Der Forschungscampus ARENA2036 ist das neue Zuhause von zahlreichen Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftlern aus Industrie und Forschung.

**FAKTOR X** 46

**Der vergessene Ingenieur**

Romanisten und Germanisten untersuchen die Bedeutung der Technik bei Bühnenstücken.

**Eine Frage der Perspektive** 49



Digitalisierung als Chance für mehr Inklusion

**RPM – REVOLUTIONS PER MINUTE** 52

**FUTUR 22** 70

**Blendgefahr gebannt**

Forscher kombinieren Display mit LED-Technik für intelligente Fahrzeugbeleuchtung.

**SATELLIT** 86  
**Herr der Sägen**



Dr. Nikolas Stihl führt die motormanuelle Waldarbeit ins digitale Zeitalter.

**WELTSICHT** 90  
**Netzwerken 4.0**

**Programmiertes Glück** 92

Der Südtiroler Daniel Graziotin und sein Team suchen nach den Happinessfaktoren für Software-Entwickler



**IMPRESSUM** 96

**FORSCHUNG ERLEBEN**

54 **DEM DIGITALEN ZWILLING AUF DER SPUR**  
**Forscher arbeiten an der Verschmelzung der physischen und virtuellen Welt in der Produktion.**

60 **„SMART IST, WAS WIRTSCHAFTLICH IST“**  
**Unterstützung für kleine und mittlere Unternehmen beim Einstieg in Industrie 4.0**

62 **DAS COCKPIT DER ZUKUNFT**  
**Neue Wege in der Kommunikation von Mensch und Maschine**

66 **R2D2S CLEVERE BRÜDER UND SCHWESTERN**  
**Intelligente Roboter für Kliniken und Pflegeheime**

72 **SICHERE PROZESSE, WENIGER BAUSTELLEN**  
**Wissenschaft und Industrie entwickeln gemeinsam langlebige Betonautobahnen.**

75 **AUTONOMER KOLLAPS**  
**Verkehrsforscher berechnen die Auswirkungen fahrerloser Autofloten.**

78 **FLEXIBILITÄT GEWINNT**  
**Das Projekt SynErgie macht die Industrie fit für Erneuerbare Energien.**

82 **TURBOGANG EINGELEGT**  
**Labornetzwerk Baden-Württemberg für Elektromobilität eröffnet**

84 **VERSCHENKTES POTENZIAL**  
**Modulare Batteriekonstruktion für mehr Effizienz**



## ... aufgespießt

### Schneller zur Professur

Planbare und transparente Karrierewege für den wissenschaftlichen Nachwuchs: Das ist das Ziel von insgesamt 1.000 zusätzlichen Tenure-Track-Professuren, für die der Bund eine Milliarde Euro bereitstellt. In der ersten Runde werden 468 Tenure-Track-Professuren an 34 Universitäten gefördert, davon zwölf an der Universität Stuttgart. Die Tenure-Track-Professur sieht nach erfolgreicher Bewährungsphase den unmittelbaren Übergang in eine Lebenszeitprofessur vor. Prof. Wolfram Ressel, Rektor der Universität Stuttgart, betonte sehr erfreut: „Mit der bewilligten Förderung von zwölf Tenure-Track-Professuren haben wir nunmehr die Möglichkeit, unsere strategischen Ziele der Nachwuchsförderung und Personalentwicklungsplanung nachhaltig zu verfolgen.“

Ressel kündigte an, die Universität Stuttgart werde bis zum Jahr 2030 weitere zehn Tenure-Track-Professuren aus eigenen Mitteln einrichten und besetzen. Hiermit könne nicht nur der wissenschaftliche Nachwuchs gestärkt und früher in die Professur gebracht werden, sondern auch die Tenure-Track-Professur als neuer Karriereweg über alle Fakultäten der Universität hinweg implementiert werden.

### Exzellenzstrategie: Vier Clusterskizzen erfolgreich

Für gleich vier von fünf im Rahmen der Exzellenzstrategie des Bundes und der Länder zur Stärkung der Spitzenforschung eingereichte Clusterskizzen darf die Universität Stuttgart einen Vollertrag stellen. Dies gab die Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG) im September bekannt. Bundesweit wurden aus 195 Antragsskizzen 88 ausgewählt.

Prof. Wolfram Ressel, Rektor der Universität Stuttgart, zeigte sich sehr erfreut über die Entscheidung des Expertengremiums und



Foto: UI Regenscheit

sagte: „Heute ist ein sehr guter Tag für alle Forscherinnen und Forscher, aber auch für alle Studierenden der Universität Stuttgart. Die Zulassung von gleich vier Antragsskizzen ist ein besonderer Erfolg und ein Meilenstein für die Universität Stuttgart.“

Einen Vollertrag ausarbeiten kann die Universität Stuttgart für die Clusterskizze „Daten-integrierte Simulationswissenschaften“, die an den sehr erfolgreichen Exzellenzcluster „Simulation Technology“ (SimTech) anknüpft und darauf abzielt, die Anwendbarkeit und Genauigkeit von Simulationen sowie die Verlässlichkeit der darauf basierenden Entscheidungen zu verbessern. Die Clusterskizze „Quantenwissenschaften – von den Grundlagen zur Anwendung“ soll die Entwicklung von Quanteninstrumenten der Zukunft vorantreiben und wird von den Universitäten Stuttgart und Ulm gemeinsam mit dem Max-Planck-Institut für Festkörperforschung zum Vollertrag ausgearbeitet. Die Clusterskizze „Integratives computerbasiertes Planen und Bauen für die Architektur“ zielt auf ein übergeordnetes, interdisziplinäres „Co-Design“ von Methoden, Prozessen und Systemen beim Bauen. Und das Clustervorhaben „Verstehen verstehen“ entwickelt neue Ansätze, um besser zu verstehen, was geschieht, wenn wir Sprache und Text (nicht) verstehen.



**Theoretisch**  
bringt Ihnen die Uni  
alles bei.

**Praktisch**  
lernen Sie bei uns  
jeden Tag dazu.

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](http://www.enbw.com/jobmarkt)



Wir machen das schon.



**Bewegung für gelähmte Hände**

Forscherinnen und Forscher der Universitätsklinik Tübingen, der Universitäten Tübingen und Stuttgart sowie der Hochschule Reutlingen arbeiten gemeinsam an einem Hand-Exoskelett, das gelähmten Menschen die Funktion der Hand zurückgibt und ihnen mehr Selbstständigkeit im Alltag ermöglicht. Halbseitig gelähmte Personen wie Schlaganfallpatienten sollen das Exoskelett ohne Hilfe anlegen und nutzen können. Durch den Einsatz neuartiger, transparenter und elastischer Kunststoffe können auch die kosmetisch-ästhetischen Bedürfnisse der Anwender berücksichtigt werden.

Für Patienten, die noch Muskelaktivität an den Händen haben, jedoch nicht genügend Kraft für sichere Greifbewegungen aufbringen, sollen sogenannte elektromyografische Elektroden zum Einsatz kommen. Hierfür konnten Prof. Oliver Röhrle und Leonardo Gizzi vom Lehrstuhl Kontinuumsmechanik der Universität Stuttgart gewonnen werden. Urs Schneider, Bereichsleiter Fraunhofer IPA, wird mit seinem Team am Institut für Industrielle Fertigung und Fabrikbetrieb (IFF) der Universität Stuttgart das alltagstaugliche Hand-Exoskelett konstruieren sowie alle erforderlichen Sensoren zusammenfügen.



Foto: Vitiello Hand

**VERBUNDFORSCHUNG****3D-Drucken aus der Cloud**

Geringe Kosten, verkürzte Produktionszeiten, flexible und kundenindividuelle Produktion – das verspricht die additive Fertigung von Modellen, Prototypen, Werkzeugen und Endprodukten. Zudem ermöglicht es das unter dem Stichwort „3D-Druck“ bekannte Verfahren, einzel-



Foto: Arburg

ne Eigenschaften bereits in der Planung zu verbessern. Das Karlsruher Institut für Technologie (KIT) und die Universität Stuttgart starteten nun mit Unterstützung des Landes Baden-Württemberg eine 3D-Print-Cloud für die additive Fertigung. Die als Prototyp konzipierte Plattform bildet den Prozess von der Konstruktion bis hin zur Simulation der Bauteileigenschaften zunächst digital ab. Nutzer können dann die Eigenschaften bearbeiten und über die Cloud an ein Unternehmen in der Umgebung weiterleiten, das die benötigten Anlagen und Kapazitäten hat, um das Bauteil herzustellen. So können Prototypen und sogar kleine Produktchargen individuell und schnellstmöglich gefertigt werden.

**Neues Leistungszentrum****„Mass Personalization“**

Die Landesregierung Baden-Württemberg fördert den Aufbau eines Leistungszentrums für „Mass Personalization“ mit fünf Millionen Euro. Dies gaben Wirtschaftsministerin Dr. Nicole Hoffmeister-Kraut und Wissenschaftsministerin Theresia Bauer am 16. Oktober bekannt. Das Zentrum ist eine gemeinsame Initiative der Universität Stuttgart und der Fraunhofer-Institute am Standort Stuttgart. Es erforscht interdisziplinär und branchenübergreifend Methoden, Verfahren, Prozesse, Produktsysteme und Geschäftsmodelle zur Herstellung personalisierter Produkte. „Mass Personalization“ beinhaltet die umfassende Neuausrichtung der Produktentstehung, vom Aufbau eines ganzheitlichen Nutzerverständnisses bis zur nahtlosen Umsetzung in personalisierten Produkt- und Dienstleistungsinnovationen mit Kosten, die kaum höher sind als die von Massenprodukten.

**Top-Noten bei THE-Ranking**

Platz 62 in Computer-Science, Platz 87 im Bereich Engineering & Technology: Beim internationalen „Times Higher Education World University Ranking 2017/18“, kurz THE-Ranking, konnte sich die Universität Stuttgart unter mehr als 1.100 Top-Universitäten weltweit gleich zweimal in der Spitzengruppe platzieren. Hervorragend gerankt wurde die Universität Stuttgart insbesondere beim Kriterium Wissenstransfer, der auf den Drittmitteln von Unternehmen pro Wissenschaftler basiert: Hier erreichte der Bereich Engineering & Technology mit 99,4 und der Bereich Computer-Science mit 97,8 von jeweils 100 möglichen Punkten Traumnoten.

In der Gesamtwertung konnte die Universität Stuttgart mit Ranggruppenplatz 201-250 weltweit ihre Platzierung im oberen Viertel behaupten und rangiert unter den 25 besten Universitäten Deutschlands.

**HERAUSRAGEND****Digitalisierung auf dem Flughafenvorfeld**

Auch bei Sonderfahrzeugen bieten die Digitalisierung und das autonome Fahren vielfältige Chancen, wobei der Gewinn an Komfort und Sicherheit den größten Pluspunkt darstellen. Letzteres ist auch auf dem Flughafenvorfeld von großer Bedeutung, hinzu kommt ein eminenter wirtschaftlicher Aspekt. So



Foto: Flughafen Stuttgart GmbH

ergeben sich durch den Einsatz autonomer Zugmaschinen hier pro Fahrzeug und Jahr Einsparpotentiale im hohen fünfstelligen Euro-Bereich.

Vor diesem Hintergrund fördert das Ministerium für Wirtschaft, Arbeit und Wohnungsbau Baden-Württemberg am Institut für Arbeitswissenschaft und Technologiemanagement (IAT) der Universität Stuttgart ein Forschungsvorhaben zu innovativen Technologien im Sonderfahrzeugbau auf dem Vorfeld des Stuttgarter Flughafens mit rund 400.000 Euro. Profitieren sollen insbesondere kleine und mittelständische Unternehmen.

## Potenziale nicht nur für die Industrie Der Transformationsprozess „4.0“ wird die gesamte Wirtschafts- und Arbeitswelt erfassen

**Industrie 4.0 stärkt die Kernkompetenzen der baden-württembergischen Wirtschaft, doch viele kleinere und mittlere Unternehmen tun sich mit dem Sprung hin zu intelligenten Produktionssystemen noch schwer. Wie kann die Politik möglichst allen Unternehmen Orientierung für eigene Wege zur Industrie 4.0 geben und welche Rolle kann die Wissenschaft dabei spielen? Antworten auf diese Fragen gibt Dr. Nicole Hoffmeister-Kraut, Ministerin für Wirtschaft, Arbeit und Wohnungsbau Baden-Württemberg, in einem Gastbeitrag für FORSCHUNG LEBEN.**

Baden-Württemberg hat beim Aufbruch zur digitalen Transformation der Wirtschaft ausgezeichnete Startvoraussetzungen. Das Land ist die Herzkammer des deutschen Maschinenbaus und Sitz hochinnovativer Automobilhersteller mit ihren Zulieferern. In unserem Land sind viele führende Anbieter industrieller Informations- und Kommunikationstechnik beheimatet – egal, ob es um weltweit renommierte Systeme oder um ganz spezielle Nischenmärkte geht. Führende Forschungseinrichtungen legen dafür eine exzellente wissenschaftliche Basis. Gemeinsam decken sie die gesamte Bandbreite von Technologien für die digital vernetzten Wertschöpfungsketten der Zukunft ab. Die besondere Stärke unserer Wirtschaft ist es, hochspezialisierte Produkte in kleinen Stückzahlen und bester Qualität herzustellen. Industrie 4.0 wird unserer Wirtschaft helfen, diese Kernkompetenz zu schärfen.

Eine große Gefahr besteht allerdings darin, dass viele kleinere und mittlere Unternehmen von der Entwicklung hin zu intelligenten Produktionssystemen abgekoppelt werden. Als wesentliche Glieder der Wertschöpfungsketten sind sie aber unverzichtbar für durchgängig digital vernetzte Prozesse. Unser ambitioniertes Ziel muss es daher sein, möglichst

alle Unternehmen zu erreichen und ihnen Orientierung für eigene Wege zur Industrie 4.0 zu geben. Während die Digitalisierung bei produktionsnahen Technologien bereits in vielen Unternehmen Einzug hält, gibt es noch einen großen Nachholbedarf bei der Gestaltung neuer Geschäftsmodelle. Gut zwei Drittel aller befragten Industrieunternehmen ab hundert Beschäftigten wollen einer Studie von Bitkom zufolge zwar ihre Prozesse optimieren, aber nur 14 Prozent von ihnen haben das vorrangige Ziel, neue datengetriebene Geschäftsmodelle zu entwickeln. Gerade in diesen Geschäftsmodellen liegt aber das größte Potenzial der Industrie 4.0, hier kann echter Mehrwert generiert werden.

### Chancen der Digitalisierung zeigen

In der „Allianz Industrie 4.0 Baden-Württemberg“ organisieren wir im engen Schulterschluss mit allen wesentlichen Akteuren ein Bündel an Maßnahmen, um insbesondere den kleinen und mittleren Unternehmen die Chancen zu zeigen, die ihnen die digitale Vernetzung von Wertschöpfungsketten und hochflexible Prozesse bieten. So identifizieren wir beispielsweise in unserem Wettbewerb „100 Orte für Industrie 4.0 in Baden-Württemberg“ Best-Practice-Beispiele für Produktionsprozesse, neue Produkte oder Geschäftsmodelle. Dass mehr als die Hälfte der Preisträger kleine und mittlere Unternehmen sind, zeigt deutlich, dass Industrie 4.0 in unserem Land bereits im Mittelstand angekommen ist.

Doch nicht nur in der Industrie eröffnen sich durch die Digitalisierung große Potenziale. Der Transformationsprozess wird grundsätzlich alle Branchen erfassen. Mit der Initiative Wirtschaft 4.0 richten wir uns über die Industrie hinaus insbesondere auch an Handwerk, Handel, Gastgewerbe und Dienstleistungsbetriebe. Damit bilden wir das Dach über sämtliche Digitalisierungsaktivitäten des Ministeriums für Wirtschaft, Arbeit und Wohnungsbau. Und wir schaffen den Boden dafür, dass die Wirtschaft

des Landes in ihrer Vielfalt dazu beiträgt, dass Baden-Württemberg auch im Digitalzeitalter führende Innovationsregion in Europa bleibt.

Neben den bereits erwähnten digitalen Lösungen gerade im Bereich Industrie 4.0 wollen wir die Digitalisierung im Rahmen der Initiative Wirtschaft 4.0 insbesondere auch in der gesamten Fläche des Landes voranbringen. Deshalb werden wir den Aufbau regionaler Digital Hubs fördern. Die Digital Hubs sollen regionale Leuchttürme für digitale Innovation und Transformation sein. Sie sollen bestehende Unternehmen, Start-ups und weitere Akteure, etwa aus der Forschung, räumlich zusammenbringen, digitale Technologien erfahrbar machen und die gemeinsame Entwicklung digitaler Projekte unterstützen. Um die Übertragung von wissenschaftlichen Erkenntnissen in wirtschaftliche Wertschöpfung voranzubringen, fördern wir innovative Transferprojekte im Bereich der Digitalisierung der Wirtschaft. Zudem haben wir im Juli 2017 die modellhafte Erprobung der „Digitalisierungsprämie“ gestartet, mit der wir kleinere mittelständische Unternehmen bei konkreten Umsetzungsschritten der Digitalisierung unterstützen.

### Veränderte Arbeitswelt

Die Gestaltung der Arbeitswelt 4.0 ist ein zentrales Anliegen des Ministeriums für Wirtschaft, Arbeit und Wohnungsbau. Schließlich braucht die intelligente, wandlungsfähige Fabrik der Zukunft ein optimales Zusammenspiel von Mensch, Technik und Organisation. Die Anforderungen an die Arbeitskräfte werden sich verändern. Wir müssen die Beschäftigten und die nachwachsende Generation gut auf diesen kommenden Wandel in der Arbeitswelt vorbereiten. Dafür fördern wir den Aufbau von 16 „Lernfabriken 4.0“ an beruflichen Schulen im Land. In diesen Lernfabriken, die auf realen Industriestandards basieren, wird das abstrakte Konzept von Industrie 4.0 für Nachwuchskräfte und Beschäftigte greifbar. In der Ausgestaltung



Foto: Ministerium für Wirtschaft, Arbeit und Wohnungsbau

Wir brauchen kreative und mutige Wissenschaftler, die bereit sind, über den Tellerrand hinauszublicken.

Dr. Nicole Hoffmeister-Kraut, MdL  
Wirtschaftsministerin Baden-Württemberg

”

der Anlagen werden die Schulen von einer großen Zahl von Unternehmen, Kammern und weiteren regionalen Akteuren unterstützt. In keinem anderen Bundesland gibt es Initiativen, mit denen die Kompetenzen zu Industrie 4.0 derart intensiv in die Fläche gebracht werden.

Ein weiterer Fokus unserer Bemühungen gilt den Führungskräften. Denn sie werden in Zukunft komplexe Probleme nicht mehr alleine lösen können, sondern müssen die Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter darin unterstützen, Kompetenzen zu entwickeln und Stärken zu entfalten. Auch das Thema flexibles, mobiles Arbeiten ist eine Herausforderung, der sich Führungskräfte zunehmend stellen müssen.

Die Digitalisierung der Arbeitswelt wirft auch Fragestellungen im Arbeitszeitrecht auf, die heute noch nicht vollständig absehbar sind und die nicht für alle

gleichermaßen durch den Gesetzgeber beantwortet werden können. Benötigt werden echte Freiräume in den Betrieben. Zugleich brauchen wir weiterhin klare Richtlinien, denn die hohen Standards unseres Gesundheits- und Arbeitsschutzes dürfen und wollen wir nicht aufgeben. Ich setze deshalb auf die Partnerschaft von Arbeitgebern und Arbeitnehmern, sei es auf der Ebene von Tarifverträgen zwischen Gewerkschaften und Verbänden, oder durch Vereinbarungen auf betrieblicher Ebene.

#### Wissenschaft erarbeitet Grundlage

Die Landesregierung will die Auswirkungen der Digitalisierung auf die Arbeitswelt in Baden-Württemberg auch arbeitswissenschaftlich begleiten, um eine fundierte Grundlage für künftige politische Diskussionen und Entscheidungen zu bekommen. Deshalb fördern wir eine mehrjährige Studie der Universität Hohenheim, bei der es darum geht, auf Basis der aktuellen Datenlage den Ist-Stand und die Entwicklung digitaler und mobiler Arbeit in Baden-Württemberg zu analysieren. In die Studie ist auch das Fraunhofer IAO eingebunden. Die Zwischenergebnisse werden regelmäßig veröffentlicht, zum Beispiel auf der Website des Wirtschaftsministeriums. An der Universität Stuttgart haben wir ein Verbundprojekt gefördert, das die Kompetenzen der Zukunft in der Industrie 4.0 erforscht und Empfehlungen für die berufliche Weiterbildung erarbeitet hat. In einem anderen Projekt geht es um Industrie 4.0 im Einsatz für die zukünftige Entwicklung und Fertigung von Solarzellen. Ganz aktuell haben wir ein Forschungsvorhaben bewilligt, das sich mit innovativen Technologien an der Schnittstelle zwischen Fahrzeug, Infrastruktur und den zugrundeliegenden Prozessketten im Vorfeldbereich von Flughäfen beschäftigt.

Die technische Wissenschaft trägt wesentlich dazu bei, dass Baden-Württemberg ein international herausragender Premiumstandort für die digitalisierte Wirtschaft ist. Bedeutende Innovationen entstehen

oft an den Schnittstellen zwischen wissenschaftlichen Disziplinen, denn nur im Zusammenspiel zwischen Ingenieuren, IT-Fachleuten, Mathematikern und Betriebswirten können sich neue Geschäftsmodelle entwickeln. Wenn Systemspezialisten mit Arbeitswissenschaftlern zusammenarbeiten, können agile Organisationen entstehen, die die ganz spezifischen Fähigkeiten von Mensch und Maschine perfekt zusammenfügen. Wir brauchen kreative und mutige Wissenschaftler, die bereit sind, über den Tellerrand hinauszublicken. Und solche, die die Fertigstellung einer wissenschaftlichen Arbeit nicht als den Abschluss ihres Engagements, sondern als den Beginn der Umsetzung ihrer wissenschaftlichen Ergebnisse in konkrete Anwendungen begreifen. Ich hoffe, dass immer mehr junge Menschen den Schritt gehen, mit ihren Kompetenzen ein eigenes Unternehmen aufzubauen. Auf diese Weise wird das Innovationsland Baden-Württemberg jung und lebendig bleiben.

*Dr. Nicole Hoffmeister-Kraut*

➤ **Dr. Nicole Hoffmeister-Kraut ist Mitglied des Landtags von Baden-Württemberg und wurde am 12. Mai 2016 zur Ministerin für Wirtschaft, Arbeit und Wohnungsbau des Landes Baden-Württemberg ernannt. Die gebürtige Balingerin studierte BWL an der Universität Tübingen und promovierte 2001 an der Universität Würzburg. Ihre Berufstätigkeit begann Dr. Hoffmeister-Kraut bei der Investmentbank Morgan Stanley, danach arbeitete sie bis 2005 als Analystin bei Ernst & Young in London und Frankfurt. Sie ist seit 1999 Gesellschafterin der Bizerba SE & Co. KG in Balingen. Dort war sie von 2014 bis zu ihrem Amtsantritt als Ministerin Mitglied des Aufsichtsrats.**



## Impulse setzen...

... für Ihre eigene Zukunft und für die Zukunft intelligenter Automation. Praktikum und Abschlussarbeit beim Innovationsführer.

[www.festo.com/studenten](http://www.festo.com/studenten)

## Schöne neue (Arbeits-)Welt Im „Future Work Lab“ untersuchen Forscherinnen und Forscher das Miteinander von Mensch und Maschine

**Die Digitalisierung und Vernetzung der Produktion bezeichnen Fachleute als vierte industrielle Revolution – nach Dampfmaschine, Fließband und Einführung der EDV. Daraus leitet sich der Begriff Industrie 4.0 ab, der für intelligente Lösungen steht, mit denen massenhaft Daten bearbeitet und ausgewertet werden können. Dank dieser modernen Technologien wird sich das Arbeitsumfeld der Unternehmen drastisch verändern. Beschäftigte müssen künftig flexibler werden – können aber auch mehr Verantwortung übernehmen.**

Die Ingenieure stehen im Labor und diskutieren, wie sie den neuen Roboter konstruieren wollen. Wo soll der Schwenkarm hin? Wo die Achsen? Welche Bewegungen soll er ausführen? Mit Worten ist das schwer zu erklären – und technische Zeichnungen sind aufwendig. Also setzen die Ingenieure Brillen auf, die auf den ersten Blick wie moderne Ski-Brillen aussehen. Doch diese Geräte sind keine Sportartikel, sondern Mixed-Reality-Brillen. Wer sie trägt, kann mit kleinen Gesten dreidimensionale Projektionen steuern, worauf sich das dargestellte Bild verändert. Die anderen Beteiligten verfolgen die Szene in ihren eigenen Brillen, die mit kleinen, durchsichtigen Bildschirmen versehen sind. Sie sehen, wie die Achsen des abgebildeten Roboters wandern und der Greifarm in verschiedene Positionen schwenkt. Wie in einem interaktiven Videospiel kann jedes Mitglied der Gruppe immer wieder das dargestellte Bild verändern.

Szenen wie diese sind noch Fiktion. Doch bald könnten sie den Alltag in Unternehmen des Anlagen- und Maschinenbaus bestimmen. Nicht nur in deren Entwicklungsabteilungen. Auch Beschäftigte, die ungeübt im räumlichen Denken sind, hätten auf diese Weise die Möglichkeit, sich an der Planung von Arbeitsabläufen zu beteiligen. Der richtige Platz

für eine Maschine? Die optimale Arbeitsweise von Werkzeugen? Solche Fragen ließen sich ohne viele Worte beantworten.

Das Beispiel der Mixed-Reality-Brille zeigt, welche Vorzüge der geschickte Einsatz moderner Technik in der Arbeitswelt von morgen haben könnte. „Fachgespräche würden effizienter geführt, Ideen ließen sich einfacher präsentieren und umsetzen“, sagt Thilo Zimmermann, Projektleiter am „Future Work Lab“. In diesem Innovationslabor für Arbeit, Mensch und Technik bündeln mehrere Institute der Universität Stuttgart mit den Fraunhofer-Instituten für Arbeitswirtschaft und Organisation (IAO) und für Produktionstechnik und Automatisierung (IPA) ihre Kompetenzen rund um die vernetzte Produktion.

### Vorteile und Risiken der digitalen Arbeitswelt

Teil des Campus der Universität Stuttgart ist die Forschungshalle der ARENA2036. Sie ist groß wie ein Fußballfeld und steht als flexible Forschungsfabrik für die Entwicklung von Produkt und Produktion für die Fabrik 4.0. Die Wände sind frisch verputzt, darüber polierte Metallrohre. Das Tageslicht fällt durch ein Glasdach in den Innenraum. Eine Fabrik, so hell und glänzend, als hätte sie der Designer des iPad entworfen. Auf einer Galerie im ersten Stock sitzen die Forscherinnen und Forscher in ihren Büros. Sie kommen aus den Ingenieurwissenschaften, aber auch aus der Betriebswirtschaftslehre und den Sozialwissenschaften. Gemeinsam arbeiten sie an Projekten, die zeigen sollen, wie die tägliche Arbeit im digitalisierten Unternehmen aussehen könnte, welche Vorteile sie hat und wo welche Risiken lauern.

Im „Future Work Lab“ haben sie mehr als ein Dutzend Ideen als Demonstrationsobjekte aufgebaut. „Sie sollen einen konkreten Eindruck vermitteln, wie die Arbeitswelt in Zukunft aussehen könnte“, sagt Zimmermann und zeigt auf einen orange la-



Um alle Möglichkeiten der Digitalisierung auszuschöpfen, braucht es Instrumente und Software, die auch Menschen nutzen können, die keine IT-Fachleute sind. Zum Beispiel in Form von Smartphones, Tablets oder Smartwatches.

Foto: Universität Stuttgart/Max Kowalek

kierten Roboter. Bislang durfte so eine Maschine nur hinter einem Schutzzaun arbeiten, denn der Stoß ihres Stahlarms kann lebensgefährlich sein. Das Ausstellungsstück in der Forschungsfabrik demonstriert hingegen eine sichere Lösung: Der Roboter arbeitet nicht automatisch, sondern lässt sich mit Hilfe eines Lenkrads steuern – ähnlich einem Pferd, das man am Zügel führt. Die Kraft, die der Bediener anlegt, regelt die Stärke, mit der sich der Roboter bewegt. Es handelt sich also nicht um eine vollautomatische Produktion, in der Menschen nichts mehr zu suchen haben. Im Gegenteil: „Der Roboter wird zum Kollegen“, sagt Zimmermann. „Die Fingerfertigkeit des Menschen verbindet sich mit der Kraft des Roboters.“

### Keine menschenleeren Fabriken

Im Maschinen- und Anlagenbau machen sich Entwicklungsabteilungen seit jeher Gedanken darüber, wie sie Abläufe effizienter gestalten können. In den 1980er-Jahren arbeiteten Produktionsplaner an radikalen Konzepten. „Computer Integrated Manufacturing“ hieß die Devise. Das Ziel war, eine menschenleere Fabrik zu schaffen, in der Produkte vollautomatisch gefertigt werden. Controller fanden die Idee interessant – für die Gewerkschaften war

sie der blanke Horror. Für Thomas Bauernhansl steht heute fest, dass es dazu nicht kommen wird. Der Professor ist Leiter des Instituts für Industrielle Fertigung und Fabrikbetrieb (IFF) der Universität Stuttgart und beschäftigt sich seit vielen Jahren mit Themen rund um die Wandlungsfähigkeit der Produktion. Er ist gleichwohl überzeugt, dass sich die Arbeit im Industriebetrieb stark verändern wird. Den klassischen Industriearbeiter des 19. und 20. Jahrhunderts werde es bald nicht mehr geben – also die Person, die am Fließband steht und die immer wieder denselben Handgriff ausführt. Mit zunehmender Digitalisierung würden aber die Tätigkeiten anspruchsvoller. Das heißt, wer bislang an einer Maschine stand und sich um einen einzigen Prozessschritt kümmerte, muss künftig elektronisch gesteuerte Anlagen kontrollieren und selbst Wege finden, wie er die Produktion effizienter gestalten kann. „Einfache Tätigkeiten wird es immer weniger geben“, sagt Bauernhansl: „Die Mitarbeiter werden zu Dirigenten der Wertschöpfung.“ Im Management setzt sich die Einsicht durch, dass der Arbeiter an der Basis oft am besten weiß, wie Abläufe organisiert werden müssen. Schließlich befindet er sich oft seit Jahrzehnten auf demselben Posten und kennt jedes Detail in seinem Umfeld. Trotzdem war

er bislang oft nur Befehlsempfänger. Um die Produktionsplanung kümmerte sich das Management, das die Vorgaben auf klassischem Weg von oben nach unten durchsetzte. Mit den entsprechenden Folgen: Wer an der Werkbank stand, fühlte sich übergangen, was zu Frustration und sinkender Motivation führte. In der Arbeitswelt von morgen könnten auch Arbeiter an Planungsaufgaben teilhaben.



Foto: Universität Stuttgart/Max Kovalenko

Durch Minimotoren verstärkt das Exoskelett Bewegungen und entlastet damit Menschen bei schweren Tätigkeiten.

### Begeisterung durch Smartwatch

Die Fabrik von morgen soll sich dank digitaler Technik quasi selbst organisieren. Wie das in der Praxis aussehen kann, darüber denkt Michael Reutter nach. Der Jungunternehmer hat an der Universität Stuttgart Maschinenbau studiert und später am Fraunhofer-IAO gearbeitet. Vor gut einem Jahr gründete er mit einem Freund ein eigenes Unternehmen namens Aucobo. „Wir wollen dem einfachen Arbeiter Instrumente an die Hand geben, mit denen er von der Digitalisierung profitieren kann.“ Reutter berichtet, dass es in modernen Fabriken noch immer die Tendenz gäbe, Beschäftigte weder zu fördern noch zu fordern. Diese würden organisiert, ohne dass sie ihr oft über Jahrzehnte gesammeltes Wissen einbringen könnten. „Doch so lassen sich nicht alle Möglichkeiten der Digitalisierung nutzen“, sagt er. Heute ließe sich industrielle Software so gestalten, dass auch Menschen sie nutzen könnten, die keine IT-Fachleute sind. Schließlich kann auch jeder ein Smartphone oder ein Tablet bedienen, ohne dafür ausgebildet zu sein. Grundlage seines Programms ist eine handelsübliche Smartwatch, die unabhängig arbeitet – also ohne ein extra Smartphone. Mit ihrer Hilfe kann sich der Arbeiter eine eigene App

zusammenstellen. „Das ist vergleichbar mit den digitalen Werkzeugkästen, die man zum Bau einer Website verwendet“, sagt der 29-Jährige. Früher war es ziemlich schwierig, einen eigenen Internetauftritt herzustellen. „Heute kann das praktisch jeder“, meint Reutter. Auf dieselbe Weise programmierte Reutter mit seinem Partner eine mobile Maschinensteuerung, die sich intuitiv per App bedienen lässt. Sie ist etwa in Fabriken einsetzbar, in denen ein Arbeiter für mehrere Prozessschritte verantwortlich ist, wie zum Beispiel Pressen, Klemmen, Kleben. Bislang hat der Arbeiter auf alle drei Maschinen gleichzeitig aufgepasst. Er musste zum richtigen Zeitpunkt Material einlegen, das Bauteil hinzufügen und die fertigen Werkstücke wieder herausnehmen. Mit Routine klappte das, hatte aber einen Nachteil: Die Maschinen standen still, wenn der Arbeiter gerade an anderer Stelle beschäftigt war. Die Smartwatch kann ihn nun mit Hilfe eines Alarms an eine Aufgabe erinnern, die schnell erledigt werden muss – wenn also etwa eine Maschine neu zu bestücken ist. Auch in einer anderen Halle bemerkt er den Summer und kann sofort zurückkehren oder über Knopfdruck einen Kollegen verständigen, damit der diese Aufgabe für ihn übernimmt. Damit wird die Kommunikation nicht nur zwischen Mensch und Maschine effektiver. Auch die Absprache und Dokumentation unter Mitarbeitern vereinfacht sich. „Über ähnliche elektronische Lösungen könnten sich künftig Informationen über einzelne Maschinen speichern lassen“, sagt Reutter. Pflügt die Technik ihre Eigenarten, hinterlässt der Werker Hinweise, die zentral gespeichert werden. So geht kein wertvolles Wissen verloren, wenn der



Foto: Universität Stuttgart/Max Kovalenko

Mitarbeiter aus dem Unternehmen ausscheidet. Bei der auf Steuerungs- und Automatisierungstechnik spezialisierten Firma Festo aus Esslingen war die Smartwatch von Aucobo bereits im Einsatz. Der Pilotversuch lief in der Ventulfertigung mit sieben freiwilligen Teilnehmern. „Das Feedback war durchweg positiv“, erzählt Reutter. Vorbehalte habe es nicht gegeben. Im Gegenteil. „Arbeiter erfuhren von dem Pilotversuch, sahen die Smartwatch am Arm ihrer Kollegen und wollten auch eine haben.“ Doch nicht

allein das charmante Design weckte das Interesse und die Begeisterung der Nutzer.

### Fachkräftemangel vermeiden

Beobachter wie Bauernhansl halten es für entscheidend, Beschäftigte für den technischen Wandel zu begeistern. „Alle Entwicklungen werden letztlich von Menschen gestaltet.“ Je mehr Lust sie darauf hätten, desto positiver wirke es sich auf das Ergebnis aus. Eine der wichtigsten Aufgaben ist es deshalb,

Per Smartwatch erhält der Maschinenbetreuer rechtzeitig die Nachricht, ob ein Bauteil eingelegt oder ein fertiges Werkstück entnommen werden muss.

gering qualifizierte Beschäftigte weiterzubilden, damit sie in Zukunft anspruchsvollere Jobs übernehmen können. Sonst droht der Arbeitskräftemangel: „Wir würden nicht genug Fachkräfte zur Verfügung haben, um unsere Fabriken optimal zu betreiben.“ Wie viele Beschäftigte in den vernetzten Fabriken noch gebraucht werden, darüber liegen die Ansichten weit auseinander. Vor vier Jahren löste eine wissenschaftliche Studie ein kleines Beben in der Arbeitswelt aus. Carl Benedikt Frey, Professor an der Universität Oxford, hatte mit seinem Kollegen Michael Osborne ausgerechnet, wie hoch die Wahrscheinlichkeit ist, dass bestimmte Berufe in den kommenden 20 Jahren durch technische Lösungen ausgeübt werden. Allein in Deutschland waren demnach 59 Prozent der Arbeitsplätze bedroht. Das Zentrum für Europäische Wirtschaftsforschung (ZEW) kam jedoch zu einem anderen Ergebnis. Die Experten dort errechneten, dass nur zwölf Prozent der Arbeitsplätze in Deutschland mit vergleichsweise hoher Wahrscheinlichkeit automatisiert werden können.

**Mensch und Maschine arbeiten als Einheit**

Für Bauernhansl steht fest, dass die digitale Produktion im Zeitalter von Industrie 4.0 mit weniger Menschen auskommt und damit auch den erheblichen Mangel an Fachkräften teilweise entschärfen wird. Aber nicht nur das. „Durch die zunehmende Interaktion werden intelligente Maschinen und Mitarbeiter zu einem integrierten Produktionssystem verschmelzen.“ Das sei schon heute bei sehr einfachen Arbeiten zu erkennen. Beispiel: Beim Omnibusbau müssen schwere Kabelbäume über Kopf in die Fahrzeuge eingebaut werden. Eine harte Arbeit, die bislang eher junge, körperlich fitte Männer erledigen. In Zukunft könnten auch andere Beschäftigte dafür infrage kommen, etwa auch ältere Arbeitnehmer. Und es wäre ihre Entscheidung, ob sie den Job mit oder ohne Hilfsmittel erledigen

möchten. Fühlen sie sich zu schwach, steht ihnen womöglich ein Exoskelett zur Verfügung, wie es im „Future Work Lab“ ausgestellt ist. Dieses zehn Kilo schwere Korsett verstärkt durch akkubetriebene Minimotoren kleine Bewegungen und entlastet damit Menschen, die schwere Tätigkeiten in ungewöhnlicher Position ausführen müssen.

Maschinen haben künftig also auch die Aufgabe, den Mitarbeiter unmittelbar bei seiner Tätigkeit zu unterstützen. Das betrifft auch die Phase des Anlernens. „Klassische Präsenzausbildung wird ersetzt durch Ad-hoc-Ausbildung am Arbeitsplatz“, sagt Bauernhansl. Das kann über Bedien-Displays geschehen mit präziser und verständlicher Benutzerführung – ergänzt durch Lernvideos.

Wie Maschinen ihre Bediener konkret anlernen, das lässt sich an einer Station des „Future Work Lab“ erahnen. Der Arbeiter bekommt Sensoren am Körper befestigt, die seine Haltung aufzeichnen. Nach einer Analyse schlägt die Maschine vor, wie man die Arbeit schonender verrichten könnte: mehr in die Knie gehen, Nacken strecken oder Wirbelsäule gerade halten. Möglicherweise lässt sich diese Technik in Zukunft sogar noch vereinfachen und beispielsweise in ein T-Shirt integrieren.

Dem Beschäftigten selbst zu überlassen, wie er sich mit elektronischen Hilfsmitteln organisieren will, das wird künftig auch im Büro möglich sein. Wie ein Schreibtisch der Zukunft aussehen könnte, ist ebenfalls in der Forschungsfabrik zu sehen. Wer davor sitzt, berührt mit seinen Händen einen Touchscreen, der fast die gesamte Tischplatte einnimmt. Die darauf ausgebreiteten virtuellen Pläne lassen sich mit Wischbewegungen aufschlagen und immer neu anordnen, so wie man es mit echtem Papier machen würde. Nebeneinander, stapelweise oder gefächert. Man kann die elektronischen Pläne falten, umdrehen und zur Seite legen. Die Unordnung auf dem Schreibtisch lässt sich per Klick blitzschnell aufräumen und logisch ablegen. Wer

in der neuen digitalen Arbeitswelt erfolgreich sein will, sollte sich nicht durch faszinierende Technik blenden lassen. Bauernhansl rät zu einem systematischen Vorgehen. „Zuerst braucht man eine Idee, die beschreibt, wie das Geschäftsmodell aussehen soll“, sagt der Professor. Die Technologie sollte in einem zweiten Schritt konzipiert werden. Und zwar dann, wenn klar ist, wozu sie benötigt wird. Anschließend müssten Kunden und Markt parallel zur Technologie entwickelt werden. „Zu guter Letzt muss man die eigene Organisation mitnehmen.“ Das gelte für die Unternehmenskultur genauso wie für die Fähigkeiten der Beschäftigten. Wenn der Vertrieb zum Beispiel jahrelang Maschinenkomponenten verkauft hat, muss er erst in die Lage versetzt werden, dem

Kunden künftig plattformbasierte Dienste zu vermitteln. Digitalisierung ist also kein Selbstzweck, sondern muss der geschäftlichen Logik folgen. Das gilt für lenkbare Roboter und smarte Armbanduhren genauso wie für Mixed-Reality-Brillen.

*Heimo Fischer*



1. Jessica Albre Huth; 2. Achim Mendel; 3. bildmimages; 4. Brigida Gonzalez; 5. Johannes Vogt; 6. Christian Richter; 7. Dietmar Strauß.

**35.752 km<sup>2</sup>, 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](http://www.vermoegenundbau-bw.de)

**Wir bauen Baden-Württemberg. Bauen Sie mit.**



**Baden-Württemberg**  
VERMÖGEN UND BAU

## Reales Lernen im virtuellen Raum Weiterbildung in Unternehmen profitiert von Virtual Reality und Smart Data

**Mit der zunehmenden Digitalisierung der Arbeitswelt geht ein grundlegender Wandel vieler Tätigkeiten und Berufsbilder einher. Um die eigenen Mitarbeiter und Kunden gleichermaßen auf dem aktuellen Stand der Technik halten zu können, müssen Unternehmen qualifizierte Aus- und Weiterbildungsmöglichkeiten anbieten. Doch wie lassen sich komplexe Arbeitsabläufe nachdrücklich vermitteln? Im Projekt „Virtual and Analytics Service im Maschinen- und Anlagenbau“ (VASE) arbeiten die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler um Prof. Bernd Zinn vom Lehrstuhl für Berufspädagogik mit Schwerpunkt Technikdidaktik (BPT) der Universität Stuttgart an maßgeschneiderten virtuellen Lehr- und Lernmodellen.**

Aus- und Weiterbildung haben bis heute häufig noch den Charme längst vergangener Schulzeit. Enge Räume, unfreundliche, meist grelle Beleuchtung, kleine Tische dicht an dicht und auf eine Präsentation an der Wand ausgerichtet, die die Tafel ersetzt. Und genau dort findet in der Regel auch der Unterricht statt: frontal und theoretisch. Aus pädagogischer Sicht entspricht die „klassische“ Art zu unterrichten längst nicht mehr dem Zeitgeist, genauso wenig wie die dabei eingesetzten Unterrichtsmittel. Nicht zuletzt deshalb gibt es auch im Bereich der beruflichen Weiterbildung vermehrt Lehrformate, die auf moderne Gestaltungsmöglichkeiten und neueste Technik setzen. Aktuell eröffnen besonders die Entwicklungen bei Virtual und Augmented Reality (VR und AR) völlig neue Lehr- und Lernwelten. Die Wissensvermittlung über virtuelle Realitäten eignet sich dabei besonders für die Industrie, deren Produktionsprozesse in der Regel durch komplexe Abläufe und exakt auszuführende Handgriffe geprägt sind, die sich schwerlich über pure Theorie vermitteln lassen.

Hinzu kommt, dass die Arbeitswelt sich momentan in einem großen Umbruch befindet. Mit der zunehmenden Digitalisierung geht auch ein grundlegender Wandel vieler Tätigkeiten und Berufsbilder einher. Für den industriellen Bereich bedeutet das vor allem auch, dass das Bedienen und Instandhalten von Maschinen und Anlagen anspruchsvoller wird. Unternehmen, deren Mitarbeiter nicht entsprechend ausgebildet sind, riskieren Produktionsausfälle oder gar Stillstandzeiten durch falsche Maschinenführung. Es sind also neue Schulungskonzepte gefragt, die speziell auf die jeweiligen Bedarfe im Unternehmen ausgelegt sind.

### Virtuelle Lernwelt trifft auf Smart Data

Neuartige Technologien bieten hier ein großes Potenzial, werden derzeit aber noch kaum genutzt. Dabei können sowohl Virtual Reality in Form von virtuellen Lern- und Arbeitsumgebungen als auch Smart Data dabei helfen, die Serviceprozesse zu optimieren. Wie sich das in der Praxis umsetzen lässt, erforschen Wissenschaftler des Lehrstuhls für Berufspädagogik mit Schwerpunkt Technikdidaktik (BPT) der Universität Stuttgart gemeinsam mit dem International Performance Research Institute (IPRI) um Prof. Mischa Seiter. Das Forschungs- und Entwicklungsprojekt „Virtual and Analytics Service im Maschinen- und Anlagenbau“ (VASE) verbindet die beiden Technologien Virtual Reality und Service Analytics.

Zielgruppe sind in vor allem Servicetechniker im Maschinen- und Anlagenbau, die mit ihrem Aufgaben- und Tätigkeitsbereich eine Schnittstelle zwischen Kunden und Anbieter darstellen. Auf sie werden künftig neben Wartung und Instandhaltung vermehrt weitergehende Dienstleistungen zukommen, wie virtuelle Schulungen von Kunden und Kollegen im Umgang mit den modernen Technologien. Hieraus ergibt sich eine weitere Herausforderung: Die Fachkräfte sind oftmals nicht im Stammwerk,

Virtuelle Lernumgebungen sind wie geschaffen für ein zeitlich und räumlich flexibles Lernen und Arbeiten. Derzeit wird daran gearbeitet, sie auf die tatsächlichen Bedarfe der Unternehmen zuzuschneiden.

sondern in Niederlassungen ihres Unternehmens tätig, müssen also häufig sowohl zur Zentrale als auch zum Kunden weite Wege zurücklegen. Virtuelle Lernumgebungen sind für diesen Branchenbereich wie geschaffen, denn sie unterstützen ein räumlich und zeitlich flexibles Lernen und Arbeiten.

### Maßgeschneiderte Lernszenarien

Schon in der Vergangenheit hat das Team um Projektleiter Prof. Bernd Zinn in Zusammenarbeit mit dem Softwareunternehmen TriCAT die Nutzung einer innovativen 3D-Lern- und Arbeitswelt erforscht. Diese virtuelle Lern- und Arbeitsumgebung (VILA) adaptieren die Partner nun im aktuellen Projekt auf einzelne Unternehmen, erproben sie und entwickeln sie gegebenenfalls unternehmensspezifisch weiter. Dazu müssen zunächst die tatsächlichen Bedarfe in den teilnehmenden Unternehmen festgestellt werden. „Wir beginnen damit, die unterschiedlichen Anwendungsfälle und -szenarien, die sogenannten Service Usecases, zu identifizieren, um die Schulung auf das jeweilige Unternehmen zuzuschneiden“, erklärt Zinn. „Dazu schauen wir auch, was sie in Hinblick auf die VR-Technologie benötigen.“ Aber, so fortgeschritten die virtuelle Technologie einerseits ist, so viele Vorbehalte und Berührungsängste gibt

es auch. „Umso wichtiger ist es, individuelle Konzepte zu erstellen, die die Empfänglichkeit fördern und die Nutzungshemmnisse zur neuen Technologie abbauen.“

Virtuelle Umgebungen sind rein technisch inzwischen weit entwickelt. Es zeigt sich jedoch, dass es nicht allein auf die Güte der Technologien ankommt. „Wie auch beim E-Learning ist die Technologie per se nicht unbedingt gut“, weiß auch Zinn. Daher geht es ihm und seinem Team vor allem darum, die im Projekt fokussierten Technologien methodisch-didaktisch einzubetten. „Um bestimmte Lernziele erreichen zu können, scheint es förderlich, kognitivistische und konstruktivistische Lerntheorien miteinander zu verbinden.“ Dies gelte auch in virtuellen Lernsettings, damit das erworbene Wissen angewendet und ausprobiert werden kann. „Lernende wollen und sollen erkennen, inwiefern die Weiterbildung für ihr eigenes Handlungsfeld relevant ist. Das fördert die Akzeptanz und das Rezeptionsverhalten entscheidend.“

### Erfahrungswissen ist unbezahlbar

Für die Weiterentwicklung der virtuellen Lern- und Arbeitsumgebung werden in den am Projekt VASE teilnehmenden Unternehmen – darunter Trumpf,



Abbildung: Universität Stuttgart/Daniela Leitner



Virtuelle Umgebungen sind rein technisch inzwischen weit entwickelt. Doch nicht allein darauf kommt es an: Bei den Usern müssen unter anderem Hemmungen abgebaut werden, die neue Technologie zu nutzen.

MAG IAS und Axoom – spezielle Prozessdaten gesammelt und ausgewertet, um etwaige Defizite in den Abläufen aufzudecken. „Die Anlagen unserer Partner sind hochkomplex und viele davon nicht in ihrem optimalen Betriebszustand“, erklärt Zinn. Die Datenaufzeichnungen, die heutzutage ohnehin immer mitlaufen, liefern den Experten wichtige Informationen im Hinblick auf Optimierungsschritte bestimmter Dienstleistungsprozesse. „So lassen sich beispielsweise die Abstände von Maschinenwartungen an den tatsächlichen Bedarf anpassen und erst dann durchführen, wenn es auch wirklich notwendig ist.“

Die Erkenntnisse aus den Datenanalysen lassen die Forscher beim Erstellen der jeweiligen Lern- und Arbeitsszenarien einfließen. Ebenso wie die Expertise

der Servicetechniker, die bereits beim Entwickeln der Lern- und Arbeitsszenarien mit einbezogen werden. „Dieses Erfahrungswissen ist unbezahlbar für uns und das Projekt“, so Zinn. „Die enge Zusammenarbeit mit der Zielgruppe fördert außerdem auch die Akzeptanz für die neuen Technologien.“ Von VASE verspricht sich das Team um Zinn nicht nur eine ausgereifte virtuelle Lern- und Arbeitsumgebung, sondern auch wichtige Erkenntnisse, wie sich zum einen Defizite anhand von Prozessdaten identifizieren lassen. „Und zum anderen möchten wir herausfinden, wie wir virtuelle Lernformate bestmöglich einsetzen können.“ Denn die werden, laut Zinn, schon bald zur „echten“ Realität in der Aus- und Weiterbildung.

Constanze Trojan

# Sie studieren Bauingenieurwesen?

## BEIM MARKTFÜHRER DURCHSTARTEN

Sie studieren Bauingenieurwesen mit dem Schwerpunkt im konstruktiven Bereich an einer Fachhochschule oder Universität und möchten Ihre berufliche Karriere in einem erfolgreichen und zukunftsorientierten Industrieunternehmen starten? Wir suchen ab sofort zur Unterstützung unserer Technischen Abteilung als Anwendungs- oder Entwicklungsingenieur für Gerüstsysteme:

- ▶ Praktikanten (m / w)
- ▶ Werkstudenten (m / w)
- ▶ Bachelor- oder Masteranden (m / w)
- ▶ Berufseinsteiger / Absolventen (m / w)

Als erfolgreiches Familienunternehmen in der 3. Generation bieten wir attraktive Rahmenbedingungen und machen gerne gemeinsam mit Ihnen für unsere Kunden „Mehr möglich“.

- Unser Angebot:**
- ▶ Vielseitiges und interessantes Aufgabengebiet
  - ▶ Hoher Praxisbezug
  - ▶ Möglichkeit, schnell Verantwortung zu übernehmen
  - ▶ Projekte ganzheitlich von „A bis Z“ zu betreuen
  - ▶ Umfassende Einarbeitung in das Aufgabengebiet
  - ▶ Offene Arbeitsatmosphäre
  - ▶ Weiterbildungsmöglichkeiten
  - ▶ Langfristiger und sicherer Arbeitsplatz in einem expandierenden, mittelständischen Familienunternehmen mit Zukunft

Wir freuen uns auf Ihre Bewerbung. Die Bewerbungsunterlagen senden Sie bitte an unsere Personalabteilung.



Layher ist der führende Hersteller von Gerüstsystemen. Wir sind weltweit mit über 1.600 Mitarbeitern und Vertriebstöchtern in rund 40 Ländern präsent. Die Marke Layher bedeutet für unsere Kunden aus Industrie und Bauwirtschaft seit Jahrzehnten innovative Produkte, anwendungsorientierte Technik und Qualität „Made in Germany“. Der Sitz der Firmenzentrale mit Entwicklung, Produktion und Verwaltung ist in Güglingen-Eibensbach. Unsere Strukturen sind schlank und flexibel. Die Entscheidungswege sind kurz und Eigenverantwortung ist nicht nur gewünscht, sondern gefordert.

Personalabteilung:  
personal@layher.com

Wilhelm Layher GmbH & Co KG  
Ochsenbacher Straße 56  
74363 Güglingen-Eibensbach

www.layher.com

Layher.

Mehr möglich. Das Gerüst System.

## Die Entwicklungshelferin Birgit Renzl kennt die Arbeitswelt der Zukunft

**Organisation ist alles. Das trifft auf Prof. Birgit Renzl in vielerlei Hinsicht zu, denn sie ist Inhaberin des Lehrstuhls für Allgemeine Betriebswirtschaftslehre und Organisation an der Universität Stuttgart und beschäftigt sich mit Wissensmanagement, Strategischen Veränderungsprozessen und Leadership in Organisationen. Die Wirtschaftswissenschaftlerin kennt die Herausforderungen von morgen, denn sie hat Einblick in das Innerste von Unternehmen. Die zentrale Frage, die sie dabei verfolgt: Wie können sich Organisationen aufstellen, um Zukunftsthemen gerecht zu werden?**

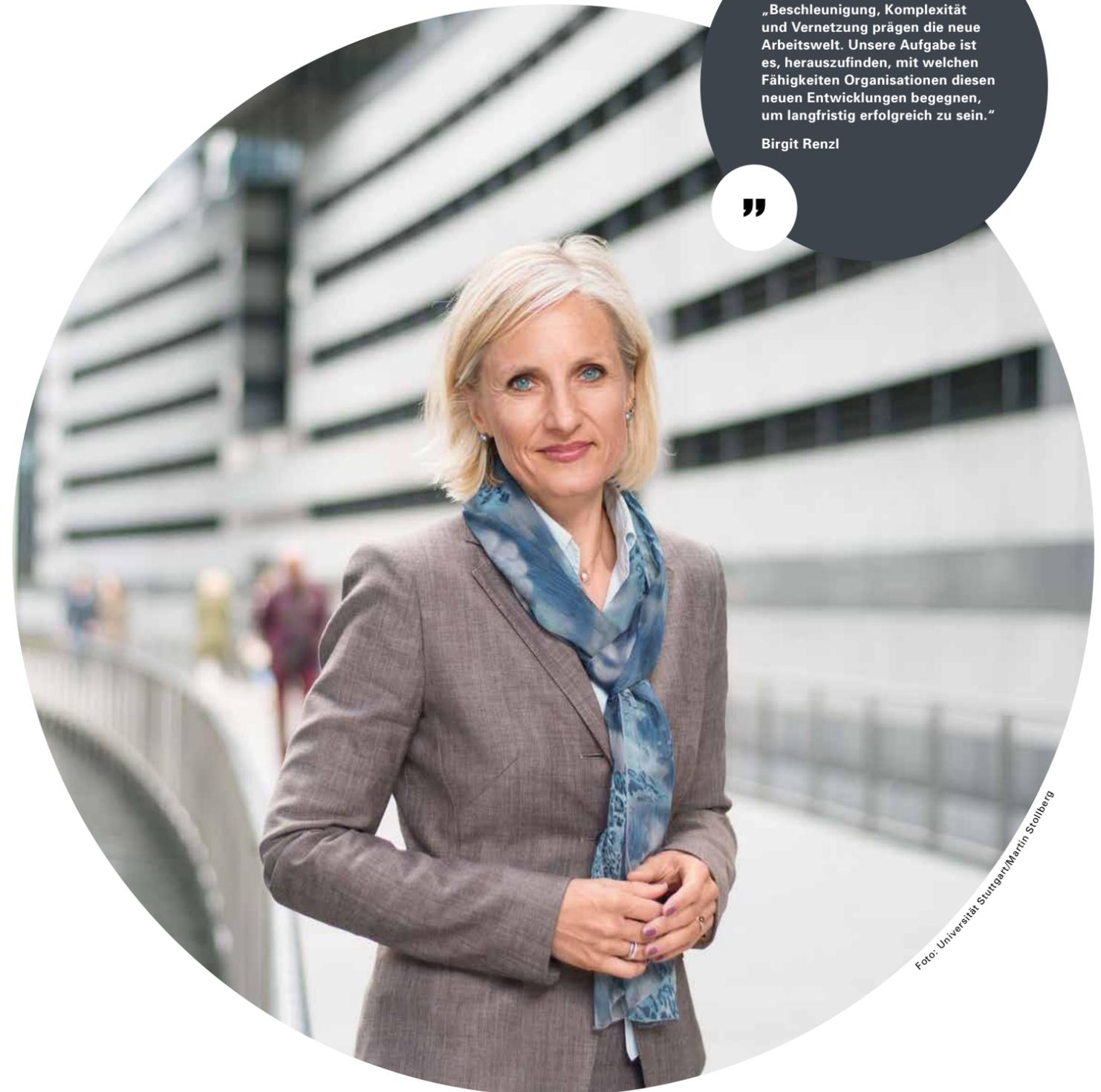
Den Schlüssel sieht sie unter anderem in der Digitalen Transformation. „In diesem Bereich tut sich sehr viel. Für uns als Forschende ist das eine einzigartige Zeit, diese Entwicklung hautnah zu begleiten.“ Um diese besser zu verstehen, vergleicht die Wirtschaftswissenschaftlerin unter anderem Forschungsergebnisse aus der Vergangenheit: Wie sah die Arbeitswelt vor 20 oder 30 Jahren aus? Denn klar ist, technologischen Wandel gab es immer schon. Die Herausforderung sieht Renzl jedoch in der Geschwindigkeit, in der dieser stattfindet. „Die Time-to-Market, das heißt der Zeitraum, bis eine Idee als fertiges Produkt auf den Markt kommt, hat sich eklatant verkürzt.“ Durch Errungenschaften der Informations- und Kommunikationstechnologien lassen sich heute Informationen in Echtzeit vermitteln, was Organisationen vor neue Herausforderungen stellt. „Als ich Ende der 80er-Jahre Ferienjobs gemacht habe, wurde vorrangig noch mit Geschäftsbriefen korrespondiert. Bis so ein Brief ankam und beantwortet war, verging gut und gern mal eine Woche. Wenn man heute innerhalb von zwei Stunden eine E-Mail noch nicht beantwortet hat, wird bereits nachgefragt“, beschreibt Birgit Renzl die Symptomatik.

### Fragen stellen, Antworten geben

Welche Auswirkungen haben neue Technologien, vernetzte Strukturen und die Übertragung von Informationen in Echtzeit auf Organisationen? Damit beschäftigt sich Birgit Renzl Tag für Tag intensiv. Ihre Erkenntnisse gewinnt sie aus erster Quelle: direkt am Ort des Geschehens. Gemeinsam mit ihrem Team, das an der Universität Stuttgart aus vier Mitarbeitern und zwei externen Doktoranden besteht, fragt sie konkret nach. In Interviews, Einzelfallstudien oder breit angelegten, quantitativen Umfragen in großen oder mehreren kleineren Unternehmen. Das Thema der strategischen Unternehmensführung bewegte Birgit Renzl dabei früh. So war sie bereits Ende der 1990er-Jahre in der Strategieberatung und Organisationsentwicklung tätig und führte schon damals ein Wissensmanagement-Programm in einem Lichtplanungsbüro ein. Als wissenschaftliche Mitarbeiterin am Institut für Unternehmensführung bei Prof. Hans H. Hinterhuber an der Universität Innsbruck in Österreich blieb sie dem Thema treu und ging konsequent ihren Weg: 2002 promovierte sie, 2006 habilitierte sie. Für ihre Dissertation zum Thema wissensbasierte Interaktion erhielt sie den Dr. Maria Schaumayer Stiftungspreis. Wichtig war und ist Birgit Renzl dabei immer der praktische Bezug, das heißt, was die gewonnenen Erkenntnisse konkret für die Organisationen bedeuten. „Im Unternehmenskontext bedeutet Organisation Umsetzung.“ Hier möchten sie und ihr Team eine konkrete Hilfeleistung bieten und Handlungsempfehlungen geben.

### Erfolgsfaktor Digitale Transformation

Als brandaktuelles Thema sieht sie hierbei die digitale Strategie von Organisationen. Bei ihrer Arbeit trifft sie zwar immer noch vereinzelt auf Unternehmen, die von dem ganzen „Hype“ nichts wissen möchten, auf der anderen Seite aber auch auf sehr innovative Konzepte – wie zum Beispiel das eines Unternehmens



“

„Beschleunigung, Komplexität und Vernetzung prägen die neue Arbeitswelt. Unsere Aufgabe ist es, herauszufinden, mit welchen Fähigkeiten Organisationen diesen neuen Entwicklungen begegnen, um langfristig erfolgreich zu sein.“

Birgit Renzl

”

Foto: Universität Stuttgart/Martin Stollberg



Die Digitalisierung hat auch die Welt der Gartengeräte erreicht. Inzwischen kommuniziert der Rasenmäher-Roboter per App mit seinem Auftraggeber. Eine Chance für innovative Geschäftsmodelle.

für Gartengeräte. Auch hier nahm die Automatisierung durch den Einsatz von Robotern Einzug, viel interessanter war jedoch die Frage, „wie der Rasenmäher-Roboter bestmöglich mit der Bewässerung kommunizieren, über welche App oder Plattform das gesteuert werden kann – also eine Verlagerung des gesamten Geschäftsmodells“. Die Erkenntnis, die sie daraus zieht, ist, dass es immer weniger um Produkte an sich geht, sondern immer mehr um deren Nutzerfreundlichkeit, Vernetzung und Steuerung. Birgit Renzl appelliert deshalb an Unternehmen, permanent zu reflektieren, wie auch sie aktuelle Entwicklungen steuern und aus diesen neue Lösungen schaffen können. Und das in allen Branchen und Bereichen. „Man sieht, dass selbst bei Gartengeräteherstellern die digitale Transformation Einzug hält.“

#### Flexible Rollen

Birgit Renzl sieht die Herausforderung für Organisationen vor allen Dingen darin, die steigende Komplexität zu managen. „Plötzlich muss man alles wissen, es sind mehr Informationen vorhanden als verarbeitet werden können. Den Überblick zu bewahren, wird sich als Erfolgsfaktor für die Zukunft erweisen.“ Das bestätigt die Studie „Neue Arbeitsaufgaben und Anforderungen durch Industrie 4.0 in der Automobilindustrie“, die sie gemeinsam mit Kollegen durchgeführt hat und die aktuell in der Austrian Management Review erschienen ist. Demnach wird die Lernbereitschaft von Mitarbeitern und Führungskräften immer wichtiger. „In einer Welt, in der alles vernetzt und flexibel ist, wird Kooperations- und Teamfähigkeit essenziell. Unternehmen müssen sich öffnen für neue Themen und Kompetenzen,“ erklärt Birgit Renzl und erzählt von der früheren Entwicklung eines neuen TV-Geräts bei Max Grundig,

bei dem das Entwicklungsteam eingesperrt und erst wieder herausgelassen wurde, als das Produkt fertig war. „Das geht natürlich nicht mehr, die Zeiten des stillen Kämmerchens sind vorbei!“

Des Weiteren wird nach Renzls Einschätzungen zukünftig ein noch höheres Maß an Flexibilität erforderlich sein. „Ein und dieselbe Person wird je nach Aufgabe unterschiedlichste Rollen einnehmen, gleichermaßen Projektleiter, Sachbearbeiter oder Führungskraft sein.“ Ein Konzept, das die Forscherin vorlebt. Als Professorin an den Universitäten Stuttgart und Salzburg pendelt sie zwischen den Städten, verfasste bereits über 70 Artikel in Büchern und Fachzeitschriften und ist im Herausgeberbeirat der wissenschaftlichen Zeitschrift „Management Learning“. Forschungsaufenthalte führten sie zuvor an die University of Strathclyde in Glasgow in Schottland und an die Universität St. Gallen in der Schweiz. 2009 wurde sie als Professorin für Strategie und Organisation an die Privatuniversität Schloss Seeburg nach Seekirchen am Wallersee bei Salzburg berufen und wirkte als Dekanin für Betriebswirtschaftslehre am Aufbau der neu gegründeten Universität mit. Seit März 2015 ist sie in Stuttgart. Hier schätzt sie besonders, dass es viele interessante Unternehmen gibt, die offen für neue Formen der Zusammenarbeit und Kompetenzmodelle sind. „Als Forscher müssen wir wissen, was in der Praxis los ist. Wir haben den Luxus, die Dinge hier hinterfragen zu können, zu reflektieren und diese in die Praxis zurück zu spiegeln.“

#### „Es kommt immer etwas Neues“

Und was bringt die Zukunft? Als Lehrende hat es sich Birgit Renzl zur Mission gemacht, auch ihre Studierenden für die Zukunft zu wappnen: Was müssen die Führungskräfte und Mitarbeiter

von morgen lernen, um Organisationen dauerhaft überlebensfähig zu gestalten? „Den Studierenden State-of-the-Art-Wissen vermitteln, allerdings nicht mit der Trichtermentalität.“ Ihr Appell ist deshalb, immer am Ball zu bleiben und zu lernen, die richtigen Themen zu verknüpfen, Dinge zu hinterfragen, viel zu lesen und aktiv in Erfahrung zu bringen, was sich aktuell tut. Das gelingt am besten im Dialog. So wird Birgit Renzl unter anderem bei der European Academy of Management 2018 gemeinsam mit ihren Kollegen Prof. Stefan Guldenberg der Universität Liechtenstein sowie Prof. Anne-Katrin Neyer, Prof. Julia Müller und Dr. Matthias Will der Universität Halle-Wittenberg den Themenbereich der „Digital

Strategies“ leiten, dazu Forscher einladen, ihre Forschungsarbeiten dazu zu präsentieren. Denn eins steht fest: Es kommt immer etwas Neues. „Vor Kurzem habe ich beispielsweise gelesen, dass in wenigen Jahren niemand mehr tippen wird. Ich habe noch das Zehn-Finger-System gelernt, aber wenn man die Fortschritte der Spracherkennung sieht, geht es beinahe schon ganz ohne.“ Ihr Fazit: Fähigkeiten und Kompetenzen werden sich immer schneller verändern. Tätigkeitsbereiche und Arbeitsplätze werden verschwinden, andere entstehen. Der Schlüssel liegt in der Verknüpfung: Orte und Themen, Mensch und Maschine, Lehre und Praxis.

Katja Welte

Be-Lufthansa.com/Technik

## Could you fit this on an airplane?

A career at Lufthansa Technik offers some unusual challenges. Like customising a jet to accommodate a luxury bathroom. Or visiting China to train mechanical engineers at one of our partner companies.

As well as being the world's leading aircraft maintenance and repair company, Lufthansa Technik work at the cutting edge of the aviation industry. Many of our innovations have become standard world-wide. If you have a diploma in industrial engineering, aerospace engineering, electrical engineering or aircraft construction why not join us?

Whatever your interest, you'll find plenty of scope for your talents. We'll give you a flexible work schedule, the benefits of a global company, a great working atmosphere and all the responsibility you can handle.

Be who you want to be  
Be-Lufthansa.com





## ARENA2036 – Zusammenarbeit unter einem Dach

IM BILDE

28

29

Der Forschungscampus ARENA2036 ist seit Dezember 2016 das neue Zuhause von zahlreichen Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftlern aus Industrie und Forschung auf dem Campus der Universität Stuttgart in Vaihingen.

Das Akronym ARENA steht für Active Research Environment for the Next Generation of Automobiles. Mission des Forschungsprogramms ist die Entwicklung einer nachhaltigen Industrie 4.0 und ein Technologiewandel, der individuelle Mobilität mit niedrigem Energieverbrauch möglich macht. 2036 ist das Jahr, in dem das Automobil sein 150-jähriges Jubiläum feiern wird.

ARENA2036

Mit rund 10000 m<sup>2</sup> bietet die größte Forschungsfabrik Deutschlands viel Raum, um sowohl theoretisch als auch praktisch an den vier miteinander verbundenen Forschungsbereichen Materialien und Konstruktion, Simulation und Digitaler Prototyp, Produktion und Forschungsfabrik sowie Kreativität, Kooperation und Kompetenztransfer zu arbeiten. In der Fabrikhalle haben einzelne Forschungsprojekte bereits Gestalt angenommen und werden auf ihre Prinzipiauglichkeit hin erprobt.

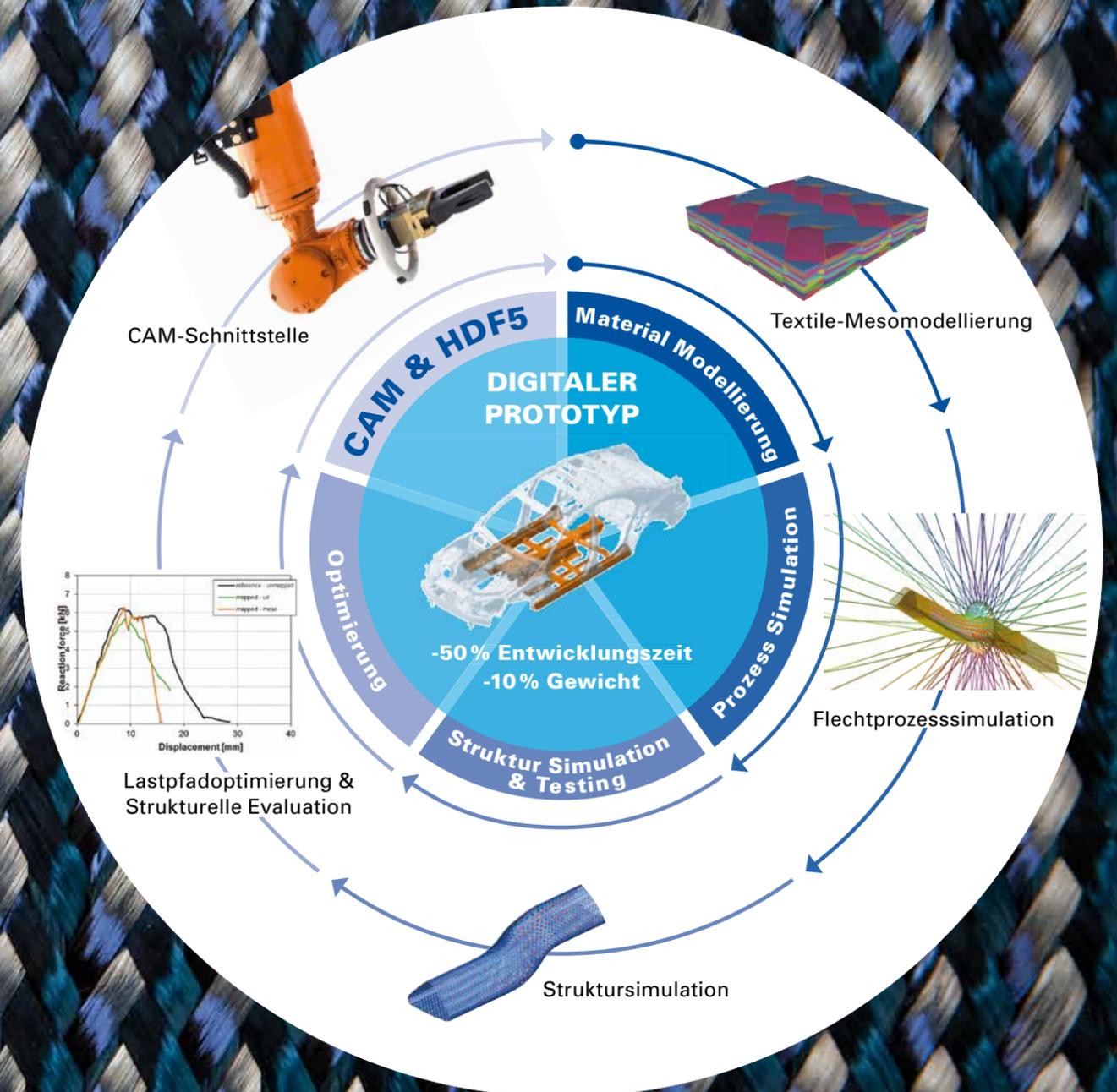
Fahrerlose Transportsysteme spielen beispielsweise in der Automobil-Produktion der Zukunft eine zentrale Rolle und werden auch in der ARENA2036 zwischen den Forschungsstationen eingesetzt. Doch wie muss ein solches System aufgebaut werden, wie wird es optimal beladen und welchen Kräften hält es stand? Das untersuchen die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler mithilfe dieser Musterkarosserie.

Grenzenlos denken: Die Kooperationsplattform steht für eine neue Form der Zusammenarbeit, dies zeigt sich auch in der Gestaltung der Arbeitsbereiche. Viel Glas und wenig Barrieren kennzeichnen die Büros, Besprechungszimmer, Arbeitsnischen und machen deutlich: Hier geht es um uneingeschränktes Denken und ein grenzenloses Miteinander der verschiedenen Forschungsdisziplinen.

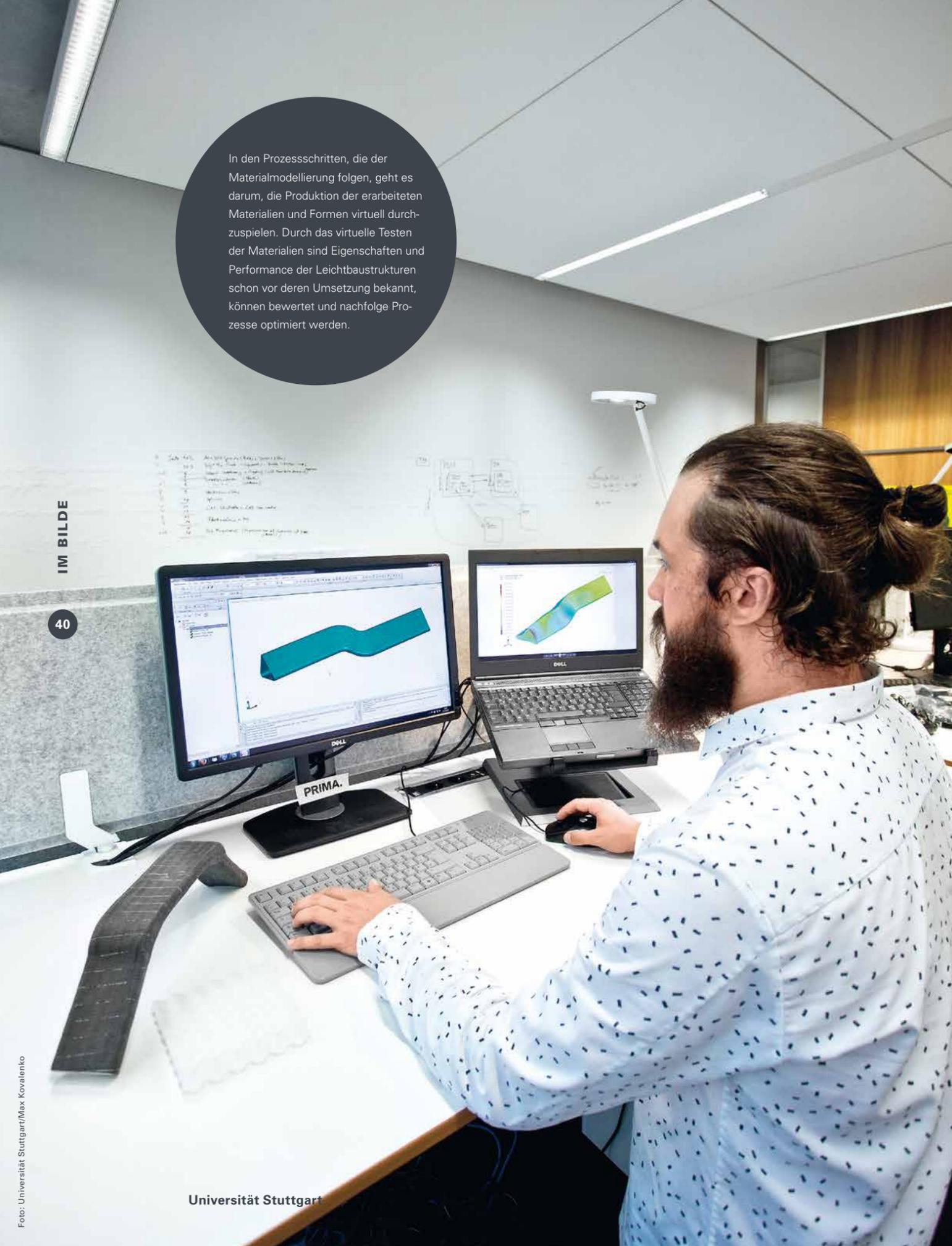


Die ersten vier Startprojekte der ARENA2036 sind LeiFu (Intelligenter, multimaterialer Leichtbau mit Funktionsintegration), ForschFab (Wandlungsfähige Produktion in der Forschungsfabrik, Bild), Khoch3 (Arbeitswissenschaftliche Begleitung einer kreativitätsfördernden Arbeitsumgebung) und DigitPro, bei dem das Team um Prof. Peter Middendorf vom Institut für Flugzeugbau an Materialien und Prozessen für den digitalen Prototyp arbeitet. Die folgenden Seiten zeigen anhand dieses Projekts, wie in der ARENA2036 an der Zukunft gearbeitet wird.

Das Ziel von DigitPro ist es, die gesamte Wertschöpfungskette einer automobilen Struktur virtuell vorhersagen zu können – für mehr Effizienz und Ressourcenschonung. Der Digitale Prototyp bildet den Nukleus für virtuelle Simulationsmodelle und CAM-Schnittstellen. Er ermöglicht die einfache Datenweitergabe zwischen den einzelnen Prozessschritten, den unterschiedlichen Simulationsprogrammen und dokumentiert die abgeschlossenen Simulationspakete. Das Ergebnis: eine höhere Vorhersagegüte, optimal ausgelegte Bauteile und damit Kosten- und Zeiteinsparungen.



In den Prozessschritten, die der Materialmodellierung folgen, geht es darum, die Produktion der erarbeiteten Materialien und Formen virtuell durchzuspielen. Durch das virtuelle Testen der Materialien sind Eigenschaften und Performance der Leichtbaustrukturen schon vor deren Umsetzung bekannt, können bewertet und nachfolgende Prozesse optimiert werden.



Aus der Simulation geht es dann ins Testing: Im experimentellen Versuch werden das Textil charakterisiert und die zugehörigen Simulationen validiert. Das erfordert Zeit – und vor allem viel Erfahrung.

Am Ende der virtuellen Prozesskette steht die lückenlose automatische Weitergabe aller Simulationsdaten an die Roboter der Produktion. Sie erfolgt über eine neuartige CAM-Schnittstelle, die dafür sorgt, dass das Bauteil in der Realität genau so umgesetzt wird, wie in den Schritten zuvor berechnet. Dazu müssen die Daten nicht mehr händisch eingepflegt werden, sondern sie gehen quasi per Knopfdruck direkt in die Produktion – der Start für die Industrie 4.0.

Geplant ist, die Inhalte aus dem Projekt „Digitaler Prototyp“ im Nachfolgeprojekt „Digitaler Fingerabdruck“ weiterzuführen. Dabei soll die entwickelte Datenstruktur genutzt und um neue Anwendungen ergänzt werden. Bis dahin wird intensiv an dem Projektübergang gearbeitet, denn die erste Projektphase wird 2018 abgeschlossen sein. Danach werden neue Themen die ARENA2036 erobern.





## Der vergessene Ingenieur Romanisten und Germanisten untersuchen die Bedeutung der Technik bei Bühnenstücken

**Will man ein Theaterstück interpretieren, ist nicht nur dessen Text bedeutsam, sondern auch die Art, wie es seinerzeit auf der Bühne gezeigt wurde. Letzteres für die Klassiker des französischen Theaters herauszufinden, gestaltet sich nicht ganz einfach. Genau das haben sich aber Literaturwissenschaftlerinnen der Universität Stuttgart in einem Projekt mit Master-Studierenden vorgenommen.**

In der Dunkelheit lauern Gefahren und Ausschweifungen, erst die aufgehende Sonne bringt den Tag und die Ordnung zurück: Im „Ballet royal de la Nuit“, das im Jahr 1653 uraufgeführt wurde, kämpfen Tag und Nacht symbolisch miteinander. Die Schlusszene des Stücks hat Theatergeschichte geschrieben, denn der damalige französische König Ludwig XIV. höchstselbst tanzte im Sonnenkostüm den Sieg über die Finsternis. Das brachte ihm den Beinamen „Sonnenkönig“ ein. Für Prof. Kirsten Dickhaut, Leiterin der Abteilung Romanische Literaturen I, und Prof. Sandra Richter, Leiterin der Abteilung Neuere Deutsche Literatur I, vom Institut für Literaturwissenschaft der Universität Stuttgart, zeigt diese Szene außerdem, wie die Technik die Aufführungen des klassischen französischen Theaters im 17. Jahrhundert prägte. Hatte der italienische Ingenieur Giacomo Torelli doch eigens eine Maschine konstruiert, die den König inmitten von Feuerwerk und einem Lichtstrahl auf die Bühne fuhr. Den technischen Aufwand, der für solche Inszenierungen betrieben wurde, untersuchten die Wissenschaftlerinnen mit ihren Master-Studierenden im interdisziplinären Seminar „Drama und Dramenpoetik der Frühen Neuzeit (Frankreich und Deutschland)“.

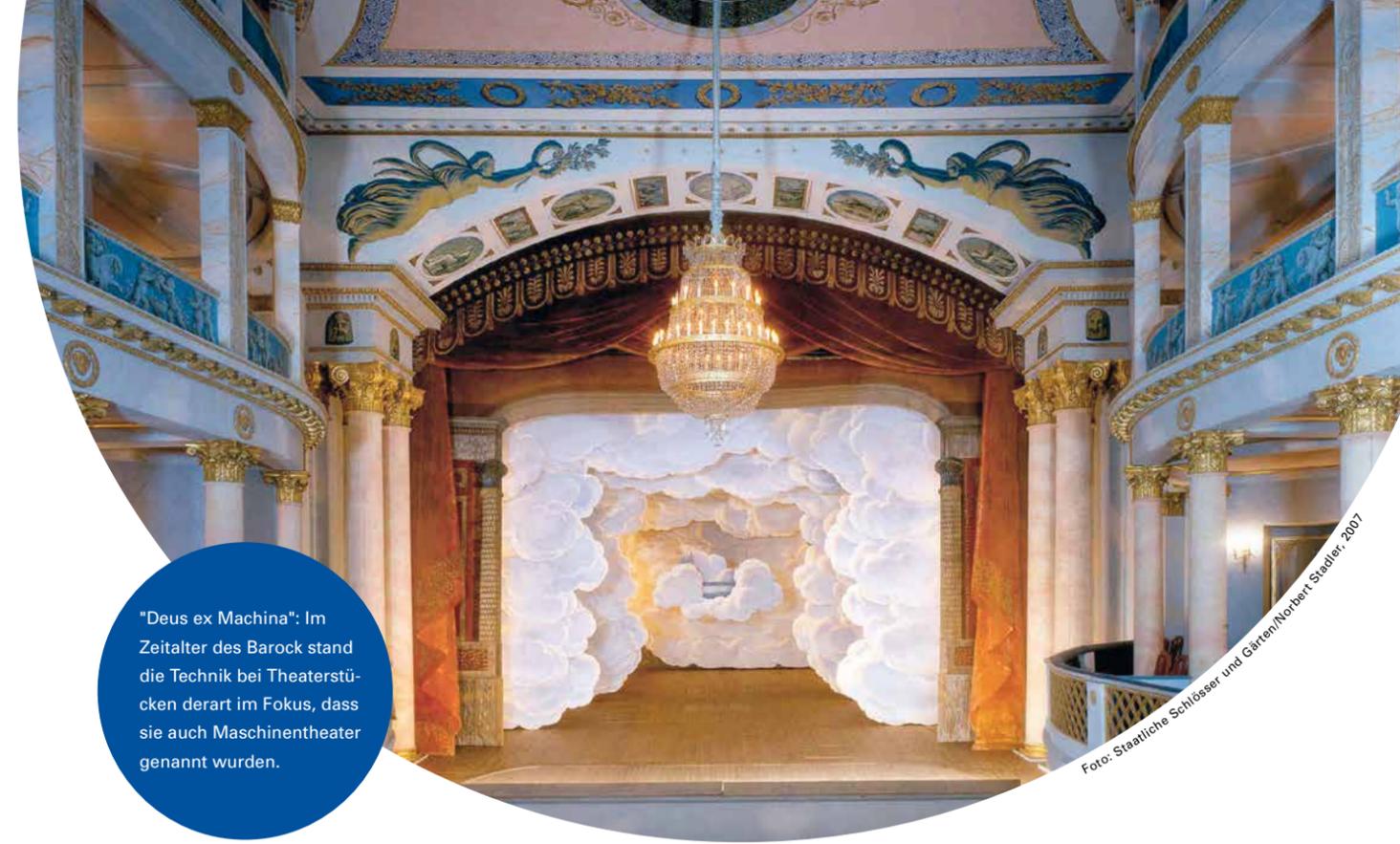
Um die Stücke zu bewerten, musste die Gruppe sie zunächst in den historischen Kontext übertragen. Denn das Theater von damals ist mit dem heutigen nicht zu vergleichen, wie Dickhaut erklärt: „In der

Regel organisierte ein Prinz oder ein König ein höfisches Fest – eine Siegesfeier, Taufe oder Hochzeit. Und diese mehrere Tage dauernden Feste wurden nachmittags und abends mit Ballett oder Theater als höfische Vergnügungen bespielt. Das heißt, dass der Aufwand für die Inszenierungen sehr hoch war.“ Zudem geriet das Theater in jener Epoche in Konkurrenz zur neu entstandenen Oper. „Aufwendige Technik stand bei Theaterstücken so sehr im Fokus, dass man sie auch Maschinentheater nennt“, sagt Dickhaut.

Der französische König Ludwig der XIV. tanzte höchstselbst im Sonnenkostüm die Schlusszene des „Ballet royal de la Nuit“ - was ihm den Beinamen „Sonnenkönig“ einbrachte.



Abbildung: Henri de Gissey/via Wikimedia Commons



„Deus ex Machina“: Im Zeitalter des Barock stand die Technik bei Theaterstücken derart im Fokus, dass sie auch Maschinentheater genannt wurden.

Foto: Staatliche Schlösser und Gärten/Robert Steiler, 2007

### Festberichte zeigen die Bühnentechnik

Informationen dazu erhielten die Forscherinnen und Forscher unter anderem aus zeitgenössischen Festberichten. Sie gingen ins kleinste Detail – bis hin zur Anzahl der Kerzen auf der Bühne – und waren mit zum Teil aufwendig kolorierten Grafiken versehen. „Aus diesen Grafiken können wir Rückschlüsse ziehen, wie das Bühnenbild ausgesehen hat und welche Bewegungen durch die Maschinen auf der Bühne zu sehen waren“, so Dickhaut. Es gab Feuer und Wasser sowie bewegliche Kerzenleuchter, die während der Aufführung neu bestückt werden konnten. Schiffe fuhren auf die Bühne und verwandelten sich unter Feuerwerk in einen Drachen. „Bei den technischen Möglichkeiten dieser Zeit war es herausragend, was die Ingenieure gestaltet, konstruiert und inszeniert haben“, sagt die Romanistin. Gleichzeitig musste der König als Veranstalter immer sichtbar sein und glänzen.

Das Internationale Zentrum für Kultur- und Technikforschung (IZKT) der Universität Stuttgart hat das Projekt aufgrund seiner deutsch-französischen Ausrichtung gefördert. So konnten drei internationale Experten im Seminar vortragen, was sie zur Theatertechnik erforscht hatten. Zudem wird an der Universität eine virtuelle Ausstellung zur Thea-

ter-Ingenieurskunst entstehen. „Dazu sollte das forschungsorientierte Master-Seminar ein erster Schritt sein“, erklärt Dickhaut.

### Französische Werke für deutsches Publikum umgeschrieben

Neben der Theatertechnik untersuchte die Gruppe, wie sich die zum Teil bis heute gespielten Werke aus Frankreich auf die deutsche Literatur des 17. und 18. Jahrhunderts auswirkten. „Übersetzungen der französischen Stücke machten an den Höfen in Deutschland sehr schnell Furore“, sagt Dickhaut. „In der Germanistik wurden diese aber bislang wenig rezipiert.“ Die Master-Studierenden des Projekts verglichen jeweils ein französisches Original mit seinen deutschen Übersetzungen. „Das war wichtig, um den Zusammenhang zu verstehen und zu sehen, welchen großen Einfluss das französische Theater in Deutschland hatte“, sagt Felicitas Mössner. Die wissenschaftliche Hilfskraft hatte die historischen Texte und Übersetzungen in Bibliotheken und Archiven identifiziert. Rechts des Rheins wurden die Stücke oft verändert, beispielsweise für ein bürgerliches Umfeld umgeschrieben. Denn anders als in Versailles konnte man in Heidelberg, Freiburg oder Hamburg das Theater als zahlender Gast besuchen,

und die Premieren waren nicht der höfischen Gesellschaft vorbehalten. „Ganz frappierend sichtbar wird in den Inszenierungen der konfessionelle Transfer vom Katholischen zum Protestantischen“, sagt Dickhaut. „Das hat dann wiederum Konsequenzen für die Anerkennung des Überirdischen oder von Schicksalsvorstellungen.“ So hat das protestantische Umfeld das Überirdische als unwahrscheinlich eingeordnet – und konsequent weggekürzt. Was also als wahrscheinlich galt und was nicht, musste die Forschergruppe zunächst im jeweiligen Kontext einordnen. „Für Zuschauer in der Antike war es wahrscheinlich, dass Götter auf die Bühne geflogen kamen, so wie es für die Menschen in der frühen Neuzeit sehr glaubhaft war,

dass ein Engel auf der Bühne fliegt“, sagt Dickhaut. „Für uns heute wäre es zumindest fragwürdig.“ Nicht von ungefähr gipfelt die vergessene Ingenieurskunst der Theaterbühnen denn auch im Begriff des „Deus ex Machina“, also dem Auftauchen einer Gottheit mit Hilfe einer Bühnenmaschinerie. „Hier geht es nicht um die Tante aus Amerika, die einem Theaterstück die Wendung gibt, sondern um das überraschende Eingreifen einer Figur, die dank großartiger Technik auf der Bühne einschweben konnte“, erklärt Dickhaut. So hat der vergessene Ingenieur am Ende doch noch eine tragende Rolle. Denn der heimliche Gott des Theaters ist der, der ihn erscheinen lassen kann.

Daniel Völpel

## Eine Idee ist immer nur so gut wie ihre Umsetzung

Visionäre Ideen bringen uns nur weiter, wenn sie umgesetzt werden. Für die Energiewende beispielsweise werden in der Umsetzung junge Macher wie Sie gebraucht. In der Energie- und Wasserwirtschaft können Sie viel bewegen und Ihre Talente und Fähigkeiten einbringen. Ob in einer Abschlussarbeit oder durch einen Masterstudiengang, bei einem Praktikum oder in einer Festanstellung – alle Möglichkeiten finden Sie im Portal »Berufswelten Energie & Wasser«. Gute Idee, oder? Sie brauchen sie nur noch umzusetzen.



[goo.gl/IFP8FT](https://goo.gl/IFP8FT)

[berufswelten-energie-wasser.de](https://berufswelten-energie-wasser.de)

**Berufswelten**  
Energie & Wasser

## Eine Frage der Perspektive Digitalisierung als Chance für mehr Inklusion

**Für Menschen mit Behinderung ist Erwerbsarbeit oft der entscheidende Schritt hin zu einem selbstbestimmten Leben. Ein eigenes Einkommen, aber auch der feste Platz im Kollegium oder ein durch Arbeit geregelter Alltag spielen eine wichtige Rolle für die Inklusion. Assistenzsysteme können helfen, Menschen mit Behinderung verstärkt in die Arbeitswelt einzubeziehen.**

Erwerbsarbeit hat in unserem Leben große Bedeutung. Sie dient dazu, den Lebensunterhalt zu sichern und Lebenspläne zu realisieren, die man für gut erachtet, etwa eine Familie zu gründen, ein Haus zu bauen oder zu reisen. Neben diesem Zweck stiftet Arbeit Lebenssinn; die Möglichkeit, sich seinen Lebensunterhalt durch Arbeit zu verdienen, ist Ausdruck der Autonomie und Würde moralischer Personen. Zwar sind moralische Personen in einer modernen arbeitsteiligen Gesellschaft voneinander abhängig, doch ist diese Abhängigkeit reziproker Natur, also ein gegenseitiges Geben und Nehmen. Um nicht in unbotmäßiger Art und Weise von anderen abhängig zu sein und um der gerechten Verteilung der Gewinne und Lasten gesellschaftlicher Kooperation willen, sollte jeder in der Lage sein, seinen Lebensunterhalt zu verdienen.

### Arbeit ist identitätsstiftend

Der Sozialphilosoph Axel Honneth hat in seiner politisch-philosophischen Kontroverse mit Nancy Fraser die wichtige Rolle herausgestellt, die soziale Anerkennung durch Arbeit als Bedingung gelingender Identitätsbildung darstellt. Arbeit besitzt demnach einen besonderen Stellenwert für uns, weil soziale Anerkennung wesentlich ist für die Entwicklung gelingender praktischer Identitäten. Diese erschöpfen sich nicht in der individuellen Unverwechselbarkeit, sondern beinhalten ein aktiv gestaltetes Selbstver-



hältnis, das vornehmlich in der Interaktion mit anderen entsteht. Eines der zentralen Felder dieser Interaktion ist die ökonomische Sphäre, die in unserer Gesellschaft marktwirtschaftlich organisiert ist und in der Arbeit eine zentrale Rolle spielt. Diese Argumentationsfigur aus der Anerkennungstheorie dient unter anderem dazu, das Konzept eines bedingungslosen Grundeinkommens zu kritisieren, wie es beispielsweise Jeremy Rifkin vorschlägt, um den durch die Digitalisierung der Arbeit vermuteten Jobschwund zu entschärfen. Wenn soziale Anerkennung durch Arbeit so wichtig für die Ausbildung einer gelungenen praktischen Identität ist, fragt sich etwa Beate Rösler in ihrem Aufsatz „Sinnvolle Arbeit und Autonomie“, beraubt man dann nicht mit

einem Grundeinkommen die Betroffenen der Möglichkeit, diese Form der Anerkennung zu erhalten? Diese Überlegungen zeigen, wie wichtig es ist, über die Folgen der Digitalisierung der Arbeitswelt nicht nur in ökonomischen Kategorien nachzudenken, sondern auch ethische Überlegungen miteinzubeziehen. Aus meiner Sicht ist es dabei zentral, die Auswirkungen der Digitalisierung der Arbeitswelt im Hinblick auf verschiedene Gruppen von Beschäftigten zu unterscheiden.

#### Digitale Assistenz für Menschen mit Behinderung

Eine Gruppe, die mir in meiner Forschung besonders am Herzen liegt, sind Menschen mit Behinde-

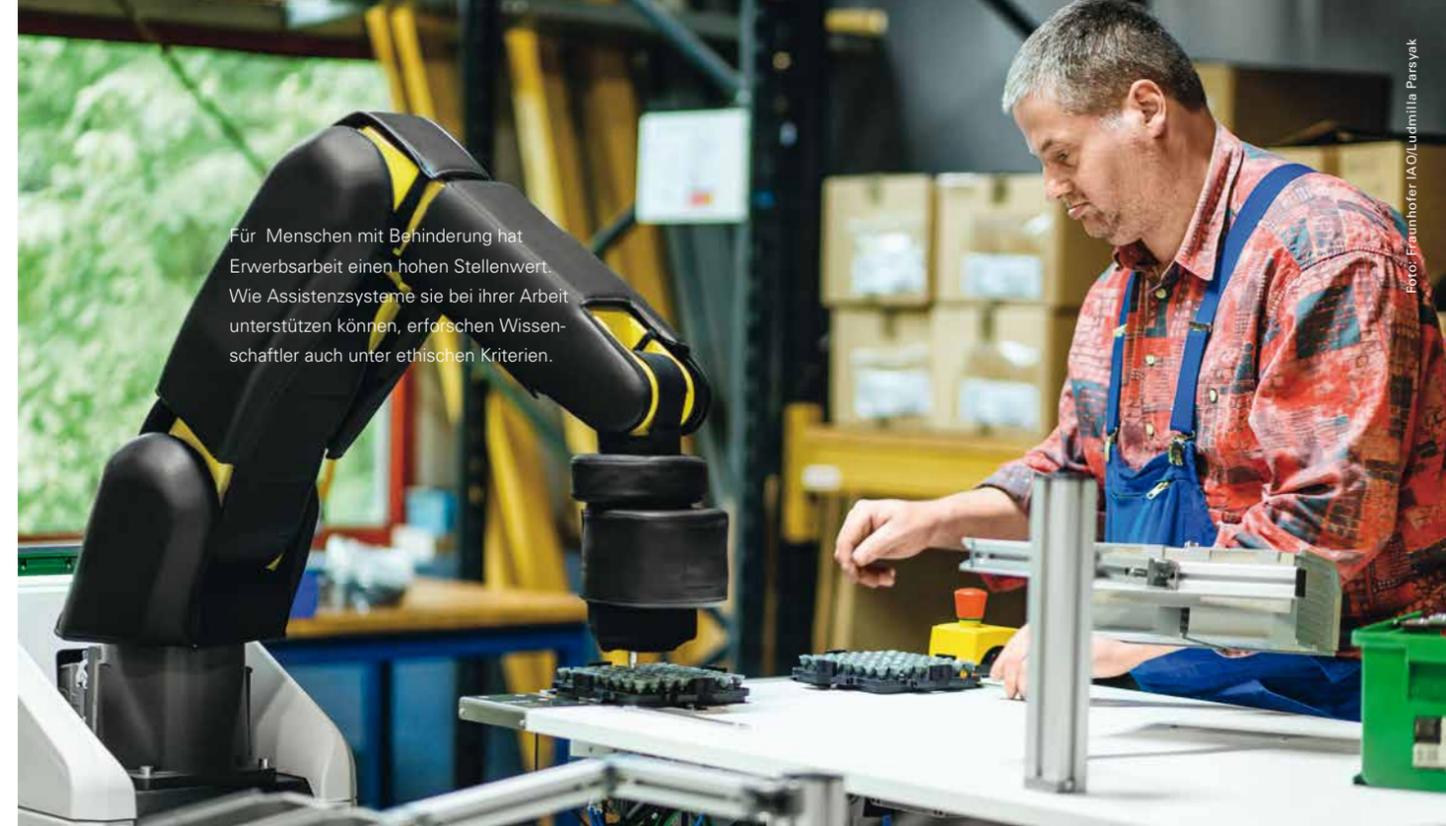
> Extruder > Dosierungen > Komponenten > Pneumatische Förderung > Komplettanlagen

» Wir fördern Ihre Zukunft! Coperion entwickelt und produziert weltweit Maschinen und Anlagen für die Kunststoff-, Chemie- und Nahrungsmittelindustrie. Unser Erfolg als Weltmarktführer bei Compoundiersystemen und Fördertechnikanlagen resultiert aus einmaliger System- und Prozesskompetenz, jahrzehntelanger Erfahrung, innovativen Technologien, einzigartigem Know-how und nicht zuletzt unseren hoch qualifizierten, engagierten Mitarbeitern. » [www.coperion.com](http://www.coperion.com)

Starten Sie mit uns durch: Karriere bei Coperion



**coperion**  
confidence through partnership



Für Menschen mit Behinderung hat Erwerbsarbeit einen hohen Stellenwert. Wie Assistenzsysteme sie bei ihrer Arbeit unterstützen können, erforschen Wissenschaftler auch unter ethischen Kriterien.

Foto: Fraunhofer IAQ/Ludmila Parsyak

rung. Mehr und mehr gerät politisch in den Blick, dass Erwerbsarbeit für Menschen mit Behinderung nicht weniger wichtig ist als für Menschen, die keine Behinderung aufweisen. So ist es eine zentrale Forderung der UN-Konvention über die Rechte von Menschen mit Behinderung, die seit ihrer Ratifizierung 2009 auch in Deutschland den Status einfachen geltenden Rechts besitzt, dass Menschen mit Behinderung verstärkt in die Arbeitswelt einbezogen werden sollen.

Assistenzsysteme können hierbei unterstützend wirken. Dies wurde durch das kürzlich abgeschlossene, vom Bundesministerium für Wirtschaft und Energie geförderte Forschungsprojekt MotionEAP erwiesen. In dem Projekt ging es um die Entwicklung eines Systems zur Effizienzsteigerung und Assistenz bei Produktionsprozessen in Unternehmen auf der Basis von Bewegungserkennung und Projektion. Das von mir geleitete Teilprojekt untersuchte die ethischen Implikationen solcher Systeme. In diesem Zusammenhang hat sich gezeigt, dass Assistenzsysteme insbesondere die Leistung von Menschen mit schweren kognitiven Beeinträchtigungen steigern können und von diesen sehr positiv erlebt werden. Ein Anwendungsbereich war die Montage von Schraubzwingen. Menschen mit geistiger Behinderung empfinden diese Arbeit mithilfe eines Assistenzsystems als mental weniger anstrengend und sie sind weniger

angewiesen auf persönliche Rückmeldung und Bestätigung. Das gibt ihnen mehr Selbstsicherheit und sie führen den Arbeitsprozess nicht nur sichtlich entspannter aus, sondern zeigen auch mehr Freude und Motivation. Und sie können selbst nach längerer Unterbrechung problemlos wieder an den Arbeitsprozess anknüpfen.

#### Segen oder Fluch – eine Frage der Perspektive

Wie die Technisierung der Arbeit im Rahmen von Industrie 4.0 zu bewerten ist, hängt also von verschiedenen Faktoren ab. Dazu gehören die Ausgestaltung und der Einsatzbereich digitaler Technologien. Diese können einerseits zur Herausbildung komplexerer Aufgaben sowie kognitiv und sozial anspruchsvollerer Tätigkeitsfelder führen. Andererseits können sie zur Vereinfachung von Arbeitsprozessen beitragen. Ob diese Entwicklung ethisch positiv einzuschätzen ist, hängt u. a. von der betrachteten Zielgruppe ab. Insbesondere für Menschen mit Behinderung können sich dadurch neue Perspektiven ergeben. Dies betrifft sowohl die Inklusion auf dem ersten Arbeitsmarkt als auch den Einsatz digitaler Technologien in Werkstätten für Menschen mit Behinderungen.

Prof. Catrin Misselhorn,  
Institut für Philosophie, Lehrstuhl für  
Wissenschaftstheorie und Technikphilosophie



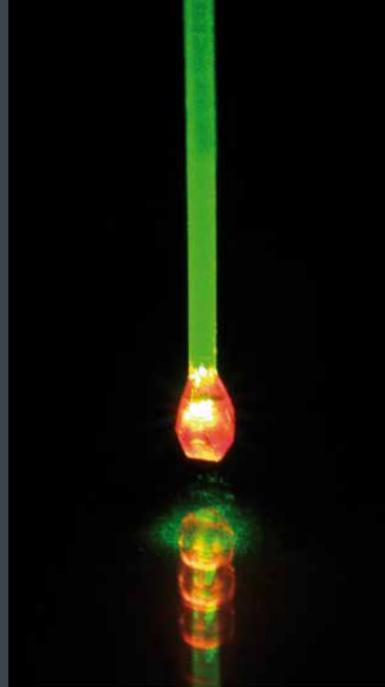


Foto: Universität Stuttgart/PI 3

### Schärfere MRT-Bilder

Moleküle verraten sich durch ihren magnetischen Fingerabdruck. Bei der in der Medizin weit verbreiteten Magnetresonanztomografie nutzt man dies, um mit Hilfe der Magnetfelder von Kernspins Bilder vom Körper zu erstellen oder Aussagen über die Zusammensetzung von Molekülen zu treffen. Bisher waren dafür jedoch große Probenmengen nötig, weshalb kleinste Details auf den Bildern nicht sichtbar waren. Ein Team um Prof. Jörg Wrachtrup von der Universität Stuttgart spürte molekulare Signaturen mit Hilfe eines atomaren Quantensensors auf, der eine billionenfach verbesserte Empfindlichkeit aufweist. Der neuartige Sensor erlaubt es, einzelne Moleküle wie zum Beispiel Proteine zu erkennen und deren Dynamik gezielt zu untersuchen. Das könnte die Auflösung von Magnetresonanztomografen entscheidend verbessern, sodass diese sich zum Beispiel für die Tumorerfrüherkennung einsetzen ließen. Darüber hinaus könnten Quantensensoren im Diamant bei der Miniaturisierung von Kernspin-Spektrometern eine wichtige Rolle spielen und die Anschaffungskosten erheblich reduzieren.

### Rakete unter Druck

Welchem Druck halten die auch Booster genannten neuartigen Feststofftanks der künftigen europäischen Trägerrakete Ariane 6 stand? Diese Frage wurde auf dem Testgelände der Materialprüfungsanstalt der Universität Stuttgart mit einem lauten Knall beantwortet. Der Lärm entstand, als ein tonnenschwerer Demonstrator bewusst mit großem Überdruck zum Bersten gebracht wurde. Durch den spektakulären Berst-Versuch konnte gezeigt werden, dass die Sicherheitsreserven der neuen, erstmals aus Kohlefasern gewickelten Tanks weit über den tatsächlichen Anforderungen liegen. Die Faserverbundtechnologie trägt dazu bei, das Gewicht der Rakete zu verringern. Dies soll gewährleisten, dass die europäische Raumfahrtindustrie auf dem weltweit stark umkämpften Markt weiterhin konkurrenzfähig bleibt.



Foto: Universität Stuttgart/MPF

### Schnell, effizient und leise

Als Airbus Helicopters im Juni auf der Paris Air Show in Le Bourget den Hochgeschwindigkeitshubschrauber „Racer“ vorstellte, war das Medienecho enorm. Der schnelle Prototyp, der künftig mit 400 Stundenkilometern am Himmel kreuzen soll, ist Teil des Forschungsprogramms „CleanSky2“, mit dem die Europäische Union das Fliegen ökologischer und ökonomischer machen möchte. Die Simulationen für den Racer entstehen in der Arbeitsgruppe „Hubschrauber und Aeroakustik“ am Institut für Aerodynamik und Gasdynamik der Universität Stuttgart. Die dazugehörigen Forschungsberechnungen werden am Höchstleistungsrechenzentrum durchgeführt. Seit Anfang 2016 arbeiten drei Doktoranden in intensiver Abstimmung mit dem Hersteller an der Optimierung und Risikominimierung vor dem Erstflug, der für 2020 geplant ist. Hierbei geht es um die Betriebsgrenzen sowie die Flugstabilität in allen für Hubschrauber möglichen Situationen, beispielsweise auch beim schrägen Rückwärtsflug. Zudem soll der Helikopter möglichst effizient, umweltfreundlich und geräuscharm fliegen, was sich durch vielfältige Steuermechanismen optimieren lässt.

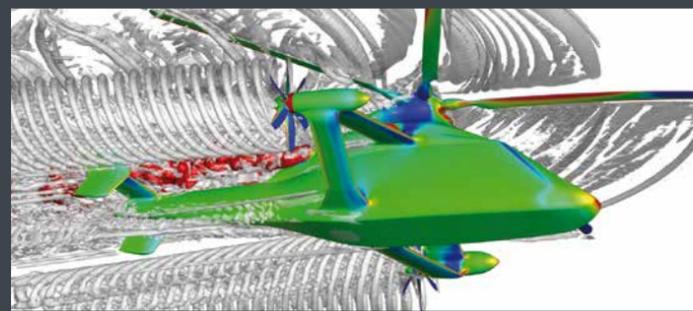


Foto: Universität Stuttgart/IPC

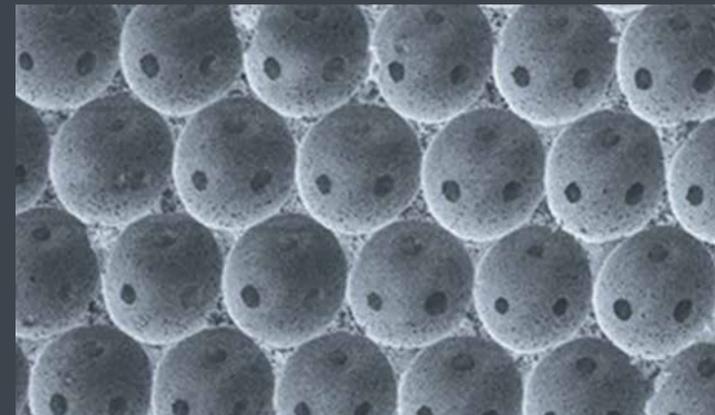


Foto: Universität Stuttgart / IPC

### Schaumstoffe wie Honigwaben

Schaumstoffe mit einer offenen Zellstruktur eignen sich für Filter, Schwämme oder Gewebezüchtungen. Geschlossene Strukturen hingegen taugen eher für Wärmeisolatoren oder Verpackungsmaterialien. Ein Forscherteam um Prof. Cosima Stubenrauch an der Universität Stuttgart fand nun heraus, wie man gezielt offen- oder geschlossenzellige Schaumstoffe herstellen kann.

Das Team arbeitete mit einer flüssigen Matrix, in der Schichten kugelförmiger Wassertröpfchen eng aneinandergepackt sind. Die Matrix besteht aus Monomeren (Einzelmolekülen) und wurde durch die Zugabe eines sogenannten Initiators zu

einem Polymer (Polysterol) verfestigt. Dabei machten die Forscher eine völlig überraschende Entdeckung. Es zeigte sich, dass sich dichtgepackte, flüssige Kugeln während der Verfestigung zu sechseckigen Strukturen verformen, deren Wände eine homogene Dicke besitzen. Des Rätsels Lösung: Befindet sich der Initiator der Polymerisation und Aushärtung in dem Monomer, so bilden sich Kugelschäume. Befindet er sich dagegen in den Wassertröpfchen, dann entstehen Wabenstrukturen. Ähnlich, so die Theorie des Teams, könnten auch Bienenwaben ihre sechseckige Form entwickeln.

### Extreme Lichtkompression

Dass man das sichtbare Licht in seiner Wellenlänge extrem komprimieren kann, war bisher nur eine Theorie. Physiker des 4. Physikalischen Instituts der Universität Stuttgart konnten diesen Effekt in Zusammenarbeit mit Forschungsgruppen an der Universität Duisburg-Essen und in Haifa nun erstmals nachweisen. Durch einen Trick gelang es ihnen, Licht in einen Brennpunkt von nur 60 Nanometern zu fokussieren. Durch ihren Erfolg eröffnen sich neue Möglichkeiten der technischen

Nutzung, zum Beispiel in optischen Bauteilen für Computer oder im Bereich der hochauflösenden Mikroskopie.

Möglich war der Nachweis dank neuartiger Goldfilme mit einer extrem hohen Oberflächenqualität.

Hierfür verwendeten die Wissenschaftler eine neue Methode, mit der es gelang, atomar glatte, mehrere Mikrometer große und monokristalline Goldoberflächen von einstellbarer Dicke auf extrem glatten Siliziumoberflächen herzustellen.



Foto: Universität Stuttgart / PI 4

## Dem digitalen Zwilling auf der Spur Physische und virtuelle Welt in der Produktion verschmelzen

**Ein Verbundforschungsprojekt zeigt, welcher Nutzen aus der Verbindung von Umformtechnik und Informationstechnologie entsteht. Zu den Projektpartnern gehört die Universität Stuttgart mit den Instituten für Umformtechnik (IFU) sowie für Automatisierungstechnik und Software-systeme (IAS).**

Bauteile jederzeit in stets derselben Qualität: Theoretisch ist das in der Produktion ganz einfach. Leider sieht der Alltag bei vielen Herstellern anders aus. Häufig arbeiten die Betriebe mit idealisierten Modellen für Werkstoffe, Maschinenverhalten und Fertigungsabläufe – und müssen feststellen, dass die Realität eine andere ist. Denn wenn sich Rahmenbedingungen ändern, dann gilt das auch für die Parameter, die in der Produktion relevant sind. Das führt unweigerlich zu Qualitätsschwankungen. Neue Konzepte, wie sie Methoden der Industrie 4.0 ermöglichen, sollen hier Abhilfe schaffen.

Im Verbundforschungsprojekt „Effizienzschub in der Massivumformung durch Entwicklung und Integration digitaler Technologien“ (EMuDig4.0) er-

Eine Kombination aus QR-Code und Zählverfahren hilft bei der eindeutigen Identifizierung des Halbzeugs entlang des gesamten Fertigungsprozesses.



Foto: Universität Stuttgart/Max Kovalenko

forscht hierfür ein Konsortium aus Hochschulen und Unternehmen das Warm Schmieden von Stahl und Aluminium. Das Projekt ist auf drei Jahre angelegt und läuft noch bis 2019. Ziel ist es, am IFU zunächst eine Industrie 4.0-fähige Modellfabrik aufzubauen. Die hier erarbeiteten Konzepte für einen datengetriebenen Prozessablauf des Warm Schmiedens werden dann bei zwei industriellen Projektpartnern adaptiert, um anschließend mit echten Produktionsdaten zu arbeiten.

### Digitale Zwillinge für bessere Nachverfolgbarkeit

„Beim Warm Schmieden macht es der spezifische Umformprozess schwierig, einen möglichst präzisen, digitalen Zwilling zu erstellen“, sagt IFU-Direktor Prof. Mathias Liewald. Denn: Das Rohteil durchläuft einen Prozess, bei dem es in seiner Mikrostruktur und Geometrie vollständig verändert wird. Damit Hersteller und Charge des Rohmaterials immer eindeutig identifizierbar bleiben, lässt sich also nicht einfach ein Barcode oder ein Funketikett an seiner Oberfläche befestigen, der die relevanten Daten speichert.

Warm Schmieden verläuft nach einem festgelegten Schema: Das Rohmaterial – typisch sind Stangen mit bis zu zehn Zentimetern Durchmesser – wird in Stücke mit definierter Länge geschert. „Das führt dazu, dass anschließend hunderte Teile in einer Kiste liegen“, verdeutlicht Liewald das Problem. „Im schlimmsten Fall sind dabei sogar noch die Lieferungen von verschiedenen Herstellern vermischt worden.“ Die erwärmten zylindrischen Rohteile, die so genannten Halbzeuge, werden dann in das aus zwei Formhälften bestehende Umformwerkzeug eingelegt und von einer Presse unter Kraftaufwand geschlossen. Der für die Aluminiumwarmumformung relevante Temperaturbereich liegt bei fast 600 °C. Der große Vorteil dieses Umformverfahrens ist die Ausrichtung der werkstofflichen Mikrostruktur entlang



Im Verbundforschungsprojekt EMuDig4.0 erforscht ein Konsortium aus Hochschulen und Unternehmen das Warm Schmieden von Stahl und Aluminium.

Foto: Universität Stuttgart/Max Kovalenko

der späteren Belastungsrichtung der Bauteile, die in der Automobilindustrie üblicherweise für Achs- und Antriebskomponenten eingesetzt werden.

„Wir verwenden in unserem Modellprozess ein zweistufiges Schmiedegesenk, das eng an Schmiedeprozesse unserer Industriepartner angelehnt ist“, erklärt Liewald. Um die gefertigten Teile über die gesamte Kette vom Rohmaterialhersteller über den Produktionsprozess bis hin zur Auslieferung eindeutig identifizieren zu können, mussten die Forscherinnen und Forscher am IFU zunächst ein hierfür geeignetes Verfahren finden und erproben. „Wir entschieden uns für das Lasermarkieren, mit dem sich zum Beispiel QR-Codes auf die Oberfläche des Halbzeugs aufbringen lassen“, so Liewald. Dieser QR-Code geht zwar während des Umformens ebenfalls verloren, doch die Forscher lesen ihn direkt vor dem Umformprozess aus und identifizieren das Halbzeug während der Umformschritte durch ein Zählverfahren. Ist der Prozess abgeschlossen, erhalten die einzelnen Bauteile sofort wieder eine bleibende Lasermarkierung. Auf diese Weise bleibt die Rückverfolgbarkeit des Bauteils bis zum Rohmaterial garantiert. „Um eine eindeutige Rückverfolgbarkeit aller Werkstücke in der Prozesskette zu gewährleisten, sind der verarbeitende Betrieb und

die Zulieferer gefordert – was nicht ganz einfach zu etablieren ist“, weiß Liewald. Für eine geschlossene Informationskette braucht es aber genau diesen letzten Schritt: die Qualitätskontrolle des Bauteils. „Verantwortliche in Warm Schmiede-Betrieben haben uns gesagt, dass bereits mit einer eindeutigen Nachverfolgbarkeit über die gesamte Prozesskette hinweg viel gewonnen wäre, um die Produktion zu verbessern“, sagt Liewald.

### Eindeutige Identifikation wäre ein Gewinn

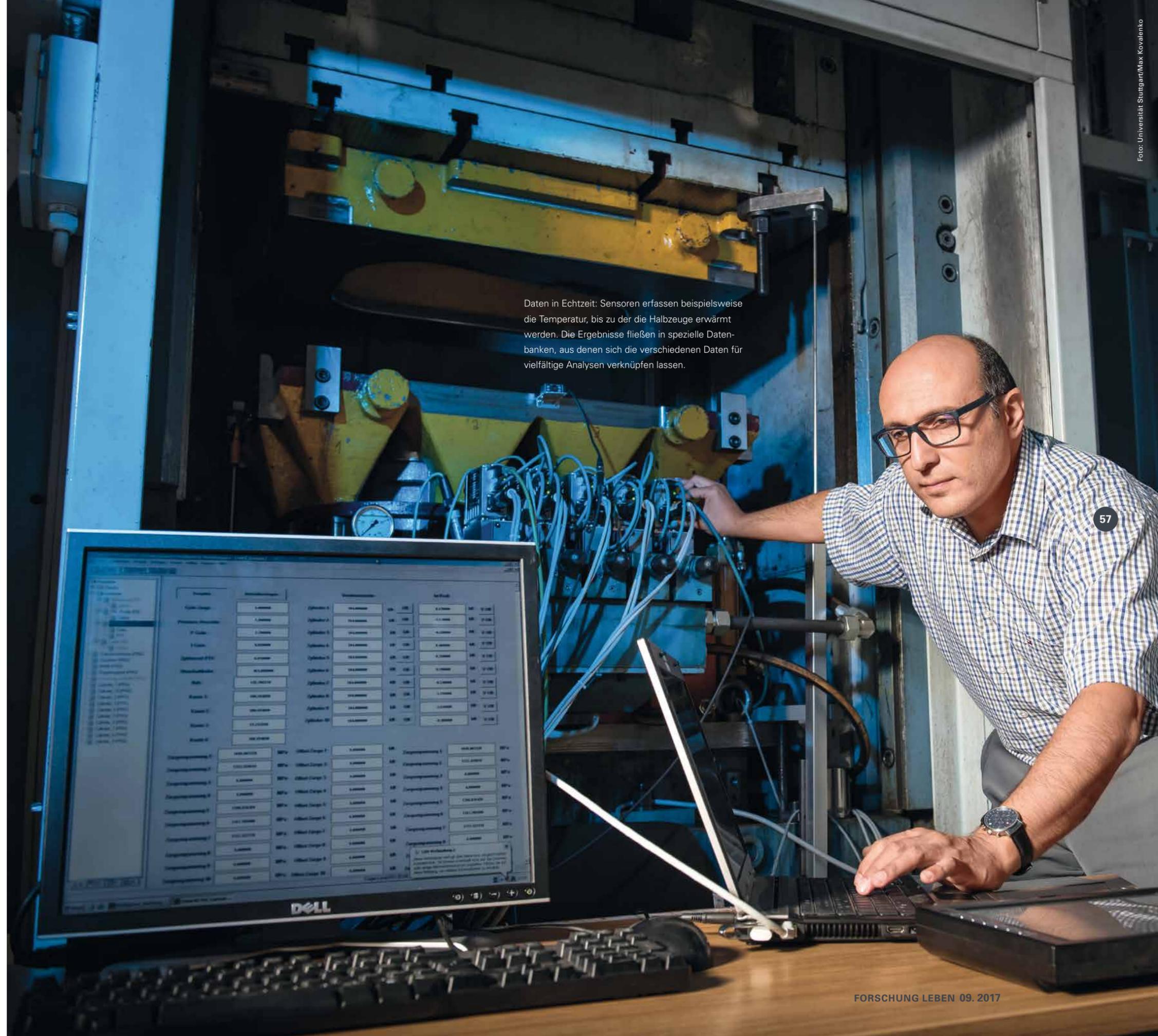
Mit einem digitalen Zwilling lässt sich jedoch noch viel mehr erreichen – wenn man es richtig macht. Deshalb wollen die Forscher mit „EMuDig4.0“ modellhaft zeigen, wie sich der Produktionsprozess robuster gestalten und die Effizienz einer Anlage erhöhen lassen. Und was sich daraus für künftige Produktionsaufträge ergibt, denn die Fabrik der Zukunft soll dank der erhobenen Daten und deren intelligenter Analyse Qualitätsschwankungen in der Produktion vermeiden und Kosten senken. Dazu soll auch beitragen, dass das erforderliche Know-how nicht nur als Erfahrungswissen in den Köpfen langjähriger Mitarbeiter vorhanden ist, sondern künftig allen und jederzeit für das Auslegen neuartiger Schmiedewerkstücke zur Verfügung steht. Neben

den beiden Instituten der Universität Stuttgart wirken die TU Dresden, die Fachhochschule Südwestfalen, Iserlohn, sowie drei Unternehmen mit. Nach der Einrichtung und Erprobung der Modellfabrik am IFU adaptieren die Projektpartner das Konzept auf einen Produktionsablauf im Unternehmen Otto Fuchs in Meinerzhagen. Im Anschluss erfolgt eine Adaption auf eine Pressenlinie bei der Hirschvogel Automotive Group in Denklingen, wo Stahl- statt Aluminiumhalbzeuge verarbeitet werden. Die Mitarbeiter beider Anwenderunternehmen können die Modellfabrik in Stuttgart zum Lernen nutzen, was die anschließende Adaption im eigenen Betrieb erleichtert.

Mit dabei ist außerdem der Anlagenbauer SMS Group, unter dessen Leitung datengestützte Prognosemodelle für vorbeugende Maßnahmen zur Instandhaltung und Wartung der Umformpressen entstehen sollen. So lässt sich eine Maschine geplant aus dem laufenden Produktionsbetrieb herausnehmen, bevor es zu einem ungeplanten Stillstand und damit womöglich der gesamten Produktion kommt. Darüber hinaus will die Fachhochschule Südwestfalen weitere Prognosemodelle für das Warm Schmieden entwickeln, um die Nutzungsdauer der Schmiedewerkzeuge vorausberechnen zu können, die im Umformprozess einem ständigen Verschleiß unterliegen. Die TU Dresden wiederum bringt ihre Expertise im wissenschaftlichen und datenintensiven Rechnen ins Projekt ein.

### Stahl, Eisen und IT

Die Modellfabrik am IFU ist inzwischen weitgehend konzipiert und wird im Frühjahr 2018 vollständig verkettet sein. Aus der Steuerung der Presse lassen sich Daten auslesen, die für den Umformprozess relevant sind. So erfassen Sensoren beispielsweise die Temperatur, bis zu der die Halbzeuge erwärmt werden. Zudem werden künftig Prüfzeugnisse des eingehenden Rohmaterials vorliegen und die Werk-



Daten in Echtzeit: Sensoren erfassen beispielsweise die Temperatur, bis zu der die Halbzeuge erwärmt werden. Die Ergebnisse fließen in spezielle Datenbanken, aus denen sich die verschiedenen Daten für vielfältige Analysen verknüpfen lassen.

Aus der Datenbank zurück ins Produktionssystem: Die Erkenntnisse aus den Datenanalysen sollen den Mitarbeitern an den Maschinen Handlungsanweisungen zur Verfügung stellen. Das Ziel ist ein verbesserter Umformprozess.

stücke einzeln über die lasermarkierten QR-Codes erfasst. Hier kommen nun IAS-Leiter Michael Weyrich und sein Team ins Spiel: Sie untersuchen, welche Daten relevant sind für weitergehende Analysen, um den Produktionsprozess in Echtzeit in den verschiedenen Steuer- und Regelschleifen zu verarbeitenden. „Die Experten vom IFU sagen uns, was sie als sinnvoll erachten“, so Weyrich. Damit die Daten anschließend in einer zu verarbeitbaren Form für die Auswertung vorliegen, müssen er und sein Team alles sehr viel genauer wissen: Um welche Datentypen handelt es sich im Einzelnen – um ganzzahlige Zahlen, Kennlinien oder Datenfelder? Wie häufig ändern sich diese Daten? Existieren offene Schnittstellen, um an die Daten heranzukommen? Und wie lassen sich die Daten sinnvoll, das heißt flexibel verwendbar, speichern? „Da kommen schnell große Datenmengen zusammen, sagt Weyrich. Anfangs erfasse man sicherlich auch vieles, was später dann wieder verworfen werde, weil es keine nützlichen Informationen liefert.“ Es ist also forschende Intuition gefragt.“ Auch darum, um die „unterschiedlichen Denkkulturen der Stahl- und Eisen-Welt und der Informationstechnik zusammenzuführen“, so Weyrich. Die Projektbeteiligten müssten eine „gemeinsame Basis finden, um die Relevanz der verschiedenen Daten beurteilen zu können.“

Um Echtzeitdaten zu gewinnen, bedient sich Weyrichs Team schneller Algorithmen, wie sie heute für das so genannte Online Analytical Processing existieren. Die Speicherung erfolgt dazu in speziellen Datenbanken, aus denen sich die Daten flexibel auf sehr vielfältige Weise wieder auslesen lassen, um sie für die jeweiligen Analysen miteinander zu verknüpfen. Die hier gewonnenen Erkenntnisse flie-

Abbildung: Universität Stuttgart/Daniela Leitner



ßen zurück in das Produktionssystem, um immer möglichst nah am optimalen Umformprozess zu bleiben. So versuchen die Forscherinnen und Forscher um Weyrich Korrelationen zu entdecken, die sich im Idealfall – mit Unterstützung der Umformexperten – auf

Kausalitäten zurückführen lassen. Die könnten zum Beispiel so aussehen: Liegt die Temperatur beim Warm Schmieden in einem bestimmten Bereich X, die innerhalb eines gewissen Zeitfensters Y erreicht wird, und hat das Rohmaterial des Halbzeugs eine bestimmte metallurgische Mikrostruktur Z, so sind die Qualitätsschwankungen beim fertigen Bauteil immer besonders groß.

„Seitens des IAS betreiben wir in diesem Projekt empirische Forschung“, stellt Weyrich klar. „Niemand kann theoretisch eine Datengewinnung und -analyse erarbeiten, die dann die realen Verhältnisse korrekt abbildet. Vielmehr brauchen wir echte Produktionsdaten, um einen korrekten digitalen Zwilling zu erzeugen.“ Verdeutlichen lässt sich die Herausforderung auch an den Big-Data-Analysen: „Sie erfolgen mit Verfahren des maschinellen Lernens, aber es gibt hierfür viele Algorithmen, über die man nicht vorab sagen kann, welcher sich für eine konkrete Problemstellung am besten eignen“, erklärt Weyrich. Das geht nur durch ein systematisches Erproben mit realen Produktionsdaten, in diesem Fall an der IFU-Modellfabrik. Der eigentliche Lackmestest sind dann die Daten, die bei Otto Fuchs und Hirschvogel anfallen. „Die Erkenntnisse aus diesen Analysen“, so Weyrich, „wollen wir den Mitarbeitern an der Maschine als klare Handlungsanweisungen zur Verfügung stellen, um so den konkreten Umformprozess zu verbessern.“

Michael Vogel

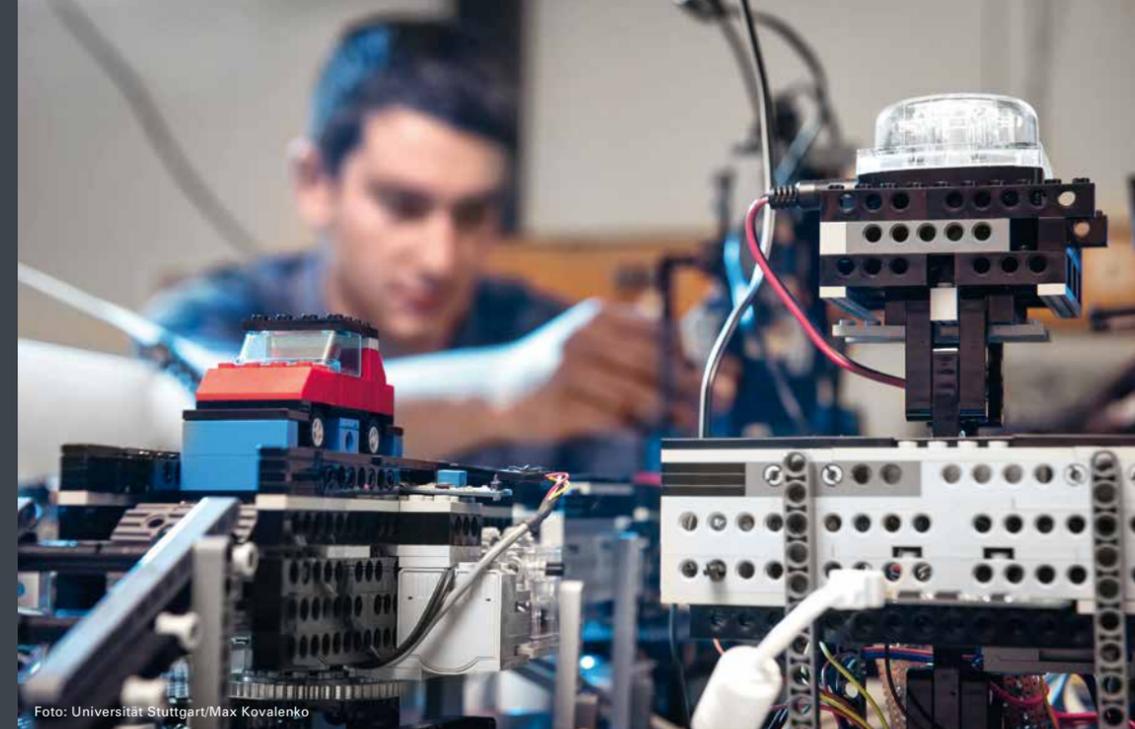


Foto: Universität Stuttgart/Max Kovalenko

### Zukunft en miniature

Ein Demonstrator aus Lego-Bausteinen verdeutlicht das Potenzial der Industrie 4.0.

Prof. Michael Weyrich und sein Team bauen Autos – aus roten und blauen Lego-Bausteinen. Besser: Die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler lassen bauen. Von ihrer elektrisch angetriebenen Produktionsanlage. Die besteht übrigens ebenfalls aus Lego. Es gibt zwei Lager-Stationen, zwei Platzier-Stationen, zwei Press-Stationen und mehrere Transportsysteme inklusive mobilem Transportroboter. Mit dieser Miniatur-Nachbildung einer hochkomplexen Automobilproduktion lassen sich zwei Fahrzeuge – ein blaues und ein rotes – gleichzeitig herstellen, ohne dass sich die beiden Produktionsprozesse gegenseitig ins Gehege kommen.

Die Lego-Fabrik wurde von Weyrichs Team in den vergangenen Jahren entwickelt: Sie ist alles andere als eine Spielerei, sondern Demonstrator für eine ausgeklügelte Software. „Unser Modell ist ein ernsthaftes Forschungsprojekt“, betont denn auch Weyrich, der Leiter des Instituts für Automatisierungstechnik und Softwaresysteme an der Universität Stuttgart ist. Die einzelnen Stationen der Mini-Fabrik können sich über Softwareagenten ad hoc miteinander vernetzen. Solche Agenten sind an sich keine Neuerfindung, aber bislang in der industriellen Praxis nicht erforderlich gewesen. Es handelt sich um Programme, die genau

spezifizierte Aufgaben eigenständig und autonom bewältigen können. „Das Zusammenspiel der Agenten kann man sich wie auf einem Marktplatz vorstellen“, erklärt der Ingenieur. „Der Agent eines geplanten Fahrzeugs nimmt mit den Lego-Fertigungsinseln Kontakt auf, klärt selbstständig, welche Station gerade verfügbar wäre und ob die richtigen Bausteine da sind.“ Der Agent, der das Produkt vertritt, verhandelt somit selbst die beste Route durch die Fertigung. Ist eine Station ziemlich ausgelastet, wird die Fertigung teurer, dagegen bietet eine Station im Leerlauf ihre Dienste per Agent günstig an, um ihre Auslastung zu steigern. Wie das Auto nachher aussehen soll, lässt sich vor Beginn der Fertigung am Tablet festlegen. Der Vorteil für den Betreiber einer solchen Fabrik ist die Flexibilität. „Man muss nicht mehr vorab in der Produktionssteuerung den genauen Ablauf für verschiedene Fahrzeugvarianten festlegen, sondern kann flexibel auf Bedarfsschwankungen reagieren“, sagt Weyrich. Dank dieses Industrie 4.0-Konzepts lassen sich Fahrzeugvarianten sehr individuell produzieren, egal wie die Ausstattung aussehen soll. Die Fabrik passt sich rasch und problemlos an neue Anforderungen an – sie wird adaptiv, agil und lernfähig.

Michael Vogel

## „Smart ist, was wirtschaftlich ist“ Unterstützung für kleine und mittlere Unternehmen beim Einstieg in Industrie 4.0

**Auch kleine und mittlere Unternehmen stehen vor der Umsetzung von Industrie 4.0. Weil dafür oft Ressourcen und Strategien fehlen, soll das Projekt „Smart Factory Hub“ des Instituts für Arbeitswissenschaft und Technologiemanagement (IAT) der Universität Stuttgart helfen, die Hürden zu senken und erste Schritte zu ermöglichen.**

Die Digitalisierung ist der wohl dynamischste Wirtschaftstrend der vergangenen Jahrzehnte. Unter den Stichworten „Industrie 4.0“ oder „Intelligente Fabrik“ entstehen neue Produkte, neue Herstellungsverfahren, sogar neue Märkte. Während große Unternehmen intensiv an der Weiterentwicklung und Implementierung digitaler Prozesse arbeiten und sich gegebenenfalls Expertise einkaufen, herrscht in

Mithilfe von Computersimulationen sind Fertigungsanlagen bereits vor ihrem Bau begehbar.



Foto: Dürr

kleinen und mittleren Unternehmen (KMU) oftmals Unsicherheit: Wie wird smarte Produktion umgesetzt? Lohnt sich das für uns? Und an welcher Stelle können wir beginnen? Nicht nur Antworten, sondern konkrete Hilfestel-

lung verspricht das Projekt „Smart Factory Hub“, an dem seit Januar 2017 Jonathan Masior und Marco Kayser vom Institut für Arbeitswissenschaft und Technologiemanagement der Universität Stuttgart arbeiten. Ziel ist es, in der Donauregion – also in den mittel- und osteuropäischen Donau-Anrainerstaaten – den Wissenstransfer zur Industrie 4.0 zu beschleunigen und zu stärken. Im Zuge des Projekts, das bis Juni 2019 angelegt ist, sollen beispielsweise Lern- und Trainingsnetzwerke entstehen – Aufgaben, die maßgeblich von Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftlern der Universität Stuttgart gestemmt werden.

Klar sei, sagt Marco Kayser, dass „jede Produktion ihr eigenes Ökosystem ist“, mit eigenen Details und Abläufen. Dennoch gebe es mit Blick auf die „intelligente Fabrik“ sich überschneidende Herausforderungen, etwa in Logistik, Qualitätsmanagement oder Dokumentation. „Smart ist, was wirtschaftlich ist“, so Kayser. Gerade KMU müssen herausfinden,

welche Lösung sich mit Blick auf höhere Produktivität oder Einsparung am schnellsten rechnet. „Oft haben Unternehmen Sorge, weil sie ein riesiges Themenfeld sehen, und nicht wissen, was sie davon anwenden sollen, ergänzt Jonathan Masior.

Per Tablet aus dem Kundenservice direkt in die Fertigung: Digitalisierung ermöglicht auch kleinen und mittleren Unternehmen, neue Produkte, Herstellungsverfahren oder gar neue Märkte zu erschließen.

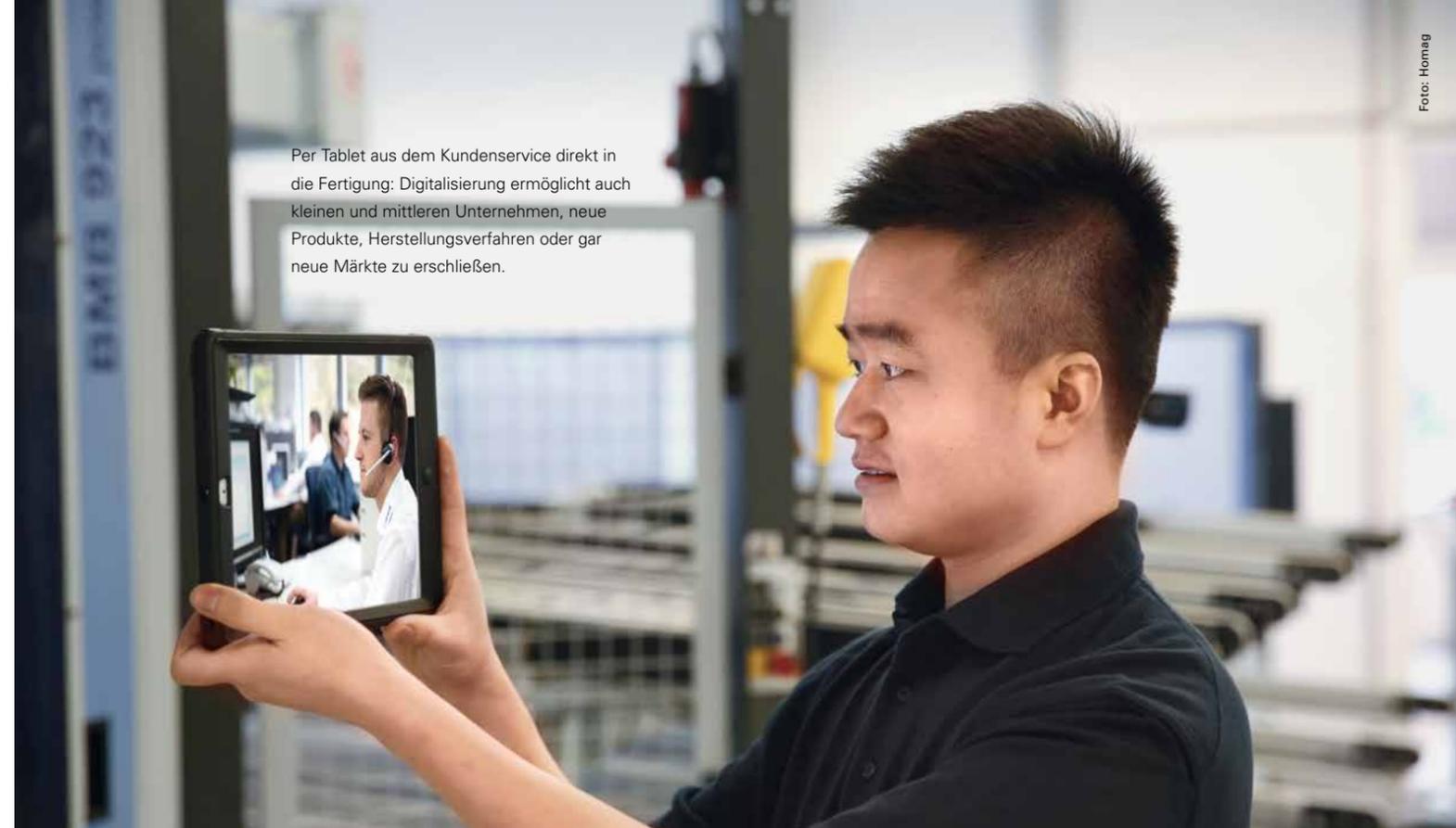


Foto: Homag

### Wikipedia-ähnliche Wissensdatenbank im Aufbau

Ein Grundgedanke des „Smart Factory Hub“-Projekts ist daher, dass nicht jedes Unternehmen das Rad neu erfinden muss: „Kleine und mittlere Unternehmen haben meist weder Zeit noch Mittel, diesen Prozess alleine anzugehen“, sagt Kayser. Ein gangbarer Weg sei für KMU dagegen, aus den Erfolgen und Fehlern anderer zu lernen. Solche Best-Practices wollen die IAT-Forscher in einer Datenbank sammeln, mit konkreten Anwendungsfällen, aber auch Vor- und Nachteilen. „Unser Ziel ist eine

Marco Kayser und Jonathan Masior arbeiten seit Januar 2017 am Projekt „Smart Factory Hub“.



Foto: Universität Stuttgart/IAT

Wikipedia-ähnliche Technologie- und Wissensdatenbank für Industrie 4.0“, verdeutlicht Masior. Die Datenbank soll als erste unverbindliche Info-Plattform dienen und die häufig vorhandene Scheu vor dem Thema Industrie 4.0 abbauen helfen. In den Trainingseinheiten, die sie im Projekt entwickeln werden, wollen Masior und Kayser in praktischen Übungen Unternehmen zu ersten Schritten führen. Ein erster Ansatz könnte sein, papierbasierte Prozesse zugunsten mobiler digitaler Geräte aufzugeben. Das schafft Transparenz und mehr Zeitaktualität in der Produktion.

Im Moment gibt es zwischen großen Unternehmen und KMU noch eine große Lücke – gerade die Industrielieferer unter den Mittelständlern müssen jedoch mitziehen. Wichtig ist dabei, frühzeitig zum Beispiel in der IT geeignete Strukturen zu schaffen. Auf diese Weise fällt es später leichter, auf neue Anforderungen der Kunden zu reagieren und sich in Teilschritten an die Umsetzung zu machen. Im Projekt „Smart Factory Hub“ können KMU konkret mitarbeiten. Wer sich an der Entwicklung beteiligt, bekommt Innovationsgutscheine angeboten, um sich Beratung, Workshops oder Implementierungen sichern zu können.

Jens Eber

Mannshoch mit schwenkbaren Armen: Das adaptive Assistenzsystem unterstützt Operateure künftig bei minimal-invasiven Eingriffen.

## Das Cockpit der Zukunft Neue Wege in der Kommunikation von Mensch und Maschine

**Autonome Fahrzeuge und Maschinen sollen uns das Leben in Alltag und Beruf leichter machen. Doch je automatisierter und vernetzter sie sind, desto komplexer werden sie. Damit die Kommunikation mit den Maschinen von morgen trotzdem reibungslos funktioniert, entwickeln Ingenieure des Forschungs- und Lehrgebiets Technisches Design der Universität Stuttgart an den Nutzer und die Situation angepasste Cockpits und Bedienelemente.**

Bereits 2008 rollten in Nürnberg erstmals in Deutschland U-Bahnen ohne Fahrer über die Gleise – vollautomatisch gesteuert über ein Computernetzwerk. Über dieses stehen die U-Bahnen in ständigem Datenaustausch mit der Strecke, dem Stellwerk und einer zentralen Leitstelle. Der „Fahrer“ jedoch sitzt am Schreibtisch in der Leitstelle und überwacht auf zehn Monitoren den Betrieb. Aktuell testet die Deutsche Bahn führerlose Züge in ersten Pilotprojekten, und noch in diesem Jahr sollen erstmals auch selbst-fahrende Linienbusse im öffentlichen Stadtverkehr zum Einsatz kommen.

In der Landwirtschaft hat die Digitalisierung bereits seit Mitte der 1990er-Jahre Einzug gehalten. Lange bevor autonome Autos ihre Jungfernfahrt auf der Straße absolvierten, konnten Landwirte bereits ihre Hände vom Steuer nehmen und Traktoren und Mähdrescher GPS- und Sensor-gesteuert spurgenaue über die Felder fahren lassen. In Zukunft plant und überwacht der Bauer zu Hause vor dem Rechner, wie seine autonomen Fahrzeuge das Feld bestellen. Noch sind wir weit davon entfernt, dass Maschinen vollkommen autonom handeln – ohne den Menschen als „Aufpasser“. Aber auf dem Weg dorthin lösen zunehmend automatisierte oder teilautonome Maschinen, bei denen der Mensch nur im Notfall übernehmen muss, die manuell bedienbaren Gefährte ab. „Das sind ganz andere Arbeitsplätze“, sagt

Markus Schmid. Auf den Nutzer prasseln unzählige Informationen gleichzeitig ein, etwa von Spurwechsel- und Einparkassistenten oder von vernetzten Geräten, beispielsweise von Smartphones oder angehängten Landwirtschaftsmaschinen. „Wie kann der Mensch so viele Informationen überhaupt verstehen und rechtzeitig darauf reagieren?“ ist eine Frage, die den Gruppenleiter des Bereichs Interface Design und Usability-Methodik schon lange umtreibt. Der Forschungsbereich ist eingebettet in das Forschungs- und Lehrgebiet Technisches Design, das Prof. Thomas Maier am Institut für Konstruktionstechnik und Technisches Design (IKTD) der Universität Stuttgart leitet.

Schmid's Team konzentriert sich auf das Design von benutzerfreundlichen Bedienoberflächen und -umgebungen. An der Schnittstelle von Mensch und Maschine, dem Interface, soll die Interaktion intuitiver und leichter werden. Egal ob im Verkehr, in der Landwirtschaft oder im Operationssaal. Ein Trend ist hierbei die Verlagerung von Funktionen in die virtuellen Menü-Ebenen von berührungssensitiven Bildschirmen. „Die steigende Komplexität war mit Schaltern und Knöpfen irgendwann nicht mehr beherrschbar“, erzählt der studierte Feinwerktechniker Schmid. Viele hätten geglaubt, mit den virtuellen Interfaces sei das Problem gelöst. „Doch auch Steuerknüppeln und Drehreglern werden wir im Cockpit der Zukunft weiterhin begegnen“, ist sich Schmid sicher. Die Leute wollen etwas in der Hand halten, fühlen. „Ärzte können nicht auf dem Touchscreen eine OP durchführen“, nennt er ein Beispiel. Hier gilt es noch, die richtige Balance zu finden zwischen dem, was virtuell auf dem Bildschirm untergebracht ist, und den realen Bedienelementen.

### Die Gestalt gibt die Drehrichtung vor

Gerade bei Joystick und Co. sind die Möglichkeiten noch lange nicht ausgereizt, um die Nutzer bei der Bedienung besser zu unterstützen. Zusammen-



Kommunikation per Fahrersitz: Vibrationsmotoren in Sitzfläche und Rückenlehnen geben je nach Situation Signale an den Fahrer weiter.

Foto: Universität Stuttgart/IKTD

gesetzt aus beweglichen Scheiben, die durch einen Motor angesteuert werden, ließe sich beispielsweise bei einem Drehknopf je nach Situation die Form ändern. „Die Gestalt gibt mir eindeutig vor, in welche Richtung ich drehen muss. Dann brauche ich nicht hinzuschauen, sondern spüre, was zu tun ist“, erklärt Schmid. In dem Projekt aISA mit der Universität Hohenheim und der Firma elobau geht es zum Beispiel darum, adaptive Interfacesysteme für eine Traktor-Fahrerkabine zu entwickeln. Die Vision ist, dass je nachdem, ob der Traktor etwa eine Düngerspritze oder eine Ballenpresse angehängt hat, sich die Bedienelemente in Form, Farbe, Oberfläche oder Anordnung verändern. Der Landwirt macht dadurch weniger Bedienfehler, die für sich und andere zur Gefahr werden könnten, so die Hypothese. Cockpit-Entwickler müssen sich in Zukunft auch darauf einstellen, dass es immer mehr ältere Menschen geben wird, die zudem länger arbeiten müssen. Hier sind altersgerechte Bedienoberflächen gefragt, denn bei vielen Älteren schwindet zunehmend die sensorische, kognitive und motorische Leistungsfähigkeit. Eine Lösung aus Schmid's Team sieht beispielsweise vor, dass Drehsteller sich automatisch von einer eher runden zu einer eckigen Form wandeln, sobald der ältere Mensch nicht mehr die nötige Kraft zum Drehen aufbringen kann.

Noch einen Schritt weiter geht es, wenn wir künftig mit Blicken Maschinen steuern könnten. „Das wäre für gelähmte Menschen sinnvoll oder für jemand, der viele Bildschirmarbeitsplätze zu überwachen hat“, erklärt Schmid ein weiteres Forschungsthema aus seiner Arbeitsgruppe. Das Auge müsste lediglich einem festgelegten Weg auf dem Bildschirm folgen, etwa die Linie eines Quadrats umfahren, und schon könnte der Benutzer sich ganz ohne Maus Informationen näher heranholen, durch Menüs stöbern oder eine Maschine betätigen.

Neben der visuellen Bedienoberfläche lässt sich aber auch die haptische Bedienungsumgebung anpassen, um dem Menschen bei der Bewältigung der Informationsflut zu helfen. Matti Schwalk aus Schmid's Arbeitsgruppe experimentiert dazu mit einem Fahrzeugsitz. In die Sitzfläche hat der Doktorand 16 Vibrationsmotoren eingebaut, wie sie auch in handelsüblichen Handys vorkommen. Die Rückenlehne enthält 25 vibrierende Motoren. Je nachdem, welche Motoren der Maschinenbauingenieur gleichzeitig oder nacheinander vibrieren lässt, werden verschiedene Muster an Rücken und Gesäß spürbar. „Wenn der Fahrer eines teilautonomen Fahrzeugs sich in Zukunft von der Fahrbahn abwendet, um zu lesen oder E-Mails abzurufen, ist es schwierig, ihn visuell wieder auf das Übernehmen vorzubereiten“, erklärt Schwalk. Ein zusätzliches Anstupfen über den Fahrersitz kann da nicht schaden.

#### Vibrationsmuster als sanfte Warner

Bisher haben Forscher nur einfache taktile Systeme getestet: ein Antippen links oder rechts im Sitz oder Gürtel, wenn ein Fahrer oder Blinder abbiegen soll, vibrierende Lenkräder, wenn das Fahrzeug die Spur verlässt, oder ein generelles Vibrieren als unspezifische Warnung. Schwalk hingegen testet bis zu 30 verschiedene Muster. Er will wissen, welche taktilen Muster die Probanden eindeutig erkennen und vor allem, wie viele sie sich überhaupt merken können. Und ob es analog zu den Piktogrammen Muster gibt, die der Mensch intuitiv mit bestimmten Informationen zusammen bringt.

„Es ist tatsächlich so, dass die Teilnehmer ein x-förmiges Muster mit einem Fehler verknüpfen“, erzählt Schwalk. Sicher sei es nicht sinnvoll, jede mögliche Information im Fahrzeug taktil anzuzeigen, gibt er zu. Doch Vibrier-Reize könnten den Fahrer künftig nicht nur darauf hinweisen, wohin er abbiegen soll, oder



Foto: Universität Stuttgart/IKTD

Markus Schmid und sein Team wollen die Interaktion zwischen Mensch und Maschine intuitiver und leichter machen.

warnen, sobald er die Spur verlässt, sondern auch auf eine drohende Kollision aufmerksam machen, einen eingehenden Anruf melden oder eine Eingabe bestätigen. „Diese taktilen Anzeigesysteme ließen sich sowohl in den Sitz eines Autos oder Traktors einbauen, als auch in die Handauflage eines OP-Geräts“, fügt Schwalk's Gruppenleiter Schmid hinzu.

Ein paar Türen weiter hat Maschinenbau-Ingenieur Kristian Karlovic gemeinsam mit Regelungstechnikern vom Institut für Systemdynamik eine komplett adaptives Assistenzsystem aufgebaut. Im Vorraum seines Büros steht nun ein Prüfstand in Form eines mannshohen Gestells mit schwenkbaren Armen, das künftig bei minimal-invasiven Eingriffen die Unterarme der Operateure stützen soll. „Zusammen mit Projektpartnern des Universitätsklinikums Tübingen haben wir im Rahmen des interdisziplinären Projekts IoC-103 festgestellt, dass die Operateure während der OP sehr starke Verspannungen in Nacken und Schulter haben, die sich auch auf die Qualität der OP auswirken können“, sagt Karlovic. Oftmals dauern minimal-invasive Eingriffe mehrere Stunden. Dabei führen Operateure über kleine Öffnungen in der Bauchdecke OP-Instrumente und ein endoskopisches Kamerasystem zum Organ und operieren mit Blick auf den Bildschirm.

#### Eine Maschine, die unter die Arme greift

Die Bedienung des entwickelten OP-Helfers ist einfach: Sobald jemand seine Unterarme auf den Armauflagen platziert, folgen diese quasi wie festgeklebt all seinen Armbewegungen und stützen diese. Mit einer schnellen Bewegung der Arme nach oben können die Ärzte ihre Unterarme wieder von der Auflage lösen, was eine von den Projektpartnern erarbeitete Anforderung war. Getestet haben die Forscher das Armassistenzsystem mit Gynäkologen und Urologen in einer Nachbildung eines OP-Saals am

Universitätsklinikum Tübingen. Und tatsächlich, die Muskulatur der oberen Extremitäten wurde entlastet. In seiner Doktorarbeit geht es Karlovic nun um die Feinjustierung des Systems. So will er zum Beispiel herausfinden, wie viel Kraft die Maschine auf die Unterarme ausüben muss, um diese optimal zu stützen, und welchen Aufbau die Armauflage idealerweise hat.

In Zukunft wird es aber nicht nur wichtig, gebrauchstaugliche Maschinen mit adaptiven Interfacegestaltungen zu entwickeln. Dabei spielt die Ästhetik eine große Rolle. Doch wie viel Ästhetik verträgt ein benutzerfreundliches Produkt? Ein modernes Flugzeug-Cockpit würde wohl keinen Design-Preis gewinnen. Es zu verschönern, stieße aus Sicherheitsgründen bald schon an Grenzen. Für seine zukünftige Habilitation hat Gruppenleiter Schmid darum eine Methode entwickelt, wie Ingenieure Schritt für Schritt vorgehen können, um Mensch-Maschine-Schnittstellen möglichst ästhetisch zu gestalten, ohne dass dies der Benutzerfreundlichkeit im Wege steht. Denn nicht zuletzt soll es den Nutzern Spaß machen, die Maschinen zu bedienen.

*Helmine Braitmaier*

## R2D2s clevere Brüder und Schwestern Intelligente Roboter für Kliniken und Pflegeheime

Mehrere Forschungsprojekte an der Universität Stuttgart befassen sich aktuell mit der Servicerobotik. Ein Ziel ist, neben intelligenten Robotern für Kliniken und Pflegeheime eine Robotik-Plattform zu schaffen, die Kunden und Hersteller vernetzen soll.

Ein Blick in eine Klinikstation der Zukunft: In Zimmer Eins ist die fiktive Krankenschwester Sandra Franke mit der Versorgung der beiden Patienten fertig und wählt eine Funktion auf ihrem Dienst-Smartphone an. Leise surrend setzt sich der an der Zimmertür stehende Pflegewagen in Bewegung. Während Sandra Franke noch die Patienten in Zimmer Zwei begrüßt, hat der schwere Wagen bereits von selbst seine Position eingenommen, sodass die Pflegerin Verbandstoffe oder Salben bequem entnehmen und gebrauchtes Material gleich entsorgen kann. Alle Pflegemaßnahmen dokumentiert sie sofort und online; ein ausgeklügeltes Logistiksystem sorgt dafür, dass sie für die tägliche Versorgung ihrer Patienten immer ausreichend Material in den Schubladen des Wagens vorfindet. Allzu ferne Zukunft ist dieses Szenario nicht. Im Gegenteil: In diesen Wochen rollen bereits Prototypen solcher intelligenter Pflegewagen durch mehrere Klinikstationen und Altenpflegeheime in Mannheim. Die Evaluation der Testphase steht noch aus, aber schon jetzt zeichnet sich ab, dass die Erkenntnisse aus dem Projekt SeRoDi in vielen Bereichen praktische Anwendung finden könnten. SeRoDi steht für „Servicerobotik zur Unterstützung bei personenbezogenen Dienstleistungen“. Schon seit 2014 arbeiten unter der Leitung des Instituts für Arbeitswissenschaft und Technologiemanagement (IAT) der Universität Stuttgart Forscher verschiedener Disziplinen



Foto: Wikipedia Commons/Wuestenigel

gemeinsam mit Pflegeprofis an Szenarien, wie Serviceroboter in der Pflegepraxis nützlich sein können. Entwickelt wird im Projekt, das noch bis Ende Oktober 2018 läuft, auch ein Serviceassistent, der im ersten Schritt in Seniorenpflegeheimen unterwegs sein und beispielsweise Getränke oder Zeitschriften „anbietet“. Erste Praxistests hierfür sollen ab Ende 2017 anlaufen.

### Mehr Zeit für die Patienten

„Wichtig ist dabei nicht nur die Entwicklung neuer Technologien“, erklärt Christian Schiller, der als IAT-Mitarbeiter die SeRoDi-Projektleitung innehat. Vielmehr liege der Fokus auf dem Menschen. „Akzeptanz ist ein Hauptaspekt“, sagt Schiller und erklärt: „Es ging uns darum, direkt und partizipativ mit Pflegekräften zu ermitteln, welche Anforderungen sie an einen Serviceroboter haben.“ Wesentlich ist, dass die Anwender auf den Kranken- und Pflegestationen eine Neuentwicklung wie den intelligenten Pflegewagen auch nutzen wollen, ihn als ein Werkzeug zu ihrer Unterstützung erkennen, und nicht als Ersatz für Arbeitskräfte. „Die Akzeptanz für Neues ist dann hoch, wenn solche Geräte belastende Routineaufgaben übernehmen, sodass mehr Zeit für die Interaktion mit den Patienten bleibt“, fasst Schiller die Erkenntnisse zusammen, die sich auch aus der Zusammenarbeit mit Psychologen der Ernst-Moritz-Arndt-Universität Greifswald (Mecklenburg-Vorpommern) ergeben haben.

In dem Verfahren einer sogenannten partizipativen Technikgenese, also der Entwicklung neuer Technologie unter Mitarbeit auch nichtwissenschaftlicher Anwender, konnten Pflegekräfte der am Projekt



Ob Verbandstoffe, Salben oder Kanülen: Beim intelligenten Pflegewagen sehen Krankenschwestern und Pfleger aus einem Blick, welche Materialien in welchen Mengen vorhanden sind.

beteiligten Einrichtungen über die gesamte Laufzeit hinweg mit ihrer praktischen Berufserfahrung beitragen. In gemeinsamen Workshops hatten zudem alle Projektbeteiligten die Möglichkeit, ihre Anforderungen beispielsweise an die Hardware oder die Nutzeroberfläche des Pflegewagens direkt an die technischen Partner vom ISW und dem Fraunhofer IPA zu kommunizieren.

„Die Pflegekräfte wissen sehr genau, wo sie Unterstützung wünschen und was ihren Arbeitsalltag erleichtern könnte“, betont Schiller. Gerade dieser Input habe sich als sehr bedeutsam herausgestellt. Zudem verfolgten die Forscherinnen und Forscher eine Woche lang die Schichten auf den Stationen, um die Nachteile der herkömmlichen Pflegewagen zu identifizieren und die Potenziale einer autonom fahrenden Neuentwicklung auszuloten. Parallel kümmerten sich die Maschinenbauspezialisten des Stuttgarter Fraunhofer-Instituts für Produktionstechnik und Automatisierung (IPA) und des Instituts für Steuerungstechnik der Werkzeugmaschinen und Fertigungseinrichtungen (ISW) der Universität Stuttgart um die technischen Aspekte des Betriebs. Denn der Wagen muss zuverlässig etwa Treppenstufen erkennen und dort rechtzeitig stoppen; es gelang außerdem, ihm die selbstständige

Nutzung von Aufzügen beizubringen. Die Forscher gingen aber auch der Frage nach, wie der Wagen etwa bei einem Feueralarm zu reagieren hat, damit er keine Rettungswege blockiert.

### Baustein eines großen Ganzen

Die Prozessspezialisten des IAT haben den Einsatz des Pflegewagen nicht isoliert betrachtet, sondern als Baustein in einem Logistiksystem — und fanden Potenziale zur Vereinfachung. Ein Beispiel: In einer Station kommt bislang mehrmals pro Woche auf großen Rollwagen neues Material an, das Pflegekräfte dann zunächst in Regale sortieren und später auf die Pflegewagen verteilen. Zeit, die sie mit der Arbeit am Patienten verbringen könnten. „Zusammen mit Logistikexperten der betreffenden Institution wurde im Projekt die Lösung entwickelt, dass genormte Modulkörbe außerhalb der Station vorgepackt und vor Ort nur noch in den Pflegewagen geschoben werden“, sagt Schiller.

Bislang packen die Pflegekräfte die herkömmlichen Wagen nach den Schichten jeweils neu. Vergessen sie dabei etwas oder packen sie es in zu geringer Stückzahl ein, müssen die Kollegen während ihres Rundgangs ins Lager eilen. Solche Stressfaktoren lassen sich durch einen intelligenten Serviceroboter minimieren.

Ein in den Wagen integrierter Tablet-Computer hilft zudem, den Materialverbrauch kontinuierlich zu dokumentieren. Zum einen „warnt“ der Wagen die Pflegekraft, wenn Material knapp zu werden droht, zum anderen kann das System automatisch Nachschub für das Stationslager anfordern. Die Logistik wird so schlanker und funktioniert reibungsloser.

#### Leitfäden für künftige Projekte

Die umfassende und tief gehende Analyse der Anforderungen an den Pflegewagen hat den SeRoDi-Forschern so viel Material geliefert, dass Schiller und seine Kollegen Leitfäden für ähnlich gelagerte künftige Projekte erstellen wollen. „Wir wollen damit praxisnahe Projekte anstoßen“, sagt Schiller und fügt hinzu, im Pflegebereich gebe es weitere interessante Prozesse zu erkunden. Mehr noch: Die erforschten Prozesse ließen sich in Teilen auch auf andere Bereiche übertragen. Das gilt zum Beispiel für die Hotellerie oder den Bereich des sogenannten Ambient Assisted Living, bei dem es um den Einsatz von Assistenzsystemen für ein selbstbestimmtes Leben im Alter geht. Die IAT-Forscher haben im Verlauf von SeRoDi bereits festgestellt, dass die Betreiber von Kliniken und Pflegeheimen großes Interesse an solch unterstützenden Werkzeugen haben. „Sie wollen ihren Pflegekräften die Arbeit erleichtern und das Berufsbild dadurch auch ansprechender machen.“ So sind weitere Entwicklungen wie Personenlifter oder Roboter für den Patiententransport bereits angedacht. Dafür, wie Patienten auf die Serviceroboter reagieren, fehlen noch abschließende Erkenntnisse. Schiller nimmt aber an, dass es sich um eine Generationenfrage handeln könnte. Während heute ältere Menschen die Robotik vielleicht noch eher reserviert betrachteten, sei diese Technologie jüngeren Menschen schon weitaus vertrauter, sodass sie vermutlich im Alter eine höhere Akzeptanz mitbrächten. Klar sei auch, dass Roboter in Bereichen, in denen Empathie eine entscheidende Rolle spielt, mit der direkten Interaktion zweier Men-

schen noch nicht mithalten könnten.. Auch deshalb übernehmen die SeRoDi-Entwicklungen zwar unterstützende Tätigkeiten, direkt am Menschen arbeitet jedoch immer noch die erfahrene Pflegekraft.

#### User und Anbieter virtuell verlinken

Noch sind Serviceroboter im Allgemeinen sehr teuer, weil sie meist in geringen Stückzahlen produziert werden. Da aber die demografische Entwicklung zu einem steigenden Bedarf an Servicerobotern führen dürfte, arbeiten Forscher am Stuttgarter Institut für Steuerungstechnik der Werkzeugmaschinen und Fertigungseinrichtungen (ISW) im Projekt SeRoNet an einer Entwicklung, die der Servicerobotik weiteren Auftrieb bringen könnte. „Die Idee ist eine Online-Plattform, die alle Beteiligten eines Entwicklungsprozesses an einen virtuellen Tisch bringt“, erklärt ISW-Mitarbeiter Sebastian Friedl.

Bisher verläuft die Anschaffung eines Serviceroboters in etwa so: Der Endkunde definiert seine Anforderungen, dann beginnt die Suche nach geeigneten Anbietern, die Hard- und Software entwickeln und den Roboter in die Systeme des Kunden integrieren. Die Stückzahlen solcher Entwicklungen liegen in der Regel im niedrigen zweistelligen Bereich, die Entwicklungskosten sind entsprechend hoch.

„Diese Kosten wollen wir mit SeRoNet senken“, sagt Friedl. Die geplante Plattform soll zum einen – vereinfacht gesagt – wie ein App-Store funktionieren: Der Kunde beschreibt sein Problem, die an der Plattform beteiligten Anbieter können darauf reagieren. Geplant ist auch, dass Komponentenhersteller beispielsweise Bauteile oder Softwarekomponenten direkt anbieten können. Zum anderen besteht die Plattform aus einer Wissensdatenbank zur Servicerobotik und entsprechenden Entwicklungswerkzeugen. „Wir wollen es schaffen, dass Endkunden einen zentralen Einstiegspunkt zur Servicerobotik finden“, so Friedl. Je nach Anforderungen erhalten sie eine Liste mit geeigneten Herstellern sowie einen Preisrahmen

und können die Hersteller so gezielt ansprechen. „Unsere Vision der Plattform wäre: Ich beschreibe ein Problem, und die Plattform präsentiert mir einen fertig konfigurierten Roboter“, sagt Friedl. So weit wird es in diesem ersten Schritt jedoch wohl noch nicht kommen. Für die Datenbank müssen eine Vielzahl von Parametern sortiert, vorhandenes Know-how erfasst und formalisiert werden, damit eine Art Servicerobotik- und Komponenten-Katalog entstehen kann.

Das Know-how in Robotik bringen neben der Universität Stuttgart vor allem der Robotikhersteller KUKA, das Fraunhofer IPA und die Hochschule Ulm in SeRoNet ein. Das auf vier Jahre angelegte Projekt läuft seit März 2017, kommendes Jahr soll ein Prototyp der Online-Plattform startbereit sein. Noch gibt es in diesem Bereich zahlreiche Schnittstellen. Daher liegt das Augenmerk des ISW vor allem darauf, zum Beispiel die interne Kommunikation der Roboter zu vereinfachen und, wo möglich, zu vereinheitlichen. Das Ziel ist, dass Komponenten künftig direkt und sofort funktionsfähig auf den Roboter geladen werden können. Das ISW will dafür eine Kommunikationsarchitektur aufbauen, in der einzelne Komponenten miteinander „sprechen“ können. Auf dieser Basis soll dann ein erster Demonstrator entstehen. Langfristig wächst eine umfassende Servicerobotik-Datenbank lassen, die Lösungen für möglichst viele Anwendungsfälle bereithält. Auf diese Weise entfielen aufwendige und teure Neuentwicklungen für niedrige Stückzahlen zugunsten von überschaubaren Anpassungen.

Gerade für Software-Entwickler dürfte diese Plattform interessant sein, weil sie den Vertriebsaufwand senkt. Um diesen Aspekt näher zu erforschen, sind auch Wissenschaftler des Heinz Nixdorf Instituts, Universität Paderborn (Nordrhein-Westfalen) beteiligt, die aus der Plattform tragfähige Geschäftsmodelle zu entwickeln versuchen.

Jens Eber

Das Forschungsprojekt SeRoDi macht aus unhandlichen Pflegewagen dienstbare Serviceroboter, die sich per Smartphone beispielsweise zum nächsten Einsatzort schicken lassen.

## Blendgefahr gebannt

### Aus Display- und LED-Technik entsteht intelligente Fahrzeugbeleuchtung

**Gemeinsam mit einem Industriekonsortium hat das Institut für Großflächige Mikroelektronik (IGM) der Universität Stuttgart einen Flüssigkristallbildschirm in ein LED-Fernlicht integriert — mit 30.000 Pixeln Auflösung und adaptiver Lichtverteilung praktisch in Echtzeit.**

Christiane Reinert-Weiss, wissenschaftliche Mitarbeiterin am Institut für Großflächige Mikroelektronik (IGM) der Universität Stuttgart, hatte zu Projektbeginn einen Gedanken, wie er vielleicht typisch ist für den Berufsstand der Ingenieure: „Eigentlich funktioniert das nicht, aber wir machen es trotzdem.“ Der Ansatz im Projekt „Volladaptive Lichtverteilung für eine intelligente, effiziente und sichere Fahrzeugbeleuchtung“ (VoLiFa2020) klang zunächst nach einer schwer zu lösenden Aufgabe. Die Forscher und Entwickler wollten einen Flüssigkristallbildschirm in ein LED-Fernlicht integrieren. Das Ziel: eine adaptive Lichtverteilung, um etwa den Gegenverkehr zu „entblenden“. „In so einem Bildschirm stecken aber viele Elemente, die weder die extremen Temperaturbereiche im Auto aushalten, noch die hohen Lichtstärken, die für ein Fernlicht notwendig sind“, erklärt die Ingenieurin. Was die IGM-Forscherinnen und -Forscher jedoch nicht davon abgehalten hat, ein bereits in Serie produziertes Fernlicht zu nehmen und damit zu beginnen, einen Bildschirm einzubauen. In langen Testreihen untersuchten sie zunächst alle Komponenten und Schichten – und konstruierten schließlich in Handarbeit rund zwei Dutzend Prototypen. Die Lösung von Christiane Reinert-Weiss und ihren beiden Kollegen am IGM überzeugte nicht nur zahlreiche Industrievertreter. Auf der weltweit größten Fachmesse für Displays, der Display Week der Society for Information Display (SID) in Los Angeles, erhielt die Forscherin Ende Mai 2017 einen Preis für ihre Entwicklung. Und der Automobilzulieferer

Hella, der das IGM mit dem Projekt beauftragt hatte, kündigte bereits Ende Juni die Markteinführung des Systems unter dem Stichwort „Liquid Crystal HD“ für 2020 an.

#### Weniger Leuchtdioden, mehr Bildpunkte

„Unser Vorteil ist, wir benötigen nur 25 LEDs und können damit 30.000 Pixel auf die Straße projizieren, die individuell in 16 Graustufen definiert sind. Aktuelle, bereits serienproduzierte Systeme verwenden 84 LEDs und können ebenso viele Bildpunkte darstellen“, sagt Reinert-Weiss. „Wir schaffen 30.000 Pixel mit einem System, das prinzipiell sehr energie- und kosteneffizient ist.“ Und das trotz der hohen Anforderungen der Autoindustrie: Die Bauteile müssen Temperaturen von minus 40 bis plus 125 Grad Celsius aushalten und mindestens 8.000 Stunden Lebensdauer bieten.

Gesteuert wird diese adaptive Beleuchtung über bereits in hochklassigen Fahrzeugen vorhandene Systeme wie Radar, GPS oder Kameras, die nahezu in Echtzeit zum Beispiel Gegenverkehr erkennen und die entsprechenden Bereiche aus dem Fernlicht ausblenden. Das System kann aber auch auf Radfahrer hinweisen und den notwendigen Abstand zu ihnen auf der Straße anzeigen oder im Baustellenverkehr die Fahrzeugbreite darstellen.

#### Positive Rückmeldungen

Seit April 2017 sind Prototypen in einem Porsche Panamera eingebaut. Der Autohersteller testet seither die unterschiedlichen Lichtfunktionen im Rahmen von Probandenstudien. „Die Probanden und Experten, die ohne Informationen zum Gegenstand der Tests auf Testfahrt gehen, erkennen die Potenziale der neuen Lichtfunktionen sofort und bewerten diese sehr positiv“, zieht Porsche-Sprecher Dr. Hermann-Josef Stappen ein Zwischenfazit. Auch Christiane Reinert-Weiss konnte eine Testfahrt begleiten. Ihr Resümee: Das Fernlicht wird so exakt

und schnell angepasst, dass die Passagiere davon nichts mitbekommen, während der Gegenverkehr lediglich das normale Abblendlicht sieht.

„Die Idee an sich ist schon viele Jahre alt“, sagt die Ingenieurin, „aber erst heute gibt es die technischen Möglichkeiten, sie auch umzusetzen.“ Das IGM sei dabei konkurrenzlos gewesen, so Christiane Reinert-Weiss. Denn europaweit gibt es keine weitere öffentliche Einrichtung, die sämtliche Prozessschritte bis hin zur Herstellung eines fertigen Prototyps übernehmen kann.

Jens Eber



Foto: Universität Stuttgart/IGM

„Schau mir in die Augen, Kleines“: Dank adaptiver Lichtverteilung ist das inzwischen ohne Blendung möglich.

## Sichere Prozesse, weniger Baustellen Wissenschaft und Industrie entwickeln gemeinsam langlebige und belastbare Betonautobahnen

**Betonfahrbahndecken haben eine deutlich längere Lebensdauer als solche aus Asphalt, sind allerdings auch teurer. Ein interdisziplinäres Team der Universität Stuttgart will nun gemeinsam mit sechs Industriepartnern die Prozesskette der Betonfahrbahnen verbessern – von der Herstellung über den Einbau bis zur Nachbearbeitung.**

Etwa 30 Prozent der Autobahnen in Deutschland sind mit einer Betondecke ausgestattet, 70 Prozent bestehen aus Asphalt. Betonfahrbahnen sind zwar in der Herstellung teurer. Laut der Bundesanstalt für Straßenwesen ist eine Betonautobahn aber 30 Jahre lang nutzbar, während bei der Asphaltbauweise in der Regel bereits nach rund 15 Jahren eine Erneuerung der oberen Deckschicht erforderlich ist. Längere Erneuerungszyklen bedeuten weniger Baustellen und potenziell weniger Unfälle. Der Wunsch nach mehr Betonautobahnen ist also nachvollziehbar. „Allerdings hängt die prozesssichere Herstellung von Fahrbahnen heute stark von der Expertise der Straßenbauunternehmen ab“, sagt Prof. Harald Garrecht, Leiter des Instituts für Werkstoffe im Bauwesen (IWB) an der Universität Stuttgart. Zusammen mit Projektpartnern aus der Praxis will er das ändern.

Dabei ist der Wunsch kein Selbstzweck, vielmehr ist die Prozesssicherheit eine Grundvoraussetzung, um Straßen sinnvoll zu privatisieren oder in Public-Private-Partnerships zu betreiben. „Nur so lassen sich nämlich Fragen der Haftung und Gewährleistung für alle Beteiligten sauber regeln“, ist Garrecht überzeugt. „Während heute oft das Unternehmen mit dem günstigsten Angebot den Zuschlag für den Bau eines Streckenabschnitts bekommt, muss es künftig das Unternehmen sein, das die Eigenschaften einer Fahrbahn, die über Sollwerte definiert sind, auf 30 oder 40 Jahre garantieren kann.“ Garrecht verweist

dabei gerne auf Österreich, wo es bereits hohe Strafzahlungen für Straßenbauunternehmen bei Fahrbahnmängeln gibt. In Deutschland verjähren die Ansprüche aufgrund von Mängeln hingegen nach fünf Jahren.

„Für Betonfahrbahnen gibt es langjährig erprobte Rezepturen und vieles beruht auf der Erfahrung der Mitarbeiter“, sagt Garrecht. So entsteht jedoch keine Prozesssicherheit. Mit dem Forschungsprojekt „Betonfahrbahn 4.0“ soll hier Abhilfe geschaffen werden. An dem Projekt, das vom Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur mit 4,7 Millionen Euro gefördert wird, sind neben dem IWB auch die Materialprüfungsanstalt und das Institut für Systemdynamik der Universität Stuttgart beteiligt sowie sechs Unternehmen, die die gesamte Prozesskette des Betonstraßenbaus abdecken.

Mit mobilen Mischanlagen können die Ausgangsstoffe schnell und direkt an der Baustelle verarbeitet werden.



Foto: Liebherr

### Viel Erfahrungswissen

Zunächst analysiert das Projektteam die Prozesse und den Beton an vier Autobahnbaustellen, an denen Betonfahrbahndecken zum Einsatz kommen. „Beton ist nicht gleich Beton“, erläutert Garrecht. „Die Eigenschaften seiner Ausgangsstoffe unterscheiden



Nur rund 30 Prozent der Autobahnen in Deutschland sind mit einer Betondecke ausgerüstet. Sie sind zwar teurer in der Herstellung, halten aber doppelt so lang wie Asphaltdecken.

Foto: Ferolia

sich aufgrund der Umgebungsbedingungen, etwa aufgrund von Temperatur oder Luftfeuchte.“ Sind zum Beispiel die Ausgangsstoffe bei der Verarbeitung zu trocken, wird der Beton zu steif und es bilden sich später Wellen auf der Fahrbahn. Beim Autobahnbau stehen in der Nähe der Baustelle mobile Mischanlagen, die stündlich die gewaltige Menge von 300 Kubikmeter Beton verarbeiten. Das Mischen muss sehr schnell erfolgen. Muldenkipper bringen den Beton anschließend zum Fertiger. Dieser verteilt ihn gleichmäßig auf der Fahrbahnunterkonstruktion und verdichtet ihn. Nur so kann die Betondecke den mechanischen Belastungen durch den Verkehr und Einflüssen wie Regen oder Streusalz viele Jahre lang widerstehen.

Nach einem guten halben Tag müssen die Betonbauer in definierten Abständen Fugen quer zur Fahrtrichtung in die Betondecke schneiden. Ein Fugenfüller verbindet dann die einzelnen Abschnitte elastisch miteinander. „Um den richtigen Zeitpunkt für das Fugenschneiden zu bestimmen, kratzt ein erfahrener Mitarbeiter mit dem Schlüssel in der Betondecke“, erklärt Garrecht. „Erfolgt das Fugenschneiden zu früh, reißen nämlich die Ränder aus. Macht man es zu spät, hat sich der Beton schon zu

weit zusammengezogen, so dass Risse entstehen.“ Schließlich erzeugen die Fahrbahnbauer eine so genannte Waschbetonoberfläche. „Dazu geben sie einen Verzögerer auf die Betondecke, der minimal in die Oberfläche eindringt und dort das weitere Erhärten verhindert“, erklärt Garrecht. Aus dieser obersten Schicht kratzen die Arbeiter den Zementleim mit Bürsten heraus. Auch dieser Vorgang beruht derzeit ausschließlich auf Erfahrungswissen.

Damit ist die Betonfahrbahn eigentlich fertig. Mit einem weiteren Bearbeitungsschritt sorgen die Straßenbauer allerdings noch dafür, dass die Lärmemissionen sinken. „Dazu fräst man flache Rillen in die Fahrbahn, durch die die Rollgeräusche der Reifen leiser werden“, sagt Garrecht. „Ist die Fahrbahn aber zu uneben, dann ist dieses so genannte Grinding nicht wirtschaftlich machbar.“

### Vereinte Expertise

Im Projekt wollen das Team der Universität und seine Partner nun dort, wo Erfahrungswissen bislang eine maßgebliche Rolle spielt, datengestützte Entscheidungskriterien etablieren. Zum Beispiel soll durch den Austausch der Daten zwischen Mischanlage und Fertiger sichergestellt werden, dass immer die richtige Betonkonsistenz beim Rütteln gewähr-

leistet bleibt. Denn aufgrund der Belastung der Motoren in der Mischanlage lässt sich auf die Verarbeitungsfähigkeit des Betons schließen. Ein anderer Ansatzpunkt ist die Oberflächenprüfung vor dem Fugenschnitt: Das Universitätsteam will dazu das Erstarrungsverhalten des Betons charakterisieren, um daraus quantitative Kriterien über den richtigen Zeitpunkt für den Fugenschnitt abzuleiten.

„Mit den Informationen aus den vier analysierten Autobahnbaustellen entwickeln wir eine neue Prozesskette für die Betonherstellung“, so Garrecht. Hierzu entstehe derzeit an der Universität „die kleinste, realmaßstäbliche Anlage“, die möglich sei. Das Prinzip dieses Labormischers will das Forscherteam auf eine größere Anlage des Projektpartners

Liebherr übertragen, woran auch Cavex, ein Hersteller von Getrieben für die Zementherstellung, mitwirkt. Zudem soll das Prinzip bei einer mobilen Mischanlage zum Einsatz kommen. Wirtgen, ein Tochterunternehmen von John Deere, rüstet die Mischanlagen und Fertiger um. Mit dem so verarbeiteten Beton baut das Straßenbauunternehmen Heinz Schnorpfeil dann zwei Demonstrationsstrecken. Die Nachbearbeitung der Strecken – Stichwort Waschbetonoberfläche – obliegt dem Bauunternehmen Otto Alte-Teigeler. Und das Ingenieurbüro Lehmann & Partner vermisst die Demonstrationsstrecken. „Unsere Erkenntnisse“, so Garrecht, „sind später im Prinzip eins zu eins in die Praxis übertragbar.“

Michael Vogel

Gemeinsam bewegen wir Großes

## Wir nehmen die Herausforderung an!

**Getriebe ist nicht gleich Getriebe. Das beweist CAVEX® seit mehr als 50 Jahren immer wieder aufs Neue!** Die von Flender entwickelte CAVEX®-Verzahnung war die Geburtsstunde eines einzigartigen Produktes. Was damals lediglich der Name einer Verzahnung bzw. Getriebebaureihe war, ist heute eine renommierte Marke im Bereich der industriellen Antriebstechnik. Die Erfolgsgeschichte wurde kontinuierlich fortgeführt, denn Innovation, Verlässlichkeit und Vielseitigkeit werden bei uns GROSSGESCHRIEBEN. So sind wir Verbundpartner im Rahmen des Forschungsprojektes „**Betonfahrbahn 4.0**“ und entwickeln dafür ein „intelligentes“ Getriebe zur direkten Messdatenerfassung.

Motivation und Teamgeist ist unser Antrieb. Wenn auch Ihre Motivation Sie zu großen Dingen antreibt, sind Sie bei uns genau richtig. Denn ambitionierte und qualifizierte Mitarbeiter, die ein Teil unseres stetig wachsenden Teams sein möchten, sind bei uns jederzeit willkommen. **Absolventen** können sich sowohl im technischen als auch im wirtschaftlichen Bereich einbringen und sind vom ersten Arbeitstag an Teil unserer Gemeinschaft. Gerne können Sie uns auch im Rahmen eines **Praktikums** oder einer **Diplomarbeit** kennenlernen. Wir freuen uns auf das Gespräch mit Ihnen!

**Sie haben Interesse? Bewerben Sie sich:**

z.Hd. Herrn Heinlin, Tel. 0 74 73 95 546-25, E-Mail: o.heinlin@cavex-gmbh.de

**CAVEX®**  
German Drive Technology



Erfahren Sie mehr  
im Web und in  
Facebook.

## Autonomer Kollaps Verkehrsforscher berechnen die Auswirkungen fahrerloser Autofloten

**„Autonome Fahrzeuge werden das Fahren bequemer und sicherer machen“, liest man allenthalben. Doch wie werden sich diese Fahrzeuge auf den Verkehr insgesamt und auf unsere Städte auswirken? An der Universität Stuttgart ist der Verkehrswissenschaftler Markus Friedrich dieser Frage nachgegangen. Seine Berechnungen zeigen: Ohne massive Lenkungsmaßnahmen der Politik könnten die Städte erst recht im Verkehr ersticken.**

Am Beispiel der Region Stuttgart haben Prof. Markus Friedrich, Inhaber des Lehrstuhls für Verkehrsplanung und Verkehrsleittechnik am Institut für Straßen- und Verkehrswesen der Universität Stuttgart, und sein Mitarbeiter Maximilian Hartl verschiedene Szenarien für den autonomen Verkehr der Zukunft berechnet. Dabei wollten sie vor allem herausfinden, wie sich große Flotten von Autos auswirken, die autonom und von verschiedenen Nutzern gefahren werden (Carsharing). Die Ergebnisse sind in der Studie „Modell-Ergebnisse Geteilter Autonomer Fahrzeugflotten des Öffentlichen Nahverkehrs“ (MEGAFON) zusammengefasst. Eine Studie, die ein Weckruf für die Politik sein sollte, denn: Der Autoverkehr könnte enorm zunehmen.

In Auftrag gegeben hatte die Studie der Verband Deutscher Verkehrsunternehmen gemeinsam mit dem Verkehrs- und Tarifverbund Stuttgart (VVS) und der Stuttgarter Straßenbahnen AG (SSB). Die Träger des Öffentlichen Personennahverkehrs (ÖPNV) treibt die Frage um, wie sie sich auf die neuartigen Autos vorbereiten müssen. „Geschäftsmodelle mit geteilten autonomen Fahrzeugen könnten dem ÖPNV Fahrgäste entziehen, weil sie einen umsteigefreien Transport zum günstigen Preis anbieten“, erklärt Thomas Knöller, Leiter der Abteilung Planung beim VVS. Andererseits könnten autonome Fahrzeuge den ÖPNV aber auf der letzten



Meile in schlecht erschlossenen Gebieten auch sinnvoll ergänzen. Zunächst wird der Einsatz autonomer Fahrzeuge, die als Flotte zur Verfügung stehen, den ÖPNV jedoch unter Druck setzen. Das zeigt MEGAFON: Um die täglich 5,1 Millionen Wege, die die 2,7 Millionen Einwohner in der Region Stuttgart mit motorisierten Verkehrsmitteln zurücklegen, detailliert zu berechnen, konnten Friedrich und Hartl das Verkehrsmodell der Region nutzen. Es basiert auf Befragungsdaten zum Mobilitätsverhalten von mehr als 10.000 in und um Stuttgart lebender Personen. Dieses Modell, das derzeit zwischen mit dem Pkw, dem ÖPNV, dem Rad und zu Fuß zurückgelegten Wegen unterscheidet, erweiterten die Wissenschaftler um das Fortbewegungsmittel Sharing-Fahrzeuge.

#### S- und U-Bahn auf dem Abstellgleis

Da unklar ist, was autonome Fahrzeuge kosten werden, setzten Friedrich und Hartl die Prämisse, dass die Menschen für ihre Fahrten nur ein Kriterium berücksichtigen: Sie wählen das schnellste Verkehrsmittel. Außerdem gingen sie davon aus, dass Busse komplett durch autonome Fahrzeuge ersetzt werden. Nicht zuletzt deshalb will Friedrich seine Arbeit auch mehr als Gedankenpiel verstanden wissen, denn „als eine Extremwertbetrachtung dessen, was passieren könnte“.

Allein mit Blick auf den Faktor „Zeit“ gewann das Auto gegen U- und S-Bahn in vielerlei Hinsicht. Deshalb reduzierten die Wissenschaftler in ihrem Modell die innerörtlichen Geschwindigkeiten auf Tempo 30 statt 50, in Wohngebieten auf 20 Stundenkilometer statt wie aktuell 30. Hinterher saßen ungefähr wieder genauso viele Leute in den Bahnen wie heute.

Neun Szenarien berechneten die Forscher, bei denen sie die Anteile von autonomen Privat-Fahrzeugen und geteilten Autos variierten oder den Bahnverkehr komplett rausnahmen. Eine der gewonnenen Erkenntnisse: In Zukunft ließe sich auf etliche Park-

plätze verzichten, die Straßen würden jedoch voller. Heute werden von den 1,6 Millionen in der Region angemeldeten Autos täglich etwa zwei Drittel bewegt. „Diese rund eine Million Autos sind ungefähr eine Stunde am Tag unterwegs. Alle Staus, die wir heute haben, entstehen nur deshalb, weil etwa 120.000 Fahrzeuge gleichzeitig zur Hauptverkehrszeiten unterwegs sind“, erklärt Friedrich. „Wenn wir genau dieselben Wege mit Carsharing-Fahrzeugen bewältigen würden, dann bräuchten wir lediglich 19 Prozent dieser bewegten Fahrzeuge, also etwa 200.000 statt einer Million. Für ein Mehr an Verkehr auf den Straßen sorgt, dass jedes Fahrzeug durchschnittlich sieben Stunden im Einsatz ist und auch Leerfahrten verursacht.“

Nur in einem Szenario konnten fahrerlose Pkw den Verkehr drastisch verringern. Bei diesem berechnete Friedrich, wie sich sogenannte Ridesharing-Fahrzeuge auswirken würden. Dabei handelt es sich um autonom fahrende Minibusse für bis zu sechs Personen, die jeden Fahrgast von Haustür zu Haustür bringen und Zielwünsche bündeln. Ridesharing ist noch in der Konzeptphase, hätte aber einen durchaus positiven Effekt: Würden alle Einwohner auf Ridesharing und Bahnverkehr setzen, bräuchte es für die gesamte Region etwa 70.000 dieser Fahrzeuge. Die Folge: Der Verkehr nähme fast überall deutlich ab.

#### „Geteilte Autos“ müssten besonderen Komfort bieten

Hier könnte also bald ein Geschäftsfeld für die Verkehrsbetriebe liegen. Doch um derartige Flotten aufzubauen, wäre eine Milliardeninvestition nötig. Die Verantwortlichen des VVS wollen daher die Studie nutzen, um die Rahmenbedingungen aktiv zu verändern: „Verkehrsdienstleistungen mit autonomen Fahrzeugen bedürfen einer kommunalen Steuerung, um einer Kannibalisierung des ÖPNV entgegenzuwirken und Kooperationen mit dem

Circa 5,1 Millionen Wege legen die 2,7 Millionen Einwohner in der Region Stuttgart zurück – vor allem per Auto, Bus und Bahn.

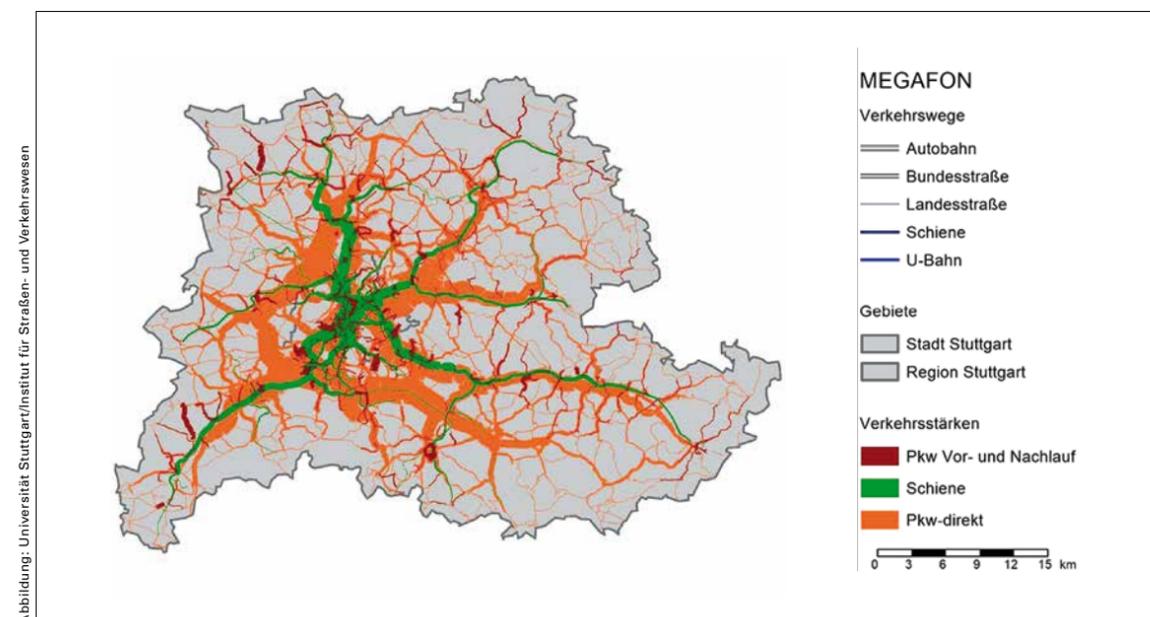


Abbildung: Universität Stuttgart/Institut für Straßen- und Verkehrswesen

ÖPNV abzusichern“, sagt Knöller. Die Kommunen müssten künftig darüber entscheiden dürfen, wer eine Lizenz für autonome Autoflotten erhalte. „Alternativ könnte natürlich auch das Schaffen solcher Angebote durch öffentliche Unternehmen infrage kommen“, so Knöller.

Doch Ridesharing wird diejenigen kaum überzeugen, die es gewohnt sind, ihr eigenes Auto zu nutzen. „Deswegen müssten diese Fahrzeuge Privatsphäre und besonderen Komfort bieten“, sagt Friedrich. „Und das Ein- und Aussteigen samt Gepäck muss schnell gehen.“ Denn in Zukunft werden noch mehr Menschen noch mehr fahren. „Wenn das autonome Fahren also die Welt besser machen soll, müssen wir Ridesharing attraktiv machen“, mahnt er. Und das geht nach seiner Ansicht nur mit flankierenden Maßnahmen wie Temporeduzierungen, gestaffelten Straßennutzungsgebühren und Zufahrtsbeschränkungen. Doch Friedrich ist aus Erfahrung pessimistisch: „All das könnten wir schon seit 40 Jahren ha-

ben – es wurde aber bisher kaum etwas umgesetzt. Was macht uns also zuversichtlich, dass jemand mutig genug ist, diese Maßnahmen zu ergreifen?“ Auch wenn es ihm als Wissenschaftler vorrangig darum ging, Algorithmen für Verkehrsmodelle mit Carsharing zu entwickeln, resümiert Friedrich: „Wir brauchen schnell eine gesellschaftliche Diskussion. Sonst könnten wir uns in 30 Jahren in Städten wiederfinden, die so niemand haben wollte.“

Daniel Völpel

## Flexibilität gewinnt Das Projekt SynErgie macht die Industrie fit für Erneuerbare Energien

**Schon heute lässt sich mit Erneuerbaren Energien unter Idealbedingungen mehr Strom produzieren, als Deutschland in der Spitzenlast benötigt. Doch die durch Windkraft- und Solaranlagen erzeugte Strommenge schwankt stark. Die Energiewende kann daher nur gelingen, wenn die Industrie Elektrizität künftig flexibler abnimmt. Wie man energieintensive Produktionsbetriebe darauf einstellen kann, untersuchen mehr als 80 Partner – darunter das Institut für Energieeffizienz in der Produktion (EEP) der Universität Stuttgart – im Kopernikus-Projekt SynErgie.**

Ein Aluminium-Schmelzofen ist ein- oder ausgeschaltet – einen Betrieb mit verringerter Leistung gibt es nicht. Doch weil eine Aluminium-Hütte enorme Mengen an Strom verbraucht, wäre sie die ideale Kandidatin, um Schwankungen im Netz auszugleichen. Als Leuchtturmprojekt im Vorhaben „Synchronisierte und energieadaptive Produktionstechnik zur flexiblen Ausrichtung von Industrieprozessen auf eine fluktuierende Energieversorgung“, kurz SynErgie, will das Unternehmen Trimet in

Essen daher seine Elektrolyseöfen umbauen: Künftig sollen sie auch 50, 70 oder 90 Prozent Leistung erbringen beziehungsweise mit 50, 60 oder 70 Prozent Energieverbrauch betrieben werden können. Stand heute geht für beides nur 100 oder 0. Als ein Beitrag von vielen, die mit SynErgie entstehen, werde dies helfen, die Energiewende zu meistern, erklärt Prof. Alexander Sauer, Leiter des Instituts für Energieeffizienz in der Produktion (EEP) der Universität Stuttgart. „Wir sind mit 30 Prozent Anteil Erneuerbarer Energien an dem Punkt angekommen, an dem das Stromsystem flexibler werden muss“, sagt Sauer. Aktuell ist der Wissenschaftler Co-Koordinator von SynErgie und wird ab 2019 die Sprecherrolle dafür von Prof. Eberhard Abele von der TU Darmstadt übernehmen.

Hierzulande seien bereits etwa 100 Gigawatt an Kapazität installiert, um Strom mit Erneuerbaren Energien zu erzeugen, so Sauer. Die Spitzenlast liegt aktuell bei etwa 90 Gigawatt. Weil die Erneuerbaren nicht konstant produzieren, müssen sich die Abnehmer umstellen – mit Speichern und mit einer flexibleren Nachfrage. Letzteres wollen die gut 80 Projektpartner erreichen, indem sie in sechs Clustern neue Technologien entwickeln und

Prozesse im produzierenden Sektor verändern. Das Bundesministerium für Bildung und Forschung fördert SynErgie als eines von vier Kopernikus-Projekten mit zehn Millionen Euro jährlich.

### Industrieller Stromverbrauch als Hebel für schwankende Abnahme

„Die Industrie verbraucht etwa 40 Prozent des gesamten Stroms in Deutschland“, erklärt Sauer. „Hier haben wir einen großen Hebel, den Verbrauch flexibler zu gestalten.“ So bestehen etwa zwei Drittel des Energiebedarfs der Industrie aus Wärmeenergie, wovon sich ein höherer Anteil mit Strom erzeugen ließe. Was aber ist in den Dunkelflaute-Monaten Oktober/November? Eine Lösung wäre, Synthesegas aus überschüssigem Sonnen- und Windstrom zu erzeugen, um es in diesen Monaten wieder zu verbrennen. Wie das gelingen kann, erklärt der Wissenschaftler am Beispiel der Magnesium-Gießerei C&C Bark aus Schömberg auf der Schwäbischen Alb. Das Unternehmen betreibt seine Gießzellen elektrisch, für einen Gasbetrieb bräuchte es separate Anlagen. Daher soll nun eine Gießzelle entwickelt werden, die sich von Strom auf Gas umstellen lässt. „Wir wollen ganz

Die Industrie verbraucht rund 40 Prozent des gesamten Stroms in Deutschland. Damit die Energiewende gelingt, müssen die Unternehmen Elektrizität künftig flexibler abnehmen.

klar über den Stand der Technik hinausgehen“, sagt Sauer. „Deshalb sind wir ein stark produktionstechnisch ausgerichtetes Konsortium.“ Die Gießerei ist eines von 13 Teilprojekten im Cluster „Schlüsselproduktionsprozesse“, das Sauer

Die Elektrolyseöfen von Trimet sollen in Zukunft auch mit variablem Energieverbrauch betreiben werden können.



Foto: Trimet

leitet. Daran beteiligen sich Betriebe aus den Schlüsselbranchen wie Auto- und Chemie-Industrie oder Maschinen- und Anlagenbau. Zwei Fragen



Die Magnesium-Gießerei arbeitet zusammen mit den Forschern an Gießzellen, die sich je nach Energiebedarf von Strom- auf Gasbetrieb umstellen lassen.

Foto: C&C Bank

stehen im Fokus: Welche Potenziale, Energie flexibler zu verbrauchen, gibt es schon heute? Und: Welche Weiterentwicklungen wären nötig, um diesen Anteil zu erhöhen? Im Cluster „Produktionsinfrastruktur“ erarbeiten die Zulieferer für die Industrie zusätzlich, wie sie die Grundprozesse etwa zur Druckluft-, Kälte- oder Wärmeerzeugung energetisch flexibler bereitstellen könnten.

#### Handel mit Energieflexibilität

Im Cluster „Informations- und Kommunikationstechnologie“, das das Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik und Automatisierung (IPA) leitet, entwickeln die Beteiligten IT-Plattformen

und -Services. Denn, um im Beispiel zu bleiben, die Magnesium-Gießzelle muss die Information erhalten, wann sie auf Strom umschalten soll. In kürzester Zeit müssen also Energiepreise mit dem Verbrauch, den Kosten und Effizienzgraden der Maschine gegengerechnet werden. „Wichtig ist uns, dass das automatisiert abläuft, damit der Betreiber der Anlage keinen Zusatzaufwand hat“, sagt Sauer. Weiteres Ziel dieses Clusters ist es, Informationen zu bündeln: Einzelne IT-Plattformen sammeln Energiedaten innerhalb der Unternehmen und bringen ein mögliches Flexibilitätsangebot an den Markt. Auf einem virtuellen Marktplatz bieten Kraftwerke und Netzbetreiber ihre Energie

an, Industrie- und Markt-Plattform sind über eine Schnittstelle verbunden. „Dort sollen Angebot und Nachfrage zusammengebracht und Energie gehandelt werden.“ Die Grundlagen für die Erzeugerseite soll das Cluster „Markt- und Stromsystem“ ermitteln. Hier legt die Energiebranche fest, welche Formen flexibler Abnahme die Industrie anbieten müsste und welche neuen Techniken der Erzeuger es bräuchte, um mit der Flexibilität umgehen zu können. Ziel ist ein Marktmodell, mithilfe dessen sich der Strom und seine flexible Abnahme handeln lassen.

Unter der Leitung Alexander Sauers arbeiten die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler des EEP zudem an dem übergreifenden SynEnergie-Cluster „Potenzialanalyse und systemische Betrachtung“. Darin bewerten die Forscherinnen und Forscher das Potenzial, das sie in den Schlüsselbranchen identifizieren, rechnen es auf die Bundesrepublik

hoch und liefern damit die entscheidenden Zahlen. Ziel ist es, zum Ende der ersten Projektphase im Herbst 2019 eine seriöse Schätzung abgeben zu können, welcher Anteil des Stroms sich flexibler verbrauchen ließe und was das kosten würde. Denn klar ist: Ohne SynErgie lässt sich die Energiewende nicht umsetzen.

*Daniel Völpel*

#### Energieeffizienz für kleinere und mittlere Unternehmen

Der Energieverbrauch hat für Unternehmen einen hohen Stellenwert, ist er doch ein wesentlicher Kosten- und Wettbewerbsfaktor. Insbesondere kleinere und mittlere Unternehmen (KMU) stehen hierbei vor großen Herausforderungen, denn im Vergleich zu Großunternehmen verfügen sie über geringere Ressourcen, Handlungsspielräume und Investitionsmöglichkeiten. Eine Lösung aus diesem Dilemma soll das Forschungsprojekt „EntschEff“ (Entscheidung für Energieeffizienz) bringen. Es wird vom Reutlinger Energiezentrum für Dezentrale Energiesysteme und Energieeffizienz (REZ) geleitet und gemeinsam mit dem Institut für Energieeffizienz in der Produktion (EEP) der Universität Stuttgart sowie der Universität Wien betreut. Dazu kommen sieben produzierenden

KMU aus Baden-Württemberg sowie Partner aus dem öffentlichen Bereich. Die Partner gehen der Frage nach, wie der Umgang mit Energie in der täglichen Praxis in KMU organisiert wird: Wie laufen Entscheidungen über Energieeffizienzmaßnahmen? Welche Schwierigkeiten ergeben sich dabei und wie können diese überwunden werden? Ziel des Projektes ist es, die treibenden oder hemmenden Prozesse zum Energiesparen und den für Einsatz energieeffizienter Technologien zur identifizieren und zu verstehen. Daraus sollen Handlungsempfehlungen sowie verbesserte Instrumente und Kommunikationsstrategien zu Steigerung der Energieeffizienz in KMU entwickelt werden.

*amg*

## Turbogang eingelegt Labornetzwerk Baden-Württemberg für Elektromobilität eröffnet

**Bei Antrieben von Elektro- oder Hybrid-Fahrzeugen haben Ingenieure viele Gestaltungsfreiräume, denn noch gibt es kein einheitliches Konzept. Bisher werden die einzelnen Antriebsstrangkomponenten meist unabhängig voneinander entwickelt. Das Labornetzwerk Baden-Württemberg für Elektromobilität (XiL-BW-e) erlaubt es, Komponenten bereits in der frühen Entwicklung im „Gesamtsystem Fahrzeug“ zu testen – auch wenn Teile noch fehlen oder sie an unterschiedlichen Standorten stehen. Die Institute für Elektrische Energiewandlung (IEW) und für Verbrennungsmotoren und Kraftfahrwesen (IVK) der Universität Stuttgart haben dazu ihre Prüfstände mit denen von Partnerinstituten vernetzt.**

Wollen Ingenieure heute ein Elektro-Fahrzeug entwickeln, so sind verschiedene Kombinationen aus Anzahl, Typ und Anordnung von Elektromotoren, Getrieben und Batteriesystemen denkbar. Auch auf die Ladetechnik der Batterien – entweder per Kabel oder kabellos – hat man sich noch nicht endgültig geeinigt. Für noch mehr Vielfalt sorgen neben den reinen Elektroautos Hybrid-Fahrzeuge, die sowohl einen Elektromotor als auch einen Verbrennungsmotor haben. Doch es genügt nicht, die Komponenten wie Steckbausteine aneinander zu stecken. „Es gibt einen Systemzusammenhang zwischen den einzelnen Komponenten, den wir uns anschauen müssen“, sagt Florian Winke vom IVK. So entleeren beispielsweise stromfressende Bestandteile die Batterie schneller und verkürzen so die Reichweite der Stromer. Auch der Fahrstil, die Umgebungstemperatur und die Straßenlage wirken sich auf die Reichweite aus. Die Ladetechnik wiederum beeinflusst die Lebensdauer der Batterie und damit die Fahrzeugkosten. Sowohl die geringe Reichweite als auch die hohen Batte-

riekosten sind derzeit zentrale Schwachpunkte der E-Autos. Für alle Entwickler wird es daher immer wichtiger, Module möglichst früh als Teil des Gesamtfahrzeugs zu testen.

„Der Grundgedanke ist, das System als Ganzes zusammenzubringen, wobei Spezialisten einzelner Komponenten ihr jeweiliges Wissen, ihre Modelle und Prüfstände einbringen und sich vernetzen“, erklärt Winke. Der Maschinenbau-Ingenieur hat zusammen mit seinem Kollegen Jannis Noeren vom benachbarten IEW seitens der Universität das baden-württembergische Labornetzwerk für Elektromobilität (XiL-BW-e) vorangetrieben. An dem Forschungs- und Prüfstandverbund, den das Land mit 10,3 Millionen Euro gefördert hat, sind neben der Universität Stuttgart auch das Karlsruher Institut für Technologie (KIT), die Universität Ulm sowie die Hochschulen Esslingen und Aalen beteiligt.

### Ein Hybridauto verteilt über vier Standorte

Im Oktober 2017 wurde das Labornetzwerk am IEW feierlich eröffnet. Ingenieure aus Industrie und Forschung können seither untersuchen, wie verschiedene System- und Antriebsstrangkomponenten untereinander und mit neuartigen Batterien wechselwirken – und das unter möglichst realen Bedingungen. Als ersten Praxistest, den Noeren vom IEW aus steuerte, haben die Verbundpartner beispielsweise ein komplettes Hybridfahrzeug mit Fahrer und Umgebung nachgebildet. Dafür stellte das IEW einen neu angeschafften Elektromotoren-Prüfstand, ein Simulationsmodell für die Leistungselektronik sowie einen virtuellen Fahrer und die digitale Straßenumgebung. Winke wiederum kümmerte sich darum, dass der Prüfstand für Verbrennungsmotoren am IVK richtig in das Netz eingebunden wurde. Die Kollegen in Karlsruhe klinkten sich mit einem Getriebeprüfstand und Simulationsmodellen der Räder, Seitenwellen und Karosserie ein. Und die Ulmer komplettierten das nachgebildete „Hybridauto“ um eine Batteriezel-

Prüfstände wie diesen will der Verbund XiL-BW-e vernetzen.



le samt Computermodell der Gesamtbatterie. Winke: „Ein paar Mausklicks genügen, und schon kann ich über das Internet verschiedene Komponenten miteinander koppeln.“ Was nicht real vorhanden ist, lässt sich über eine Echtzeit-Simulation hinzufügen. Fahrzeugbauer erfahren auf diese Weise schnell, ob sie mit ihrem Prototypen in der Sackgasse stecken, oder wo sie optimieren müssen. Das spart nicht nur wertvolle Zeit, sondern auch Entwicklungskosten. „Bisher musste man die schweren Motoren und das Getriebe aufwendig mit einem Kran aneinander koppeln. Oder man hat Messungen an isolierten Prüfständen gemacht, virtuelle Komponenten in die Messungen mit einbezogen und am Computer zu einem Gesamtmodell zusammengefügt“, erklärt Noeren.

### Daten flitzen in Windeseile durchs Netz

Dafür nutzen die Forscher die Glasfaserkabel des Landeshochschulnetzes BelWü. („Baden-Württembergs extended LAN), Netz der wissenschaftlichen Einrichtungen in Baden-Württemberg. Drei Millisekunden dauert es, bis die Messdaten von den Motor-Prüfständen in Stuttgart den Getriebe-Prüfstand in Karlsruhe erreichen und dieser die Getriebereaktion wieder nach Stuttgart zurückgemeldet hat. „Die geringen Laufzeiten sind notwendig, um

dynamische Vorgänge abzubilden, beispielsweise den Zustand des Verbrennungsmotors während des elektrischen Fahrens, oder Schaltvorgänge im Getriebe“, erklärt Noeren. Zum Vergleich: Ein heimischer Kabel-Internet-Anschluss hat Laufzeiten von 10 bis 20 Millisekunden. Mit Hilfe der Informatiker der Hochschule Esslingen haben die Fahrzeugexperten ein „virtuelles privates Netz“ (VPN) zwischen den Standorten aufgebaut. Dieses ist nur für die Partner zugänglich und erlaubt ihnen, die Messdaten der Prüfstände verschlüsselt über das Internet zu verschicken.

Die Partner wollen weitere Forschungseinrichtungen für die Idee des Labornetzwerks begeistern. Mit Hilfe des Prüfstandverbunds wollen die Forscher zukünftig etwa intelligente Betriebsstrategien entwickeln, das Verhalten und die Alterung von Batteriezellen untersuchen, kabellose Ladetechniken erforschen und die tatsächlichen Schadstoffemissionen von Hybridfahrzeugen im Straßenverkehr analysieren. „Speziell bei solchen Themen ist es wichtig, das System als Ganzes möglichst realistisch abzubilden“, sagt Winke. Im Labornetzwerk steckt jedenfalls noch viel Potenzial, um die Entwicklung der Elektromobilität voranzubringen.

*Helmine Braitmaier*

## Verschenktes Potenzial Modulare Batteriekonstruktion für mehr Effizienz

**Lithium-Ionen-Zellen sind so etwas wie das Herz in der Batterie eines Elektroautos. Das Problem dabei: 50 Prozent der Reichweite, die die Zellen eigentlich ermöglichen, bleiben in der Praxis ungenutzt. Schuld daran ist eine ineffiziente Batteriekonstruktion. Das Team um Kai Peter Birke am Institut für Photovoltaik der Universität Stuttgart will das ändern und hat einen Industrie-4.0-fähigen Ansatz entwickelt.**

Tesla, BMW i und Opel Ampera – sie alle haben eine Batterie, um voll- oder teilelektrisch zu fahren. Doch wer sich das Innenleben der drei Batterien anschaut, stellt fest, dass sie unterschiedlicher nicht sein könnten. Tesla verwendet zylindrische Zellen, rund 10.000 Stück. In den Batterien der i-Modelle von BMW stecken prismatische, also quaderförmige Zellen. Weil sich dieser Zelltyp relativ groß bauen lässt, also mit hoher Nennkapazität, sind nur rund 100 Zellen erforderlich. In der Batterie des Ampera wiederum befinden sich Pouch-Zellen, die äußerlich an eine Vakuumverpackung für Kaffee erinnern. „Die Batteriefertigung von Elektrofahrzeugen steckt in den Kinderschuhen, es gibt Kleinserien oder Handarbeit“, sagt Prof. Kai Peter Birke, Fachgebietsleiter Elektrische Energiespeichersysteme am Institut für Photovoltaik der Universität Stuttgart. Jeder Hersteller macht es bei jedem Modell anders. „So ist es kaum möglich, mit den derzeitigen Konzepten tatsächlich die Wertschöpfung mit einer Batterie zu erreichen, die allgemein angenommen wird“, ist Birke überzeugt.

Dazu muss man sich nur vergegenwärtigen, was mit der Energiedichte beim Übergang von der einzelnen Zelle zum Gesamtsystem, der Batterie, passiert: „Sie sinkt, von größenordnungsmäßig 200 Kilowattstunden pro Kilogramm auf 100“, sagt Birke. Die Energiedichte beeinflusst jedoch direkt

die Reichweite eines Elektrofahrzeugs. Flapsig formuliert bekommen Elektroautos also ihre PS, die in den Zellen stecken, nicht auf die Straße. „Eine Batterie besser zu konstruieren, ist daher ein Schlüssel zu größeren Reichweiten“, so Birke. Aber nicht nur das. In seinen Augen begünstigt eine geeignete Batteriekonstruktion darüber hinaus Produktion, Reparatur und Recycling. Den Nachweis dafür erbringt Birkes Team gerade in dem auf drei Jahre angelegten Projekt „Libelle“ (Lithium-Ionen-Batterien mit selbsttragenden und leichten Einheiten), dessen Leitung Christoph Bolsinger innehat. Es wird von der in Stuttgart ansässigen Vector Stiftung gefördert und läuft noch bis zum Frühjahr 2018.

### Stabil, aber nicht schwer

„Eine moderne Batterie muss leicht sein“, ist Birke überzeugt, „dann steigt die Energiedichte automatisch.“ Bei den heute etablierten Lithium-Ionen-Batterien ist eher das Gegenteil der Fall. Sie benötigen ein stabiles Gehäuse, das sie vor Umwelteinflüssen und vor der Zerstörung bei einem Unfall bewahrt. Denn so hoch entwickelt, wie Lithium-Ionen-Zellen inzwischen auch sind: Brennende Elektroautos – so wenig es auch gewesen sein mögen – zeigen, dass es sich um eine sensible Technologie handelt.

Die im Libelle-Projekt entwickelte Batteriekonstruktion nutzt die mechanische Stabilität der Zelle aus. Getreu dem Prinzip „Ein Streichholz hält keiner großen Belastung stand, aber viele Streichhölzer nebeneinander entwickeln eine beachtliche Tragkraft“. Das Modulkonzept aus Stuttgart macht darüber hinaus eine vom Zelltyp unabhängige, flexible Fertigung möglich, eine Option, die es derzeit in der Praxis so noch nicht gibt. „Unser Ansatz ist also Industrie-4.0-fähig“, resümiert der Wissenschaftler. Das Team um Birke nutzt dafür einen gängigen, kommerziell erhältlichen zylindrischen Zelltyp mit 18 Millimeter Durchmesser und 65 Millimeter Länge; zylindrische Zellen erreichen bei vergleichba-

Sieben auf einen Streich: Fixiert in honigwabenförmigen dünnen Platten werden die zylindrischen Speicherzellen zu selbsttragenden modularen Einheiten, die den zur Verfügung stehenden Bauraum optimal ausnutzen.



rem Volumen die größten Energiedichten pro Kilogramm. Sieben dieser Zellen stecken die Forscher in die Bohrungen einer honigwabenförmigen dünnen Platte. „Wir haben in Experimenten nachgewiesen, dass diese Zellen den typischen auftretenden Belastungen bei Unfällen widerstehen können, egal ob die Kräfte aus horizontaler oder vertikaler Richtung einwirken“, sagt Bolsinger. „Die Zellen werden in unserem Konzept daher zu selbsttragenden Einheiten.“ Den Abschluss am oberen Ende der senkrecht in der Grundplatte stehenden Zellen bildet eine identische Platte. „Durch die Honigwabenform können wir aus diesen Modulen Gesamtsysteme zusammensetzen, die den zur Verfügung stehenden Bauraum optimal ausnutzen“, erklärt Bolsinger. Sie lassen sich nebeneinander oder übereinander stapeln. Für mechanische und elektrische Verbindungen zwischen den Modulen dienen isolierende oder leitende Elemente, die das Forscherteam in vorhandene Aussparungen der honigwabenförmigen Modulplatten einsteckt. Die Platine für die elektronische Überwachung ist parallel zu den Zellen am Rand der Module angebracht, pro Modul eine Platine. „Das Gehäuse, in dem die fertige Batterie dann steckt, muss sie nur noch vor Umwelteinflüssen wie Feuchtigkeit oder Staub schützen“, sagt Birke: „Deshalb kann es sehr leicht sein.“

Und: Ein solch modulares Prinzip erlaubt das Recycling der Batterie, weil nichts mehr geschweißt ist.

### Effizienz steigt um ein Drittel

Das Forscherteam hat im Labor Demonstratoren aufgebaut, die teils in Serie, teils parallel geschaltet sind und eine Betriebsspannung von 48 Volt erreichen. „Das reicht natürlich nicht für eine Anwendung im Elektroauto, wo größenordnungsmäßig 400 oder 800 Volt gefordert sind“, sagt Birke. „Aber wir wollten ja lediglich das Prinzip demonstrieren – eine spätere Skalierung ist kein Problem.“

Während die Energiedichte bei klassischen Konstruktionen beim Übergang von der Zelle zum Gesamtsystem um den Faktor 2 sinkt, ist es bei den Demonstratoren nur noch ein Faktor von 1,8 – ohne Kühlung. „Mit einer geeigneten Kühlung, die wir derzeit gemeinsam mit dem Institut für Kunststofftechnik der Universität Stuttgart entwickeln, wollen wir wenigstens einen Faktor 1,5 erreichen, Ziel ist 1,3“, so der Wissenschaftler. Bei einer Energiedichte von 200 Kilowattstunden pro Kilogramm auf Zellebene wären das dann 133 Kilowattstunden pro Kilogramm auf Batterieebene, ein Drittel mehr als derzeit möglich ist.

*Michael Vogel*

## Herr der Sägen

### Dr. Nikolas Stihl führt die motormanuelle Waldarbeit ins digitale Zeitalter

**Wer beruflich oder privat mit Holz zu tun hat, kennt sie: die Motorsägen von Stihl. Aus gutem Grund gelten die Handgeräte mit der charakteristischen leuchtend-orangen Farbe nicht nur in Fachkreisen als „der Mercedes“ unter den motorbetriebenen Sägen. Und zwar weltweit. Seit über 90 Jahren behauptet sich das Familienunternehmen mit seinen Produkten als Marktführer scheinbar mühelos gegenüber dem Wettbewerb. Und hat dabei still und unaufgeregt viele Herausforderungen bereits gemeistert, die die zunehmende Digitalisierung und der Einzug von Industrie 4.0-Anwendungen an Produktionsprozesse und die moderne Arbeitswelt stellen. „Weil wir uns schon seit 20 Jahren damit befassen“, sagt der Alumnus der Universität Stuttgart, Dr. Nikolas Stihl. Er muss es wissen, schließlich ist er der Enkel des Unternehmensgründers und seit 2012 Beiratsvorsitzender der Stihl Holding sowie Aufsichtsratsvorsitzender der Stihl AG.**

**?** Herr Stihl, Sie haben einmal gesagt, „wir haben 90 erfolgreiche Jahre hinter uns und haben allen Anlass zu denken, dass der Erfolg bleibt“ – woher nehmen sie diese Gewissheit?

➤ Ich glaube an unsere Strategie, die sich bisher bewährt hat. Wir sind seit der Firmengründung Technologieführer. Mein Großvater hat das Urprodukt erfunden, das über die Jahre immer weiterentwickelt wurde.

Unsere Stellung haben wir dadurch erreicht, dass wir stets schneller und besser als unsere Wettbewerber waren und sind. Ich habe da großes Vertrauen in unsere Ingenieure und in die gesamte Belegschaft. Die Kompetenzen, die wir uns im

Anwendungsbereich in den vergangenen Jahren erarbeitet haben, werden uns tragen. Und egal, welchen Antrieb wir irgendwann verwenden, wir werden weiterhin die besten Geräte liefern. Davon bin ich überzeugt.

**?** Als Hersteller manueller Werkzeuge verursacht Ihnen das ganze Thema Industrie 4.0 keine Bedenken?

➤ An der Digitalisierung sind wir im Prinzip seit 20 Jahren dran, in der primären und sekundären Wertschöpfungskette arbeiten wir schon lange damit. Die Abgas-Reinigung bei unseren Zweitakttern, mit der wir über 80 Prozent weniger Emissionen als vor 20 Jahren erreicht haben, wäre beispielsweise ohne Digitalisierung nicht möglich gewesen. Ich sehe die Technologieführerschaft nicht nur in der Entwicklung von Geräten, sondern auch in einem hohen Eigenfertigungsanteil. Wir haben einen weltweiten Produktionsverbund aufgebaut, der nur funktioniert, wenn alle Werkteile miteinander reden. Ohne Digitalisierung undenkbar.

**?** Also würden Sie sagen, im Produktionsprozess hat Stihl Industrie 4.0 bereits umgesetzt?

➤ Wir sind dabei.

**?** Und in Ihren Produkten – etwa mit Blick auf „Smart Gardening“, also der automatischen Gartenpflege?

➤ Auch hier sind wir mittendrin. Wir haben elektronische Motorsteuerungen eingeführt, aktuell entwickeln wir Systeme, die einzelne Produkte miteinander vernetzen und intelligent machen bzw. die digitale Wertschöpfungsketten etwa zwischen den Produkten und dem Handel erzeugen. Und die es natürlich auch dem Endkunden ermöglichen,

„An der Digitalisierung arbeiten wir im Prinzip seit 20 Jahren, in der primären und sekundären Wertschöpfungskette arbeiten wir schon lange damit.“  
Dr. Nikolas Stihl

Foto: Universität Stuttgart/Max Kovalevko

unsere Produkte dank ihrer digitalen Kompetenzen gezielter und wirtschaftlicher einzusetzen.

**?** Sind Familienunternehmen aufgrund ihrer übersichtlicheren Strukturen im Vorteil gegenüber Konzernen, wenn es darum geht, die Digitalisierung zu stemmen?

➤ Mit Sicherheit ja. Aber vor allem ist es wichtig, dass man an das glaubt, was man tut und konsequent bleibt. Fundamentaler Wandel braucht Zeit und jede Menge Investitionen. Es ist leicht, Gewinne durch geringere Investitionen kurzfristig nach oben zu drücken. Daran glauben wir aber nicht. Ein Familienunternehmen ist hier im Vorteil, weil die Führungsstrukturen über sehr lange Zeit die gleichen bleiben. Dadurch lässt sich in viel längeren Zeiträumen denken und eine Strategie langfristig verfolgen.

**?** Beim Thema Digitalisierung müssen die Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter mitgenommen werden. Wie funktioniert das bei Stihl?

➤ Die Aufgabe, unsere Mitarbeiter auf diesem Weg mitzunehmen, liegt bei den Führungskräften. Unsere Mitarbeiter haben aber auch die Gewissheit, dass

niemand wegen einer Rationalisierungsmaßnahme entlassen wird. Jeder kann einen Verbesserungsvorschlag einreichen, ohne Angst haben zu müssen. Es gibt das Versprechen, dass jeder einen mindestens gleichwertigen Arbeitsplatz bekommt. Bisher konnten wir das immer erfüllen.

Neben den großen Innovationssprüngen braucht es aber auch die vielen kleinen, iterativen Schritte, die die Produkte besser machen. Dafür sind gut ausgebildete Mitarbeiter nötig. Hier setzen wir weltweit auf die duale Ausbildung – nicht nur in der Produktion, sondern auch im kaufmännischen und technischen Bereich. Gerade diese Auszubildenden kommen oft auf gute Ideen, die teilweise sehr innovativ sind.

**?** Das führt direkt zu ihrer eigenen Ausbildung an der Universität Stuttgart. Was haben Sie aus dieser Zeit mitgenommen?

➤ Das intensive wissenschaftliche Arbeiten. Das hilft mir bis heute, neue Gebiete zügig zu erschließen. Und nicht zu vergessen: Die Uni Stuttgart ist zwar eine Forschungseinrichtung mit hervorragend aufgestellter Grundlagenforschung. Aber sowohl über die eigenen Institute als auch über die ange-

Das Orange ihrer Gehäuse macht sie unverwechselbar: die Hightech-Motorsägen aus dem Hause Stihl.



Foto: Universität Stuttgart/Max Kovalenko

bundenen Institute der Fraunhofer Gesellschaft gibt es auch einen hohen Praxisbezug. Schon zu meiner Zeit hatten verschiedene Institute Kontakte zu den großen Unternehmen in der Region. Die Forschung als zentrale Aufgabe aller Universitäten ist wichtig, aber zur Grundlagenforschung gehört auch die Anwendung – und das findet man in Stuttgart in einer sehr schönen Mischung vor.

**?** Sind die heutigen Universitätsabsolventen aus Ihrer Sicht auf die Praxis in den Unternehmen vorbereitet?

➤ Sie sind recht gut vorbereitet, aber es dauert in der Regel immer bis zu einem Jahr, bis sie sich in

die verschiedenen Bereiche eingearbeitet haben. Die Möglichkeiten und Anforderungen sind an der Uni andere als im Betrieb. Aber die Motivation ist bei allen immer sehr hoch, weil sie an etwas Konkretem arbeiten.

**?** Und wie sieht es im Hause Stihl mit der nächsten Generation aus?

➤ Mein Sohn studiert Chemie – an der Uni Stuttgart –, meine Tochter studiert Geisteswissenschaften. Auch die Kinder der anderen Gesellschafter sind mitten in der Ausbildung. Insofern möchte ich nicht ausschließen, dass es eine Nachfolge gibt. Es muss sich aber erst einmal jeder selber finden.

Bei uns hieß und heißt es niemals „du musst“. Zuerst muss man zeigen, dass man kann – und wenn man will, dann darf man auch.

**?** Sind Sie deswegen auch erst einmal raus in die Welt?

➤ Ja, man will sich ja auch selbst etwas beweisen. Wenn man gut ist in anderen Unternehmen, kann man davon ausgehen, dass Lob ernst gemeint ist. Zudem schadet es nicht, Erfahrungen zu sammeln und Dinge zu tun, die man im eigenen Unternehmen nicht tun kann. Meinen ersten Job als Konstrukteur bei Mercedes hätte ich bestimmt auch im eigenen Unternehmen wahrnehmen können. In der Unternehmensberatung war es dann etwas komplett anderes, da habe ich sehr viel gelernt. Diese Zeiten will ich nicht missen.

**?** Wie geht es in der Welt der Stihl-Geräte weiter?

➤ Digitalisierung, Akkuantrieb, Umweltschutz und das Denken in Systemen – das sind die Themen, die uns in absehbarer Zeit beschäftigen werden. Wir müssen uns in allen Bereichen weiterentwickeln. Das heißt zum Beispiel auch, mehrgleisig zu fahren, etwa im Hinblick auf die Optimierung des Verbrennungsmotors einerseits und die Weiterentwicklung des Akkuantriebs andererseits. Hinzu kommt die Transformation vom Produkt- zum Systemanbieter. Diese Themen beschäftigen aber nicht nur uns, sondern sind allgemein in der baden-württembergischen Industrie gerade die größten Herausforderungen.

**Wir bedanken uns für das Gespräch!**

*Die Fragen stellten Dr. Hans-Herwig Geyer und Martina Hönekopp*

Dr. Nikolas Stihl studierte an der Universität Stuttgart Maschinenbau. 1997 promovierte der Diplom-Ingenieur an der Fakultät für Maschinenbau und Verfahrenstechnik der Technischen Universität Chemnitz. Thema der Dissertation: „Komplexe Optimierung des Arbeitssystems Motormanuelle Waldarbeit“. Erste praktische Erfahrungen sammelte Stihl 1987 bis 1990 als Ingenieur bei der Mercedes-Benz AG in Stuttgart, wo er an der Entwicklung eines 12-Zylinder-Motors mitarbeitete. Anschließend war er bis 1992 als Unternehmensberater bei der deutschen Niederlassung von Arthur D. Little in München tätig.

Im selben Jahr stieg Stihl als Assistent der Geschäftsführung in die Stihl-Unternehmensgruppe ein. Wenig später leitete er das Produktmanagement des Motorsäbengeschäfts der Stihl Incorporated, Virginia Beach, in den Vereinigten Staaten von Nordamerika. 1993 übernahm er schließlich die Geschäftsführung der Viking GmbH in Österreich, die er bis 2011 inne hatte.

2012 übernahm Dr. Nikolas Stihl, der Gesellschafter der Stihl Holding AG & Co. KG ist, den Vorsitz des Beirats der Stihl Holding AG & Co. sowie des Aufsichtsrats der Stihl AG von seinem Vater, Hans Peter Stihl.

# Netzwerken 4.0

Digitalisierung und Industrie 4.0 verändern nicht nur in rasantem Tempo unsere Produktions-, Arbeits- und Lebenswelt. Sie definieren auch die weltweite Arbeitsteilung neu und führen zu neuartigen Formen der Zusammenarbeit – über Länder und Kontinente hinweg. Globalisierung und Internationalisierung sind daher für die Hochschulen eine zentrale Herausforderung. Denn wo könnte man besser lernen, globale Probleme vernetzt zu lösen, als an einer Hochschule mit einem hohen Anteil an ausländischen Studierenden und Wissenschaftlern? Oder bei einem Studium beziehungsweise Forschungsaufenthalt im Ausland?

Die Universität Stuttgart hat den Anspruch „International engagiert und vernetzt“ in ihrem Leitbild als strategisches Ziel verankert und setzt dies im Rahmen ihrer Internationalisierungsstrategie um. Ein Baustein ist dabei die Beteiligung an internationalen Bildungs- und Karrieremessen rund um den Globus. So können die Besucherinnen und Besucher einen Einblick in die Studien- und Forschungsmöglichkeiten an der Universität Stuttgart gewinnen und erste Kontakte knüpfen.

Bei wichtigen Foren wie der Jahrestagung des German Academic International Network (GAIN), der größten Netzwerk- und Karrieremesse für deutsche Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler in den USA und Kanada, sind Rektor Prof. Wolfram Ressel und Dr. Wolfgang Holtkamp, Senior Advisor International Affairs, persönlich vor Ort, um über Karrierewege an der Universität Stuttgart zu informieren. Auch auf Netzwerkmessen für den europäischen, amerikanischen und asia-pazifischen Raum ist die Universität Stuttgart zusammen mit internationalen Partnern regelmäßig vertreten und engagiert sich für den grenzüberschreitenden wissenschaftlichen Austausch.



- MIT European Career Fair
- GAIN
- Europosgrados
- Promotion Tour Brasilien
- Expo Estudiante
- European Education Fair Taiwan
- IEF Türkei
- Study in Europe Fair

**Beteiligungen an Netzwerkmessen:**

- NAFSA (Nordamerika):  
St. Louis, San Diego, Boston, Denver, Los Angeles.
- APAIE (Asien-Pazifik):  
Hongkong, Seoul, Peking, Melbourne, Kaohsiung.
- EAIE (Europa):  
Istanbul, Prag, Glasgow, Liverpool, Sevilla.

## Programmiertes Glück

### Der Südtiroler Daniel Graziotin und sein Team suchen nach den Happinessfaktoren für Software-Entwickler

**Wenn sich ein Software-Entwickler rundum wohlfühlt, nimmt seine Fähigkeit, analytisch Probleme zu lösen, um fünf bis zehn Prozent zu. Das hat Dr. Daniel Graziotin vom Institut für Softwaretechnologie (ISTE) der Universität Stuttgart zusammen mit Kollegen herausgefunden. In einer großen Studie geht das Team in Stuttgart, Bozen, Trondheim und Helsinki nun der Frage nach, was Entwickler in ihrem (Berufs-)Leben glücklich oder unglücklich macht. Die Erkenntnis: Unternehmen können mehr beeinflussen als vermutet.**

Masseur und Fitnessstudio bei Google, ein Wellness-Center in der Apple-Zentrale: Immer wieder machen IT-Konzerne mit Extras für ihre Angestellten Schlagzeilen. Dass sie damit nicht ganz falsch liegen, um die Produktivität ihrer Mitarbeiter zu steigern, zeigen die Studien des 30 Jahre alten Softwaretechnik-Forschers Daniel Graziotin. Sie belegen: Glückliche Programmierer schreiben bessere Software. Doch welchen Einfluss haben die Unternehmen auf das Wohlbefinden ihrer Mitarbeiter? Um das herauszufinden, befragte Graziotin gemeinsam mit den ehemaligen Betreuern seiner Dissertation an der Freien Universität Bozen Bolzano Xiaofeng Wang und Pekka Abrahamsson (jetzt Trondheim/Norwegen) sowie Fabian Fagerholm von der Universität Helsinki mehr als 2.000 Software-Entwickler aus 88 Ländern. Die lieferten über alle Ländergrenzen hinweg so viele Antworten, dass das vierköpfige Team die Daten nur Stück für Stück auswerten kann. Die ersten Studienergebnisse zeigen: Egal welche Nationalität die Software-Entwickler haben oder in welchem Teil der Welt sie leben, selten sind es private Probleme, die das Glück bei der Arbeit beeinträchtigen, fast nie die Gehälter. Vorgesetzte, Kollegen und die

Arbeitsmittel nehmen hingegen zentralen Einfluss auf die Gefühlslage der Entwickler.

Die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler hatten einen zweiteiligen Online-Fragebogen entwickelt. Der erste Teil enthielt den in der Psychologie anerkannten SPANE-Test, wobei SPANE für „Scale of Positive And Negative Experience“ steht. Mithilfe dieses Tests lässt sich ermitteln, auf welchem Grad persönlichen Wohlbefindens sich die jeweilige Person befindet. „Wenn man sich Texte von Entwicklern im Internet anschaut, dann finden wir viele Klagen und Beschwerden über Vorgesetzte, Kollegen und das Arbeitsumfeld“, berichtet Graziotin. „Das lässt vermuten, dass Entwickler eher unglückliche Menschen sind. Wir fanden aber überraschenderweise heraus, dass sie eine vergleichsweise glückliche Bevölkerungsgruppe sind.“ Auf der Skala von -24 (sehr unglücklich) bis +24 (sehr glücklich) des SPANE-Tests lagen die Entwickler bei +9. Der generelle Durchschnitt liegt etwa zwischen +3 und +6. „Wir wissen noch nicht, was es bedeutet, dass Software-Entwickler glücklicher sind als andere Berufsgruppen. Aber wir wissen jetzt, dass es so ist.“

Vier zentrale Forschungsfragen will das Team mithilfe des zweiten Teils ihrer Befragung beantworten: Was sind die Ursachen dafür, dass ein Software-Entwickler glücklich ist? Was macht ihn unglücklich? Welche Folgen entstehen daraus, wenn er glücklich ist? Und welche aus seinem Unglück? Da die Teilnehmer diese Fragen in offenen Textfeldern beantworteten, sitzen die Forscher nun auf einem Berg von Daten. „Wir haben die Dimensionen Glück und Unglück und wir haben dafür jeweils die Gründe und die Folgen. Bis jetzt haben wir die Konsequenzen der beiden Gemütszustände analysiert und die Gründe fürs Unglücklichsein. Aber wir wissen noch nicht, was Entwickler glücklich macht. Daran arbeiten wir noch“, sagt Graziotin.

#### Privatleben meist nicht entscheidend

Doch schon die bisherigen Ergebnisse brachten Erstaunliches ans Licht. Das Team unterschied interne Einflussfaktoren, die also bei der Person des Entwicklers lagen, und externe, die von außen auf dessen Arbeit einwirken. „Was uns ebenfalls überraschte war, dass für das Unglücklichsein die externen Faktoren viermal so oft wirkten, wie die internen. Das bedeutet, hier können Vorgesetzte noch sehr viel tun“, so Graziotin. „Wir hatten erwartet, dass persönliche Probleme und Ereignisse in der Privatsphäre in den meisten Fällen eine negative Stimmung hervorrufen. Unsere Studie zeigte jedoch, dass meistens technische Probleme mit den Werkzeugen sowie die Arbeitsprozesse zu einem Gefühl des Unglücklichseins beitragen.“ Die 219 genannten Faktoren der Umfrageteilnehmer teilten die Wissenschaftler in 18 Kategorien ein. Die



Foto: Universität Stuttgart/Max Kovalenko

meistgenannte war „beim Lösen von Problemen nicht weitergekommen“. Das zählt methodisch zu den internen Faktoren, sagt jedoch laut Graziotin alleine wenig aus. „Manche gaben zusätzlich an, dass ihnen die richtigen Werkzeuge fehlten oder dass sie durch Kollegen oder die Geschäftsleitung blockiert wurden“, berichtet er. „Hier wird es interessant, denn das sind ja die eigentlichen Hintergründe, die es gilt, aus den Daten herauszuholen.“ Die zweitwichtigste Kategorie ist „Zeitdruck“. „Der lässt sich nie ganz vermeiden, aber es gibt Tricks, um ihn zu verringern“, sagt Graziotin. „Wir haben gesehen, dass Überstunden nicht dazu beitragen, die Produktivität zu erhöhen.“ Das belegen auch andere Untersuchungen. Manchmal ist es also besser, den Stress herauszunehmen und die Leute heimgehen zu lassen. Am nächsten Tag sind sie ausgeruht und produktiver.

Dass Software-Entwickler gerne gute Qualität herstellen, zeigt die am dritthäufigsten genannte Kategorie „Schlechte Qualität der Codes“. Manche IT-Firmen würden nur Wert auf Tempo legen, so Graziotin. „Wenn das Unternehmen zeigt, gute Qualität ist uns wichtig, hilft das.“ Langweilige und sich stark wiederholende Arbeiten – ebenfalls oft genannt – lassen sich zwar nicht umgehen; eine andere Verteilung schafft jedoch Entlastung. „Wer dauernd eintönige Aufgaben bekommt, wird stetig weniger leisten.“

Zu den Top-Kategorien der Unzufriedenheitsgründe gehörte auch „schlecht arbeitende Kollegen“, die die eigene Arbeit in irgendeiner Form behindern. Die Aussage „ich fühle mich mit meiner Arbeit unzulänglich“ (Platz 5), könnte bedeuten, dass Vorgesetzte Aufgaben so vergeben müssen, dass der jeweils Beauftragte in der Lage ist, sie mit seinen Kompetenzen zu erledigen. Dies war neben gelegentlich angeführten, rein privaten Problemen die einzige weitere Kategorie, die mit der Person des Entwicklers zusammenhängt.

### Die Künstler unter den Ingenieuren

Doch warum sollten Firmen überhaupt Wert darauf legen, dass sich Software-Techniker wohlfühlen? Entwickler seien Kreative, irgendwo zwischen Künstlern und Ingenieuren angesiedelt, meint Graziotin. Auf Kreativität wirke sich die Gemütsverfassung deutlich stärker aus, als vielleicht auf die Arbeit eines Handwerkers oder Industriearbeiters. Aufschlussreich war für ihn daher auch, welche Faktoren in der Studie keine Rolle spielten, etwa unterschiedliche Mentalitäten und Nationalitäten. Auch demografische Faktoren wie Firmengröße, Berufserfahrung, ob Angestellter oder Selbstständiger, haupt- oder nebenberuflich tätig – alles ohne Belang für das persönliche Glück und die Auswirkungen auf die Arbeit. Selbst das Brutto-Einkommen spielt hierfür keine Rolle.

Schon 2010, während seiner Masterarbeit an der Universität Bozen zur Frage, warum manche Entwickler produktiver arbeiten als andere, hatte Graziotin bemerkt, dass sich die Forschung nur mit technischen Fragen befasste. In einem Gespräch mit Pekka Abrahamsson zu seiner Doktorarbeit, mit der Graziotin 2013 startete, warf er das Problem auf: „Ich könnte die besten Werkzeuge der Welt haben, gut ausgebildet sein und in einem tollen Team arbeiten. Aber eines Tages bin ich in schlechter Stimmung – dann kommt keine gute Arbeit dabei heraus. Aber das beachtet niemand.“ Seine Dissertation sollte deshalb die Verbindungen von Glück und den Leistungen von Entwicklern erklären. „Das Offensichtliche kam heraus: Glückliche Entwickler leisten mehr, unglückliche weniger. Aber die Wissenschaft muss erklären, warum das so ist.“ Zusammen mit seiner zweiten Betreuerin Xiaofeng Wang hatte Graziotin daher beschlossen, die Theorien der Psychologie mit einzubeziehen. „Damit begann diese Forschung“, die bis dahin niemand gemacht hatte. Auch weil die Ergebnisse große Aufmerksamkeit erregten, führt der dreißig-

jährige Südtiroler Graziotin diese nun mit einem Stipendium der Alexander-von-Humboldt-Stiftung in Stuttgart fort.

### Mitarbeiter wollen Gehör finden

Zwar ist Glück dabei nur ein Faktor von vielen, aber eben ein relevanter, wie Graziotin zeigen konnte. „Als Mensch motiviert mich aber vor allem, die Arbeitsbedingungen und das Wohlbefinden von Software-Entwicklern zu verbessern.“ Von der Arbeit des Quartetts profitieren IT-Firmen unmittelbar, denn hier wird mit offen verfügbaren Daten gearbeitet. „Wenn ein Manager eines Software-Unternehmens überlegt, wie er die Leistungsfähigkeit seiner Mitarbeiter steigern kann, indem er ihre allgemeine Stimmung hebt, findet er die Liste mit unseren Ergebnissen im Internet.“ Genaue Aussagen lassen sich zwar nur im Einzelfall treffen. „Was die Antworten der Studienteilnehmer insgesamt ausdrücken, ist aber, dass es vor allem um mangelnde Unterstützung geht“, sagt Graziotin. Bei Teamleitern, Kollegen und der Geschäftsleitung Gehör zu finden, sei für Entwickler essenziell. „Der erste wichtige Hinweis an Unternehmen wäre: Macht eine anonyme Umfrage ähnlich der unsrigen und ermöglicht persönliche Unterstützung durch die Vorgesetzten.“ Strategische Entscheidungen trifft in der Regel das Management. Das ist auch für die meisten in Ordnung. Allerdings werden die Entwickler nach Graziotins Erkenntnissen in der Regel jedoch überhaupt nicht miteinbezogen und müssten oftmals mit Technik arbeiten, die sie nicht wollten. Wenn man sie wenigstens hierzu anhören würde, da ist er sich sicher, wären viele Software-Entwickler schon wesentlich glücklicher.

Daniel Völpel

## Universität erleben Aktuelle Veranstaltungen (Auswahl)

### Technologieführer der Automobil-industrie stellen sich vor

Top-Manager aus der Automobilbranche referieren über aktuelle Themen aus Forschung, Entwicklung, Produktion, Marketing und Vertrieb

➤ *Jeweils montags 18.00 bis 19.30 Uhr*  
Hörsaal 47.02, Pfaffenwaldring 47,  
Campus Stuttgart-Vaihingen

➤ *4. Dezember 2017*  
Der Mission E kommt! Wie Digitalisierung, Urbanisierung und Elektrifizierung den Aftersales der Zukunft beeinflussen  
Michael Drohlshagen, Dr. Ing. h.c. F. Porsche AG

➤ *18. Dezember 2017*  
Engineering Dienstleister - eine Branche im Zeichen von Elektromobilität, Connectivity und Autonomem Fahren  
Henry Kohlstruck, MBtech Group GmbH & Co. KGaA

➤ *10. Januar 2018*  
Bosch World of Innovation: Eröffnungsvortrag durch Dr. Volkmar Denner, Vorsitzender der Geschäftsführung der Robert Bosch GmbH

➤ *15. Januar 2018*  
Duale Antriebsstrategie - neu interpretiert: Sinnvolle Koexistenz beider Systeme  
Dr. Andreas Pfeifer, MAHLE GmbH

➤ *29. Januar 2018*  
Die G-Klasse - eine Ikone entwickelt sich seit 39 Jahren kontinuierlich weiter  
Dr. Gunnar Güthenke, Daimler AG

### „baubionik – biologie beflügelt architektur“

Ausstellung des Sonderforschungsbereichs TRR141 „Entwurfs- und Konstruktionsprinzipien in Biologie und Architektur“

➤ *Noch bis 6. Mai 2018*  
Staatliches Museum für Naturkunde Stuttgart,  
Schloss Rosenstein

### Fragen an die Wissenschaft

➤ *Jeweils dienstags, 19.00 bis 20.30 Uhr*  
TREFFPUNKT Rotebühlplatz 28, Stuttgart

➤ *5. Dezember 2017*,  
Allergenität und Authentizität von Lebensmitteln: Alles sicher und echt?  
Prof. Dr. Jens Brockmeyer, Universität Stuttgart, Institut für Biochemie und Technische Biochemie

➤ *6. Februar 2017*  
Menschliches Erbgut mit Nanolöchern entschlüsseln.  
Prof. Dr. Maria Fyta, Universität Stuttgart, Institut für Computerphysik

Vorschau

**Tag der Wissenschaft: 30. Juni 2018**

Alle Veranstaltungen:  
<https://www.uni-stuttgart.de/universitaet/aktuelles/veranstaltung/index.html>



Foto: Lennard/Kullikova/Shutterstock/SMNS\_E\_P\_Bauer

# 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,  
Symptra 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:** W. Kohlhammer Druckerei GmbH & Co. KG, Stuttgart

**Auflage:** 7.500

**ISSN:** 2198-2848

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



Gedruckt auf Circlesilk Premium White, zertifiziert mit dem EU-Ecolabel (Reg.-Nr. FR/11/003).  
Hergestellt aus 100 % Altpapier.



**WIR SORGEN FÜR DAS**

**„WOW!“**

Bei unseren Kunden sorgen wir für solide Glücksgefühle – und vor allem bei deren Kunden. Denn diese erhalten dank unserer integrativen Intralogistik-Anlagen und Warehouse-Management-Software genau das geliefert, was sie bestellt haben. Zur richtigen Zeit in der richtigen Menge am richtigen Ort. Garantiert.

Du hast Dein Studium erfolgreich abgeschlossen und suchst den perfekten Start ins Berufsleben? Wir sind kontinuierlich auf der Suche nach **Anwendungsentwicklern, Software-Beratern** und **Software-Projektleitern**. Der Direkteinstieg bei **viastore** bietet Dir beste Voraussetzungen für Deine erfolgreiche Karriere.

Wenn Du gemeinsam mit uns für viele „Wows“ sorgen möchtest, freuen wir uns auf Deine Bewerbung an [career.de@viastore.com](mailto:career.de@viastore.com).



**Guaranteed Success.**