Universität Stuttgart

magazin

des stuttgarter maschinenbaus

11
22

Neuer Blick auf Forschung und Lehre
Promovieren mit praktischem Nutzen

Unsere Schwerpunktthemen
Autonome Produktion
Biointelligenz

Unternehmertum
Die Bedeutung von
Ausgründungen

stuttgarter
maschinenbau
interdisziplinär und vielfältig

Universität Stuttgart

stuttgarter
maschinenbau
interdisziplinär und vielfältig

Magazin des Stuttgarter Maschinenbaus

Blick auf Forschung und Lehre

Universität Stuttgart
Stuttgarter Maschinenbau
Fakultäten 4 und 7
November 2022

Fotos Titel: Universität Stuttgart

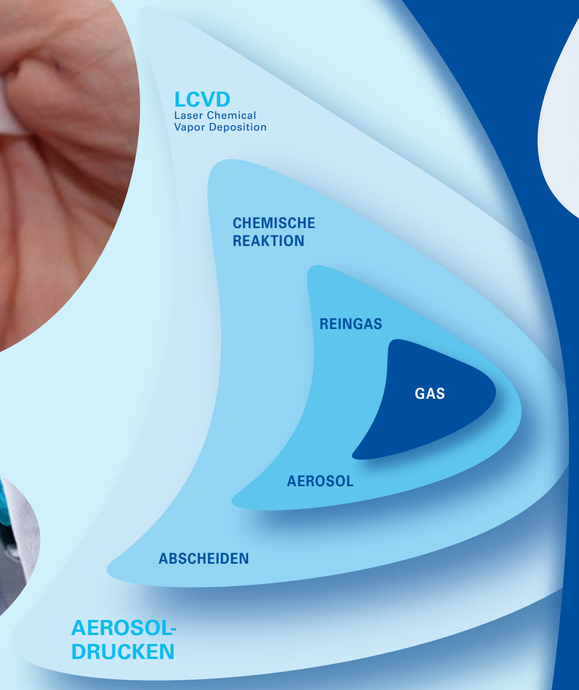
www.stuttgarter-maschinenbau.de

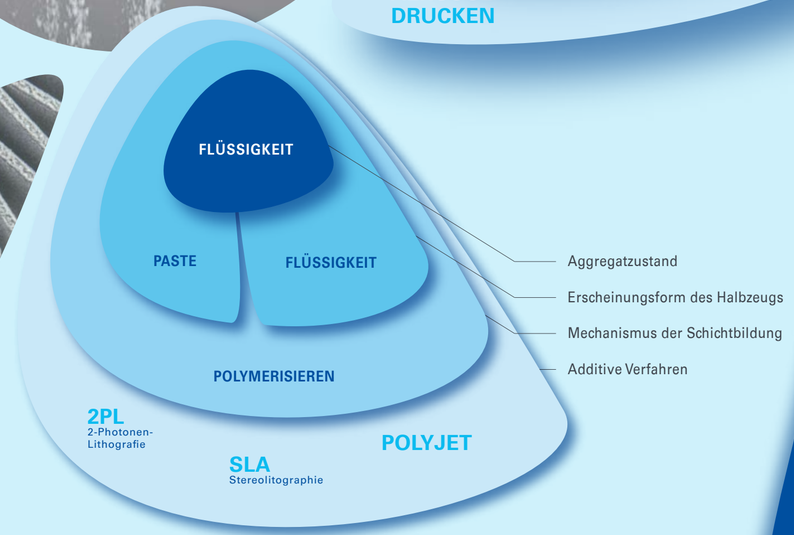
Additive Fertigung

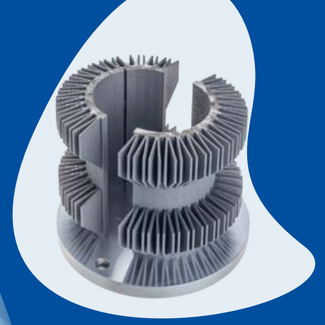
Kunststoff – Metall – Keramik – Faser – Biomaterialien – Papier – Beton

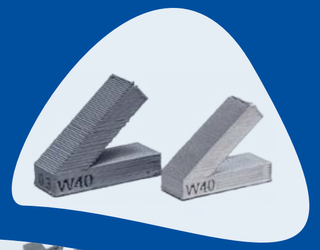
Unter dem Begriff ‚Additive Fertigung' oder auch ‚3D-Druck' verbergen sich eine riesige Bandbreite an Materialien und jeweils geeignete Verfahren und Geräte für deren Herstellung. Der Stuttgarter Maschinenbau verwendet und erforscht diese Fertigungsverfahren intensiv.

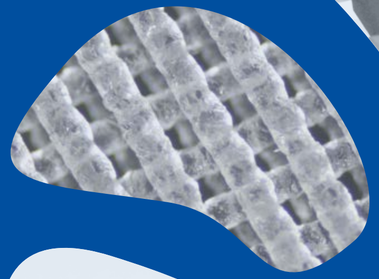
Die meisten additiven Fertigungsverfahren zeichnen sich dabei durch einen schichtweisen Aufbau der Strukturen aus. Die jeweiligen Verfahrensprinzipien zur Erzeugung des Schichtzusammenhalts unterscheiden sich stark. Diese Grafik gibt einen Überblick über die Verfahren, in der Tabelle sind die Materialien und die in den beiden Fakultäten verfügbaren Geräte gelistet.

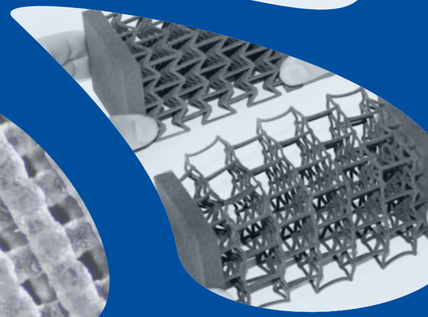


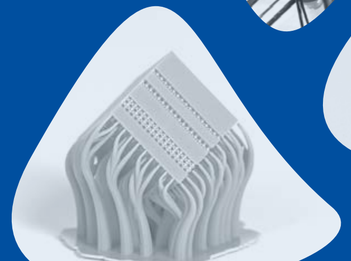












stuttgarter
maschinenbau
interdisziplinär und vielfältig

Text/Grafik: Moritz Käß | WeiserDesign
Fotos: IFF, IKT, IKTD, IMT, INM, ITFT, ITO, MPA

AUSSTATTUNG FÜR ADDITIVE VERFAHREN DES STUTTGARTER MASCHINENBAUS

VERFAHREN	Anzahl	ANLAGEN	MATERIALIEN
AUFSCHMELZEN UND ERSTARREN			
FFF Fused Filament Fabrication **FDM** Fused Deposition Modeling	5 4 2 2 1 1 1 1 1	PRUSA MK3S+ ULTIMAKER 3 MARKFORGED MARK TWO ARBURG FREEFORMER INTAMSYS FUNMET PRO 610 HAT 3D GENCE F340 INDUSTRY E3D TOOLCHANGER RAISE3D PRO2 CREATBOT PEEK-300	Polyactide (PLA) Acrylnitril-Butadien-Styrol (ABS) Polyethylenterephthalat (PETG) Polyurethane (TPU) Thermoplastische Elastomere (TPE) Biomaterial Polyamide Nylon/Glasfaser Hochgefüllte Kunststoffe Karbonfasergefüllte Kunststoffe Wasserlösliche Kunststoffe Hochfeste Hochtemperatur-Glasfaser (HSHT) 316L/Steelfill 17-4 PH Lacke IFF, IKT, IKTD, IMT, INM, ITFT, ITO, MPA*
SLS Selective Laser Sintering	3 1 1	SINTERIT LISA EOS FORMIGA EOS P396	Polyamid 12 (PA12) Polyamid 11 (PA11) Polyurethane (TPU) Thermoplastische Elastomere (TPE) Aluminium IFF, IKT, IKTD, INM, ITFT*
SAF Selective Absorption Fusion	1	H350	Polyamid 11 (PA11) IFF*
WAAM Wire Arc Additive Manufacturing **DED** Directed Energy Deposition	1	KUKA/FRONIUS	Stahl Aluminium MPA*
LPBF Laser Powder Bed Fusion **SLM** Selective Laser Melting	1 1	ACONITY MINI EVOBEAM	Stahl Aluminium Nickel Titan MPA*
VERKLEBEN DURCH BINDER			
CFW Coreless Filament Winding		EIGENBAUTEN AUF GRUNDLAGE VON KUKA ROBOTERSYSTEMEN	Faserverbundwerkstoffe: Carbon- und Glasfasern, Naturfasern mit synthetischen Harzen ITFT*
POLYMERISIEREN			
SLA Stereolitographie	3 1 1	FOMLABS FORM 2 PHROZEN MIGHTY 8K RAPIDSHAPE H40	Kunstharz IFF, IKT, IKTD, IMT, INM*
2PL 2-Photonen-Lithografie	1	NANOSCRIBE PROFESSIONAL GT2	Fotosensitive Negativlacke ITO*
POLYJET	1	STRATASYS OBJET260 CONNEX	Transparente, farbige und weiche Harze IFF*

*Diese Institute setzen diese Verfahren ein.

ANSPRECHPARTNER
IFF, Jan Janhsen, Patrick Springer
IKT, Jens Thurnherr
IKTD, Gregory-Jamie Tütün
IMT, Peter Pott
INM, David Remy
ITFT, Pascal Mindermann
ITO, Alois Herkommer
MPA, Moritz Käß

INHALT

11 Editorial

FORSCHEN & PROMOVIEREN ALS INGENIEUR*IN

Interview mit unseren Promovierenden

14 Promovieren mit praktischem Nutzen

Unsere Promovierenden tauschen sich über ihre unterschiedlichen Erfahrungen aus

BEITRÄGE ZU EINER ZUKUNFTSFÄHIGEN GESELLSCHAFT

Zukunftsthemen im Blickpunkt

28 Autonome Produktion – ein sozio-technisches System

34 Roboter lernen zu Montieren

38 Bremsenergie ökonomisch Nutzen

42 Autonomes Produktionssystem in der Schmiede

48 Mit Biointelligenz in einen nachhaltigen Innovationsraum

54 Modell-basiertes Design von bakteri-ellen synthetischen Memorysystemen

60 Mikrobielle Fabrik

STUTTGARTER MASCHINENBAU

Alles unter einem Dach

66 Unternehmertum an der Universität Stuttgart

70 LightPulse – Mikrobearbeitung mit Ultrakurzpulslasern

72 Aeroflex – Das adaptive Federbein für motorisierte Zweiräder

74 Personomic – zeigt wie Ausgründen geht!

76 Die besondere Vorlesung – Ethik in der Medizintechnik

82 Gastbeitrag – Internationalisierung

HIGHLIGHTS

Highlights

88 Auszüge aus vielfältigen Projekten

AUSBLICK

96 Was erwartet uns in der 4. Ausgabe des Magazins des Stuttgarter Maschinenbaus

97 Impressum

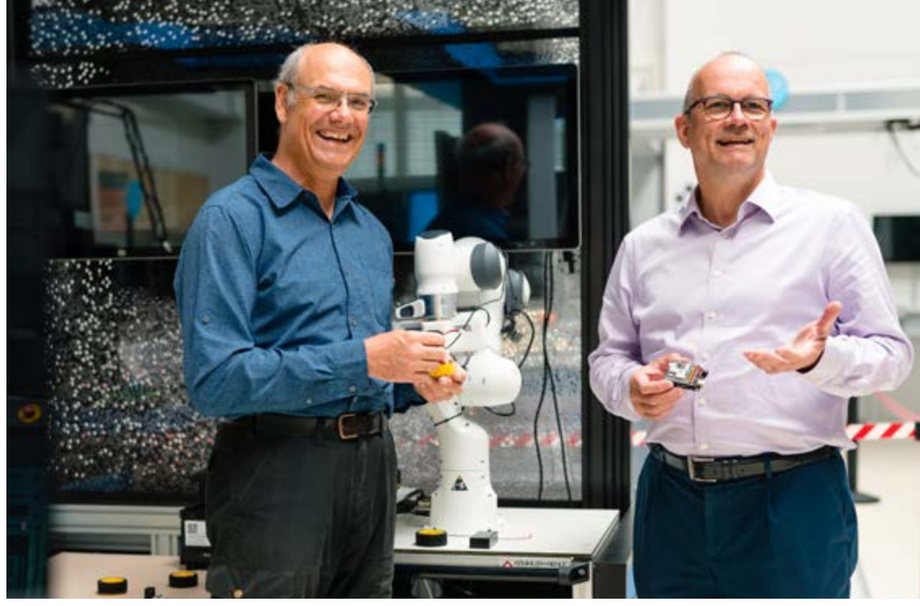
Fotos von links nach rechts: Ludmilla Parsyak, IFK, IBVT, IFT

AUTONOME PRODUKTION

BIOINTELLIGENZ

Der Stuttgarter Maschinenbau leistet zusammen mit seinen Partnern einen wesentlichen Beitrag zur Lösung der aktuellen gesellschaftlichen Herausforderungen. In der vorliegenden Ausgabe stehen Projekte zur Autonomen Produktion und zur Biointelligenz im Fokus.

Insbesondere die Leistungen unserer Promovierenden und der Mut der Personen, die Unternehmen aus der Universität heraus gründen, sind ein wesentlicher Beitrag zum Erfolg. Auch darüber berichten wir in dieser Ausgabe.



Fotos: Ludmilla Parsyak

Liebe Leserinnen und Leser,

wer hätte bei der Formulierung unserer Strategie ‚Nachhaltige autonome sozio-technische Systeme' gedacht, dass wir uns so rasch in einer Zeit sich multiplizierender Krisen wiederfinden, in der dem ‚altehrwürdigen' Maschinenbau eine solch zukunftsweisende Rolle zukommt. Lösungen für die Krisen finden unter anderem die Ingenieursdisziplinen wie der Maschinenbau, so zum Beispiel für die dringend notwendige Energiewende, nachhaltige Kreislaufwirtschaft oder resiliente Logistikketten. Über diese Lösungsbeiträge möchten wir Sie auch in Zukunft weiter informieren.

In dieser Ausgabe setzen wir die Beiträge über unsere sechs Zukunftsthemen fort: Beiträge zur autonomen Produktion und zur Nutzung aus der Biologie inspirierter Systeme stehen im Fokus. Und dies immer aus dem Blickwinkel der Forschenden und der praxisorientierten Umsetzung.

Im Interviewpart haben wir unseren Promovierenden einen prominenten Platz eingeräumt und dazu sehr interessante Beiträge zum Gründerprogramm EXIST aufgenommen. Eine Menge Highlights runden auch dieses Magazin wieder ab.

Wir wünschen Ihnen viel Inspiration und Freude bei der Lektüre.
Für den Stuttgarter Maschinenbau

Univ.-Prof. Dr.-Ing.
Stefan Weihe, Prodekan Fakultät 4

Univ.-Prof. Dr.-Ing.
Oliver Riedel, Prodekan Fakultät 7

Foto: Ludmilla Parsyak

FORSCHUNG & PROMOTION

PROMOVIEREN MIT PRAKTISCHEM NUTZEN

PRO-MO-TION

Der Stuttgarter Maschinenbau gehört zu den forschungsstärksten maschinenbaulichen Fakultäten Deutschlands, mit einem sehr breiten und attraktiven Lehrangebot. Doch wie sieht es aus, wenn junge Leute hier nach dem Studium den Doktortitel erwerben möchten? Fünf Promovierende erläutern im folgenden Roundtable-Gespräch, welche Vorteile es hat, in Stuttgart zu promovieren und wie sie mit den täglichen Herausforderungen einer Promotion umgehen.

„WIR SUCHEN ANTWORTEN BEI PROMOVIERENDEN"

MICHAEL VOIGT

Sein Vorbild ist der klassische Erfinder: Michael Voigt hat sowohl im Bachelor als auch im Master Maschinenbau studiert. In seiner Promotion bei Prof. Matthias Kreimeyer am Institut für Konstruktionstechnik und Technisches Design (ITKD) beschäftigt er sich jetzt mit der Frage, wie eine übergeordnete Entwicklungsmethodik für die interdisziplinäre Entwicklung adaptiver Fassaden aussehen kann. Michael ist in Esslingen aufgewachsen – Stuttgart sieht er als eine lebendige Stadt.

Was ist das Spannende an Deinem Thema? Die Interdisziplinarität des Forschungsprojekts und das „zwischen den Stühlen sitzen" zwischen maschinenbaulicher Produktentwicklung und Architektur.

Was erhoffst Du Dir von Deiner Promotion? Ein tiefgreifendes systematisches Verständnis für Produktentwicklung, das es mir ermöglicht, in jeder Problemsituation mindestens einen Lösungsansatz parat zu haben.

Was machst Du, wenn Du nicht promovierst? Schwimmen, Reisen, Klavierspielen, mit Freunden das Stuttgarter Freizeitangebot genießen und mich in anderen interessanten Themen außerhalb meiner Forschungsarbeit weiterbilden.

Verena, Du hast zunächst an der Ruhr-Universität in Bochum studiert. Was hat Dich dann nach Stuttgart verschlagen?

Verena: Ich habe schon meine Masterarbeit am DLR in Stuttgart geschrieben. Außerdem hatte ich in Oberhausen an einem Fraunhofer-Institut gearbeitet und fand dort die Forschungs-Infrastruktur cool. Dann habe ich geschaut, welche Fraunhofer-Institute es gibt, die zu meinem Thema passen und bin beim EEP der Uni Stuttgart gelandet, das mit dem Fraunhofer IPA kooperiert und an dem ich jetzt promoviere.

Cynthia, Du bist in Elmshorm geboren, hast aber dann in Beirut Chemical Engineering studiert. Wie kam das?

Cynthia: Meine Eltern haben früher hier in Deutschland gearbeitet, sind aber dann in den Libanon zurückgegangen. Ursprünglich stammen sie aus Armenien, haben aber eine enge Beziehung zu dem Land. Dort habe ich an der American University of Beirut studiert, alles auf Englisch. Ich hatte gute Erinnerungen an Deutschland und wollte zurückkommen, um mein Studium und meine Arbeit hier fortzusetzen.

Michael, Du hast Maschinenbau studiert. Wie kommt es, dass Du Dich jetzt mit adaptiven Fassaden beschäftigst?

Michael: Ich hatte mich mit einem Blumenstrauß von Themen bei verschiedenen Stellen in der Industrie und an der Uni beworben und bekam dann in einem Bewerbungsgespräch den SFB 1244 (Sonderforschungsbereich) vorgeschlagen. Als Maschinenbauer wäre ich selbst nicht auf die Idee gekommen, Häuser zu bauen. Als ich mir die Stelle und das zugehörige Forschungsprojekt dann aber genauer angeschaut habe, fand ich die Möglichkeiten des Gesamtprojekts und auch die Randbedingungen für die eigene Doktorarbeit super spannend.

Johannes, Du hast Fahrzeugtechnik studiert, promovierst aber über die Simulation von menschlichen Knochen. Ein weiter Sprung?

Johannes: Wenn man sieht, dass für Bauteile im Fahrzeug dieselben Simulationsmethoden für vergleichbare mechanische Eigenschaften gelten wie für einen menschlichen Knochen, dann ist der Sprung nicht weit. Bei der Simulation der Knochen arbeiten wir Ingenieure zudem mit Unfallchirurgen und Medizinern zusammen. Dieses Interdisziplinäre finde ich ausgesprochen cool.

DER SCHÖNSTE MOMENT WAR FÜR MICH, AUF EINER KONFERENZ VOR ORT ZU SEIN

Michael

Kerstin, Du hast bei einem Automobilzulieferer gearbeitet und erforschst jetzt die Finanzierung der Energiewende. Auch ein weiter Sprung?

Kerstin: Ich habe Technische Kybernetik studiert. Das ist eine sehr mathematische Ingenieurwissenschaft, in der man Anwendungsfächer in sehr vielen unterschiedlichen Bereichen wählen kann. Es ist gar nicht so entscheidend, welche Art von System man modelliert; letztlich geht es dabei immer um eine mathematische Beschreibung. Mich hat es gereizt, mal an einem ganz tagesaktuellen Thema zu arbeiten.

Die Promotionsquote liegt in den Ingenieurwissenschaften unter 30 Prozent. Warum sollte man gerade als Maschinenbauer*in promovieren?

Verena: Ich würde sagen, um das eigene Fachwissen auszubauen. Im Masterstudium gibt es trotz Spezialisierung immer noch sehr viele verschiedene Fächer. Die Promotion bietet sich an, wenn jemand noch mehr Fachwissen und methodisches Vorgehen erwerben und sich auch persönlich weiterentwickeln möchte.

Kerstin: Jeder ist alleine für sein Thema verantwortlich. Irgendwann gibt es niemanden mehr, den man fragen kann. Man muss sich da selbst durchbeißen. Wenn man das einmal gemacht hat, hilft das auch für zukünftige Fragestellungen im Beruf.

Johannes: Im Laufe der Promotion werden die eigene Methodik und Argumentationsweise wesentlich trennschärfer als im Master. Man lernt auch, die eigene Arbeit zu verkaufen und das ‚Messer' in der Diskussion mit anderen zu schleifen. Gerade für Maschinenbauer, die später Produkte in die Serienproduktion bringen müssen, ist das wertvoll.

Cynthia: Man nimmt ein Thema, geht richtig in die Tiefe und sieht, wie Fragen immer mehr Fragen aufwerfen. Das hilft sich in neue Themen einzuarbeiten.

Ihr seid manchmal sicher ziemlich allein mit Eurem Thema, oder?

Cynthia: Nicht unbedingt. Auch wenn man am Ende selbst seine Analysen macht, arbeiten wir doch als Team zusammen. Da hat man schon ein bisschen Hilfe und sieht, wie die anderen mitkämpfen.

Verena: Und man hat, wenn man ein Paper veröffentlichen kann, die Möglichkeit zu sehen, was andere an anderen Instituten oder Universitäten in einem ähnlichen Forschungsbereich machen und kann sich dann nicht nur innerhalb der Gruppe oder des Bereichs, sondern auch bei Konferenzen austauschen.

WIR WERDEN FÜR PROJEKTE EINGESTELLT UND DIE PROMOTION LÄUFT GEWISSERMASSEN NEBENHER

Kerstin

Ist das Verhältnis der Promovierenden untereinander eher kooperativ oder von Wettbewerbsdenken geprägt?

Kerstin: Im Vergleich zur Industrie gibt es weniger konkurrierende Interessen. Tendenziell haben alle einen viel ähnlicheren Hintergrund als in einer großen Firma, wo beispielsweise das Alter schon mal ganz unterschiedlich ist. Ich empfinde das Verhältnis als sehr positiv.

Michael: Eine Abstraktionsebene höher ist eigentlich jede Promotion relativ ähnlich aufgebaut. Wir fangen alle mit dem Stand der Technik an, wir erarbeiten darauf aufbauend alle eine Forschungslücke, die wir dann ausarbeiten. Die Vorgehensweisen sind immer recht ähnlich. Deshalb bietet es sich an, dass man sich diesbezüglich gegenseitig unterstützt und sagt „ich habe es so und so gemacht und das hat gut funktioniert“. Im Detail muss dann natürlich jeder sein Thema selbst erarbeiten.

Welche Vorteile hat es, in Stuttgart bzw. im Stuttgarter Maschinenbau zu promovieren?

Michael: Wir haben eine große Uni mit einem sehr vielfältigen Spektrum an möglichen Forschungsthemen, zu denen man promovieren kann. Gerade auch durch den starken Industriebezug. Und das Stadtleben ist natürlich auch sehr vielfältig.

Kerstin: Es gibt generell viele Kooperationen von Instituten mit den großen Firmen vor Ort. Auch viele Professor*innen haben in der Industrie gearbeitet. Das macht viel aus.

Cynthia: Genau, sie bringen Erfahrung mit, wenn man Fragen hat, wie eine Lösung aussehen könnte. Bei uns ist die Pilotanlage z.B. schon länger da und wir haben sie dann weiterentwickelt. Man muss also nicht das ganze Forschungsgeld reinstecken, um etwas komplett Neues aufzubauen.

Verena: Gerade die Mischung aus theoretischem Arbeiten und Praxisbezug finde ich hier sehr cool. Ich verbinde ein Forschungsprojekt an der Uni mit Industrieprojekten beim Fraunhofer IPA, d.h. ich kann gleichzeitig forschen und richtig in die Theorie gehen und habe trotzdem den Bezug dazu, wie ich das anwenden kann. Ich baue nicht nur Fachwissen auf, sondern kann auch den Mehrwert erkennen.

Aber von Euch promoviert keiner in Zusammenarbeit mit einer Firma, oder?

Michael: Doch, hinter unserem Sonderforschungsbereich steht ein Konsortium von geschätzt 15 oder 20 Firmen und 14 Instituten der Universität. Da merkt man durchaus den Fingerabdruck der Firmen, die dabei sind.

Cynthia: Auch bei uns ist es ein großes Konsortium. Die Firmen wollen sehen, was wir an der Pilotanlage demonstrieren können, weil sie das in fünf bis zehn Jahren auch im industriellen Maßstab machen wollen. Viele Firmen sitzen in der Nähe, so dass wir sehr schnell vor Ort sein können, um zu besprechen, was sie brauchen.

KERSTIN HALLER

Warum hast Du Dich entschieden, zu promovieren?
Ich wollte mich thematisch umorientieren und gerne an einem eigenen wissenschaftlichen Thema arbeiten, bei dem ich selbst die Schwerpunkte setzen kann.

Wie bist Du auf das Thema gekommen?
Die Idee ist entstanden aus der Kombination eines Forschungsprojekts an unserem Institut und der Dissertation einer Kollegin zum Thema Energiearmut.

Was machst Du, wenn Du nicht promovierst?
Am liebsten Zeit mit meiner Tochter verbringen. Außerdem genieße ich das kulturelle Angebot von Stuttgart und gehe z.B. gerne ins Ballett.

Sie ist eine waschechte Schwäbin: Kerstin Haller ist in Stuttgart geboren und hat an der Universität Stuttgart Technische Kybernetik studiert. Danach arbeitete sie sechs Jahre lang bei einem Automobilzulieferer, bevor sie an die Universität zurückkehrte, um bei Prof. Kai Hufendiek am Institut für Energiewirtschaft und Rationelle Energieanwendung (IER) zu promovieren. Ihr Thema ist die systemanalytische Modellierung von Instrumenten zur Finanzierung der Wärme- und Mobilitätswende für investitionsschwache Haushalte.

Wie gut ist die institutionelle Unterstützung durch die Uni für Promovierende?

Michael: In unserem Fall würde ich das gleichsetzen mit der Betreuung an unseren Forschungsinstituten, was dann im Endeffekt immer der Doktorvater oder die Doktormutter und die zugehörige Gruppenleitung sind, sofern es welche gibt. Hier empfinde ich die Betreuung als sehr gut, weil wir regelmäßige Abstimmungsrunden haben. Gerade bei meinem Professor ist der Weg sehr kurz. Wenn ich Abstimmungsbedarf habe, schreibe ich schnell eine E-Mail oder rufe an und in ein bis zwei Stunden ist mein Anliegen dann meist geklärt.

Verena: Einen Betreuer oder eine Betreuerin für die Doktorarbeit zu finden, ist kein Thema. Schwieriger ist es vor allem bei speziellen Themen die Mitberichter zu finden, d.h. die Zweit- oder Drittgutachter. Deshalb sollte man ihn oder sie nicht erst fünf Minuten vor zwölf suchen, sondern wenn man weiß, was man machen möchte. Dann hat man außerdem einen weiteren Sparringspartner außerhalb des Heimat-Instituts.

Cynthia: Wir haben an unserem Institut ein paar Mal im Jahr Doktorandenseminare, bei denen drei oder vier Doktoranden ihr Thema vorstellen. Dadurch erhalten wir nicht nur den Input von unserem Doktorvater, sondern auch von anderen bereits Promovierten und Abteilungsleitern oder Kollegen, die Fragen stellen und ihre Ideen einbringen, wo man noch weiterforschen sollte. Das hilft sehr.

JOHANNES GEBERT

Er ist Pfadfinder und kennt sich in der Region gut aus: Gebürtig aus Crailsheim, hat Johannes Gebert an der Hochschule Esslingen im Bachelor Fahrzeugtechnik und an der Universität Stuttgart im Master Fahrzeug- und Motorentechnik studiert. Für seine Promotion bei Prof. Michael Resch am Institut für Höchstleistungsrechnen (IHR) entwickelt er ein patientenspezifisches mathematisches Modell zur Beschreibung der mechanischen Eigenschaften menschlicher Knochen mittels klinischer Bildgebung.

Was macht Stuttgart als Standort attraktiv? Hochkarätige Studienmöglichkeiten, ein wirtschaftlich starkes Umfeld, eine attraktive Landschaft und eine schöne Stadt mit einem sehr guten kulturellen Angebot.

Was ist das Spannende an Deinem Thema? Es ermöglicht tiefe Einblicke in die Funktionsweise der Mechanik menschlicher Knochen und bietet die Chance, zu einem relevanten Fortschritt z.B. bei Implantaten beizutragen.

Was versprichst Du Dir von Deiner Promotion? Eine Erweiterung meiner Kompetenzen, vor allem in Zeit- und Projektmanagement und gute berufliche Aussichten in Forschung und Industrie.

Wie gut ist die finanzielle Unterstützung in Stuttgart?

Verena: Dadurch, dass ich an der Uni und am Fraunhofer IPA bin und sowohl Forschungs-, als auch Industrieprojekte bearbeite, bin ich hinsichtlich der Finanzierung sehr gut aufgestellt. Ich weiß aber von der Bewerbungsphase, dass es Promotionsstellen gibt, die nur zu 50 Prozent oder teilweise sogar nur zu 40 Prozent finanziert sind. Je nach Stadt fragt man sich schon, wie man über die Runden kommen soll, wenn man 40 Stunden die Woche arbeiten muss und 40 Prozent vom Tarif bekommt. Das finde ich an der Uni Stuttgart mit den Tarifverträgen gut gelöst.

Johannes: Bei uns ist das elegant gelöst. Jeder, der anfängt zu promovieren, erhält einen vernünftigen Arbeitsvertrag. Man legt sich dadurch nicht auf die faule Haut, aber ist so weit abgesichert, dass eine gute Promotion gelingen kann. Für mich war es nie eine Frage, ohne Bezahlung zu promovieren.

Kerstin: Es ist aber letztendlich immer ein Spagat. Wir werden eingestellt für Projekte, die finanziert sind und die Promotion läuft in gewisser Weise nebenher. Man muss halt versuchen, die Projektarbeit zu nutzen, um ein Thema zu finden, das stark an das Projekt angelehnt ist. Hinzu kommt, dass man auch gewisse Stunden an Lehre leisten muss. Das sind so die Zusatzaufgaben, die einem Zeit für die Promotion nehmen. Ich habe Kollegen, die haben monatelang unbezahlten Urlaub genommen, um ihre Arbeit weiterschreiben zu können.

Gibt es Finanzmittel für Veröffentlichungen oder Kongresse?

Johannes: Unser Vorteil als Höchstleistungsrechenzentrum der Uni Stuttgart ist ein vergleichsweise gutes Funding. Wenn es um ein Auslandspraktikum, eine Konferenz oder eine Veröffentlichung geht, dann finden wir in der Regel einen Weg dazu.

Michael: Wenn man ein Forschungsprojekt beantragt, ist es typischerweise so, dass Mittel für Publikationen und Reisen mit beantragt werden. Davon können wir dann z.B. die Teilnahme an einer Konferenz bezahlen. Bei der Veröffentlichung von Journal-Artikeln, was gut und gerne 2.500 Euro kosten kann, gibt es einen Fond an der Universität, der einen gewissen Betrag mitträgt. Da werden wir schon gut unterstützt. Es wäre ja auch schade, wenn die Uni ganz viele junge Promovierende hätte, die gute Publikationen schreiben und dann gäbe es kein Geld diese zu veröffentlichen.

> **IN DER ZEIT, IN DER WIR UNSEREN MASTER MACHEN, PUBLIZIEREN DIE AMERIKANER SCHON**
>
> **Johannes**

Müsst Ihr eigentlich vor Abschluss eurer Doktorarbeit schon viel publizieren?

Michael: Ja, die Promotionsvereinbarung sieht vor, dass man mindestens drei Veröffentlichungen mit Peer Reviews schreiben muss. Wie viele es nachher tatsächlich sind, hängt aber stark vom Doktorvater bzw. von der Doktormutter und dem/der jeweiligen Promovierenden ab. Bei uns ist es z.B. nicht untypisch, dass wir zwei Veröffentlichungen pro Jahr schreiben. Wenn man also fünf Jahre hier ist, wären das abzüglich des ersten Jahres etwa acht Stück.

Also so schnell wie möglich promovieren?

Johannes: Das ist interessant. Ich war ein viertel Jahr an einem amerikanischen Institut in Knoxville, Tennessee. Die haben dort eine etwas andere Denkweise. Der Direktor riet uns, den Abschluss so lange wie möglich hinauszuzögern, weil das akademische Alter mit dem Abschluss der Promotion beginne. Je mehr Veröffentlichungen man während der Promotion habe, desto höher sei langfristig beispielsweise der h-Index, der für eine akademische Laufbahn wichtig ist. Der zweite Punkt, der mir zu denken gegeben hat: Dort gibt es Doktoranden, die 21 Jahre alt sind, da sie nach dem Bachelor ihr Promotionsprogramm beginnen. Bei einer guten Betreuung erreichen sie mit 22 ihre erste Veröffentlichung mit Peer-Review. Da können wir nicht mithalten.

Cynthia: Dazu kann ich auch was sagen, weil ich meinen Bachelor auch im amerikanischen System gemacht habe. Das sind vier Jahre Engineering, ohne das Freshman-Jahr nach Schulabschluss. Das entspricht von der Dauer in etwa dem Master.

Johannes: Aber in der Zeit, in der wir den Master machen, publizieren die Amerikaner schon und das ist ein echter Wettbewerbsvorteil.

War es eigentlich schwer für euch, ein Promotionsthema zu finden?

Michael: Man muss zwischen Themengebiet und Forschungsthema unterscheiden. Bei der Unterzeichnung der Promotionsvereinbarung hat man typischerweise ein Themengebiet, das man sich genauer anschauen will. Meistens vergehen dann ein, zwei oder sogar drei Jahre, bis man die Lücke gefunden hat, im Sinne von, ich verbessere jetzt den Umstand x oder y – und das ist dann auch meistens der Titel der Doktorarbeit.

Kerstin: Es braucht schon eine gewisse Zeit. Man fängt an mit der Projektarbeit, bearbeitet vielleicht auch parallel unterschiedliche Projekte und findet im Laufe der Zeit heraus, wo die persönlichen Interessen liegen. Dann entwickelt man das Thema in vielen Gesprächen. Das braucht schon ein paar Monate Zeit.

Johannes: Bei mir entfiel die Themensuche. Mein jetziger Chef, der meine Studienarbeit betreute, hat mir die Modellierung der Knochenstrukturen vorgeschlagen. Mich hat zudem das Rechenzentrum gereizt. Hier in Stuttgart mit einem solchen Thema promovieren zu können, war ein Glücksfall.

DIE GRÖSSTEN SCHWIERIGKEITEN BEI DER PROMOTION SIND DIE EINGRENZUNG DES THEMAS UND DAS ZEITMANAGEMENT

Verena

Cynthia: Der Betreuer meiner Masterarbeit vom Institut hat mir ein Projekt vorgeschlagen, das zu meinem Degree im Chemical Engineering passte und für das auch schon eine Stelle beantragt war. Und aus diesem Projekt hat sich dann auch mein Thema ergeben.

Wo seht Ihr die größten Schwierigkeiten bei eurem Promotionsvorhaben?

Michael: Ich glaube, das ist der Abgleich zwischen dem, was man von sich selbst erwartet, was einen also in der Breite interessiert und dem, was man in der Doktorarbeit dann tatsächlich leisten kann. Ich hatte mein Thema von Anfang an viel zu breit gewählt und musste dann jedes Jahr ein Scheibchen abschneiden und mich weiter fokussieren, um dann thematisch immer näher an die Tiefe einer Doktorarbeit zu gelangen. Und so geht es meines Erachtens vielen. Ein Kollege von mir hat das neulich schön ausgedrückt: Am Anfang willst Du die Welt retten und am Ende Deine Doktorarbeit.

Johannes: Da ist was Wahres dran. Bei mir war es nicht ganz so extrem, aber auch ich habe das Problem, mein Vorhaben einzugrenzen. Es franst an allen Ecken und Enden aus. An jedem Teilthema, das man bearbeitet, könnte man weitermachen. Ich habe gestern eine halbe Stunde mit meinem Betreuer telefoniert und in der Zeit sind wir auf mindestens zwei promotionswürdige Themen gestoßen. Die kann man getrost weglassen, aber bei den anderen ist es schwieriger.

Verena: Ich würde auch sagen, die Eingrenzung des Themas. Man muss sich auf das fokussieren, was einem Spaß macht, aber gleichzeitig promotionswürdig bleiben. Schwierig ist auch, sich neben der Projektarbeit die Zeitintervalle für die Promotion freizuhalten und sich die Zeit zu nehmen, um Paper zu veröffentlichen. Zeitmanagement und Priorisierung sind eine Herausforderung, die man aber immer besser zu bewältigen lernt. Einige in unserer Gruppe machen das so, dass sie an zwei Tagen pro Woche keine Meetings haben, um konzentriert arbeiten zu können. Zusätzlich gibt es bei uns zur Unterstützung Doktorandenseminare für die verschiedenen Phasen der Promotion.

Cynthia: Bei mir ist es auch noch experimentell, d.h. jede Minute ist spannend. Wenn etwas nicht funktioniert, müssen wir das Experiment im schlimmsten Fall abbrechen. Das kann bedeuten, dass man ein paar Monate warten muss, bis man es wiederholen kann, weil man wahrscheinlich etwas reparieren oder optimieren muss. So lange hat man keine Daten und muss wahrscheinlich alles nochmal neu machen. Mein Projekt läuft drei Jahre und in diesen drei Jahren wäre es optimal, die Promotion zu schaffen. Man muss lernen, für sein Projekt zu arbeiten und sich gleichzeitig Zeit freizuhalten, um an der Doktorarbeit zu schreiben.

Was sind so die größten Erfolgserlebnisse, die man hat?

Johannes: Ich glaube, die erste akzeptierte eigene Publikation ist definitiv ein solches Erfolgserlebnis. Eine Genugtuung ist auch, wenn man z.B. eine Software für die Simulation schreibt, was Wochen und manchmal auch Monate dauert und dann die Ergebnisse auswertet und sieht, dass das Erwartete herauskommt. Das sorgt für viel Freude.

Verena: Ich fand es ziemlich cool, den Punkt zu erreichen, an dem ich einen echten Know-how-Zugewinn festgestellt habe. Am Anfang war alles ein bisschen schwammig, man hat sein Grundwissen aus dem Studium, das man sich angelesen hat. Aber irgendwann merkt man, dass man richtig drin ist im Thema, auch wenn man mit anderen diskutiert. Dieser Wissensvorsprung gibt einem ein gutes Gefühl.

Kerstin: Das finde ich auch. Ich glaube, man muss manchmal auch einfach mal zurückschauen und vergleichen, was vor einem oder zwei Jahren war. Dann erst wird einem bewusst, wie viel man erreicht hat.

Michael: Für mich war der bisher schönste Moment, als ich auf einer Konferenz war und zwar vor Ort. Ich habe bisher schon vier oder fünf Paper veröffentlicht, war aber nur einmal vor Ort auf einer Konferenz. Alles andere fand digital statt. Vor hundert Leuten auf der Bühne zu stehen und im Anschluss mit neugewonnenen Forschungspartnern die Stadt zu besichtigen, ist schon noch mal etwas ganz anderes als sich im Büro hinter einer Kamera zu verstecken und im Anschluss mit dem Tagesgeschäft weiterzumachen. Corona hat da einiges kaputt gemacht.

Wie ist das Leben neben der Promotion? Was sagen gerade die Einheimischen über das ‚Chillen' in Stuttgart?

Michael: Stuttgart ist eine der sechs größten Städte Deutschlands und bietet wunderbar viel, egal was man machen möchte. Man kann persisch, indisch, koreanisch oder egal was essen, es gibt jede Menge Freizeitaktivitäten, man kann klettern, golfen oder in zig Fitnessstudios gehen. Wenn wir gleich etwas trinken gehen wollten, könnten wir bestimmt aus etwa 200 Bars oder Restaurants wählen.

VERENA LAMPRET

In ihrer Freizeit lernt sie am liebsten Stuttgart und Umgebung kennen: Verena Lampret stammt aus Gelsenkirchen und hat an der Ruhr-Universität Bochum Umwelttechnik und Ressourcenmanagement mit Schwerpunkt Nachhaltige Prozess- und Umwelttechnik und dann im Master Maschinenbau mit Schwerpunkt Energie- und Verfahrenstechnik studiert. Jetzt promoviert sie bei Prof. Alexander Sauer am Institut für Energieeffizienz in der Produktion (EEP) über Lösungen für die zukunftsfähige industrielle Wärme- und Stromversorgung.

Was macht Stuttgart als Standort attraktiv? Es gibt in Stuttgart und Umgebung viele Firmen. In gemeinsamen Projekten mit ihnen gewinnt man Einblick, wie die Übertragung von der Theorie in die Praxis funktioniert.

Was versprichst Du Dir von der Promotion? Ich mag es, mich tief in Themen einzuarbeiten und mein Fachwissen auszubauen. Von der Promotion erhoffe ich mir, mit meinen Fragen mehr in die Tiefe gehen zu können als bei den Abschlussarbeiten.

Was ist das Spannende an Deinem Thema? Es ist anwendungsnah, so dass die Ergebnisse in den nächsten Jahren direkt in die Praxis überführt werden können. Das ist es, was mir an der anwendungsnahen Forschung Spaß macht.

CYNTHIA KROUMIAN

Warum hast Du Dich entschieden, zu promovieren?
Es war eine großartige Gelegenheit, in der Forschung zu arbeiten und innovative Lösungen zu erforschen, die es der Industrie ermöglichen, nachhaltiger zu werden.

Was ist das Spannende an Deinem Thema?
Am spannendsten ist zu sehen, wie unsere Forschung auf dem Gebiet der Oxyfuel-Verbrennungstechnologie in der Industrie angewandt und umgesetzt wird.

Was machst Du, wenn Du nicht promovierst?
Ich verbringe gerne Zeit in der Natur, mit Freunden und der Familie. Außerdem treibe ich verschiedene Sportarten und gehe z.B. gerne Joggen und Schwimmen.

Sie ist in Elmshorn geboren und im Libanon aufgewachsen: Cynthia Kroumian machte ihren Master in Chemical Engineering an der American University of Beirut und studierte danach in Stuttgart Air Quality, Solid Waste und Waste Water Process Engineering. Für ihre Promotion bei Prof. Günter Scheffknecht am Institut für Feuerungs- und Kraftwerkstechnik (IFK) erforscht sie die experimentelle Bewertung der Oxyfuel-Verbrennung in der Zementindustrie, mit dem Ziel die CO_2-Emissionen zu reduzieren.

Welche Bar würdest Du Verena empfehlen, die noch nicht so lange hier ist?

Michael: Cool finde ich diese Sky Beach Bar direkt am Hauptbahnhof. Da kann man im Sommer ziemlich gut chillen. Schön ist es auch oben beim Teehaus.

Kerstin, was sagst Du als Stuttgarterin dazu?

Kerstin: Dazu fehlt mir momentan die Zeit, weil ich meine Freizeit im Moment mehr mit meiner Tochter auf dem Spielplatz verbringe. Ansonsten bietet Stuttgart aber auch kulturell sehr viel, gerade wenn man gerne ins Ballett geht. Das Stuttgarter Ballett ist weltberühmt.

Johannes: Kann man alles so stehenlassen, aber nach dem Feierabend in den Weinbergen eine Runde Joggen zu gehen, ist das Coolste.

Cynthia: Ja, ja, definitiv. It is necessary.

Johannes: Im Remstal draußen gibt es einen Weinberg nach dem anderen. Abseits der offiziellen Wanderwege ist man fast allein, hat seine Ruhe und bekommt den Kopf frei. Und gleichzeitig finden sich dort gute Gaststätten.

MAN MUSS LERNEN, SICH ZEIT FÜR DAS SCHREIBEN DER DOKTORARBEIT FREIZUHALTEN

Cynthia

Wie geht es nach der Promotion weiter? Wer von euch will in die Industrie, wer will an der Uni bleiben?

Kerstin: Ich tendiere dazu, zurück in die Industrie zu gehen.

Johannes: Ich auch. Das ist eine Frage der Perspektiven in der Forschung. Die Industrie zahlt zu gut und hat zu interessante Themen, als dass man die Gelegenheit pauschal ausschlägt.

Michael: Bei mir ist es ähnlich. Ich würde zuerst in die Industrie gehen, auch weil ich da noch nicht wirklich war und mein bisheriges akademisches Wissen mit Industrieerfahrung erweitern möchte. Langfristig wird sich zeigen, wo einen der Weg hinführt.

Cynthia: Industrieerfahrung bringt auf jeden Fall etwas. Das habe ich auch in meinem Bachelor- und Master-Studium gesehen. Die Forscher an der Uni, die aus der Industrie kommen, bringen etwas Spezielles mit, eine andere Welt, eine andere Dynamik.

Verena: Ich kann mir beides vorstellen, weil ich auch jetzt in Forschungs- und Industrieprojekten arbeite. Wenn, wäre auf jeden Fall Forschung mit Industriebezug für mich langfristig eine Perspektive.

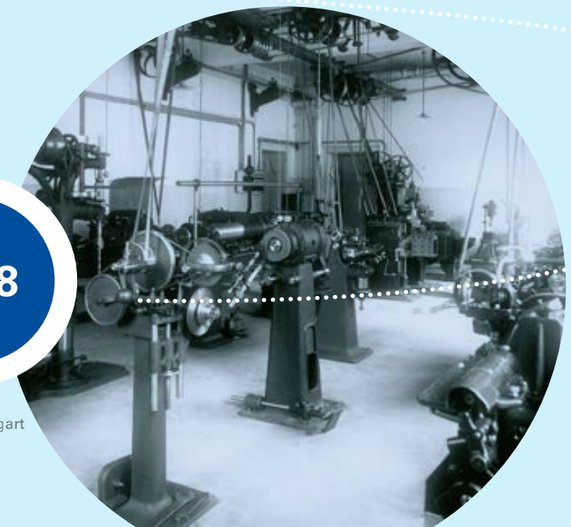
Autor: Michael Wendenburg
Fotos: Ludmilla Parsyak

BEITRÄGE ZU EINER ZUKUNFTSFÄHIGEN GESELLSCHAFT

Foto: IST, Julia Lier

AUTONOME PRODUKTION – EIN SOZIO-TECHNISCHES SYSTEM

Die Fertigungs- und Produktionstechnik an der Universität Stuttgart hat eine fast 180-jährige Tradition, dennoch wird die Umsetzung wissenschaftlicher Erkenntnisse in beherrschte und zukunftsfähige Verfahren und Prozesse zu einer immer anspruchsvolleren Herausforderung!



1858

Foto: Universitätsarchiv Stuttgart

2022

Foto: Audi AG

Wie können bestehende Anlagen effizient rekonfiguriert werden?

1. Zielgrößen der Produktion

Die Produktionstechnik gehört zu den Ingenieurwissenschaften und befasst sich mit der Herstellung von Grundstoffen, Materialien und Gütern sowie der Konzeption entsprechender Produktionssysteme. Das schließt Forschungsgebiete aus der Verfahrens-, Energie- und auch Fertigungstechnik, zu der auch das moderne Transportwesen, die Handhabungs- und Montagetechnik gehören, ein.

Die Verbesserung der Material-, Ressourcen- und Energieeffizienz gehört zu den kontinuierlichen Forschungsaufgaben der Produktionstechnik. Die Entwicklung der Weltwirtschaft der letzten drei Jahre hat die Verletzbarkeit global vernetzter Wertschöpfungsketten schonungslos offengelegt und bestehende Produktionsstrukturen infrage gestellt. Deshalb gehören auch die Verknappung von Rohstoffen, Monopolbildungen von Unternehmen, politische Einflüsse auf Weltmärkte, die Verfügbarkeit von Grundstoffen oder die drastischen Veränderungen der weltweiten Energiemärkte zu den aktuellen Forschungsthemen. Es werden Lösungen für resiliente Wertschöpfungsketten gesucht. Folgende Randbedingungen grenzen dabei die zukünftigen Handlungsspielräume ein: 1. Produktionsvolumina und die Lebenszeit von Konsumgütern am Markt sinken in Europa seit Jahren, was eine hohe Flexibilität von Produktionssystemen erfordert; und 2. die Anforderungen an die Produkt- und Prozesseigenschaften nehmen vor dem Hintergrund steigender Funktionalität, De-Materialisierung und Leichtbau ständig zu.

Eine der Strategien zur schrittweisen Erneuerung von Produktionsnetzwerken, die in Deutschland seit Jahrzehnten vorangetrieben wird, ist die Digitalisierung von Geschäftsprozessen. Sie hat mit den zahllosen Initiativen von ‚Industrie 4.0' einen

zusätzlichen Schub erhalten. Hierzulande entstanden zukunftsweisende Konzepte für autonome, d.h. für ‚sich selbst steuernde' Produktionsabläufe und sogar Produktionsnetzwerke mit dem Ziel, diese mittels Messgliedern zu befähigen oder zu beschleunigen, Logistikketten zu verbessern und dem Menschen hochgradig spezifische Entscheidungshilfen zur Verfügung zu stellen.

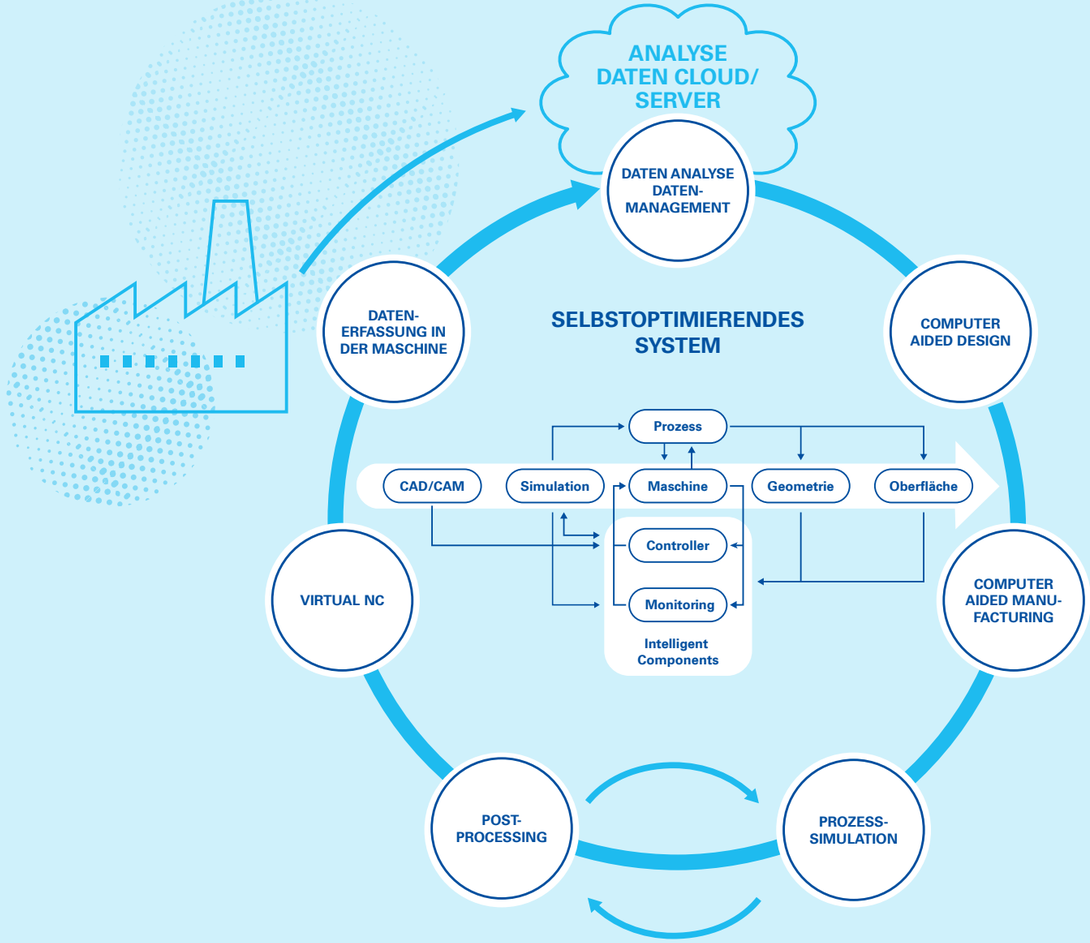
2. Vision der Autonomen Produktion

Idealerweise umfasst der Begriff der ‚Autonomen Produktion' die Eigenschaften der Selbststeuerung in Bezug auf die Auftragsreihenfolge, die adaptive Regelung qualitätsrelevanter Prozessgrößen und die Fähigkeit, aus Miss- und Teilerfolgen zu lernen. Eine vollständig autonome Produktion ist somit ohne Interaktion bzw. Intervention von außen in der Lage, ausgehend von den Grund- und Hilfsstoffen die zuvor definierten Zwischen- und Endprodukte zu erzeugen. Über eine vollumfängliche Automatisierung aller Planungs-, Logistik- und Fertigungsaufgaben hinausgehend verbindet sich mit diesem Begriff zumeist auch der Anspruch, dass die autonome Fabrik permanent Optimierungspotenziale hinsichtlich Produktivität, Qualität, Wirtschaftlichkeit und Effizienz erkennt und sich diese Potenziale durch geeignete Anpassungen selbst erschließt. Der Mensch wäre also nicht mehr erforderlich.

Die ganzheitliche Realisierung von solchen autonomen Produktionssystemen hätte jedoch deutliche sozio-ökonomische Folgen für unsere Gesellschaft. Deshalb geht der Stuttgarter Maschinenbau einen differenzierten Weg und sucht nach Lösungen für Wertschöpfungsketten im Sinne sozio-technischer Systeme. Die Vision der in dieser Richtung forschenden Institute stellt daher die ‚Autonomisierte Produktion' dar. Sie bindet den Menschen, seinen Fähigkeiten entsprechend, in die globalisierten Produktionsprozesse der Zukunft ein.

3. Status Quo

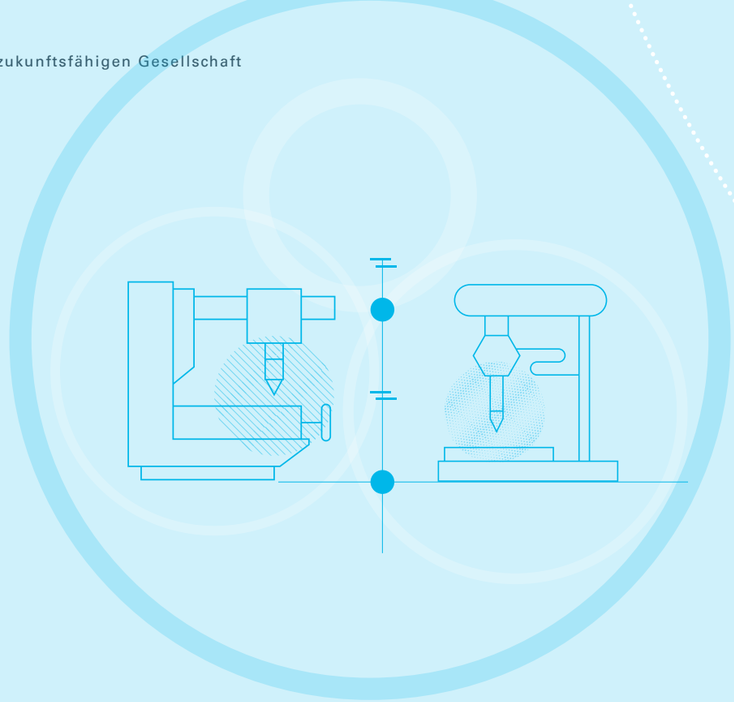
Bei einer zukunftsfähigen Autonomisierung der Produktion geht es also darum, die Fähigkeiten des Menschen optimal mit den sich stetig weiterentwickelnden Möglichkeiten technischer Systeme zu verbinden und ihn in Fertigungsstrukturen zu integrieren. Dabei stellt sich insbesondere die Frage, wie die Informationen aus der Verarbeitung von Produktions-, Maschinen- und Prozesszustandsdaten mit dem Wissen und den Erfahrungen des Menschen verknüpft werden können. In der aktuellen Produktionsforschung müssen demnach Intuition, Antizipationsvermögen und Kreativität des Menschen ohne Hindernisse in wertschöpfende Produktionsabläufe eingebunden werden. Neueste Entwicklungen der Sensor- und Steuerungstechnik ermöglichen schon heute eine umfangreiche Erhebung von multiphysikalischen Produktionsinformationen für den Menschen in der Produktion.



Grafik: IFW | WeiserDesign

Die Technik auf diesem Gebiet schreitet aufgrund disziplinenübergreifender Kooperationen rasch voran. Mittels analytischer Interpretationsalgorithmen und Methoden des maschinellen Lernens lassen sich heute bereits die Stabilität von Produktionsabläufen im Detail überwachen, Anomalien und Fehlerzustände nahezu in Echtzeit erkennen und intelligente Korrekturmaßnahmen initiieren. Anhand von Signalmustern können während des Fertigungsablaufs kleinste Effekte, die sich auf Werkstück- und Produkteigenschaften auswirken, erkannt und für korrigierende Prozesseingriffe genutzt werden. Dank innovativer Steuerungsarchitekturen werden zustandsabhängig software-definierte Fertigungsabläufe und Rekonfigurationen ausgelöst.

Was an einzelnen, vergleichsweise einfachen Produktionsvorgängen bereits heute erfolgreich umgesetzt wird, erweist sich als große Herausforderung, wenn es um die Beherrschung flexibler, heterogener Fertigungssysteme der Zukunft oder gar um standortübergreifende Produktionsverbünde geht. Mit dieser Herausforderung beschäftigt sich ein weiterer Forschungsschwerpunkt des Stuttgarter Maschinenbaus. Wenn die Flexibilität und Stabilität vorgedachter Produktionsstrategien an ihre Grenzen stoßen, sind menschliche Fähigkeiten gefragt. Digitalisierung und Virtualisierung stellen hierzu moderne Interaktionsmedien bereit, die deutlich über klassische Maschinenbedienpulte oder Produktionsleitstände hinausgehen. Kommunikationsnetze wie 5G erlauben eine ortsunabhängige Bereitstellung von Echtzeitdaten aus der Produktion. Zudem beseitigen Hilfsmittel wie Virtual und Augmented Reality Kommunikations- und Interaktionsbarrieren zwischen Mensch und Maschine.



4. Autonomisierte Produktion in Stuttgart erleben

In Reallaboren für Forschung und Lehre macht der Stuttgarter Maschinenbau praktisch erlebbar, wie solche sozio-technischen Systeme in unterschiedlichen Produktionsbereichen umgesetzt werden. In Aus- und Weiterbildung, aber auch in Forschungs- und Entwicklungskooperationen mit Industriepartnern vermitteln wir die Fähigkeiten von autonomisierten Produktionssystemen und zeigen ihre Grenzen auf, die dann durch weiterführende gemeinsame Forschungsarbeiten verschoben oder aufgelöst werden. Ziel ist es auch, durch die Kombination von menschlichen Fähigkeiten mit hochgradig aufbereiteten Informationen Produktivitätspotenziale einzelner Technologien zu erschließen. Deshalb stehen die Erzeugung der spezifizierten Produkteigenschaften und ihre Absicherung in sich schnell ändernden Produktentstehungsszenarien ebenfalls im Fokus aktueller Arbeiten in Stuttgart.

Mit seiner Forschung in Reallaboren leistet der Stuttgarter Maschinenbau vielfältige Beiträge für Industrie und Gesellschaft. Ein prominentes Beispiel für die Produktionstechnik ist der 2020 initiierte InnovationsCampus Mobilität der Zukunft (ICM) mit dem Bereich ‚Manufacturing Systems'. In Kooperation mit vielen Partnern des Karlsruher Instituts für Technologie (KIT) werden hier zukünftige Produktionsverfahren für Komponenten und Bauteile rund um die Mobilität der Zukunft entwickelt. Im Bereich ‚Software-System-Architectures' arbeiten wir an Zukunftsthemen wie der automatisierten Generierung von Steuerungssoftware und an einer durchgehenden Digitalisierung der Produktion.

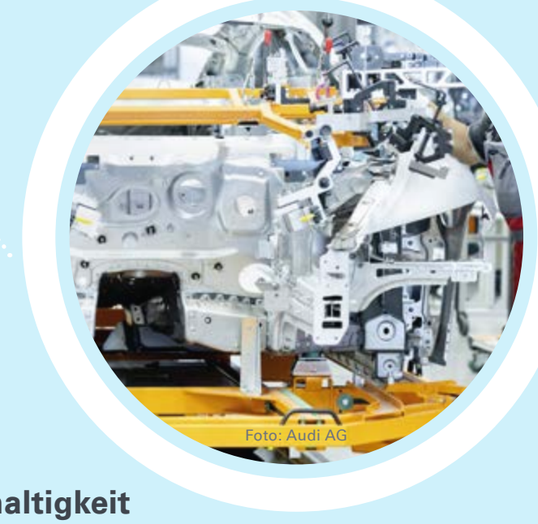


Foto: Audi AG

5. Schwerpunkt Nachhaltigkeit

Die Umsetzung und Nutzung von Produkten und der entsprechenden Produktionstechnologie wird zukünftig noch stärker mit dem Ziel verbunden sein, die Nachhaltigkeit der Produktion zu stärken. Dominante Treiber für zukünftige Produktionssysteme sind resiliente Versorgungsketten für Konsum- und Verbrauchsgüter, neue Technologien für die Mobilität, die Bereitstellung alternativer Energieformen, neue klimaneutrale Lösungen für Städte und auch Mobilitäts- und Kommunikationssysteme. Fertigungstechnologien, Rohstoffe, Prozesse und Methoden werden sich zunehmend daran orientieren. Ein verantwortungsvoller Umgang mit Rohstoffen und Energie, das Schließen von Stoffkreisläufen und die Erarbeitung darauf abgestimmter Produktionsstrategien prägen somit die aktuellen Forschungsaktivitäten des Stuttgarter Maschinenbaus.

So entstand im Sommer 2022 eine Universitätsinitiative zur Thematik der Zirkulären Produktion. Im Zentrum stehen Forschungsarbeiten zur Weiterentwicklung etablierter und Erarbeitung neuer Konstruktionsmethoden und Produktionsprozesse im Hinblick auf Material- und Wertstoffkreisläufe sowie die Vermeidung von Verschwendung. Die Potenziale ‚autonomisierter Produktionssysteme' sollen künftig dazu genutzt werden, geeignete Güter- und Materialkreisläufe zu finden und optimale Betriebspunkte bzgl. des Energie- und Ressourceneinsatzes bei gleichzeitiger Erhaltung der Produktqualität und Wirtschaftlichkeit einzustellen.

Der Stuttgarter Maschinenbau leistet seinen Beitrag zur Sicherung der Zukunftsfähigkeit des Produktionsstandortes Deutschland.

Autoren: Univ.-Prof. Dr.-Ing. Hans-Christian Möhring, Univ.-Prof. Dr.-Ing. Mathias Liewald

Autonomisierte Produktion

Ansprechpartner
Univ.-Prof. Dr.-Ing. Hans-Christian Möhring
hc.moehring@ifw.uni-stuttgart.de

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Mathias Liewald MBA
mathias.liewald@ifu.uni-stuttgart.de

ROBOTER
LERNEN ZU MONTIEREN

Foto: Universität Stuttgart IFF, Fraunhofer IPA, Rainer Bez

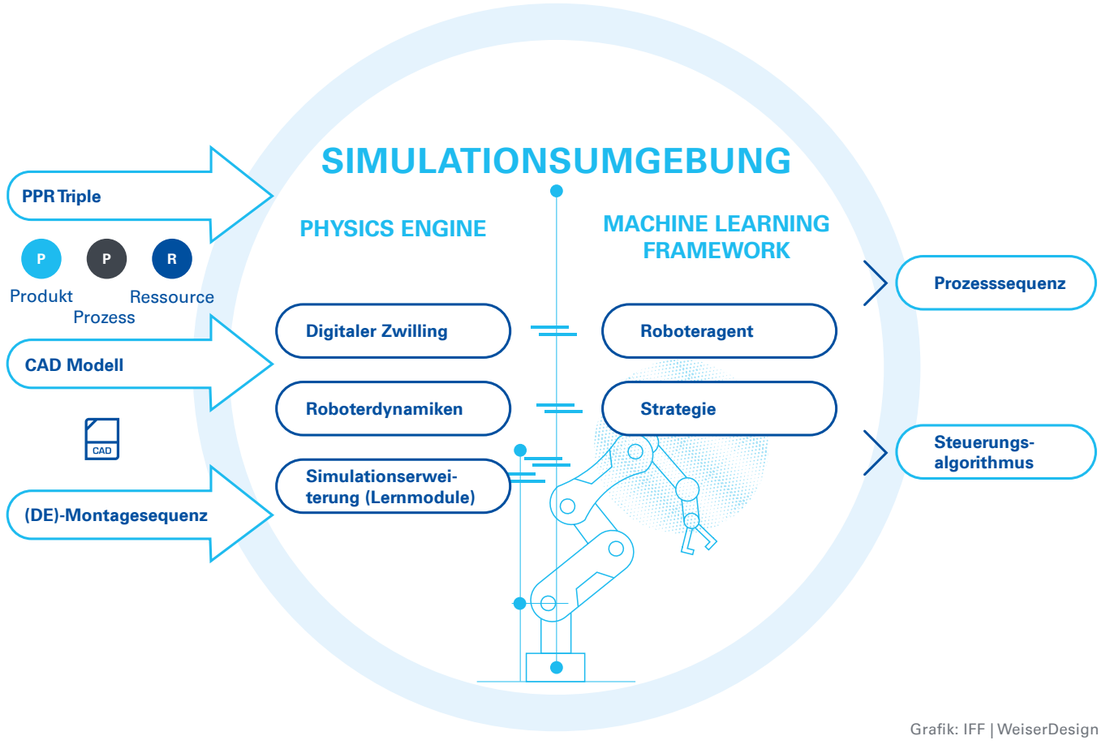
Rob-aKademl

Montageaufgaben sind für Roboter noch immer herausfordernd. Hierfür mehr Automatisierungsmöglichkeiten zu eröffnen, ist das Ziel des Projekts ‚Rob-aKademl', in dem Roboter autonom und KI-basiert in Simulationen Fähigkeiten für die Montage lernen.

Viele Produktionen mit Massenfertigung sind bereits weitgehend hochautomatisiert. Das gilt aber nicht für alle Produktionsschritte. So mag es überraschen, dass von den rund 362.000 Industrierobotern, die 2020 weltweit verkauft wurden, lediglich etwas mehr als jeder zehnte in der Montage arbeitet.

Die Gründe hierfür sind vielfältig. Verschiedenste Fügetätigkeiten wie Nieten, Schrauben, Klipsen, Stecken, Aufrasten und weitere, oft kombiniert mit Kraftregelung, machen die Roboterprogrammierung aufwendig. Hinzu kommen erforderliche Taktzeiten und auch die zunehmende Abkehr von der Massenproduktion (‚low mix, high volume') hin zu einer personalisierteren Fertigung (‚high mix, low volume'). Häufig ist ein wirtschaftlicher Einsatz von Robotern für diese Aufgaben noch nicht möglich. Vor allem für den Mittelstand mit seinen kundenspezifischen Produkten lohnt es sich oft noch nicht, Roboter für die Montage zu nutzen. Dabei können Roboter durchaus ein entscheidender Wettbewerbsfaktor auch für diese Unternehmen sein.

Hier Abhilfe zu schaffen, ist das Ziel des Forschungsprojekts ‚Rob-aKademl'. Das Institut für Industrielle Fertigung und Fabrikbetrieb (IFF) der Universität Stuttgart sowie das Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik und Automatisierung (IPA) arbeiten darin gemeinsam mit den Firmen micropsi industries, TruePhysics, dresden elektronik ingenieurtechnik, Käpple Qualitätsleister und Walter Meile. Das Projekt läuft noch bis Ende dieses Jahres und erhält Fördermittel vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF).



Grafik: IFF | WeiserDesign

Lernen durch ‚Versuch und Irrtum'

Die Partner adressieren mit ihren Arbeiten in Rob-aKademl insbesondere Unternehmen, die bisher noch nicht oder nur wenig auf Automatisierung mit Robotern gesetzt haben. Denn insbesondere für diese gilt es, die Hürden beim Robotereinsatz zu senken und mehr Automatisierung eben auch für die oben genannte personalisierte Produktion technologisch und wirtschaftlich sinnvoll umsetzbar zu machen. Zentrales Element im Projekt ist das Hybrid Machine Learning Framework (HMLF), welches Technologien wie Physiksimulationen und modernste Ansätze der Künstlichen Intelligenz (KI) zur Generierung robuster Robotersteuerungs-Algorithmen vereinigt.

Eine Physiksimulation der Produktionsumgebung, der digitale Zwilling, erlaubt dem simulierten Roboter, durch Ansätze des Reinforcement Learning (RL), also dem Lernprinzip aus ‚Versuch und Irrtum', in einem sicheren Umfeld anpassungsfähige Steuerungsalgorithmen für die Montage zu erlernen. Dabei testet der Roboter innerhalb der Simulation autonom seine Handlungsoptionen, plant darauf aufbauend sein Verhalten und optimiert es selbstständig bzw. fortlaufend. Durch die Kombination von RL mit Methoden des Deep Learning, also tiefen neuronalen Netzen, erlernt der Roboter selbst, komplexe Prozesse auszuführen und das Erlernte auch auf unvorhergesehene Aufgaben zu übertragen oder bei kleinen Abweichungen im Prozess anzuwenden.

Neu ist auch, dass der Roboter die flexible Montage fähigkeitsbasiert erlernt. So können bekannte Fähigkeiten des Roboters genutzt werden und die Komplexität der Aufgabe reduziert sich. Dieser Ansatz fußt auf der bereits verfügbaren Software ‚pitasc' des Fraunhofer IPA für kraftgeregelte Montageaufgaben und nutzt die darin eingebetteten Fähigkeiten, um sie anwendungsspezifisch zu erweitern. Weil sie modular gestaltet sind, entfällt das erneute Trainieren bereits gelernter Fähigkeiten, sodass diese schnell und vielfältig wieder einsetzbar werden.

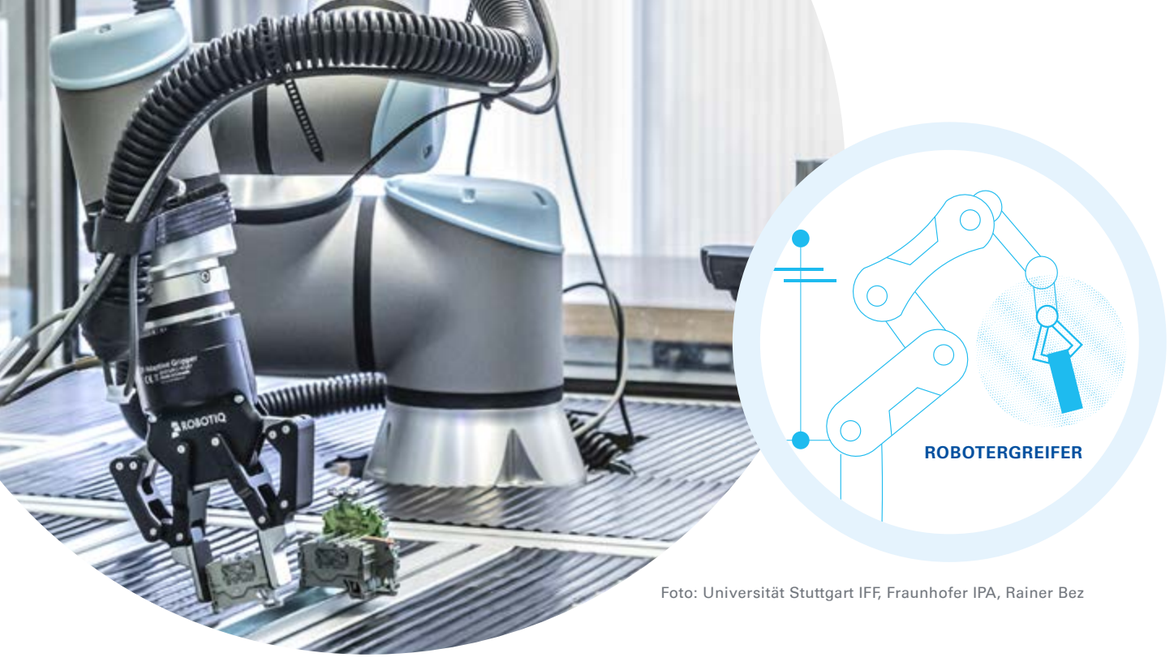
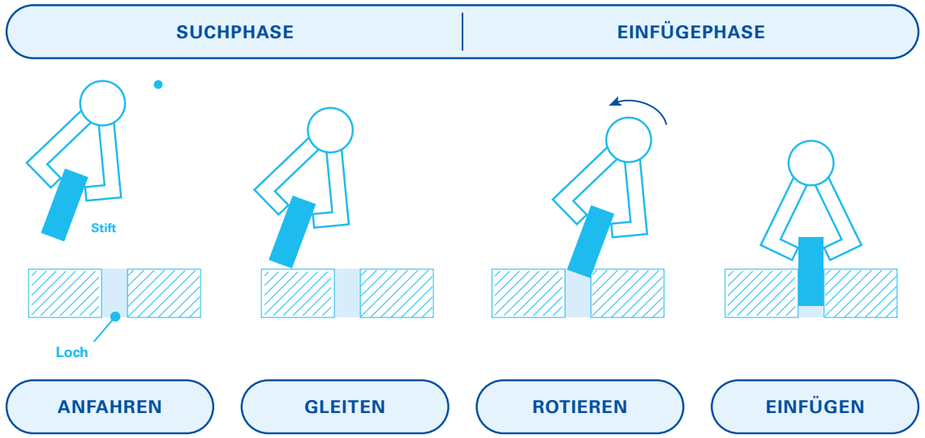


Foto: Universität Stuttgart IFF, Fraunhofer IPA, Rainer Bez



Grafiken: IFF | WeiserDesign

Die Fähigkeiten kapseln dabei die Beziehung zwischen Sensorbeobachtungen aus der Umgebung und der Robotersteuerung. Sie können leicht parametriert werden, um die gewünschte Montageaufgabe zu erfüllen.

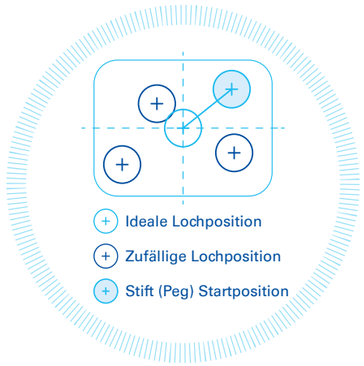
Die fähigkeitsbasierte Offline-Programmierung eines Roboters bietet in Kombination mit RL in einer Simulationsumgebung einige Vorteile. Im Gegensatz zu Standard-Teach-in-Methoden können die Roboterfähigkeiten auf andere übertragen werden, da sie auf Befehle im Aufgabenraum und nicht im roboterspezifischen Gelenkraum angewiesen sind. Die aufwendige manuelle Auswahl, Sequenzierung und Parametrierung der Fähigkeiten entfällt durch den Einsatz des RL. Die Auswahl und Sequenzierung von Fähigkeiten entspricht einem diskreten Optimierungsproblem, während die Parameter überwiegend aus kontinuierlichen Werten bestehen. Durch einen hierarchischen RL-Ansatz wird das diskret-kontinuierliche verkoppelte Optimierungsproblem simultan gelöst. Die digitale Simulationsumgebung hilft dabei, die benötigten Trainingsdaten aufwandsarm zu generieren sowie Schäden am Roboter oder seiner Umgebung während des Lernprozesses zu vermeiden.

Benchmark für die ortsunabhängige Robotermontage

Als Benchmark dient die kraftgesteuerte Peg-in-Hole-Montage. Für das Training werden zwei RL-Algorithmen verglichen: Soft-Actor-Critic (SAC) und Twin Delayed Deep Deterministic Policy Gradient (TD3). Zudem wird der Einfluss der Länge der Trainingsphase auf das Lernergebnis untersucht. Dazu werden 50.000 (kurz) und 200.000 (lang) Fähigkeitsausführungen betrachtet. Um die Robustheit der trainierten Robotersteuerung zu testen, wird die Position des Lochs über branchentypische Unsicherheiten zufällig variiert. Nach dem Training in der Simulation zeigen beide trainierten Steuerungsalgorithmen teils ähnliche Ergebnisse. Bei Varianz der Lochposition unter 5 mm wird eine bis zu 100%ige Erfolgsquote erzielt. Bei Abweichungen über 5 mm schneidet der mittels SAC trainierte Steuerungsalgorithmus deutlich besser ab, wobei hier anzumerken ist, dass Abweichungen über 10 mm industrieuntypisch sind. Dennoch wird eine hohe Robustheit gegenüber Toleranzen der Lochposition erzielt, insbesondere bei einer langen Trainingsphase.

Drei prototypische Anwendungen

Im Projekt werden die drei Anwendungsbeispiele Schaltschrank-, Schalter- und Leiterplattenmontage mit der Lösung aus ‚Rob-aKademI' prototypisch umgesetzt. Die Anwendungen weisen ein erhebliches Potenzial für die Roboterautomatisierung auf. Allerdings waren sie bisher aufgrund kleiner Losgrößen und einer hohen Variantenzahl noch nicht wirtschaftlich realisierbar.



Die für diese Anwendungen entwickelten ‚Lernmodule' bündeln das Expertenwissen über die Roboterprogrammierung und die auszuführende Montageoperation. Es gibt die Module ‚Kraftgeregeltes Fügen' für robuste Fügestrategien, ‚Schnappverbindungen' mit einem detaillierten physikalischen Fügemodell und das ‚Perzeptionsmodul' für die Objekterkennung. Mit diesen Modulen werden robuste Roboterprogramme für die Übertragung der Simulationsergebnisse in die Realität erstellt. Die praxisorientierten Anwendungsfälle dienen dazu, die Ergebnisse zu validieren.

Bereits jetzt und dauerhaft verfügbar

Die Rob-aKademI-Lösung lässt sich aufgrund ihrer modularen Konzeption mit geringem Aufwand auf vergleichbare Anwendungsfälle übertragen. Die Projektergebnisse stehen Unternehmen, die einen einfachen Einstieg in die roboterbasierte Automatisierung suchen, klassische Montagetätigkeiten wie Schrauben, Nieten oder Klipsen automatisieren oder alternative Anwendungsfälle hinsichtlich der Automatisierungsmöglichkeit untersuchen lassen möchten, schon jetzt und auch über das Projektende hinaus zur Verfügung.

Autor: Univ.-Prof. Dr.-Ing. Marco Huber

Mehr zu Rob-aKademI

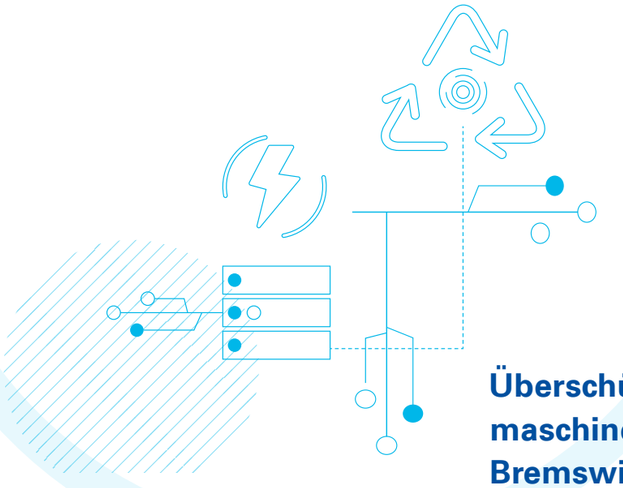
Ansprechpartner
Univ.-Prof. Dr.-Ing. Marco Huber
marco.huber@iff.uni-stuttgart.de

BREMS-ENERGIE

ÖKONOMISCH NUTZEN

Foto: EEP, Dietmar Hölderle

AUTONOME REGELUNG MACHT'S MÖGLICH



Überschüssige Bremsenergie in Mehrachsmaschinen wird in vielen Fällen durch einen Bremswiderstand in Wärme gewandelt, anstatt sie beispielsweise einem Stromspeicher zuzuführen. Eine autonome Regelung macht die Wiederverwertung von Bremsenergie techno-ökonomisch attraktiver, da sie die schnellere Inbetriebnahme des Speichers ermöglicht.

Motivation

Industrielle Produktionsanlagen wie Werkzeugmaschinen oder Roboter vollziehen im Betrieb dynamische Beschleunigungs- und Bremsvorgänge. In Mehrachsmaschinen wandeln Gleichrichter die Wechselspannung (AC) des Versorgungsnetzes in eine annähernd konstante Gleichspannung (DC) im Zwischenkreis. Dieser Zwischenkreis speist die Antriebsumrichter, die mittels frequenz- und amplitudenvariablen Wechselspannungen die Motoren antreiben.

Im Gleichspannungszwischenkreis dieses Antriebsverbunds kann überschüssige Bremsenergie zwischen den einzelnen Motoren ausgetauscht werden. Im Falle eines unidirektionalen Gleichrichters, wie einem einfachen, kostengünstigen und effizienten Diodengleichrichter, kann überschüssige Bremsenergie aus dem Antriebssystem nicht an das übergeordnete AC-Versorgungsnetz abgegeben werden. Um die Energie im Zwischenkreis abzubauen, muss diese überschüssige Bremsenergie ungenutzt über einen Bremswiderstand in Wärme gewandelt werden.

Aktive bidirektionale Gleichrichter – Active Infeed Converters (AIC) – können dieses Problem lösen. Sie speisen den Überschuss in das AC-Versorgungsnetz zurück. Dabei erzeugt ein AIC bei der Rückspeisung in das Versorgungsnetz einen sinusförmigeren Strom als ein Diodengleichrichter, was die Oberwellenbelastung des Netzes zusätzlich reduziert. Allerdings ist ein rückspeisefähiges AIC deutlich teurer als der einfache Diodengleichrichter und kommt daher bisher nur in Maschinen mit größeren bewegten Massen zum Einsatz.

Bei einfachen Systemen oder bei Systemen mit hoher Bremsenergie, die nicht im Zwischenkreis direkt genutzt werden kann, kommen vermehrt Stromspeicher am Zwischenkreis zum Einsatz. Diese Speichersysteme führen dazu, dass die Bremswiderstände lediglich im Falle einer Notabschaltung der Mehrachsmaschine benötigt werden. In einem Robotersystem können – je nach Prozess und Fahrprofil – Energieeinsparungen von rund 10 % erzielt werden. Zusätzlich unterstützt ein Speichersystem im Zwischenkreis Beschleunigungsbewegungen durch zusätzliche Energie und reduziert so die Leistung, die aus dem AC-Versorgungsnetz bezogen werden muss. Eine solche Verstetigung – auch Lastspitzenkappung genannt – entlastet die Versorgungsinfrastruktur und kann für zusätzliche Einsparungen durch eine kleinere Dimensionierung dieser Infrastruktur sorgen.

Foto: EEP, Dietmar Hölderle

Systeme zur Effizienzsteigerung und Lastspitzenkappung

Speichersysteme können entweder direkt oder über einen leistungselektronischen Wandler mit dem Zwischenkreis verbunden werden. Dabei hängt die Anbindung von den Eigenschaften des Speichersystems und der geforderten, speicherbaren Energiemenge ab. In Produktionsanlagen können Batterien (Super-/Ultra-) Kondensatoren und Schwungmassenspeicher eingesetzt werden. Solche Speichersysteme müssen allerdings optimal geregelt sein. Dies ist eine Aufgabe, die sich bereits bei der Auslegung und Dimensionierung des Speichersystems stellt.

Zunächst ist zu untersuchen, welche Lastprofile von der Mehrachsmaschine durch den Prozess abgefahren werden und wie stark die Leistungen zu kappen sind. Dann muss entsprechend die Speicherregelung und die Speicherdimensionierung angepasst werden.

Dieses Vorgehen erfordert einen hohen Zeitaufwand, der bei geänderten Produktionsprogrammen wiederholt werden muss. Eine Nachrüstung ist oftmals nicht wirtschaftlich möglich, da zusätzlich die Dynamik der Antriebsumrichter sowie die Eigenarten des DC-Zwischenkreises berücksichtigt werden müssen.

Autonome Regelung von Speichern

Einen Ausweg aus der aufwendigen Implementierung einer Speicherlösung im Zwischenkreis bieten autonome Regelungen. Sie eignen sich, die Inbetriebnahme zu beschleunigen und den Betrieb laufend zu optimieren. Der Begriff ‚autonome Regelung' wird meist synonym für selbst einstellende, iterativ lernende und repetitive Regelungen verwendet.

Entwicklung einer autonomen Regelung für Stromspeichersysteme in Mehrachsmaschinen

Mittelfristig kann die Integration von Speichern bereits in der Planungsphase dazu beitragen, die Bemessungsleistung des Gleichrichters und damit auch der AC-Versorgungsinfrastruktur zu verringern. Damit wird die Energieeffizienz der Mehrachsmaschine insgesamt erhöht. In einem Forschungsprojekt hat das Institut für Energieeffizienz in der Produktion (EEP) an der Universität Stuttgart eine selbsteinstellende Regelung für Stromspeichersysteme entwickelt. Für den Reglerentwurf wurden elektrische Lastprofile von Personenaufzügen und Werkzeugmaschinen aufgenommen, um unterschiedliche Dynamikanforderungen abzubilden.

Autoren: Univ.-Prof. Dr.-Ing. Dipl.-Kfm. Alexander Sauer und Raoul Laribi M. Sc.

1 VORANALYSE

Voranalyse der Mehrachsmaschine hinsichtlich ihrer elektrischen Verschaltung

2 MODELLBILDUNG

Modellbildung und Systemidentifikation des bereits vorhandenen Frequenzumrichters in der Mehrachsmaschine für den Reglerentwurf des Speichers

3 LASTPROFILERKENNUNG

Automatische Lastprofilerkennung aufgrund der variierenden Produktionsprogramme einer Serienfertigung

4 SOLLWERTFOLGE

Bestimmung der optimalen Sollwertfolge für die Speicherleistung und den Ladezustand

5 BEWERTUNG

Bewertung der Lastkappung und Bremsenergienutzung und Optimierung der Regelung anhand von techno-ökonomischen Gütekriterien

Grafik: WeiserDesign

KMU innovativ

Ansprechpartner
M. Sc. Raoul Laribi
raoul.laribi@eep.uni-stuttgart.de

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Dipl.-Kfm. Alexander Sauer
alexander.sauer@eep.uni-stuttgart.de

AUTONOMES PRODUKTIONSSYSTEM IN DER SCHMIEDE

Digitale Technologien halten derzeit nur zaghaft Einzug in Prozessketten deutscher Schmiedeunternehmen. Förderprogramme verschiedener Bundesministerien sollen helfen, diese Hürden mit Blick auf die zukünftigen Herausforderungen zu überwinden.

Schmiedeanlagen für die Herstellung von warmgepressten Bauteilen bedingen beachtliche Investitionen. Der Betrieb dieser Prozessketten muss daher außerordentlich robust gestaltet sein, um wettbewerbsfähig produzieren zu können. Die Kennzahl der ‚OEE', die Overall Equipment Efficiency steht daher stets im Vordergrund.

Mit dieser Motivation sind mehrere Institute und Industriepartner angetreten, um einen Digitalen Zwilling für optimierende Prozesseingriffe in Echtzeit zu entwickeln.

Modellfabrik für die Warmumformung von Aluminium

Die Motivation für das Projekt bildeten intensive Gespräche mit Unternehmen der Warmmassivumformung, die die steigende technologische Komplexität moderner Schmiedeanlagen und die nur begrenzten Eingriffsmöglichkeiten der Bediener deutlich thematisierten. In der Zusammenarbeit zwischen Instituten und Industriepartnern sollte also ein möglichst weitgehend autonom arbeitendes System entstehen, welches die Schwankungen des Rohmaterials und der Anlage selbstständig berücksichtigt, um eine möglichst gleichbleibende Produktqualität zu gewährleisten. Bei dessen Konzeption stand nicht die Vollautomatisierung der Schmiedezelle oder die Applikation einer klassischen, abgegrenzten Regelaufgabe durch ein vorausgedachtes Ablaufschema im Vordergrund. Vielmehr galt es, mittels datenbasierter Modelle in Kombination mit Expertenwissen auf eine große Anzahl möglicher Abweichungen von Sollzuständen des Schmiedeprozesses effektiv reagieren zu können, welche bei der Auslegung von Schmiedeanlagen im Voraus in ihrer Kombination nicht erkannt werden können. Das wesentliche Entwicklungsziel der Partner bestand in dem Entwurf eines autonomisierten Produktionssystems, welches eigenständig auf beginnende Prozesstrends auf der Basis von Sensordaten reagiert, den Menschen in den Ablauf integriert und bedarfsweise ausschussrelevante Anomalien kompensiert.

Eine wesentliche Forderung aus der Praxis bildete eine lückenlose Rückverfolgbarkeit der produzierten Bauteile, um eine sogenannte, Track- und Trace-Funktionalität' in der Produktion zu gewährleisten und instationäre Prozesszustände einem konkreten Bauteil zuordnen zu können.

Am Institut für Umformtechnik (IFU) wurde aus diesem Grund eine Modellfertigungskette für die Warmumformung von Aluminium aufgebaut. Die Modellfabrik umfasste einen zweistufigen Warmumformprozess zur Erzeugung einer Vorform aus dem Halbzeug und einer anschließenden Umformung zum fertigen Schmiedestück. Die Anlage läuft vollständig verkettet mittels Roboter in einem Automatisierungssystem.

Entwurf und Aufbau des Digitalen Zwillings der Gesamtanlage oblagen dem Institut für Automatisierungstechnik und Softwaresysteme (IAS). Dazu wurden zunächst die wesentlichen Komponenten des Produktionssystems digital abgebildet, wobei die integrierte Messtechnik die wesentlichen Zustandsgrößen lieferte. Im Umformwerkzeug wurden Temperatursensoren integriert und die Umformpresse mit einer Presskraftmessung und einer Hublagenverstellung ausgestattet, um aktuatorisch in den Schmiedeprozess eingreifen zu können. Den schwankenden mechanischen Eigenschaften der Rohteile konnte mit einer werkstoffspezifisch einstellbaren Erwärmungsspule begegnet werden. Zudem konnte die Reibung in beiden Umformstufen durch vorbestimmbare Auftragsmengen des Schmierstoffs erhöht oder reduziert werden. Die somit vorhandene Systemstruktur, bestehend aus Anlagenkomponenten, der beschriebenen Sensorik und Aktuatorik sowie dem realisierten Bus-System innerhalb der Schmiedezelle bildete die Basis für den zu entwickelnden Digitalen Zwilling.

Rückverfolgung von der Erwärmung bis zur Auslieferung

Sämtliche Rohteile und Werkstücke waren dabei mittels einer QR-Codierung vor und während des Schmiedeablaufs nachverfolgbar. So war jedes Werkstück über Prozesssignale und Transport durch den Industrieroboter oder mittels Handling-Systemen entlang der gesamten Prozesskette identifizierbar. Die Zuordnung von Prozessdaten zur entsprechenden Werkstückidentität zu jedem Zeitpunkt des Prozesses ermöglicht eine vom Partner IAS entwickelte Software. Der QR-Code wird kurz vor dem Umformen in Echtzeit ausgelesen und nach der Umformung erneut auf dem Werkstück aufgebracht.

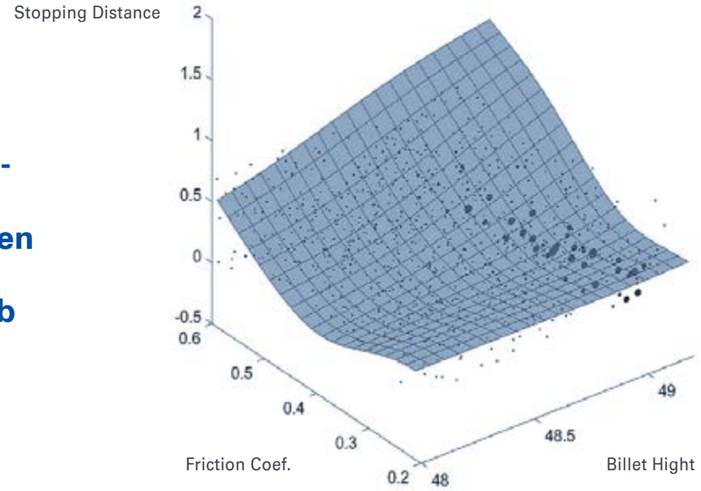
Konzept der Autonomisierten Schmiedezelle

Für den Aufbau des Digitalen Zwillings der Schmiedezelle wurde in der Rumpfversion zunächst eine klassische, dem Stand der Technik entsprechende Programm- und Datenstruktur gewählt. Das Kernelement eines Digitalen Zwillings stellt der parametrisierte ‚Wissensraum der Dateneinträge' dar, in dem die Berechnungsergebnisse von vorkonfigurierten numerischen Prozesssimulationen des zweistufigen Schmiedevorgangs von einfachen Aluminiumbauteilen auf Basis der FE-Methode eingetragen wurden. Somit konnten werkstoff- und anlagen-spezifische Eingangsgrößen, sowie die sich während der Umformung einstellenden Prozessgrößen, mit der spezifisch erzeugten Bauteilqualität in korrelierender Weise hinterlegt werden. Diese Zuordnung von Parameterräumen mit Daten zu den Eigenschaften des Rohteils, der Prozesstemperatur sowie der vorherrschenden Reibung zu den sich daraus ergebenden Ergebnisgrößen korrekter und fehlerhafter Bauteileigenschaften definieren im Wissensraum des Digitalen Zwillings jene Prozesszustände, welche zu bekannten Qualitäten der gepressten Werkstücke führen.

Die Zusammenarbeit mit den Industriepartnern führte im ersten Schritt zu einer Generierung von Simulationsdaten allein auf der Basis praxisrelevanter Modelle und Produktionsszenarien. Außerdem wurde bereits in der frühen Phase zusätzliches empirisches Expertenwissen aus Schmiedevorgängen erfasst und dem Wissensraum in digitalisierter Form hinzugefügt.

Im nächsten Schritt wurde der Digitale Zwilling der Schmiedezelle dahingehend erweitert, dass digitalisierte Prozesszustände, Rohteileigenschaften und auch die sich einstellende Qualität des produzierten Werkstücks aus realen Versuchsreihen im Labor abgespeichert und im Wissensraum des Digitalen Zwillings zugeordnet werden konnten. Wesentlich hierbei war es, diese Zuordnungen nach jedem Hub durchführen zu können, um dem System ein selbstlernendes Verhalten vorgeben zu können (siehe Grafik). Spätere Versuchsreihen haben dazu geführt, dass auf Basis der aktuellen Rohteileigenschaften und des aktuellen Systemzustandes der Schmiedezelle selbstständige Gewichtungen zwischen den numerischen

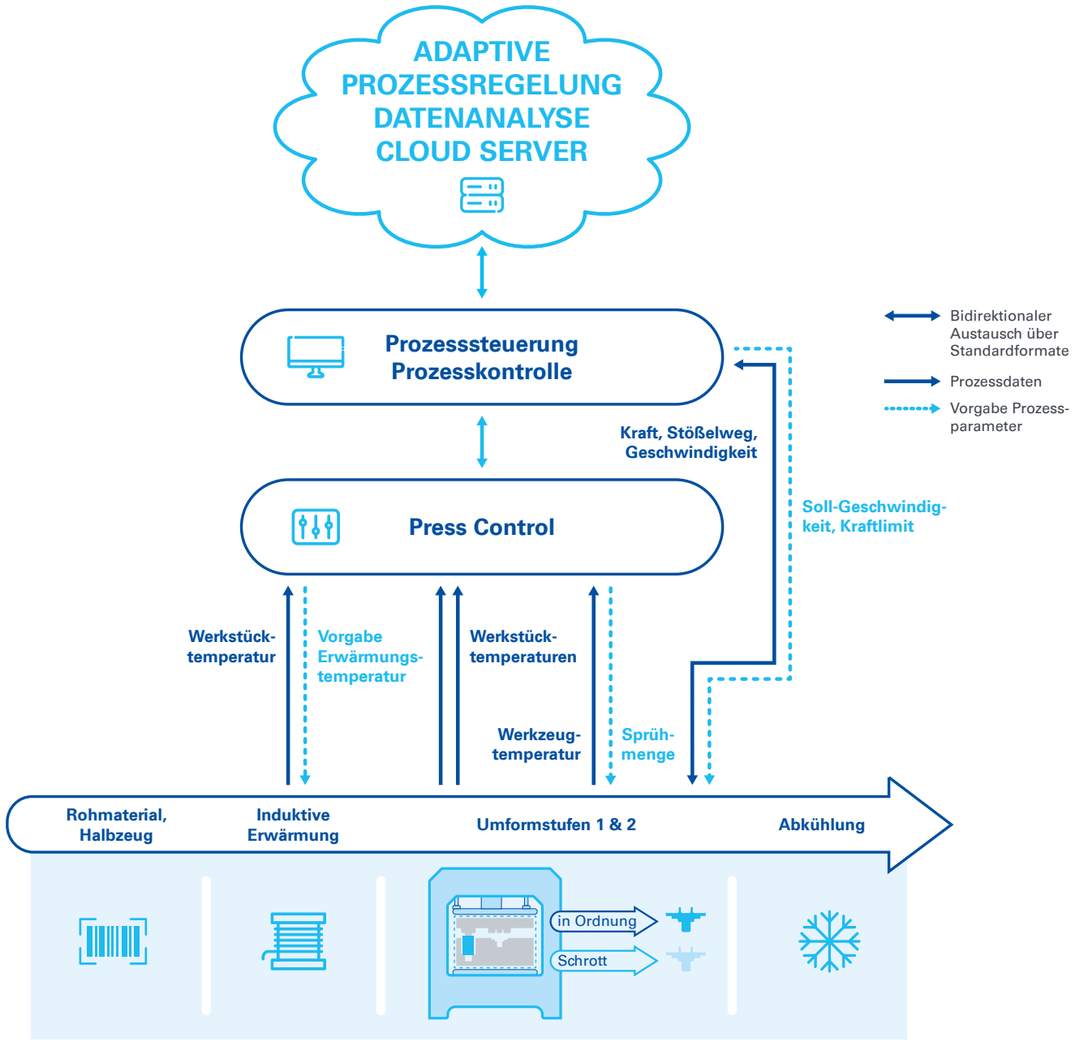
Grenzfläche zwischen Gut- und Ausschussteilen, die auf Simulations- und echten Produktionsdaten beruht und nach jedem Stößelhub aktualisiert wird.



Berechnungsgrößen aus den Prozesssimulationen und den Praxisdaten aus realen Versuchen bestimmt werden konnten. Die Kombination beider Wissensquellen erfolgte damit parametrisierbar, sodass daraus die Stellgrößen für den nächsten Umformhub abgeleitet werden können. Auf Basis dieser Daten konnte mithilfe des Machine Learnings ein Ersatzmodell, ein sogenanntes ‚Surrogat-Modell' entwickelt werden, welches die synthetisch gewonnenen Ergebnisgrößen aus den FE-Simulationen wie auch ‚digitalisiertes Praxiswissen' umfasst, um im produktiven Einsatz Trends von Prozessgrößen während der Serienproduktion interpolieren und die Bauteilqualität konstant halten zu können. Die Anomalieerkennung stellte einen weiteren wesentlichen Entwicklungsschwerpunkt der autonomisierten Schmiedezelle dar.

Inbetriebnahme und Test der Schmiedezelle

In einer frühen Projektphase erfolgte die Inbetriebnahme auf Basis vorläufiger Versionen des Digitalen Zwillings der autonomisierten Schmiedezelle unter Einbindung des Maschinenbedieners. Hierzu wurden zunächst die Komponenten Umformpresse, das zweistufige Umformwerkzeug, der Roboter mit Sprüheinrichtung, ein Messgerät zur Erfassung der Werkstückzwischengeometrie und die Erwärmungsspule im Zellenrechner zusammengeführt. Die schrittweise Inbetriebnahme der autonomen Schmiedezelle sowie die Fertigstellung des Digitalen Zwillings erfolgte im Anschluss mittels verschiedener Testreihen. In der 1. Versuchsreihe wurden die Eingangsparameter einzelner Prozesssimulationen und Anlageneinstellungen aus dem Zustandsraum der Gutteile, welche im Wissensraum des Systems bereits vorhanden waren, im Labor nachvollzogen. Die 2. Versuchsreihe umfasste die Überprüfung der zuvor virtuell bestimmten Sensitivitäten qualitätsrelevanter Eingangs- und Prozessgrößen des Schmiedevorgangs wie etwa Rohteilvolumen, Gratbildung des Schmiedebauteils oder die Eingangstemperatur des Rohteils. Auch für diese Einzelversuche im Labor ergab sich ein ‚Abstand' zu den zuvor auf Basis synthetischer Daten ermittelten Sensitivitäten. Um die Autonomie des Systems zu erhöhen und Anomalien bedarfsgerecht zu kompensieren, wurden diese ‚Abstände' mit Zeitsiegeln, d.h. mit begrenzter Gültigkeit, versehen. Für die weitere Entwicklung der Kompensationsstrategie von Anomalien in Form einzelner ‚Ausreißer' oder kritisch einzustufender Trends wurden schließlich in der 3. Versuchsreihe stärkere Abweichungen eingebracht, um die Leistungsfähigkeit des Digitalen Zwillings zu steigern. Maßgebliches Qualitätskriterium bildeten dabei die möglichst minimale Gratbildung und die grundsätzliche Vermeidung von Unterfüllungen des Bauteils in der Werkzeugkavität.

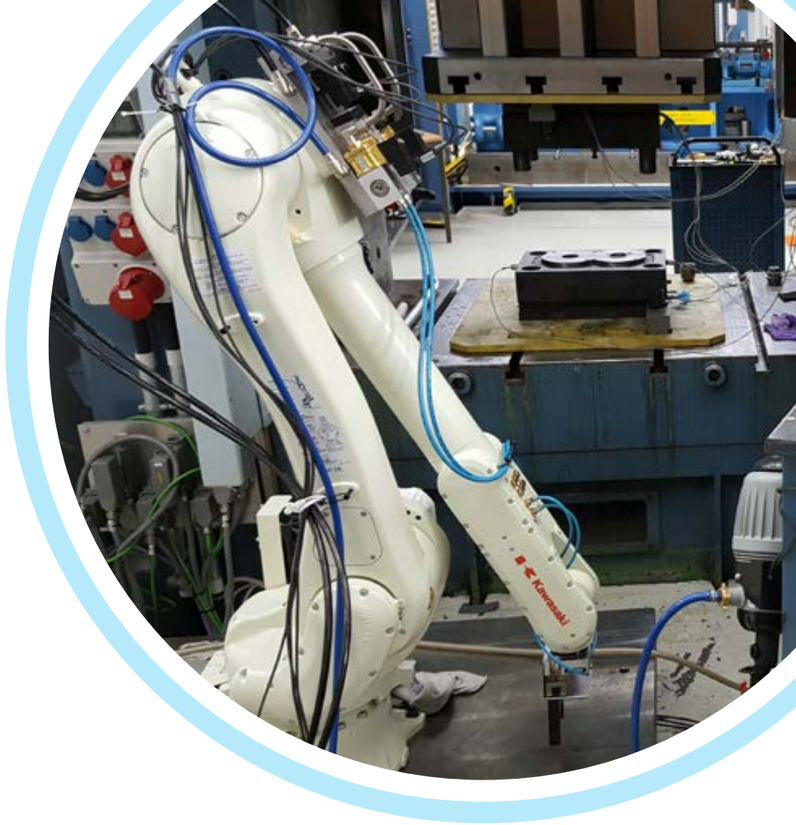


Grafik: IFU/IAS | WeiserDesign

Die abgebildete Grenzfläche auf Seite 45 zeigt beispielhaft den 4-dimensionalen Parameterraum der Größen Rohteilhöhe (Rohteilvolumen), Schließhöhe des Werkzeugs und Reibung. Die 4. Dimension bildet der Durchmesser der eingezeichneten Punkte. Kleine Durchmesser bedeuten jeweils einen Satz an Simulationsergebnissen oder Realversuchen ohne Qualitätsmängel des Bauteils, relativ große Durchmesser bedeuten unzulässig hohe Gratbildungen oder Unterfüllungen. Die in der Abbildung gezeigte Ebene stellt somit eine Grenzfläche zwischen zulässigen und unzulässigen Prozesszuständen für das Schmieden der Bauteile dar, welche nach jedem Umformhub aktualisiert wird und die Aktuatoren des Prozesses jeweils neu einstellt.

Die Überführung der Erfahrungen aus der gemeinsamen Projektarbeit mit dem Digitalen Zwilling der Schmiedezelle in die Produktionspraxis eines modernen Schmiedebetriebes gehörte ebenfalls zu den letzten Arbeitspaketen im Projekt. Hier konnte mit einem mehrwöchigen Weiterentwicklungsaufwand das volle Potenzial des Digitalen Zwillings an die Bedarfe von Schmiedebetrieben mit großem Erfolg angepasst werden.

Vereinfachte Modellfabrik für die Warmumformung von Aluminium



Die Validierungsphase der nun autonom arbeitenden Schmiedezelle führte schließlich zu einer sichtbaren Erhöhung der OEE und zu einer verbesserten und konstanten Bauteilqualität.

Mit Blick auf einen Produktiveinsatz des Gesamtsystems in Schmiedelinien wird der Mensch aus Sicherheitsgründen, aufgrund der Experteneingabe und auch als Entscheidungsinstanz diese Systemlösung begleiten. Vor diesem Hintergrund wurde zur Unterstützung des Produktionspersonals eine Bedienerführung mit dahinterliegenden Assistenzsystem entwickelt, um den aktuellen Systemzustand und die vom Softwaresystem vorgeschlagenen Stellgrößen zu visualisieren und Lernprozesse zu unterstützen.

Autoren: Prof. Dr.-Ing. Dr. h. c. Mathias Liewald MBA, Prof. Dr.-Ing. Dr. h. c. Michael Weyrich

Fotos: IFU, Stuttgart

Massivumformung

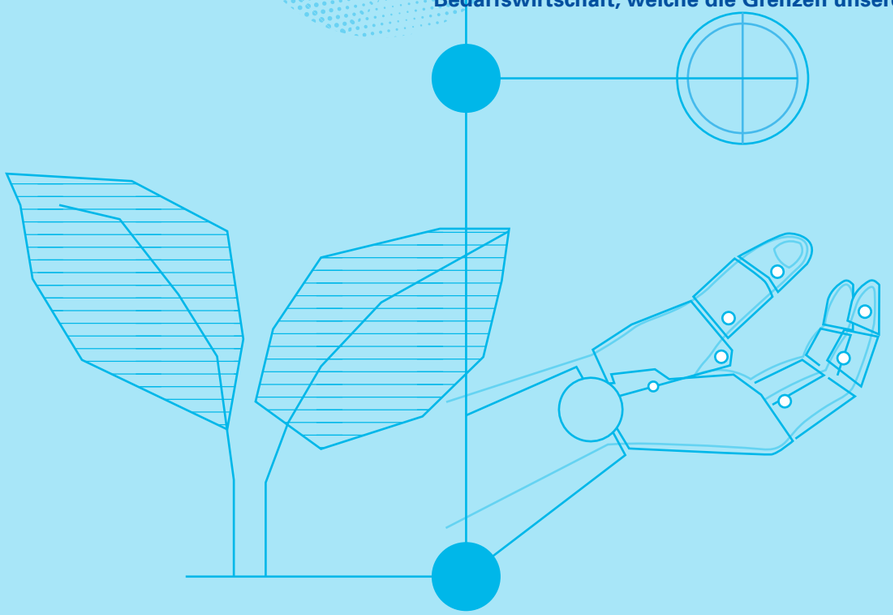
Ansprechpartner
Prof. Dr.-Ing. Dr. h. c. Mathias Liewald MBA
mathias.liewald@ifu.uni-stuttgart.de

Prof. Dr.-Ing. Dr. h. c. Michael Weyrich
michael.weyrich@ias.uni-stuttgart.de

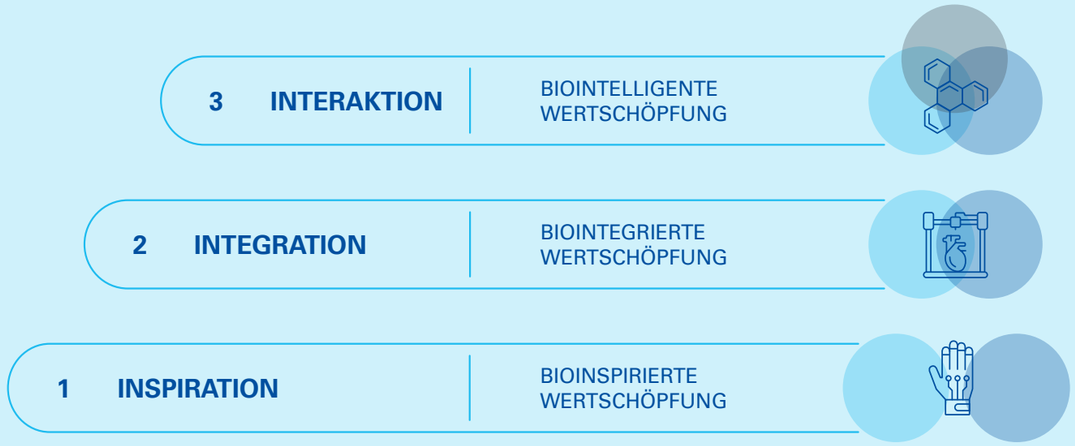
MIT BIO-INTELLIGENZ

IN EINEN NACHHALTIGEN INNOVATIONSRAUM

Die Biointelligenz ist der zentrale Innovationspfad für die nachhaltige Erneuerung der Wertschöpfung. Ingenieur-, Lebens- und Informationswissenschaften werden verbunden, um eine intelligente Bewirtschaftung natürlicher Ressourcen zu ermöglichen. Ziel ist eine nachhaltige dezentrale Bedarfswirtschaft, welche die Grenzen unseres Planeten berücksichtigt.



Die drei Modi der Biologischen Transformation sind gleichzeitig Ergebnis und auch Ausgangspunkt einer Biologischen Transformation



Grafik: Kompetenzzentrum Biointelligenz, Robert Miehe | WeiserDesign

Der Klimawandel und der weiterhin starke Anstieg des globalen Ressourcenverbrauchs zeigen uns, dass die Etablierung einer nachhaltigen Wirtschaftsweise unabdingbar ist. Wollen wir es schaffen, zur dauerhaften Wahrung unseres heutigen Lebensstandards, Wachstum und Ressourcenverbrauch zu entkoppeln, ist ein tiefgreifender Wandel innerhalb einer einzigen Generation notwendig. Die Verwendung nachwachsender Rohstoffe und die Etablierung biologischer Prinzipien in verschiedensten Bereichen der industriellen Wertschöpfung machen eine Biologische Transformation der Wertschöpfung unerlässlich. Die Entwicklung und flächendeckende Implementierung biointelligenter Systeme ist ein essenzieller Schritt auf diesem Weg.

Biointelligente Systeme sind gleichzeitig Ergebnis und auch Ausgangspunkt einer Biologischen Transformation, die in drei Modi abläuft.

Mit der Inspiration wird es möglich, über Jahrmillionen evolutionär entstandene biologische Phänomene auf Wertschöpfungssysteme zu übertragen, ohne dass die Biologie selbst Teil der Lösung ist. Dabei analysiert, abstrahiert und transferiert die Bionik Prinzipien aus der Biologie in die technische Sphäre. Unternehmen entwickeln mit diesem Ansatz zum Beispiel neuartige Materialien und Strukturen für den Leichtbau oder neue Funktionalitäten sowie Organisations- und Kooperationslösungen (z.B. Schwarmintelligenz, neuronale Netze, evolutionäre Algorithmen).

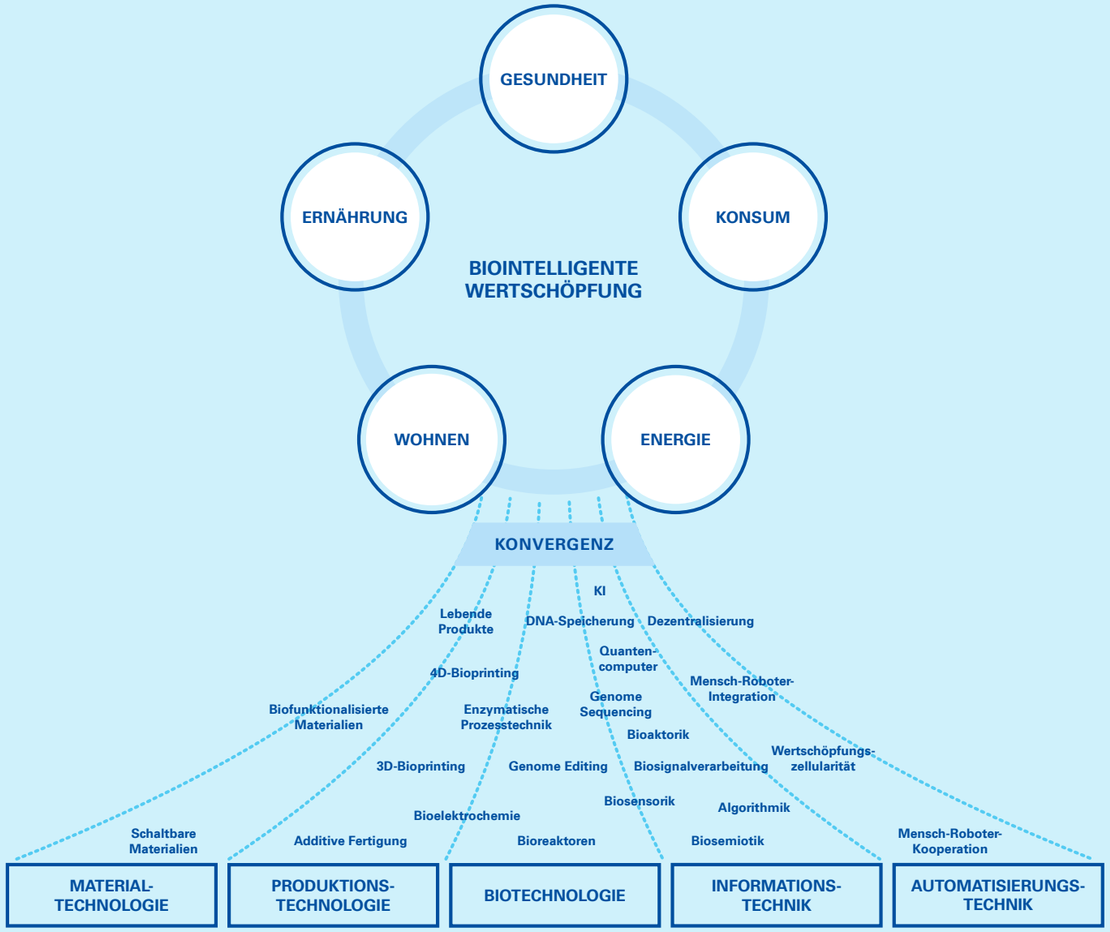
Die Integration bettet biologische in technische Systeme ein. Anwendungsbeispiele sind u.a. die Nutzung von Mikroorganismen zur Rückgewinnung von seltenen Erden aus Magneten, die Funktionalisierung von Polymeren und die Gewinnung von Biokunststoff aus CO_2-Abfallströmen.

Aus der umfassenden Interaktion technischer, informatorischer und biologischer Ansätze entstehen biointelligente Systeme. Sie sind die logische Konvergenz aus unabhängigen Entwicklungen in den Disziplinen der Automatisierungstechnik, der Informatik und der Biotechnologie. So werden beispielsweise aktuelle Forschungen aus den Bereichen Industrie 4.0, Maschinelles Lernen und Synthetischer Biologie in die Anwendung gebracht. Dies öffnet die Tür für die automatisierte, zielgerichtete Herstellung von neuen Produzentenzellen zur nachhaltigen Herstellung von Gütern des täglichen Bedarfs. Die biointelligente Produktion zeigt auch den Weg zur Etablierung dezentraler Bioproduktionseinheiten (Smart Biomanufacturing Devices, SBMD), die autonom, ohne Eingreifen von Experten, funktionieren. Beispiele sind Bioreaktoren zur Herstellung von personalisierten Medikamenten und Kosmetika direkt in der Apotheke beziehungsweise Drogerie oder ein zellbasierter Geruchssensor, der auf Basis transfizierter Rezeptorzellen Krankheiten und Gefahrenstoffe erkennen kann.

Eine technologieorientierte Bedarfswirtschaft

Aktuelle Wertschöpfungssysteme mit komplexen, weltumspannenden Lieferketten sind Treiber der Zentralisierung auf unterschiedlichsten Ebenen (Wohnen, Arbeiten, Energie, Lebensmittel, Medizin, etc.) und führen zu sich verschärfenden Umweltproblemen (Klimawandel, Ressourcenverknappung, Verschmutzung, Artensterben etc.) sowie zu gesellschaftlichen Ungleichgewichten (regionaler Wohnraummangel, Fachkräftemangel etc.).

Biointelligente Systeme bieten einen Gegenentwurf. Sie forcieren einen technologiebasierten Übergang zu einer dezentralen Herstellung kundenindividueller Produkte. Mit ihrer Hilfe werden weitreichende neue



Grafik: Kompetenzzentrum Biointelligenz, Robert Miehe | WeiserDesign

Leistungs- und Nutzenpotenziale erschlossen und zugleich entscheidende Nachteile heutiger Wertschöpfungs- und Lieferketten für standardisierte Produkte überwunden.

Biointelligente Systeme führen zu einer Verschiebung des Wertschöpfungsfokus in Richtung des Nutzers. Produkte werden nur noch hergestellt, wenn sie benötigt werden. Konsumenten werden zu Produzenten. Die Dezentralisierung führt zu einer massiven Reduktion des Verbrauchs von nicht-regenerativen Materialien und Emissionen. Der individuelle Fußabdruck der Menschen sinkt auf ein ökologisch vertretbares Maß.

Möglich wird diese Transformation durch eine Konvergenz verschiedener, vormals meist separiert betrachteter Technologiebereiche – bspw. Material-, Produktions- und Biotechnologie sowie Informations- und Automatisierungstechnik. Über die Verbindung der Technologiefelder werden dann, wie oben aufgeführt, die sogenannten Smart Biomanufacturing Devices entwickelt, mit denen es möglich wird, verschiedenste Produkte selbstständig mit den gegebenen biologischen Ressourcen vor Ort zu produzieren.

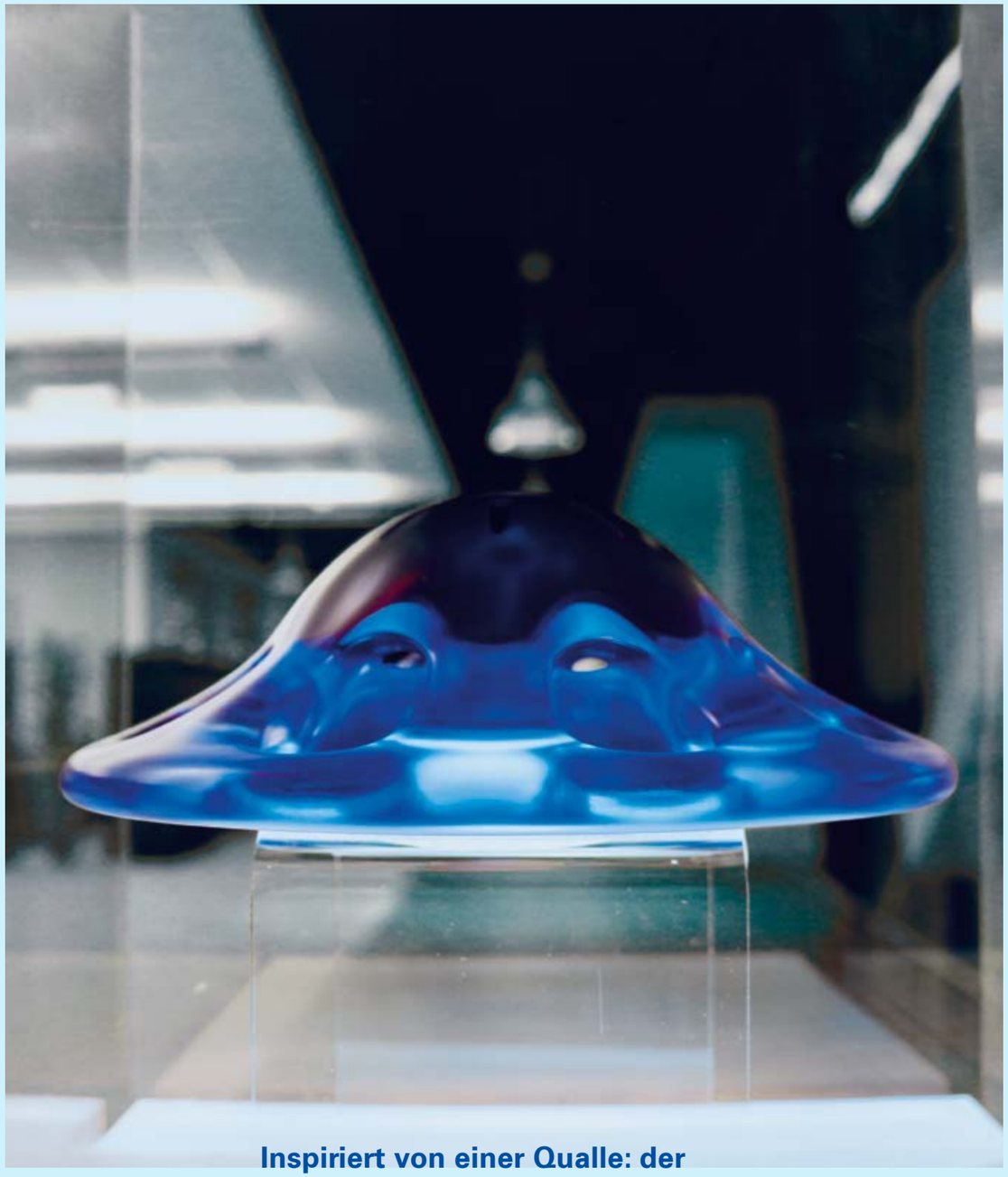


Foto: Koniku Inc.

Inspiriert von einer Qualle: der Sensor erkennt flüchtige organische Verbindungen, er kann ‚riechen'.

Bedürfnisse der Menschen adressieren

Biointelligente On-Demand-Produktionssysteme erschließen als Querschnittstechnologie neue Wirtschaftssektoren, die zu regionaler Resilienz, Schonung von Ressourcen, Nachhaltigkeit und dem Einhalten planetarer Grenzen beitragen und somit zu einem wichtigen Baustein für die Erreichung der Nachhaltigkeitsziele der UN und des europäischen Green Deals werden können. Sie verlagern die Wertschöpfung mehr und mehr zum Nutzer.

Die Entwicklung der Biointelligenz ermöglicht den Menschen eine ökologisch ausbalancierte Befriedigung ihrer Bedürfnisse, etwa in den Bereichen Gesundheit, Konsum, Energie, Wohnen und Ernährung. Mit einer biointelligenten Wertschöpfung werden beispielsweise eine personalisierte Gesundheitsversorgung, eine intelligente Verkehrs- und Produktionsorganisation und die dezentrale Herstellung von Konsumgütern und Nahrungsmitteln aus nachwachsenden Rohstoffen und Recyclingmaterialien realisierbar.

Zahlreiche Institute der Universität Stuttgart, insbesondere – aber nicht nur – aus den Fakultäten 7 und 4, haben sich mit der Universität Hohenheim, dem NMI in Reutlingen, diversen Fraunhofer-Instituten sowie anderen, auch industriellen, Partnern zum Kompetenzzentrum Biointelligenz zusammengeschlossen, um die entsprechenden anstehenden Forschungs- und Entwicklungsaufgaben gemeinsam zu lösen. In Veranstaltungen, Vorträgen, Publikationen, einem Blog und zahlreichen weiteren Formaten will das Kompetenzzentrum Biointelligenz die Wirtschaft, die Politik und die Gesellschaft für das Thema begeistern und auf die damit verbundenen Chancen hinweisen.

Autoren: Univ.-Prof. Dr.-Ing. Thomas Bauernhansl und Dr.-Ing. Robert Miehe

Biointelligenz

Ansprechpartner
Univ.-Prof. Dr.-Ing. Thomas Bauernhansl
thomas.bauernhansl@iff.uni-stuttgart.de

Dr.-Ing. Robert Miehe
robert.miehe@ipa.fraunhofer.de

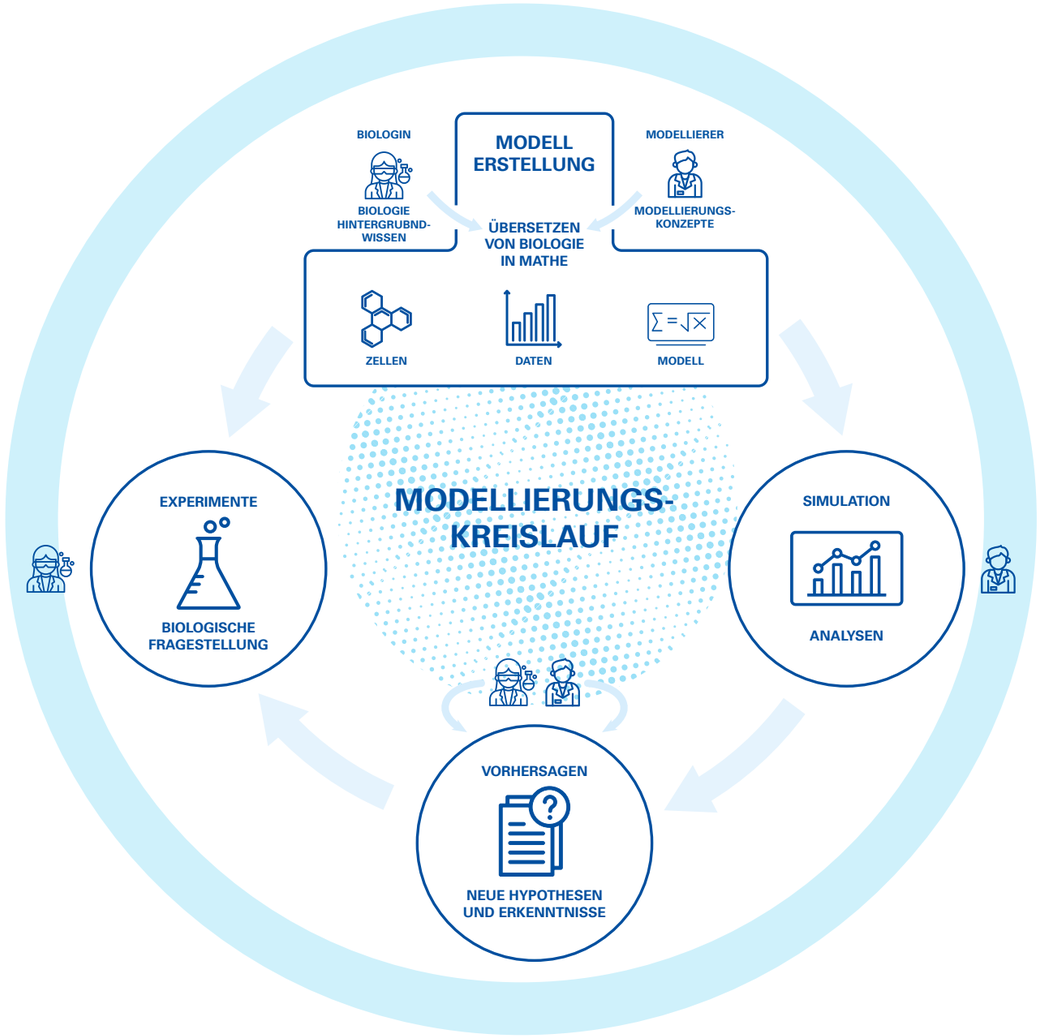
Modell-basiertes Design von bakteriellen

SYNTHETISCHEN MEMORY-SYSTEMEN

Die synthetische Biologie hat zum Ziel, biologische Systeme mit bestimmten Funktionen im Labor zu entwerfen, zu verändern oder nachzubauen. Dazu macht man sich standardisierte Komponenten natürlicher biologischer Systeme zu Nutze und fügt diese so zusammen, dass neue Systeme entstehen.

Die Kombination aus dem wissensbasierten Design neuer Systeme, der Modellierung ihrer Eigenschaften und der labortechnischen Umsetzung erfordert dabei ein hohes Maß an interdisziplinärer Expertise.

Grafik: Albert Jeltsch | WeiserDesign



Grafik: Viviane Klingel | WeiserDesign

Ein gutes mathematisches Modell eines biologischen Systems zeichnet sich dadurch aus, dass es einen echten Mehrwert für das Verständnis des Systems liefert. Es sollte die wesentlichen Bestandteile oder Charakteristika des realen Systems beinhalten, einfach genug für die Simulation und Analyse sein und prädikativ genug, um neue Hypothesen und Vorhersagen für ungesehene Szenarien abzuleiten. In der synthetischen Biologie können mathematische Modelle darüber hinaus verwendet werden, um den Designprozess zu unterstützen, beispielsweise in Bezug auf Robustheitseigenschaften synthetischer funktionaler Module. Ein solcher Ansatz erfordert eine interdisziplinäre Zusammenarbeit von Modellierer*innen und Forscher*innen im Labor.

Wie gut eine solche Kollaboration an der Universität Stuttgart funktioniert, zeigen gemeinsame Forschungsergebnisse der Arbeitsgruppen von Albert Jeltsch (Institut für Biochemie und Technische Biochemie (IBTB)) und Nicole Radde (Institut für Systemtheorie und Regelungstechnik (IST), AG Systemtheorie in der Systembiologie). Hierbei geht es um die Konstruktion synthetischer epigenetischer Schaltkreise, die in Zukunft den Einsatz von ‚Escherichia coli' Bakterien als Ganzzell-Biosensoren ermöglichen sollen. Die Epigenetik fasst Mechanismen

zusammen, bei denen durch kleine chemische Modifikationen an der DNA das Expressionsverhalten von Genen beeinflusst werden kann. Epigenetische Modifikationen sind vererbbar und tragen somit dazu bei, Genaktivitäten über viele Zellteilungsraten zu verändern. So haben z.B. verschiedene Zelltypen in Vielzellern zwar alle dieselben Gene, sie unterscheiden sich aber erheblich in ihrem epigenetischen Muster und damit in ihrer Genexpression.

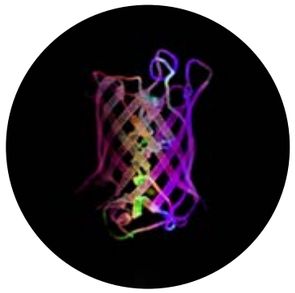
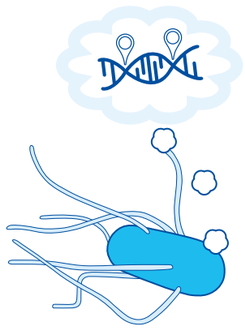


Foto: Flickr by kaibara87



Synthetisches Memory-System in Bakterien

Eine wichtige epigenetische Veränderung ist die DNA-Methylierung, bei der eine Methylgruppe ($-CH^3$) enzymatisch durch Methyltransferasen an eine spezifische Base der DNA angehängt wird. Basierend auf DNA Methylierung hat die Gruppe von Albert Jeltsch ein synthetisches Memory-System konstruiert, welches transient auftretende chemische und physikalische Signale in bakteriellen DNA Methylierungsmustern über mehrere Tage speichern kann und damit als zelluläres Gedächtnis fungiert.

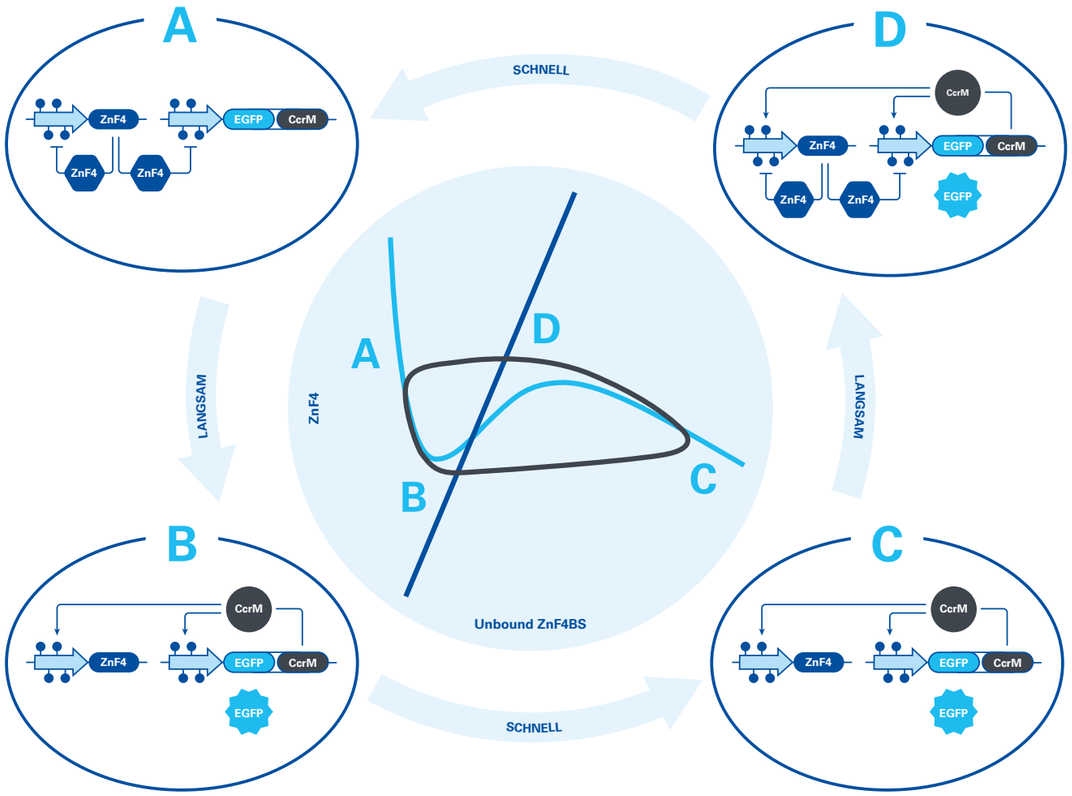
Grafik: Albert Jeltsch + WeiserDesign

Fotos: IBTB, Julia Lier

Im Kern des Systems steht eine komplexe Expressionsregulation einer DNA Methyltransferase (CcrM) und eines daran gekoppelten Reportermoleküls (GFP). Diese Expression wird im Grundzustand durch das Binden eines Repressor Proteins (ZnF) an die DNA unterdrückt, was man anhand eines schwachen GFP Signals sichtbar machen kann. Beim Auftreten eines transienten Eingangssignals ist das Memory-System in der Lage dieses in eine permanente Zellantwort zu übersetzen, was anhand eines über einen längeren Zeitraum stabilen GFP Signals deutlich wird. Hierfür wird beispielsweise ein spezieller Nährstoff verwendet, der für kurze Zeit dafür sorgt, dass zusätzliches CcrM produziert wird. Dies führt dazu, dass ein positiver Rückkopplungs-Kreislauf angeschaltet wird, in dem das CcrM durch DNA Methylierung seine eigene Transkription anschaltet, da DNA Methylierung die Bindung des ZnF Repressor Proteins an die DNA verhindert.

Mathematische Modelle tragen dazu bei, die Dynamik dieses synthetischen Systems beim An- und Ausschalten besser zu verstehen und, darauf aufbauend, Komponenten für ein robustes Design zu identifizieren. So konnte mit dem Modell relativ genau vorhergesagt werden, in welchem Bereich die Zellzyklusrate liegen muss, damit das System stabil an- und auch wieder ausgeschaltet werden kann und welche Design-Parameter in der Konstruktion exakt justiert werden sollten.

Darüber hinaus arbeiten die beiden Gruppen aktuell daran, das Memory-System mit einem negativen Feedback so zu erweitern, dass es Oszillationen zeigen kann. Hierfür machen sie sich Resultate aus der Theorie nichtlinearer dynamischer Systeme zu Nutze, um einen sogenannten Hysteresebasierten Oszillator zu kreieren. Dieser basiert auf einer negativen Rückkopplung, die auf einer langsameren Zeitskala als das positive Feedback-System reagiert, sodass das Gedächtnismodul als System mit einer bistabilen Steady State Charakteristik beschrieben werden kann. Realisiert werden kann ein solches System, indem man die Expression des ZnF Proteins, ähnlich wie CcrM, ebenfalls durch Methylierung positiv reguliert. Damit lässt sich die starke negative Autoregulation dieses Proteins dynamisch abschalten. Reagiert ZnF langsam im Vergleich zur CcrM Dynamik und der Dynamik der Methylierung, so sind theoretisch Oszillationen möglich.



Grafik: WeiserDesign

Modell-basiertes Design eines Oszillators. (A) Im OFF Zustand ist die CcrM Expression durch ein starkes Binden von ZnF an die DNA unterdrückt. Die DNA ist nicht methyliert. (B) ZnF, das sich selbst auch inhibiert, wird langsam abgebaut. Damit werden die Methylierungsstellen in den Promotoren von CcrM und ZnF frei und können methyliert werden. (C) Geschieht die Methylierung und damit das Anschalten der Expression von CcrM schnell im Vergleich zur Dynamik von ZnF, so wechselt das System in den ON Zustand, in dem viel CcrM exprimiert wird und viele Methylierungsstellen der DNA methyliert sind. (D) Damit wird auch die Expression des Inhibitors ZnF wieder aktiviert, so dass Methylierung und CcrM wieder abgeschaltet werden. Der Zyklus beginnt von vorne.

Modellanalysen zeigen, dass bei einem solchen Design viele Parameter des Systems feinjustiert werden müssen, um in den oszillierenden Bereich zu kommen. Mithilfe des mathematischen Modells lassen sich dann einfach verschiedene Szenarien für Oszillationen untersuchen, deren experimentelle Umsetzung viel Zeit in Anspruch nehmen würde. Auf Basis dieser theoretischen Untersuchungen können dann zielgenau Experimente durchgeführt werden, welche wiederum verwendet werden können um das mathematische Modell an die tatsächlichen biologischen Gegebenheiten anzupassen. Hierzu ist ein enger fachlicher Austausch essenziell.

Foto: IBTB, Julia Lier

Aus Sicht der Modellierung ist die Integration von biologischen Daten in Modelle immer wieder herausfordernd und spannend. Besonders viel lernt man genau dann, wenn Modelle das beobachtete Verhalten nicht exakt abbilden können, da dies immer ein Hinweis ist, dass wichtige Mechanismen im Modell fehlen, die es dann aufzuspüren gilt.

Die Vision aus biochemischer Sicht ist, aus Bakterien zukünftig sensitive Ganzzell-Biosensoren zu designen, die dann beispielsweise zur Detektion von Antibiotika im Trinkwasser und industriellen Schadstoffen in der Umwelt oder zur Analyse von Biomarkern für Krankheiten genutzt werden könnten. Wir sind gespannt, ob das eines Tages gelingen wird.

Autor*innen: Viviane Klingel, Sara Weirich, Dimitri Graf, Albert Jeltsch, Nicole Radde

Mehr über Epigenetics

Ansprechpartner*innen
Prof. Dr. rer. nat. Nicoe Radde
nicole.radde@simtech.uni-stuttgart.de

Viviane Klingel, M.Sc.
viviane.klingel@ist.uni-stuttgart.de

MIKROBIELLE FABRIK

VOM DESIGN ZUR ANWENDUNG DANK BIOINTELLIGENZ

Das Wissen über Stoffwechselvorgänge ist häufig unzureichend. Mittels KI kann es in biointelligenten Systemen dort ergänzt werden, wo es Lücken gibt. Im EU-Verbundprojekt BIOS arbeiten das IBVT der Universität Stuttgart in Kooperation mit dem Fraunhofer IPA an einer Fabrik, die Zellen mit erwünschten Komponenten und Funktionen produziert.

Foto: IBVT

Mikroorganismen wie Bakterien, Pilze und Mikroalgen verfolgen ein natürliches Ziel – nämlich möglichst schnell zu wachsen und sich zu verdoppeln, sobald genügend Nahrung zur Verfügung steht. Zu diesem Zweck halten sie eine Fülle von Stoffwechselwegen bereit, um das Nahrungsangebot möglichst schnell in die Bausteine für das Zellwachstum umzusetzen. Interessanterweise produzieren die Mikroben dabei auch eine Vielzahl von Stoffen, die sie in der Regel nur als Zwischenstufe für das eigene Wachstum benötigen. Gleichzeitig sind diese Stoffe aber als Produkte für unser tägliches Leben von großer Bedeutung.

Die Biotechnologie untersucht schon seit Langem den Zugang zu derartigen Produkten. Über molekularbiologische Methoden werden Zellen gezielt so verändert, dass sie die gewünschten Komponenten im Überfluss herstellen. Dies ist nicht so einfach, da die Mikroben eigentlich wachsen wollen. Es erfordert daher eine Vielzahl geschickter Eingriffe in den Stoffwechsel und sehr umfangreiche Experimente, um erste Erfolge zu erzielen. Noch komplizierter wird es, wenn die Mikroorganismen gezwungen werden, Stoffe herzustellen, die sie natürlicherweise gar nicht kennen. Zwar bieten die modernen Methoden der synthetischen Biologie einen großen Werkzeugkasten zur Problemlösung, doch müssen die Ansätze auf eine Vielzahl von ‚Baustellen' innerhalb der Zellen angewendet werden. Selten genügt der Blick des geschulten Auges auf den Stoffwechsel, um die richtigen Baustellen zu identifizieren und Maßnahmen durchzuführen. Stattdessen verlangen derartige zelluläre Konstruktionen nach einer Menge paralleler Veränderungen, die in einer Serie von aufwändigen Studien münden.

Biotechnologie – was hat das mit Maschinenbau und Verfahrenstechnik zu tun?

Schon lange nutzt die ingenieurwissenschaftliche Disziplin der Bioverfahrenstechnik derartig hergestellte mikrobielle Produzenten, um damit neue technische Bioprozesse zur Herstellung von Produkten bis in den industriellen Maßstab zu realisieren. So haben Produkte wie organische Säuren (Konservierungsmittel), Aminosäuren (Lebensmittel und medizinische Applikationen), Antibiotika und Enzyme (z.B. in Waschmitteln) Einzug in unseren Alltag gehalten. Darüber hinaus werden Mikroorganismen z.B. auch genutzt, um einzelne Bausteine für ‚Bioplastik' herzustellen oder um CO_2 aus der Abluft in Grundchemikalien zu verwandeln. Daneben sind komplexe Gewebezelllinien unverzichtbare Produzenten für pharmazeutische Wirkstoffe, wie z.B. Antikörper oder Blutbestandteile. Auch können z.B. Biosensoren mithilfe von Zellen konstruiert werden, die Moleküle detektieren, die unseren Nasen vollständig entgehen.

Was kann die Biointelligenz leisten, um neue Bioprozesse zu entwickeln?

Im Mittelpunkt eines jeden Bioprozesses steht die mikrobielle Zelle als Produzent. Die modernen biotechnologischen Methoden bieten die Werkzeuge zur notwendigen Veränderung des Stoffwechsels. Doch wie werden diese Werkzeuge effizient eingesetzt? Der Weg hin zu einem optimalen Produzenten gleicht einem Labyrinth mit zig Zugängen, Sackgassen und Umleitungen. Werden die falschen Wege beschritten, kann es nicht nur ‚unendlich' lange dauern, die gewollten Leistungsdaten der Produzenten zu erhalten, schlimmer … vielleicht werden sie sogar gar nicht erreicht. Die Entwicklung endet in einer Sackgasse.

Hier greift die Biointelligenz an. Im Zusammenspiel von Biotechnologie, Informatik und Automatisierungstechnik werden nicht nur notwendige Experimente miniaturisiert und automatisiert, sondern auch die ‚unendliche' Zahl an möglichen Maßnahmen auf diejenigen beschränkt, die die besten Erfolgsaussichten besitzen. Wie geht das? Durch die enge Integration von Expertenwissen und künstlicher Intelligenz. Das Ergebnis heißt hybrid learning.

Hybrid learning ist ein zentrales Element des von der EU geförderten Verbundprojektes BIOS. Das Prinzip beruht darauf, dass das durchaus beachtliche, aber leider nicht ausreichende Wissen über Stoffwechselvorgänge in mechanistische Modelle zusammengefasst und an den Stellen, an denen nur unzureichendes Know-how existiert, mittels KI aufgefüllt wird.

Woher bekommt die KI die notwendigen Informationen? Aus den Experimenten, die im Kleinmaßstab automatisiert durchgeführt werden. Wichtig ist: Die experimentellen Ergebnisse sind Teil des sogenannten DBTL-Zyklus, der für design-build-test-learn steht. Dieser generiert pro Umlauf einen Ergebnisdatensatz, der in die Planung der nächsten Zellveränderungen und Experimente einfließt. So sollen die Produzenten schrittweise verbessert und ‚weiße Stellen' im Stoffwechselverständnis gefüllt werden.

Welche Produkte können durch biointelligente Produktion zugänglich gemacht werden?

Im Prinzip kann der DBTL-Zyklus für eine unbegrenzte Anzahl an Produkten genutzt werden. In dem oben genannten BIOS-Projekt steht der vielversprechende Mikroorganismus ‚Pseudomonas putida' im Mittelpunkt. Damit sollen Aroma- und Signalstoffe sowie Biokunststoffe hergestellt werden.

Die am IBVT geplanten Arbeiten zielen auf Terpene. Diese Molekülgruppe beinhaltet mehr als 60.000 unterschiedliche Komponenten mit mehr als zehn Kohlenstoffatomen im Gerüst. In der Regel sind die Moleküle stark funktionalisiert und werden natürlicherweise in Pflanzen als Aroma- und Signalstoffe herstellt. Gelingt deren Produktion in Mikroorganismen, wird dadurch nicht nur der Anbau dieser Pflanzen in Monokultur – mit all ihren umweltschädlichen Folgen – vermieden, sondern auch die Möglichkeit geschaffen, die Produkte direkt in Deutschland aus nachwachsendem Zucker herzustellen. Hat man die Moleküle erst einmal in großer Menge in der Hand, eröffnen sich dadurch auch andere Anwendungsmöglichkeiten und Folgechemie. Andere Produktbeispiele aus BIOS sind Ausgangsstoffe, sogenannte Monomere, für die Herstellung von Biokunststoffen. Im Mittelpunkt stehen beispielsweise aus Zucker hergestellte Fettsäuren, die im späteren Verlauf polymerisiert und zum Kunststoff umgewandelt werden. Damit die industrielle Anwendung nicht aus den Augen verloren wird, sind von vornherein diverse europäische Firmen Partner des Projektes.

Foto: IBVT

Kann die Biointelligenz noch mehr?

Ja. Die Vision einer biointelligenten Produktion sieht vor, dass die Bioprozesse zur Herstellung von Wertstoffen vollkommen autonom verlaufen und keinen Experten zur Überwachung benötigen. Dies erfordert detailgetreue mathematische Modelle über das Verhalten der Mikroorganismen, die dann in die Regelung eines Bioprozesses implementiert und für dessen selbst-kontrollierte Fahrweise eingesetzt werden. Was bringt ein derartiger Ansatz? Die biointelligente Produktion wird es ermöglichen, Wertstoffe nachhaltig und dezentral dort herzustellen, wo sie gebraucht werden. Das kann beispielsweise im ländlichen Raum oder auch in Krankenhäusern sein, wo die implementierte Biointelligenz dafür sorgt, dass die nachhaltige Produktion funktioniert – auch wenn kein Experte vor Ort ist.

Autoren: Prof. Dr.-Ing. Ralf Takors und Univ. Prof. Dr.-Ing. Thomas Bauernhansl

Ansprechpartner
Prof. Dr.-Ing. Ralf Takors
ralf.takors@ibvt.uni-stuttgart.de

Prof. Dr.-Ing. Thomas Bauernhansl
thomas.bauernhansl@ipa.fraunhofer.de

STUTTGARTER MASCHINENBAU

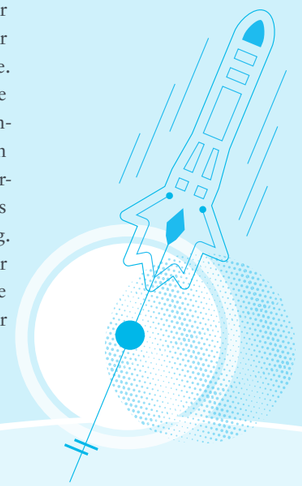
Foto: IBVT

UNTER-NEHMERTUM

AN DER UNIVERSITÄT STUTTGART

Unternehmensgründungen sind ein wichtiger Mechanismus für den Wissens- und Technologietransfer aus den Hochschulen in die Gesellschaft. An der Universität Stuttgart sind die Unterstützung und aktive Förderung von Studierenden und Wissenschaftler*innen auf ihrem Weg zur Gründung seit vielen Jahren fest verankert.

Seit den 1980er Jahren ist die (Aus-) Bildung zu unternehmerischem Denken und Handeln zu einer entscheidenden Triebkraft geworden: Für die Förderung von mehr Unternehmensgründungen, mehr unternehmerisch denkenden Menschen und einer nationalen Unternehmer*innenkultur. Dabei spielen Universitäten eine führende Rolle. Und das nicht nur durch Bildung und Forschung, sondern insbesondere durch die Nutzbarmachung dieser Forschung durch Transfer und Unternehmensgründungen. Gerade im Vergleich zu anderen Hochtechnologieländern hat dieser Bereich in Deutschland noch großes Potenzial. Die Zahl der Gründungen und Gründungsvorhaben steigt, wenn auch langsam, an deutschen Hochschulen: Im Jahr 2019 gab es 10,5 Gründungen je 10.000 Studierende an Hochschulen mit Gründungsförderung. Mindestens 984 dieser Gründungen sind auf Wissens- und/oder Technologietransfer aus den Hochschulen und 186 auf konkrete Schutzrechte wie beispielsweise Patente zurückzuführen. Dabei belegt die Universität Stuttgart im aktuellen Gründungsradar unter den TU9 einen guten vierten Platz.



START-UP FÖRDERUNG

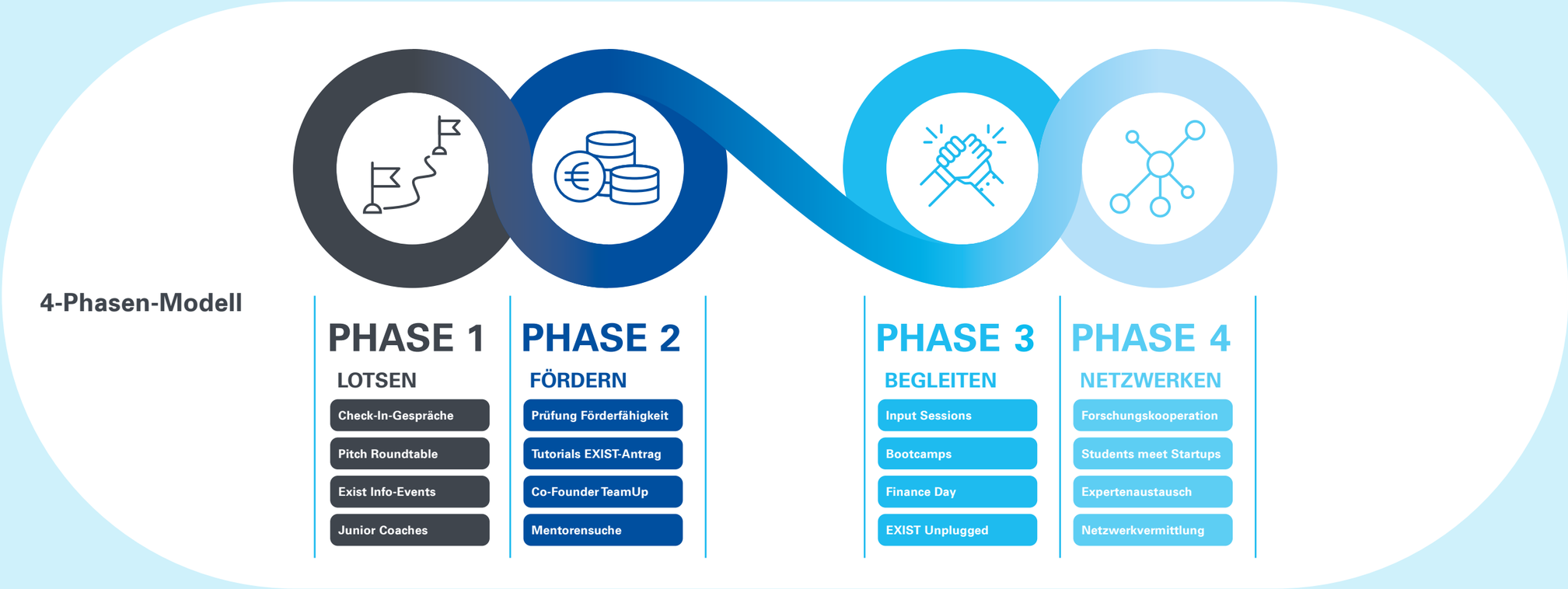
Foto: Ludmilla Parsyak

Die ‚unternehmerische Universität' wird dabei als natürlicher Inkubator gesehen, der eine Unterstützungsstruktur, Instrumente und Methoden für Dozierende, Studierende und Mitarbeitende bereitstellt, um basierend auf Opportunitätserkennung, Problemlösung und Ideengenerierung neue Unternehmungen zu initiieren und zu entwickeln. An der Universität Stuttgart gehen wir davon aus, dass Unternehmertum erlernbar ist und gezielt gefördert werden kann. Mit der Schaffung des Instituts für Entrepreneurship und Innovationsforschung (ENI) im Jahr 2020 wurde Entrepreneurship fest in die curricularen Aktivitäten integriert. Studierende erlernen im Rahmen der unternehmerischen Ausbildung das Problemlösen in realen Situationen, formulieren Entscheidungen mit Daten, die unmittelbar und unvollständig sind und entwickeln Denk- und Verhaltensweisen, die als entscheidend für die unternehmerische Praxis gelten.

Darüber hinaus fungieren Universitäten auch als Akteure zur Stimulierung des lokalen unternehmerischen Kapitals, indem sie unternehmerisches Denken, Handeln und Institutionen in einer bestimmten Region unterstützen. Unternehmerische Universitäten werden zu Transformationsagenten für den Wandel des Ökosystems, zu Katalysatoren von natürlichen oder finanziellen Ressourcen oder zu Multiplikatoren unternehmerischer Fähigkeiten. Eine weitere Rolle der Universitäten bei der Förderung des Unternehmertums ist die Bereitstellung eines geschützten Umfelds, in dem Studierende mit neuen Ideen experimentieren und ihren Leidenschaften folgen können.

Die unternehmerische Universität folgt dabei dem Konzept des akademischen Unternehmertums, das alle Aktivitäten und Bemühungen von Universitäten zur Vermarktung von Forschungsergebnissen umfasst. Dazu gehört erstens die Erforschung des Wissens, das Studierende, Dozierende und Forscher*innen durch Patente, Lizenzen, Startups, Spin-offs und Kooperationen schaffen. Zweitens umfasst es die Initiierung von Technologietransfer durch Forschungspartnerschaften mit der Industrie, Inkubatoren oder Wissenschaftsparks und unternehmerische Ausbildung.

Mit der Gründung der Technologie-Transfer-Initiative (TTI GmbH) im Jahr 1998 hat die Universität Stuttgart dieses Thema früh aufgegriffen und bietet bis heute entsprechende Dienstleistungen und Räumlichkeiten an. Professor*innen der Universität Stuttgart können als Leitung eines eigenen Transfer- und Gründungszentrums (TGZ) unter dem Dach der TTI GmbH ihre Industrieaufträge abwickeln. Dank eines Transfer- und Gründerunternehmung-Modells (TGU) ist es Startups möglich, sofort unternehmerisch tätig zu werden, ohne selbst dafür vorher gründen zu müssen. Durch die



Grafik: © Startup Campus 0711

frühzeitige Beteiligung an der Technologie-Lizenz-Büro (TLB) GmbH ist die Universität Stuttgart seit 25 Jahren im Bereich Patentierung und Verwertung von Hochschulerfindungen professionell aufgestellt. Durch die langjährige Zusammenarbeit mit der Verwaltung und speziell mit dem Dezernat Forschung und Transfer werden hier alle wichtigen Player zusammengebracht. Aktuell befindet sich ein Transfercenter der Universität im Auf- und Ausbau, das diese Aktivitäten noch gebündelter anbietet.

Zusätzlichen Aufschwung gewannen die Gründungsaktivitäten an der Universität Stuttgart seit Mai 2020 mit dem Beginn des durch das Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz geförderten Projektes EXIST-Potentiale. Das Ziel: Eine nachhaltige Gründungskultur in den universitären Strukturen verankern, langfristig Sichtbarkeit und regionale Innovationspartnerschaften fördern. Grundsätzlich unterscheidet EXIST zwischen zwei Förderformaten: Das EXIST-Gründerstipendium unterstützt innovative technologieorientierte und wissensbasierte Gründungsvorhaben in der Vorgründungsphase. Der EXIST-Forschungstransfer hingegen fördert insbesondere Entwicklungsarbeiten, die für einen Nachweis der technischen Machbarkeit forschungsbasierter Gründungsideen erforderlich sind.

Unter dem Dach des Startup Campus 0711 – in gemeinsamer Trägerschaft der Universität Stuttgart und der Hochschule der Medien (HdM) sowie in enger Zusammenarbeit mit der TTI GmbH – wird das Unternehmertum auf dem Campus Vaihingen vorangetrieben. Gründungsinteressierte Studierende und Wissenschaftler*innen werden entlang eines 4-Phasen-Modells und mithilfe verschiedenster Formate auf ihrer Reise passgenau beraten und begleitet: Angefangen bei der Ideenfindung oder der Konkretisierung ihres Geschäftsmodells, über die CoFounder-Suche bis hin zur EXIST-Antragsstellung und letztendlich der Vermarktung und Unternehmensgründung.

Seit Projektbeginn wurden an der Universität Stuttgart 134 kostenfreie Check-in-Gespräche geführt und es sind schon 55 Ausgründungen erfolgt.

All das zeigt: Die Universität Stuttgart vereint Unternehmertum in Lehre und Praxis, fördert gezielt Innovation und hat sich zu einem bedeutsamen Standortfaktor für Unternehmertum entwickelt. Damit birgt sie auch in Zukunft großes Potential, nicht nur für Wissens- und Technologietransfer, sondern auch um die Gesellschaft zu stärken.

Autor*innen: Univ.-Prof. Dr. Katharina Hölzle, MBA; Univ.-Prof. Dr. Alexander Brem

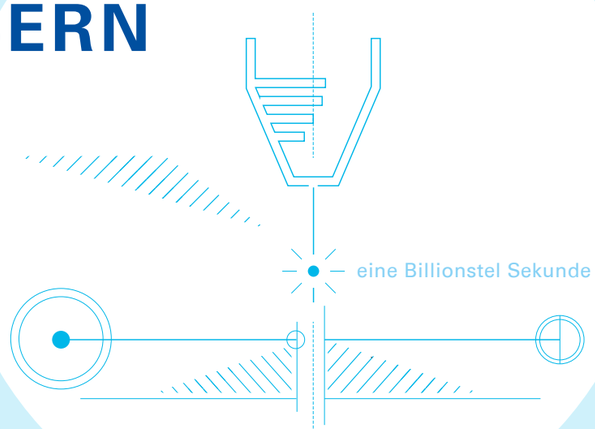
Startup Campus 0711

Ansprechpartner
Univ.-Prof. Dr. Katharina Hölzle, MBA
katharina.hoelzle@iat.uni-stuttgart.de

Univ.-Prof. Dr. Alexander Brem
alexander.brem@eni.uni-stuttgart.de

LIGHTPULSE

MIKROBEARBEITUNG MIT ULTRAKURZPULS-LASERN



LightPulse LASER PRECISION ist eine Ausgründung des Instituts für Strahlwerkzeuge und wurde im Jahr 2019 mit einem EXIST Gründerstipendium gefördert. Die Unternehmung bietet seinen Kunden die Materialbearbeitung mit Ultrakurzpuls-Lasern an und ermöglicht so innovative Fertigung im Mikrometer-Bereich.

Bei ultrakurz gepulster Laserstrahlung wird die Energie in Lichtpulsen mit einer Dauer von ca. einer Billionstel Sekunde konzentriert. Die damit mögliche extrem schnelle und räumlich sehr präzise Energieeinbringung erlaubt es, Werkstücke mit Mikrometerpräzision und praktisch ohne unerwünschte Schädigung zu strukturieren, zu bohren, zu schneiden oder zu modifizieren. Die Mikrobearbeitung mit dem Ultrakurzpuls-Laser erlaubt Innovationen in einer Vielzahl von Branchen. Beispielsweise können kleinste und speziell geformte Bohrlöcher in Spinndüsen hergestellt werden, mit denen neuartige Fasern gezogen werden können.

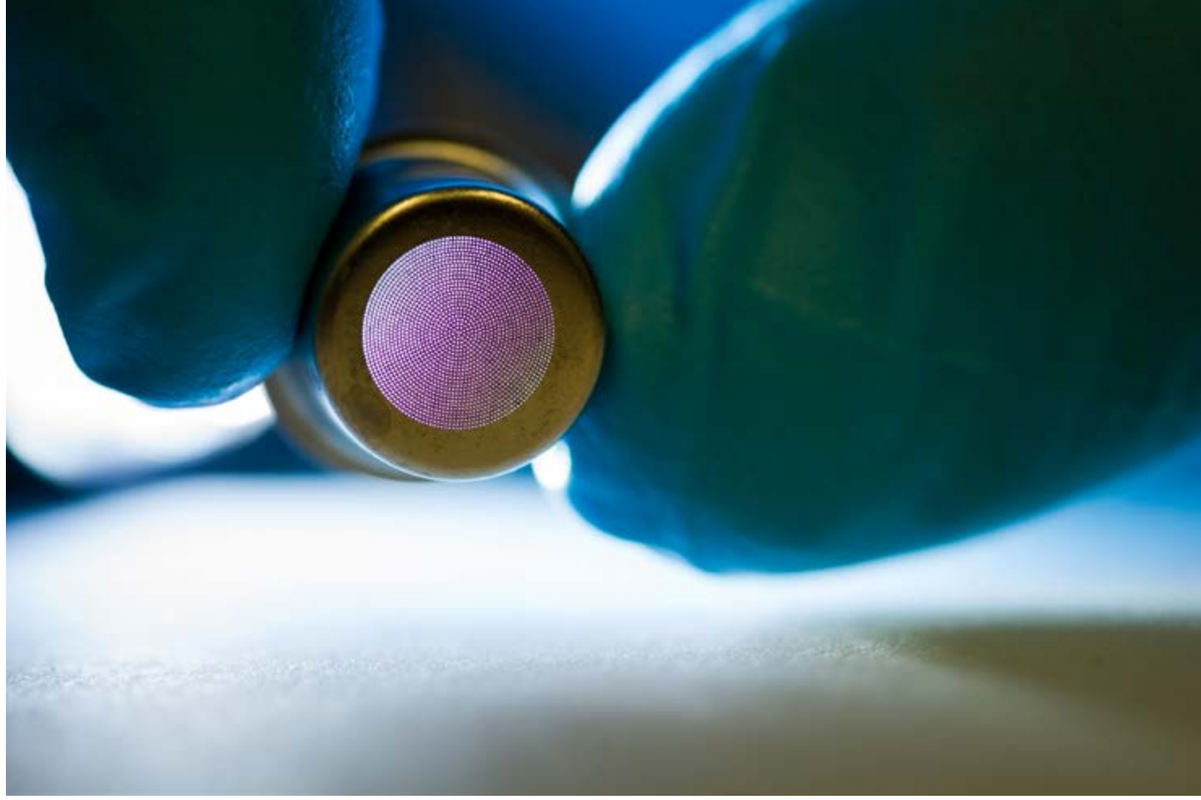


Foto: LightPulse

Die Herausforderungen bei der Anwendung dieser Fertigungstechnologie sind der hohe Investitionsaufwand für Mikrobearbeitungsanlagen mit Ultrakurzpuls-Lasern und die Komplexität des Parameterfelds, welche die Prozesseinstellung schwierig gestaltet und Expertenwissen erfordert. Um diese Herausforderungen für die Kunden zu überwinden, bietet LightPulse eine Kombination aus Prozessentwicklung und Auftragsfertigung an. Bei der Prozessentwicklung wird der Bearbeitungsprozess optimal an die Kundenanforderungen angepasst und Prototypen gefertigt. Durch diese Zusammenarbeit werden neue, innovative Produkte realisiert. Im Rahmen der Auftragsfertigung wird die Einzel-, Klein- und Mittelserienfertigung im Kundenauftrag übernommen. Durch die Bündelung mehrerer Aufträge kann LightPulse wirtschaftlich fertigen.

Dank des EXIST Gründerstipendiums konnte das Team seine Aktivitäten anfänglich auf den Bearbeitungsanlagen des Instituts für Strahlwerkzeuge (IFSW) durchführen. So konnte ein erstes Portfolio an Bearbeitungsprozessen aufgebaut und erste Kundenaufträge bearbeitet werden. Parallel dazu wurde eine Marketing- und Vertriebsstrategie erarbeitet, was weiteres Wachstum ermöglichte. Mittlerweile fertigt das Team von LightPulse auf eigenem Equipment und hat bereits zahlreiche Kundenprojekte erfolgreich abgeschlossen.

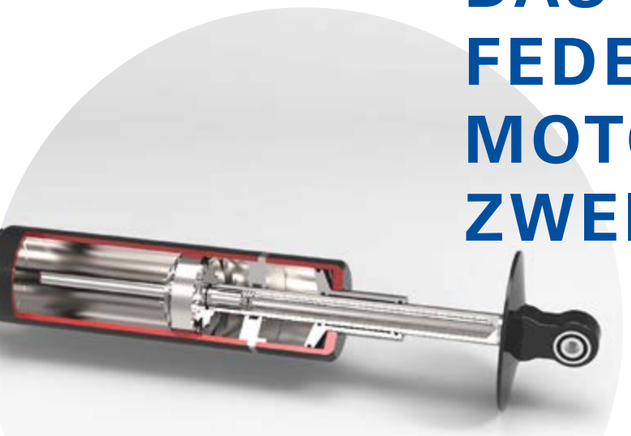
Autoren: Dr.-Ing. Christian Freitag, Daniel Förster

Light-Pulse

Ansprechpartner
Dr.-Ing. Christian Freitag, Daniel Förster
info@lightpulse.de

AEROFLEX

DAS ADAPTIVE FEDERBEIN FÜR MOTORISIERTE ZWEIRÄDER



„Ich habe dual studiert und mich schon immer dafür interessiert, etwas Eigenes zu machen, aber ich wusste nicht was. Als Dominik mich anrief und mich fragte, ob ich mit ihm an seiner Idee arbeiten möchte, konnte ich nicht nein sagen. Es war einfach das perfekte Match: Die Infrastruktur über die Universität Stuttgart, die Förderung über EXIST und die Qualifikationen im Team passen einfach zusammen“ erzählt Lennart.

Das EXIST-Projektteam, bestehend aus Dominik Decker, Lennart Rackwitz und Christoph Ruge, arbeitet seit März 2022 am Institut für Maschinenelemente (IMA) der Universität Stuttgart an einer Lösung für ein praktisches Problem: Das Fahrverhalten von Motorrädern verändert sich aufgrund ihres geringen Eigengewichts mit veränderter Zuladung enorm. Steigende Beladung führt zu einem veränderten Schwingverhalten des Aufbaus, welches sich physiologisch negativ auswirkt, sodass das Fahren unkomfortabel empfunden wird. Das kann sich hin zu einem Gefühl von Seekrankheit und Desorientierung steigern und somit zum Sicherheitsrisiko werden.

„Als Gründer muss man Lust am Ausprobieren haben und den Weg ins Ungewisse annehmen. Wir glauben an unser Konzept und haben mit EXIST am IMA perfekte Rahmenbedingungen, um es wirklich zu schaffen.

Diese Herausforderung löst das AeroFlex-Federbein durch seine adaptive Federrate. Dazu kombiniert das Team die herkömmliche Stahlfeder mit einer pneumatischen Feder, die sich aus den Aufbaubewegungen speist. Bis zu 200 bar muss die Pumpe bereitstellen, um die Federrate anpassen zu können. Dadurch fährt sich das Motorrad ruhiger und behält seine Bodenfreiheit.

Durch die Einfachheit des Konzepts wollen die Gründer die Vorzüge des Federbeins auch für günstige Zweiräder zugänglich machen. „Wir denken auch an Rollerfahrer in der Stadt, die wesentlich häufiger selbstverschuldet stürzen als Motorradfahrer“, sagt Christoph, der für das Marketing des AeroFlex verantwortlich ist. Er stieg nach dem Studium ein, Lennart und Dominik kündigten ihre Jobs in der Industrie für das Projekt. Die Universität Stuttgart mit dem ‚Stuttgarter Weg‘ als Leitgedanke der vernetzten Disziplinen, erweist sich hierbei als starker Partner. Das IMA steht dem Team fachlich mit Rat und Tat zu Seite. Darüber hinaus sind dessen Werkstätten, Prüfstände und Büros die aktuelle Heimat des Projekts geworden und verfügen über alle Ressourcen, die sich die drei wünschen können.

Die Zuladung eines Motorrads kann modellabhängig insbesondere bei langen Ausfahrten mit viel Gepäck oder im Soziusbetrieb bis zu 50 % des zulässigen Gesamtgewichts ausmachen. Mit dem Zusatzgewicht verändern sich die statische Gleichgewichtslage des Motorrads, die verfügbaren Positiv- und Negativfederwege und die Aufbaueigenfrequenz. Dies führt zu fehlenden Federwegreserven, die sich insbesondere bei Notbremsmanövern oder Fahrten auf Schlechtwegstrecken bemerkbar machen und so das Sturzrisiko erhöhen.

Als herkömmliche Lösung zur Anpassung des Fahrwerks können vor dem Fahrtantritt manuell Anpassungen an Druck- und Zugstufe des Stoßdämpfers vorgenommen werden. Dies wird in der Praxis allerdings nur selten so umgesetzt, weshalb viele Motorradfahrer mit einem nicht optimal eingestellten Fahrwerk und damit unsicher, unterwegs sind.

Ziel des Exist-Projekts ist, einen Stoßdämpfer zu entwickeln, der durch eine veränderliche Federsteifigkeit die statische Gleichgewichtslage und die Aufbaueigenfrequenz konstant hält, um ein berechenbares und sicheres Fahrverhalten zu gewährleisten.

Autoren: Lennart Rackwitz, Dominik Decker, Christoph Ruge

Aeroflex auf dem Sprung

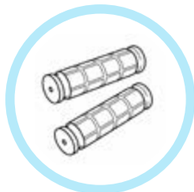
Ansprechpartner
Dr.-Ing. Martin Dazer
martin.dazer@ima.uni-stuttgart.de

Fotos: IMA

PERSONOMIC
ZEIGT WIE AUSGRÜNDEN GEHT!

Das stundenlange Studieren vor dem eigenen Rechner war zugleich die Geburtsstunde der Idee des Startups. Bei Personomic Mitgründer Paul Eichinger war das ständige Bedienen der zu kleinen Computermaus mit seinen großen Händen das anfängliche Problem, das gelöst werden sollte.

Mit dem 3D-Drucker und 3D-Scanner entstanden die ersten Prototypen einer personalisierten Computermaus, die auch seinen Professor begeisterten. Professor Riedel betreibt als Leiter des Institut für Steuerungstechnik der Werkzeugmaschinen und Fertigungseinrichtungen (ISW) selbst Forschung im Bereich Mass Personalization, wie viele weitere Institute des Stuttgarter Maschinenbaus. So betreute er die Masterarbeit mit dem Thema der personalisierten Computermaus am Institut. In der Masterarbeit entstand eine Prozesskette für die Personalisierung von Produkten für die Hand, die auch für weitere Produkte wie Fahrradgriffe angewendet werden kann. Die Masterarbeit war die Voraussetzung für die Bewerbung des EXIST-Gründerstipendiums, mit der Paul Eichinger sich zusammen mit Andreas Schulz und Christian Renninger erfolgreich bewarb. Durch das Stipendium waren die Sachmittel und die drei Gehälter für ein Jahr finanziert.



Fotos: Personomic

Noch vor dem Stipendium entschied sich das Team den personalisierten Fahrradgriff zur Marktreife zu entwickeln. Nach 6 Monaten Stipendium starteten sie mit dem Produkt eine Crowdfunding Kampagne – ein voller Erfolg. Innerhalb eines Monats sammelten sie Vorbestellungen für personalisierte Fahrradgriffe im Wert von über 70.000 Euro ein.

Inzwischen hat das Startup die Zusage für eine weitere Förderung vom Land Baden-Württemberg erhalten. Pre-Seed BW ist ein Förderinstrument für innovative Startups in einer frühen Phase. Mit der Förderung soll die Produktion in Stuttgart skaliert und weitere Produkte im Fahrradbereich entwickelt werden.

Autor: Paul Eichinger

Zum Greifen nah

Ansprechpartner
Paul Eichinger, M.Sc.
paul@personomic.de

DIE BESONDERE VORLESUNG

ETHIK IN DER MEDIZINTECHNIK

Foto: IMT, Max Schäfer

Medizintechnik ist Technik für Menschen. Daher gibt es auch gesellschaftliche Aspekte, die uns Ingenieurinnen und Ingenieure betreffen. Die neue Vorlesung ‚Ethik in der Medizintechnik' befasst sich mit der Situation aus verschiedenen Blickwinkeln und erlaubt neue und persönliche Erkenntnisse.

Medizintechnik in Stuttgart

Medizintechnik – das ist Technik für den Menschen. Technik für den Menschen, das sind Endoskope, Herzschrittmacher, Hüftimplantate, aber auch Röntgengeräte oder EKGs – und vieles mehr. Dies bedeutet, dass technische, aber auch den Menschen betreffende Aspekte in diesem Fach von vorne herein eine große Rolle spielen. Seit dem Jahr 2010 gibt es in Stuttgart den Bachelorstudiengang Medizintechnik. Gemeinsam mit der Universität Tübingen wird dieser als interuniversitärer Studiengang durchgeführt. Dieses seinerzeit erste Modell einer solchen direkten Zusammenarbeit berücksichtigt auf besondere Weise den interdisziplinären Charakter der Medizintechnik: konkrete Anwendungen von Technik für die Medizin. Das heißt auch, dass die medizinisch-naturwissenschaftlichen Inhalte aus Tübingen und die ingenieurtechnischen Inhalte aus Stuttgart sich vorteilhaft ergänzen und den Studierenden klar wird, wie viele Schnittstellen der Technik zu Menschen existieren. Dies hat zur Folge, dass Technik auf ihren Anwendungszweck und -ort angepasst sein muss und vice versa Technik auch Auswirkungen auf Menschen und die Gesellschaft haben kann.

Inhalte des Studiums sind klassische ingenieurwissenschaftlichen Themen wie die Höhere Mathematik, die Technische Mechanik oder die Konstruktionslehre und klassische medizinische Themen wie Anatomie, Physiologie, Physik und Chemie und Querschnittsthemen wie die Biomechanik, die Implantologie oder die Optik. Die Studierenden erfahren, dass sich ein Großteil der Aktivitäten bei der Entwicklung von Medizintechnik um die Schnittstellen zum und die Wirkung auf den Menschen dreht: Patient*innen, Anwender*innen, klinische Erprobung, Workflow und Technikfolgenabschätzung.

Der konsekutive Masterstudiengang Medizintechnik in Stuttgart und die zwei Masterprogramme Biomedical Technologies und Medizinische Strahlenwissenschaften in Tübingen zielen auf die verschiedenen Aufgaben, die die Absolvent*innen nachher übernehmen können: Entwickeln und Testen, Regulatorik, Strahlenschutz, Schulen und Ausbilden, Forschen oder Beraten. Es wird immer wieder klar: Am Ende geht es um Menschen. Und es wird auch klar: Ohne den Menschen als solchen und mit all seinen Bedürfnissen und Interessen zu berücksichtigen, kann es keine echte Medizintechnik geben.

Initiative der Studierenden

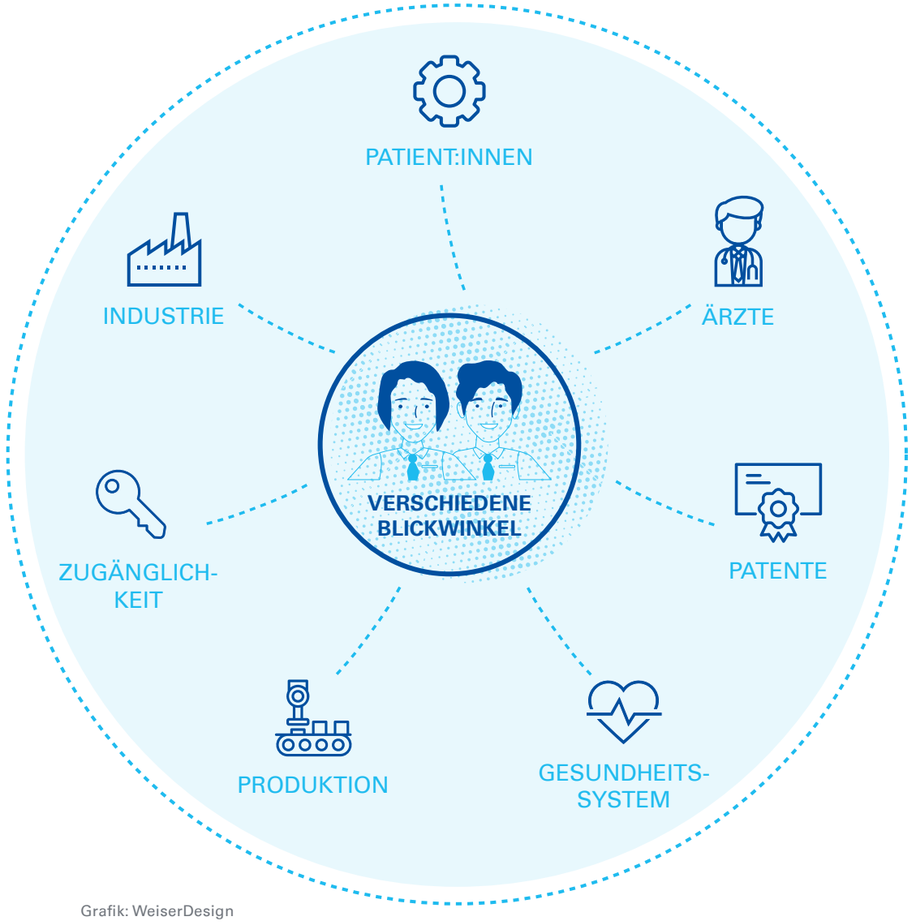
Die ethischen Aspekte der Medizintechnik im Studium in einer eigenen Vorlesung zu behandeln, geht auf eine Initiative der interuniversitären Fachschaft Medizintechnik zurück, die diese Idee nach einem Fachschaftentag auf den Tisch brachte. Es wurden Lernziele und Inhalte skizziert und insbesondere die verschiedenen Blickwinkel auf das Thema definiert: Interessen der Patient*innen, wirtschaftliche Interessen der Industrie, der Wunsch, möglichst gut helfen zu können der Ärzt*innen, Interessen des Gesundheitssystems, Patente, Zugänglichkeit, Produktion – und dies nicht nur in Deutschland oder Europa, sondern weltweit.

Die Initiative der Studierenden fiel auf fruchtbaren Boden. Mit den Professoren Günter Tovar (Institut für Grenzflächenverfahrenstechnik und Plasmatechnologie), Giorgio Cattaneo (Institut für Biomedizinische Technik) und Peter P. Pott (Institut für Medizingerätetechnik) fand sich ein Team aus einem Chemiker und zwei Maschinenbauingenieuren zusammen, das gemeinsam die Suche nach möglichen konkreten Themen und qualifizierten Dozent*innen aufnahm. In mehreren Treffen mit der Fachschaft wurden die Inhalte ausgearbeitet und Personen identifiziert, mit deren Hilfe und Input eine Ringvorlesung gestaltet wurde, die von den Masterstudierenden als fachaffine Schlüsselqualifikation belegt werden kann.

Viele verschiedene Blickwinkel

Heute sind es zehn Dozentinnen und Dozenten, die die unterschiedlichen Aspekte des menschlichen Handelns in der Medizintechnik aus ihren Blickwinkeln erläutern und beschreiben. Eine interaktive und ausgesprochen kommunikative Einführungsveranstaltung erlaubt es allen Beteiligten – nicht nur den Studierenden, denn die Dozierenden sind explizit auch dabei – ihre Ideen und Gedanken zum Ausdruck zu bringen. Überhaupt ist die Veranstaltung alles andere als nur frontal: Jeder Vortrag wird von einer Gruppe Studierender mit der jeweiligen Dozentin oder dem Dozenten gemeinsam vorbereitet. In einem Gespräch werden vorab Fragen erörtert, damit im Anschluss an den eigentlichen Vortrag im Saal eine fundierte Diskussion starten kann. Diese Runden sind am Ende überaus erfolgreich und effektiv: Es kommt regelmäßig zum Überziehen der vorgesehenen 90 Minuten.

Die Inhalte der Veranstaltung sind zunächst theoretischer Natur. Die Grundlagen der Betrachtung menschlichen Handelns durch den Philosophen Dr. Hauke Behrendt (Institut für Philosophie) stimmen auf das Semester ein. Ebenfalls aus der Philosophie kommend beschreibt Jun. Prof. Dr. Amrei Bahr (Institut für Philosophie) das Feld der ethischen Dilemmata, deren Betrachtung auch für Entscheidungen, die von technischen Systemen in der Medizintechnik getroffen werden könnten – oder können – von besonderer Wichtigkeit sind. So gibt dann Prof. Dr. Steffen Staab (Institut für parallele und verteilte Systeme) einen Überblick über die Methoden der Künstlichen Intelligenz und des Maschinellen Lernens. Den Blick von außen gibt Thomas Kutschenreiter von



Grafik: WeiserDesign

der Firma Regular Services GbR, der das Thema Compliance beleuchtet: das ‚richtige' Handeln im Unternehmen. Beispielsweise der Code of Conduct oder der Umgang mit persönlichen Vorteilen. Ähnlich konkret sind die Ausführungen von Dr. Thomas Betten (Institut für Akustik und Bauphysik), der das Thema Produktion und Produktionsstandards aufbereitet, denn nicht nur Smartphones, sondern auch medizinische Geräte werden zum Teil in Ländern mit geringen Arbeitnehmerrechten hergestellt. Auch diskutiert er die Frage, dass in manchen Fällen Menschen Medizingeräte produzieren, die sie sich selbst nie werden leisten können. Prof. Dr. Giorgio Cattaneo (Institut für Biomedizinische Technik) beschreibt die Zusammenhänge und Interessenskonflikte von Innovation, Patenten und unternehmerischem Handeln und dem Patientennutzen auf so anschauliche Weise, dass sich die anschließende Diskussion mit den Zuhörerinnen und Zuhörern eindrucksvoll ins Gedächtnis prägt.

Auch wenn die Anwesenden lernen müssen, dass es eigentlich kein ‚Kochrezept' des ethisch richtigen Handelns gibt, zeigen Dr. Filiz Ates (Institut für Statik und Dynamik der Luft- und Raumfahrtkonstruktionen) und PD Dr. Urs Schneider (Institut für industrielle Fertigung und Fabrikbetrieb und Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik und Automatisierung) bei ihren Beschreibungen der Ethikkommission und deren Arbeitsweise bzw. der Gestaltung klinischer Studien eindrücklich, was bei der Entwicklung von Medizinprodukten seitens der Hersteller in jedem Fall beachtet und getan werden muss. Zwei integrierte Praxiseinheiten von Prof. Dr. Peter P. Pott (Institut für Medizingerätetechnik) zu den Themen ‚Ethikantrag' und ‚klinische Studie' ermöglichen es den Zuhörerinnen und Zuhörern, selbst in die Rolle eines Entwicklungsteams zu schlüpfen, eine Studie zu gestalten und deren Genehmigung zu beantragen.

Was es uns bedeutet

Das Studium der Ingenieurwissenschaften – und zu diesen zählt die Medizintechnik – zeigt in vielen Fällen einen richtigen, im Sinne von ‚bewährten', Handlungsweg auf, um technische Probleme anzugehen und zu lösen. Die Technische Mechanik benutzt beispielsweise anerkannte Rechenwege, die Festigkeitslehre schreibt die Verwendung bestimmter Formeln vor. Wir haben uns daran gewöhnt, dass es zumindest in Standard-Situationen oder für Standard-Probleme etablierte, bewährte oder sogar genormte Standard-Lösungen gibt. In der Vorlesung ‚Ethik in der Medizintechnik' wird allen Beteiligten deutlich, dass es für das menschliche Handeln und die menschliche Ebene des Handelns solche Standard-Lösungen nicht gibt und dass im Zweifelsfall die Einzelne, der Einzelne, ganz allein für sich selbst entscheiden muss, was in einer spezifischen Situation richtig und was falsch ist. Wir bezeichnen diesen Zustand auch als Freiheit, da uns niemand ein bestimmtes Handeln vorschreibt. Persönliche Wertesysteme spielen dann eine große Rolle, um das richtige Handeln zu definieren. Diese Wertesysteme sind oftmals philosophisch oder religiös geprägt, allerdings existiert in unserer Gesellschaft heute nicht (mehr) unbedingt überall ein Konsens diesbezüglich. Es wird daher klar, dass Verantwortung nicht abgegeben werden kann und dass es manchmal niemanden gibt, von dem sich das ‚richtige' Handeln erfragen lässt. Mithin ist es diese Verantwortung, die zu unserer persönlichen Freiheit gehört, die uns Kopfzerbrechen bereiten kann. Die ‚Ethik in der Medizintechnik' möchte und kann keine ethischen Fragen beantworten, aber zum Nachdenken darüber anregen und den eigenen Gedanken Struktur geben.

Somit ist es das, was am Ende alle mit nach Hause nehmen: Als Ingenieurinnen und Ingenieure müssen wir nicht nur planen, ‚hirnen', rechnen oder methodisch Probleme lösen, sondern auch darüber nachdenken, ob das, was wir tun, auch den Sinn und Nutzen hat, den wir uns – aber auch der Gesellschaft – versprechen und darüber im Dialog bleiben.

Autor*innen: Prof. Dr. rer. nat. habil. Peter P. Pott, Juliane Mayer, M.Sc.
Lektorat: Dipl.-Ing. Christine Costa

Foto: Ludmilla Parsyak

Flipped Classroom – wörtlich ‚umgedrehter Unterricht' – ist eine integrierte Unterrichts- oder Lehrmethode. Hier werden Lehrinhalte durch die Studierenden zu Hause erarbeitet und dann im Saal und vor der Gruppe angewendet.

Klassischer Unterricht wird in der Institution durch die Lehrenden gelenkt und geformt. Anwendung und Einübung finden zu Hause statt. Beim Flipped Classroom wird den Studierenden Material für die eigentliche Stoffvermittlung zu Hause zur Verfügung gestellt und die Einübung bzw. Anwendung erfolgt im Nachgang in der Lehreinrichtung.

Für die Ethik in der Medizintechnik wird das Konzept leicht variiert angewendet: Eine Kleingruppe von Studierenden bespricht Inhalte und mögliche Diskussionspunkte mit den Dozierenden und leitet dann im Anschluss an den Vortrag im Saal die Diskussion in der Gesamtgruppe.

Mehr zur Vorlesung

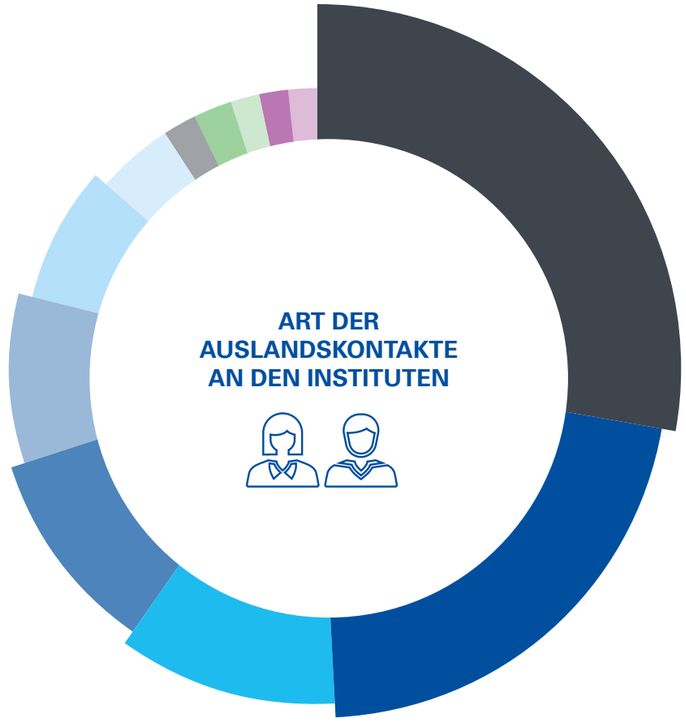
Ansprechpartner
Prof. Dr. rer. nat. habil. Peter Pott
peter.pott@imt.uni-stuttgart.de

GASTBEITRAG INTER-NATIONALISIERUNG

Internationalisierung spielt im Stuttgarter Maschinenbau eine große Rolle. Zahlreiche internationale Kooperationspartner in Forschung und Lehre tragen zur Profilbildung der Universität bei. Die weltweite Vernetzung führt zu vielfältigen Formen von internationalen Kooperationen und spannenden Projekten.

Foto: Universität Stuttgart

Den Erfolg der internationalen Aktivitäten bestätigt das Global Ranking of Academic Subjects (GRAS) 2022, bei dem die Universität Stuttgart insbesondere in den Ingenieurwissenschaften sehr gut abschneidet. Im Fach Maschinenbau erreichte die Universität Stuttgart im bundesweiten Vergleich den Platz 1 (gemeinsam mit der RWTH Aachen). Der Stuttgarter Maschinenbau punktet bei den Indikatoren ‚Internationale akademische Auszeichnungen', ‚Forschungsqualität' sowie ‚Forschungsleistung'.



- Studierendenaustausch
- Gemeinsame Projekte
- Praktika für Studierende
- Gemeinsame Publikationen
- Austausch von Doktoranden
- Zusammenarbeit in der Forschung
- Forschungsaufenthalte
- DeCair Erasmus + Projekt
- Wissenschaftliche Kooperation
- Gemeinsam betreute Promotionen
- Double Degree
- Gemeinsames EU-Forschungsprojekt

Dieses Jahr hat der Stuttgarter Maschinenbau den International Service Point (ISP) eingerichtet, der seit 1. März 2022 den weiteren Ausbau der Internationalisierung koordiniert. Der ISP ergänzt die vielfältigen Angebote des Dezernats Internationales der Universität Stuttgart um eine fachbereichsnahe Anlaufstelle für die hiesigen und internationalen Studierenden der Fakultäten 4 und 7 zu den Themen ‚Internationales' und ‚Auslandsaufenthalte'.

Die internationale Vernetzung und die Sichtbarkeit des Stuttgarter Maschinenbaus werden insbesondere durch kooperative Forschungsprogramme weiter gestärkt. Der hierfür erforderliche Austausch ist an den einzelnen Instituten angesiedelt. Alle 42 Institute der Fakultäten 4 und 7 pflegen internationale Kontakte und gestalten unterschiedliche Formen internationaler Kooperationen. Eine besonders innovative Kooperationsform verfolgt z.B. Prof. Oliver Riedel, Leiter des Instituts für Steuerungstechnik der Werkzeugmaschinen und Fertigungseinrichtungen (ISW): „Beim ‚Shadow Teaching' sind zwei Professoren gleichzeitig im Hörsaal anwesend und können sich gegenseitig ‚vertreten'. In unserem speziellen Fall war Frau Professoressa Mariangela Quarto von der Universität Bergamo in meiner Vorlesung ‚Produktionstechnische Informationstechnologie' zu Gast und hat einige Vorlesungen übernommen. Die Besonderheit lag auch darin, dass sie in Englisch vorgetragen hat und ich in Deutsch. Den umgekehrten Fall haben wir mit meiner Vorlesung ‚IT Architectures in Production', die auch in Bergamo läuft, in Vorbereitung." Das langfristige Ziel hierbei ist die Erschaffung eines Mechatronik-Doppelabschlusses mit der Universität Bergamo: „Dafür sehen wir das Shadow Teaching als gute Vorbereitung und die Möglichkeit, sehr früh Feedback von den Studierenden zu erhalten. Die ersten Erfahrungen sind sehr gut und es ist spannend zu sehen, wie die Studierenden auf das Angebot reagieren."

Eine wichtige Säule der Internationalisierung der Lehre stellt die Mobilität dar: Studierende des Stuttgarter Maschinenbaus haben zahlreiche Möglichkeiten, während ihres Studiums ins Ausland zu gehen. Dies gehört heutzutage in den meisten Berufen zu den gegebenen Anforderungen und Sprachkenntnisse öffnen viele Türen. Studierende mit dem Wunsch eines Auslandsaufenthalts haben die Wahl zwischen Austauschprogrammen mit Partnerhochschulen, selbstorganisierten Aufenthalten z.B. für Abschlussarbeiten, Kurzzeitprogrammen wie Summer Schools oder auch weltweiten Auslandspraktika.

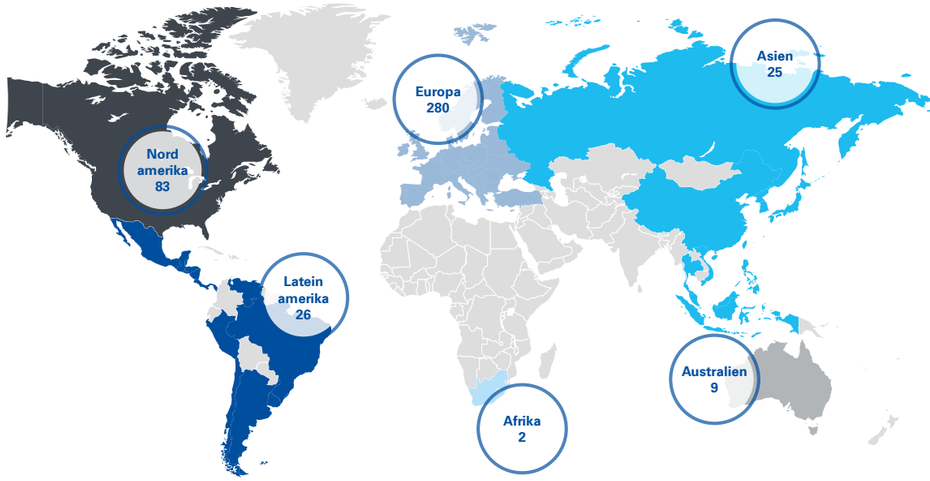
Foto: Adobe Stock, Gorodenkoff

Besonders spannend ist ein Masterstudium im Ausland: Im Rahmen von Doppelmasterprogrammen haben die Studierenden die Möglichkeit, interkulturelle Erfahrungen im Rahmen eines abgestimmten Studienangebots zu machen. Sie verbringen zunächst zwei Semester in Stuttgart und anschließend zwei Semester an der Partneruniversität – inklusive Masterarbeit und Praktikum. Die Gemeinsame Kommission Maschinenbau (GKM) bietet insgesamt elf Doppelmasterprogramme an. Eine Besonderheit ist der an der Universität Stuttgart einzigartige Joint Degree ‚Mechanical Engineering / Maschinenbau', ein eigenständiger Master-Studiengang gemeinsam mit dem Georgia Institute of Technology in Atlanta. Das Georgia Tech gilt als eine der besten technischen Hochschulen der USA und pflegt seit 1949 eine Partnerschaft mit der Universität Stuttgart. Prof. Oliver Sawodny, Leiter des Instituts für Systemdynamik (ISYS) sowie Initiator des Joint Degrees, sagt: „Der Joint Degree wird getragen von der Zusammenarbeit zweier hochrangiger Maschinenbau-Institutionen mit hervorragender internationaler Reputation. Die Studierenden erhalten einen gemeinsamen Abschluss beider Universitäten. Das Programm richtet sich an qualifizierte Studierende mit einem Bachelor-Abschluss in einem Studiengang der GKM und es sind nur 5 Studienplätze pro Jahr verfügbar."

Internationalität in Lehre und Studium setzt auch bei der Internationalisierung vor Ort an, z.B. mit englischsprachigen Studiengängen. Einen solchen Masterstudiengang bietet die Fakultät Energie-, Verfahrens- und Biotechnik an. Mit 97 % ausländischen und 3 % deutschen Studierenden beweist dieser unsere internationale Attraktivität. Die Studiengangsmanagerin Dr.-Ing. Carolina Acuña Caro erklärt: „Unser internationaler Masterstudiengang ‚Air Quality Control, Solid Waste and Waste Water Process Engineering' (WASTE) bietet eine gute Mischung aus Umweltschutz- und Verfahrenstechnik. Unsere Studierenden erwerben die theoretischen Grundlagen und Kenntnisse

Foto: Universität Stuttgart
Grafiken: WeiserDesign

Anzahl der Partnerhochschulen in den jeweiligen Ländern/Kontinenten



der ‚State-of-the-art' Umwelt- und Prozesstechnologien, sodass sie kreative Lösungen für Umweltherausforderungen entwickeln können. Darüber hinaus haben sie die Möglichkeit, sich für den Doppelmaster ‚M.Sc. WASTE/M.Sc. MAUI' mit der Universidade Federal do Paraná in Curitiba, Brasilien, zu entscheiden."

Als zentrale Stelle für alle entsprechenden Informationen berät das Dezernat Internationales der Universität Stuttgart alle Studierenden, die einen Auslandsaufenthalt planen; es betreut und unterstützt internationale Studierende, Doktorand*innen und Gastwissenschaftler*innen rund um ihren Aufenthalt bei uns und bietet zudem studienvorbereitende Deutschkurse an. Im Wintersemester 2021/22 verzeichnete die Universität Stuttgart 5.140 internationale Studierende sowie weltweit 425 Partnerhochschulen.

Alle Angehörigen des Stuttgarter Maschinenbaus können von diesen vielfältigen internationalen Kooperationen profitieren und den Arbeitsalltag in Studium und Forschung um einzigartige persönliche Erfahrungen bereichern.

Autorinnen: Esmeralda Compagna, M.A. und Marion Höcke

International Service Point

Ansprechpartner
Esmeralda Compagna, M.A.
esmeralda.compagna@f07.uni-stuttgart.de

Marion Höcke
hoecke@ia.uni-stuttgart.de

HIGHLIGHTS

Foto: IFS

Foto: IntCDC, Universität Stuttgart, Christoph Zechmeister

Roboterplattform zur Vorfertigung von Bauteilen

Als Teil des Exzellenzclusters ‚Integrative Computational Design and Construction for Architecture' (IntCDC) entwickelt das ISW mit den Partnern ICD und VISUS eine neuartige Roboterplattform zur Vorfertigung von Bauteilen für den Holzbau. Die transportierbaren Robotermodule ermöglichen die projektspezifische Rekonfiguration der Anlage sowie die lokale, baustellennahe Fertigung. Die Forschungsinhalte des ISWs umfassen unter anderem die Entwicklung einer rekonfigurierbaren Steuerung sowie die Simulation und das Co-Design Integration des Robotersystems in den computerbasierten Entwurfsprozess aus der Architektur. Das Robotersystem soll das Bauen in Zukunft nachhaltiger und effizienter machen.

HIGH-LIGHTS

Auszüge aus vielfältigen Projekten

WAVE-H2 – Wasserstoff für mehr Industrieanwendungen

Wasserstofftechnologie ist ein wesentlicher Baustein zur Lösung unseres globalen Klimaproblems. Das Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) fördert nun eine ‚Wandlungsfähige, energieflexible und vernetzte H2-Industrieforschungsplattform (WAVE-H2), die die Institute für Energieeffizienz in der Produktion (EEP) und für Photovoltaik (IPV) der Universität Stuttgart aufbauen. 36 Millionen Euro sollen über drei Jahre in die Plattform fließen. Mit der Plattform entsteht eine wasserstoffbasierte Innovationspipeline für eine große Bandbreite industrieller Anwendungen, welche die Dekarbonisierung des Industriesektors weiter vorantreibt. Sie ist darüber hinaus auch ein Katalysator für Technologieentwicklung und Personalausbildung. Die H2-Industrieforschungsplattform wird im industriellen Maßstab aufgebaut und betrieben. So können Firmen ihre Prozesse umrüsten und dort testen. Durch die variable Nutzung der unterschiedlichen Technologien lässt sich so die ideale Wasserstoffwertschöpfungskette für unterschiedliche Industrieanwendungen erproben.

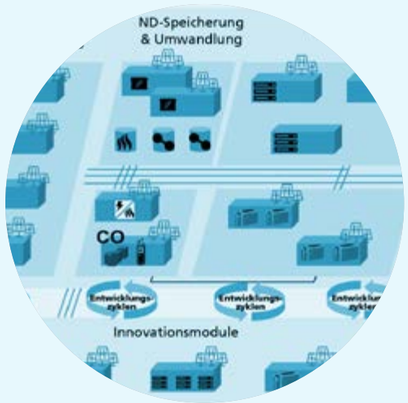


Foto: EEP

2021 European Systems & Control PhD Thesis Award

Dr. Johannes Köhler wurde für seine am Institut für Systemtheorie und Regelungstechnik (IST) angefertigte Doktorarbeit ‚Analysis and design of MPC frameworks for dynamic operation of nonlinear constrained systems' mit dem 2021 European Systems & Control PhD Thesis Award ausgezeichnet. Der Preis wurde Herrn Dr. Köhler im Rahmen der European Control Conference 2022 übergeben. Mit diesem jährlich vergebenen Preis zeichnet das European Embedded Control Institute seit 2006 die europaweit beste Dissertation auf dem Gebiet der System- und Regelungstechnik aus. Der Preis ging dieses Jahr bereits zum vierten Mal an einen ehemaligen Doktoranden von Prof. Frank Allgöwer. Damit ist die Universität Stuttgart die einzige europäische Forschungsinstitution, die den Preis mehr als zwei Mal gewinnen konnte. Die Fakultäten des Stuttgarter Maschinenbaus gratulieren Herrn Dr. Köhler und dem Institut zu dieser hochrangigen Auszeichnung.

Foto: IST

Mikrowellenabsorberschichten für den Einsatz in Fusionsreaktoren

Fusionsreaktoren nutzen zum Zünden und Heizen des Plasmas leistungsstarke Mikrowellenquellen. Diese Gyrotrons arbeiten im Bereich von 100 - 200 GHz und einer Leistung von bis zu 2 MW/qm². Viele Anlagenteile, wie z.B. diagnostische Apparaturen oder Kryopumpen, müssen dabei vor der immanenten Streustrahlung geschützt werden. Dabei kommen gekühlte Schutzschilde mit keramischen Absorberschichten zum Einsatz, welche möglichst schnell einen großen Anteil der Strahlung absorbieren und in Wärme umwandeln, welche dann über ein Kühlmedium abgeführt wird. Das Institut für Fertigungstechnologie für keramische Bauteile entwickelt solche Schichten in Zusammenarbeit mit dem Institut für Grenzflächenverfahrenstechnik und Plasmatechnologie (IGVP).

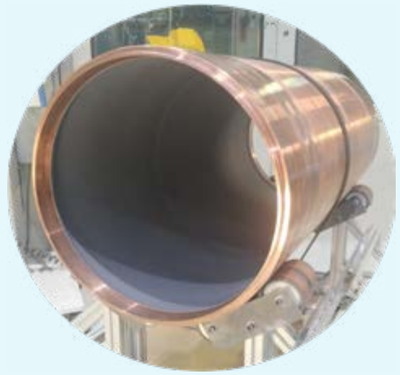


Foto: IFKB

Foto: IMT, Regine Rausch

3D-Rekonstruktion von Venenbäumen

Mithilfe zweier Infrarot-Kameras wird ein Stereo-Bild des Unterarms aufgenommen. Verschiedene Methoden werden eingesetzt, um aus den Bildern zunächst den Venenbaum zu extrahieren und dann mithilfe von KI-Algorithmen ein 3D-Modell zu erstellen. Die Software ist auf einem Raspberry 4 implementiert und erlaubt den Aufbau eines Low-Cost-Systems. Das Projekt ist Teil der Initiative ‚Automatisierte Blutentnahme' am Institut für Medizingerätetechnik (IMT).

Foto: IFT

Translation biointelligenter Ansätze in die technische Logistik

Biointelligenz am Institut für Fördertechnik und Logistik (IFT) und der Universität Stuttgart. In einem vom baden-württembergischen Ministerium für Wissenschaft, Forschung und Kunst (MWK Ba-Wü) geförderten Projekt wurde die Anwendbarkeit biointelligenter Ansätze in der technischen Logistik erforscht. Die aus der Natur und Biologie entlehnten Techniken zeigten ein klares Potential für fördertechnische Anwendungen, so z.B. die Möglichkeiten zur Implementierung künstlicher Muskeln. Als Demonstrator wurde unter anderem die Betätigung eines Deckels eines Kleinladungsträgers (KLT) gewählt. Der künstliche Muskel dient als Aktor auf kleinstem Raum zum automatischen Öffnen und Schließen des Deckels und bietet Vorteile zum Beispiel in Roboter- oder Bearbeitungszentren. Ein filamentbasierter Muskel betätigt dabei einen Hebel welcher auf den Deckel wirkt.

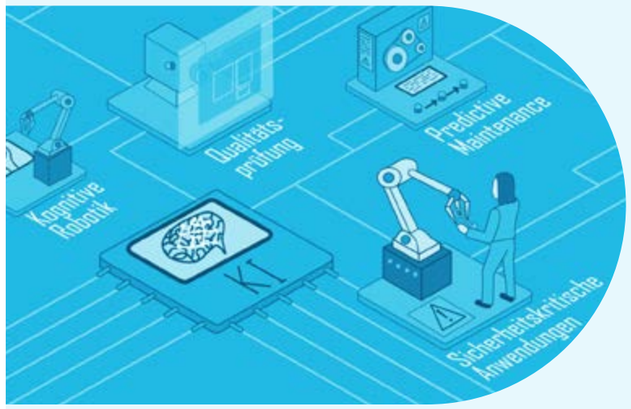


Foto: IFF

Granularer Warentransport ‚Scooty'

Die Vision einer wandelbaren und von hochdynamischen Warenströmen geprägten Produktion bestimmt die Forschung im Bereich Produktionslogistik am IFT. Ein höherer Grad der Wandelbarkeit wird u.a. durch mobile und interoperable Produktionsanlagen erreicht, die an beliebigen Orten in der Fertigungsumgebung aufgestellt werden. Daraus entstanden ist das Fahrzeugkonzept ‚SCOOTY' als flächenbewegliches Fahrerloses Transport Fahrzeug (FTF). In seiner Grundform besteht es aus einem 600 × 400 mm großen, in beide Richtungen symmetrischen Chassis; vier angetriebenen und aktiv gelenkten Rädern und einem kleinen, leicht austauschbaren Wechselakku. Die Steuerungselektronik ist auch einfach gehalten und verzichtet auf viel komplexe Sensorik. In dieser Größenklasse basieren die meisten FTF auf einem sehr einfachen Antriebskonzept mit nur zwei angetriebenen Rädern. SCOOTY kann durch sein robustes, flächenbewegliches Fahrwerk mit großem Lenkwinkelbereich hingegen gewisse Fahrmanöver flüssiger gestalten.

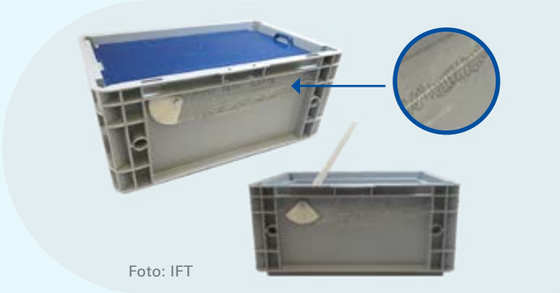


Foto: IFT

Kostenloser KI-Kurs für alle Produktionsanwender

Das Institut für Industrielle Fertigung und Fabrikbetrieb (IFF) hat einen KI-Online-Kurs entwickelt, dessen Schwerpunkt auf konkreten Anwendungsfällen aus der industriellen Produktion und praktischen Programmierübungen liegt. Der neue KI-Online-Kurs aus dem Projekt AKIPro vermittelt anwendungsorientiertes Wissen zur KI in der industriellen Produktion und hilft dabei, diese Technologie in die Praxis zu bringen. Er wurde an den KI-Campus übergeben und ist nun auf dieser Lernplattform verfügbar. Geplant ist, das Angebot auch in Lehrveranstaltungen des IFF der Universität Stuttgart und Formate des Campus Schwarzwald zu integrieren. Das Besondere: Der KI-Kurs steht nicht nur Studierenden und Fachexperten, sondern allen Interessierten offen.

Die ISR 2023 findet in Stuttgart statt!

Das ‚International Symposium on Robotics' (ISR) ist nicht nur eine der ältesten, sondern auch die weltweit führende Robotik-Konferenz, insbesondere wenn es um Industrierobotik geht. Unterstützt vom VDMA-Ausschuss Robotik & Automation sowie der Informationstechnologie-Gesellschaft im VDE (ITG) sowie dem Fraunhofer IPA und der Wissenschaftlichen Gesellschaft für Montage, Handhabung und Industrierobotik e. V. (MHI e.V.) bietet die englischsprachige Konferenz Einblicke in die neueste Forschung und Technik der Robotik – mit spannenden Aspekten in der praktischen Anwendung.

Foto: Frommel fotodesign

FlashPhos – Das ist weiß(er Phosphor)

Das Institut für Siedlungswasserbau, Wassergüte- und Abfallwirtschaft (ISWA) und das Institut für Feuerungs- und Kraftwerkstechnik (IFK) koordinieren ein europaweites Forschungsprojekt zur Verfahrensentwicklung und industriellen Demonstration einer thermochemischen Rückgewinnung von weißem Phosphor aus Klärschlamm. Weißer Phosphor ist ein strategisch kritischer Rohstoff für die Chemie- und Lebensmittelindustrie, welcher derzeit in die EU importiert wird. Durch eine Hochtemperatur-Flugstromvergasung von Klärschlamm werden die anorganischen Abfallkomponenten geschmolzen, während die organischen Komponenten als Brennstoff für die Vergasung dienen. Recycelter weißer Phosphor als Hauptprodukt wird in einem anschließenden Refinerreaktor erzeugt, während ein klimafreundlicher alternativer Zementbinder, eine Eisenlegierung und ein Schwermetallkonzentrat als Nebenprodukte entstehen. Das FlashPhos-Verfahren trägt somit einen wichtigen Beitrag zur europäischen Versorgungssicherheit von weißem Phosphor und zur Herstellung verschiedener anderer Produkte bei.

Foto: ARP Aufbereitung, Recycling und Prüftechnik GmbH

DFG SPP ‚InterZell' geht in die zweite Förderperiode

Nachhaltiger Umgang mit Ressourcen wird immer wichtiger. Auch die Prozesstechnik im Bioreaktor zur Produktion von Wirkstoffen und Medikamenten wie z.B. Interferon, Insulin oder Aminosäuren wird daher nachhaltig modelliert und optimiert. Aber was im kleinen ressourcenschonenden Labor-Maßstab funktioniert, ist nicht unbedingt auf den Industriemaßstab von mehreren Hunderttausend Litern übertragbar. Hier setzt die Forschung von ‚InterZell' (Novel production processes through cross-scale analysis, modeling, and design in cell-cell and cell-bioreactor interactions) an. Das DFG Schwerpunktprogramm SPP 2170, koordiniert von Prof. Dr.-Ing. Ralf Takors vom Institut für Bioverfahrenstechnik (IBVT) wird ab 2022 für eine weitere Förderperiode finanziert. Jetzt gilt es, den Praxistransfer der Ergebnisse der 50 internationalen Wissenschaftler*innen weiter voranzubringen.

Foto: IBVT

Foto: IST

Wahl zum GAMM-Junior

Dr.-Ing. Julian Berberich vom Institut für Systemtheorie und Regelungstechnik (IST) wurde zum GAMM-Junior in der Gesellschaft für Angewandte Mathematik und Mechanik e.V. (GAMM) ernannt. GAMM-Junioren sind ausgewählte Mitglieder der GAMM, die eine herausragende Masterarbeit oder Dissertation im Gebiet der Angewandten Mathematik oder Mechanik geschrieben haben. In jedem Jahr werden lediglich maximal zehn neue GAMM-Junioren ernannt. Dr. Berberich wurde basierend auf seiner im Jahr 2022 abgeschlossenen Dissertation nominiert, in welcher er Methoden zur datenbasierten prädiktiven Regelung mit Robustheits- und Stabilitätsgarantien entwickelt hat.

Foto: IFKB, Dr. Philipp Ninz

Interdisziplinäre Kooperation als Innovationstreiber: Dreidimensionale Schaltungsträger aus Keramik

Das Institut für Fertigungstechnologie keramischer Bauteile (IFKB), das Institut für Mikrointegration (IFM) und Hahn-Schickard-Gesellschaft für angewandte Forschung e.V. Stuttgart erforschen einen selektiven 3D-Metallisierungsprozess über den 3D-Oberflächen keramischer Bauteile mit metallischen Strukturen versehen werden können. Dies ermöglicht die Applikation von Leiterbahnen, Antennen oder Sensorikstrukturen und somit die Integration vielfältiger elektronischer Funktionen in temperaturbeständige, chemikalienresistente oder biokompatible oxidkeramische Strukturbauteile. Dafür wurden neue dotierte Werkstoffsysteme entwickelt, welche mit industriellen Verfahren und Anlagen verarbeitet werden können. Zur Metallisierung werden die Bauteile selektiv mittels Laser strukturiert und anschließend in ein Metallisierungsbad getaucht, wobei sich ausschließlich an laserstrukturierten Bereichen Metall abscheidet. Das Metallisierungsverfahren ist sehr flexibel, voll 3D-fähig und wirtschaftlich und kann zur Herstellung von räumlich integrierten Schaltungsträgern genutzt werden.

Foto: Rennteam Uni Stuttgart

34 Pokale für das Rennteam

Von 5 Formula Student Events bringt das Rennteam der Universität Stuttgart hervorragende 34 Pokale zurück in den Pfaffenwaldring. Am TT Circuit in Assen gelingt dem Team im Juli mit dem Gesamtsieg in der Verbrennerklasse ein Traumstart in die Saison 2022. Es folgt der Sieg am Red Bull Ring bei FS Austria und schließlich der zweite Platz in der Gesamtwertung am Hungaroring in Ungarn. Die Bilanz nach allen 5 Events lässt sich sehen: 13 Siege, 8 zweite Plätze, 10 dritte Plätze in den einzelnen Formula Student Disziplinen sind die Belohnung für die harte Arbeit der Studierenden.

Studierende testen Ballfalldämpfer für den Fallschirm einer Hybridrakete

Studierende des @hyend_uni_stuttgart Teams haben den Fallprüfstand des IFT genutzt, um Versuche für ein Dämpfungssystem des Fallschirms ihrer Hybridrakete durchzuführen. Wo sonst Bergseile, Statikseile und Klettersteigsets dynamisch geprüft werden, haben die Studierenden einen Teil ihrer Rakete installiert. Aufgrund des Falls der Rakete aus dem Überschallbereich wirken beim Öffnen des Fallschirms hohe Kräfte auf die Verbindungselemente. Um diese hohen Kräfte zu reduzieren, wurden am Fallprüfstand Bandfalldämpfer erprobt wie sie auch bei Klettersteigsets verwendet werden.

Foto: IFT

Foto: IFSW

Neue Professur ‚Lasertechnik in der Fertigung'

Im Rahmen des InnovationsCampus Mobilität der Zukunft (ICM) wurde am Institut für Strahlwerkzeuge (IFSW) die Professur ‚Lasertechnik in der Fertigung' neu eingerichtet. Zum 1. August 2022 wurde Prof. Dr.-Ing. Andreas Michalowski darauf berufen. Seine Forschungsschwerpunkte sind u.a. vollautomatisierte Prozessentwicklung sowie maschinelles Lernen in der Lasermaterialbearbeitung. Prof. Michalowski studierte Physik an der TU Dortmund. Anschließend war er als wissenschaftlicher Mitarbeiter am IFSW tätig, wobei der thematische Fokus auf der Laser-Materialbearbeitung mit ultrakurzen Laserpulsen lag. Ab 2011 war er als Forschungsingenieur bei der zentralen Forschung von Bosch verantwortlich für Prozessgrundlagen und Simulation der Materialbearbeitung mit ultrakurzen Laserpulsen. Seit 2018 war er als Fachreferent verantwortlich für virtuelle Prozessentwicklung und später zusätzlich für hybride Modellierung (Physik + maschinelles Lernen) für die laserbasierte Fertigung.

InnoRad Radprüfstand

Verschärfte Anforderungen hinsichtlich Traglast, Fahrgeschwindigkeit und homogenem Abrollverhalten führen zu verkürzten Gebrauchsdauerraten von Rädern und Rollen sowohl an manuell geführten Flurförderzeugen, wie Hubwagen und Stapler, aber auch an Fahrerlosen Transportfahrzeugen. Zur experimentellen Untersuchung und zur Entwicklung neuer Radkonstruktionen und -werkstoffen hat das IFT einen weltweit einmaligen Kreisaktuator-Radprüfstand entwickelt. Der verfrühte Ausfall von Rädern und Rollen mit Polyurethanlaufbelägen führt indessen nicht nur zu hohen Wartungs- und Stillstandskosten sondern auch zu vermeidbarem Ressourcenverbrauch. Die eigens konzipierte Prüfeinrichtung zielt daher darauf ab, die im realen Betrieb vorherrschenden komplexen Anforderungen in reproduzierbaren Belastungs- und Verschleißversuchen unter Laborbedingungen abzubilden und messtechnisch zu erfassen.

Foto: IFT

Foto: IMT, Sarah Riepe

Medizinrobotik der Zukunft

Während manuelle Operationsmethoden Chirurg*innen direkte haptische Rückmeldung über Interaktionskräfte zwischen Instrument und Gewebe bieten, geht dieses Feedback bei der roboterassistierten Chirurgie gänzlich verloren. Am Institut für Medizingerätetechnik (IMT) werden Nutzerschnittstellen entwickelt, die Interaktionskräfte wahrnehmbar machen. Zum Einsatz kommen bürstenlose Gleichstromantriebe sowie Zugmittelgetriebe auf Basis leichter Kunstfasern, um dynamische Antriebe zu realisieren.

Automatisierte Dokumentation von Abläufen im OP-Saal

Durch den Fortschritt in der Medizin und den Informationstechnologien hat sich der OP-Saal zu einer hochkomplexen und technologisch reichen Umgebung entwickelt. Darunter zählt auch die Automatisierung von OP-Berichten, die vor allem zur Entlastung des ärztlichen Personals und zur Reduzierung von Fehlermöglichkeiten beiträgt. Am IMT wird ein System entwickelt, das Operationsschritte während der OP erkennt und automatisiert dokumentiert. Künstliche neuronale Netze helfen dabei, auch schwer erkennbare Prozessschritte zu erfassen.

Foto: IMT, Laura Löhnert-Buchmann

Kettenverschleißprüfstand

Das Institut für Fördertechnik und Logistik (IFT) betreibt einen Kettenverschleißprüfstand, auf dem verschiedenste Ketten hinsichtlich ihrer Lebensdauer und ihres Verschleißverhaltens untersucht werden können. Sowohl in der institutseigenen Forschung als auch für Kettenhersteller und -anwender aus der Industrie werden zum Beispiel Antriebsketten, Stauförderketten oder Lastketten anwendungsnah erprobt. Durch kontinuierliche Überwachung des Kettenzustands und regelmäßige Längungsmessung wird das Verschleißverhalten über die gesamte Versuchsdauer erfasst. Der geringe Abstand zwischen den Kettenrädern ermöglicht viele Umläufe in kurzer Zeit, wodurch die Lebensdauer von Ketten im Zeitraffer ermittelt werden kann. Zur anwendungsnahen Versuchsdurchführung können die Ketten pneumatisch vorgespannt und mit einem Bremsmoment beaufschlagt werden.

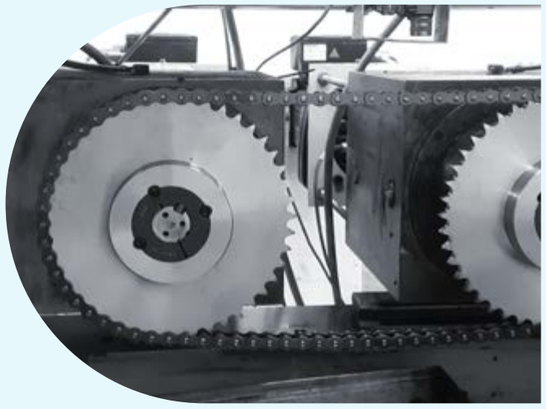


Foto: IFT, Jonas Nölcke

aISA geht in die zweite Runde

Im Forschungsprojekt ‚adaptive Interface Systeme in Ackerschleppern' (aISA) wird das Bedienkonzept im Ackerschlepper neu durchdacht. Bisher herrscht in Ackerschleppern durch wechselnde Arbeitsgeräte bei gleichzeitig statischen Bediensystemen eine unübersichtliche Bediensituation. Durch das neue ISOBUS kompatible adaptive Interfacesystem lässt sich in jeder Bediensituation eine optimale Nutzerschnittstelle generieren. Der Gedanke wird im Folgeprojekt aISA 2.0 zu Ende geführt und von fünf Partnern aus Forschung und Industrie bis hin zur Serienreife weiterentwickelt.

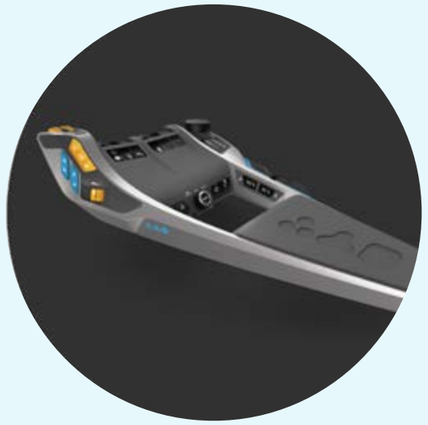


Foto: Rendering des aISA Prototypen

Adaptive Exoskelette

Damit in einem robotischen Exoskelett die Kooperation zwischen Mensch und Maschine optimal gelingt, sind komplexe Einstellungen erforderlich. In einer Kooperation zwischen der University of Michigan und dem Institut für Nichtlineare Mechanik (INM) haben Forschende eine Methode demonstriert, mit der Benutzer*innen das Verhalten eines Exoskeletts in weniger als zwei Minuten selbst einstellen und dabei unbewusste Vorlieben berücksichtigen können. Darüber berichtete das Fachmagazin Science Robotics.

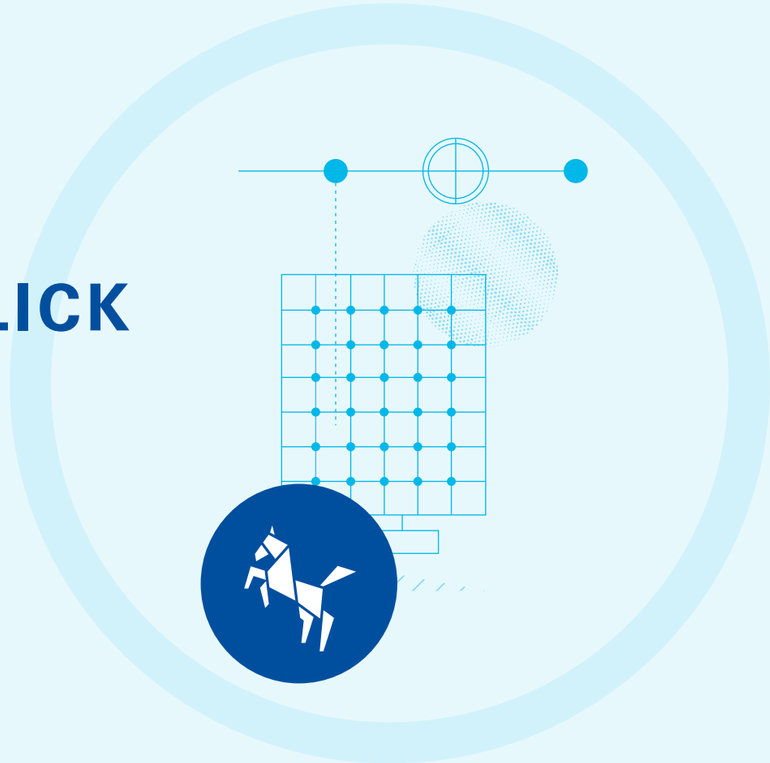
Foto: University of Michigan/Robotics Institute

Highlights einreichen

Möchten Sie ebenfalls eines Ihrer Forschungsthemen oder ein besonderes Ereignis aus dem Institutsgeschehen hier als Highlight vorstellen? Dann schicken Sie einfach eine E-Mail mit einem kurzen beschreibenden Text und Bild, samt Fotonachweis an smb-magazin@f07.uni-stuttgart.de

Stuttgarter Maschinenbau

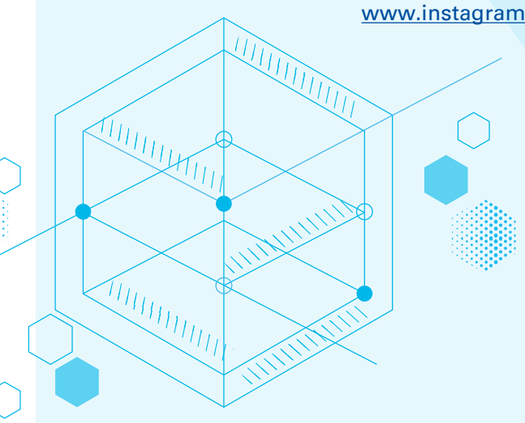
AUSBLICK



Schwerpunkte in der kommenden Ausgabe werden die nächsten beiden unserer sechs Zukunftsthemen sein – Software Defined Manufacturing und Resiliente Versorgung. Außerdem wird es wieder eine interessante Interviewstrecke geben – lassen Sie sich überraschen. Der Gastbeitrag sowie die Highlights haben inzwischen schon ihren Stammplatz und sind auch diesmal wieder mit dabei.

Und wir sind weiterhin sehr gespannt auf Ihr Feedback – Sie erreichen uns unter

kontakt.maschinenbau@f07.uni-stuttgart
www.linkedin.com/company/stuttgarter-maschinenbau
www.instagram.com/stuttgartermaschinenbau



Impressum

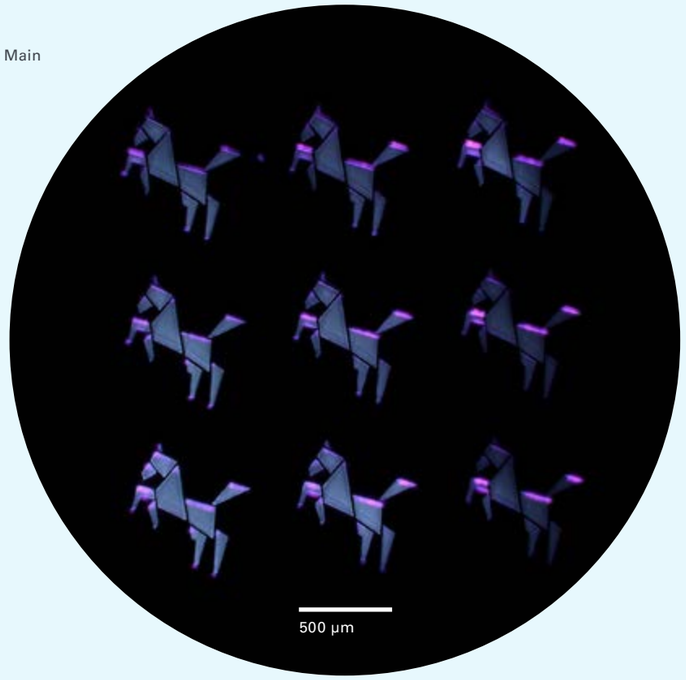
Herausgeber
Universität Stuttgart
Stuttgarter Maschinenbau
Univ.-Prof. Dr.-Ing. Oliver Riedel

Endredaktion
Dekanate der Fakultäten 4 und 7

Gestaltung
WeiserDesign, Stuttgart
www.weiser-design.de

Druck
Zarbock, Frankfurt am Main
Auflage: 1.500

Stand
November 2022



Dieses Magazin hat mit einer Infografik zur Additiven Fertigung begonnen und wir möchten es mit einem besonderen Beitrag dazu beenden: Jule Grunewald hat unser Maskottchen mittels Zwei-Photonen-Lithografie auf ein Siliziumsubstrat in der Größe 700 µm x 800 µm ‚gedruckt'. Im Rahmen ihrer Bachelorarbeit zum Thema ‚Weiche 3D-gedruckte faseroptische Aktuierung' am ITO war das eine interessante Anwendung der dafür genutzten Infrastruktur.

Foto: Jule Grunewald

german brand award '22 winner

www.stuttgarter-maschinenbau.de

stuttgarter maschinenbau
interdisziplinär und vielfältig

stuttgarter
maschinenbau
interdisziplinär und vielfältig