



# pzh2022

Das Magazin des Produktionstechnischen Zentrums  
der Leibniz Universität Hannover / Jahresbericht 2021

## Wie wir Nachhaltigkeit produzieren

Der Maschinenbau macht die Wende





Langfristiger Arbeitsplatz



Attraktive Vergütung



Flexible Arbeitszeit

**Pionierleistungen in der Mess- und Steuerungstechnik** – dafür steht der Name HEIDENHAIN seit mehr als 130 Jahren. Als Technologieführer treiben wir heute mit innovativen NC-Steuerungen und Hochpräzisions-Messgeräten neue Entwicklungen in der automatisierten Fertigung voran – u. a. in der Elektronik- und Halbleiterproduktion. Ein ideales Umfeld für technologiebegeisterte Menschen, die mehr bewegen wollen. Wir reinvestieren große Teile unserer Erträge in Forschung und Entwicklung sowie in die Aus- und Weiterbildung unserer Mitarbeiter. So schaffen wir langfristig sichere Arbeitsplätze und ausgezeichnete Zukunftsperspektiven an unserem Hauptsitz in Traunreut. Auch für Dich!

## Uni-Stipendium

- (Technische) Informatik
- Elektro- und Informationstechnik

Gefragt sind engagierte Studierende (Bachelor oder Master), die ihre Leidenschaft für Technik später zum Beruf machen möchten. Dann ist HEIDENHAIN Dein perfekter Partner! Wir bieten Dir die Chance, während des Studiums Praxiserfahrung in spannenden Fachbereichen zu sammeln und Dir von Anfang an wenig Gedanken um die Studienfinanzierung machen zu müssen. Dazu die Perspektive, in ein Hightech-Unternehmen einzusteigen, das Dir vielfältige Möglichkeiten eröffnet. Überzeuge uns durch Deine anspruchsvollen Leistungen und Dein Engagement.

Oder suchst Du als Informatik-Absolvent (m/w/d) den Berufseinstieg in eine spannende Karriere?

## Berufseinstieg für Informatiker (m/w/d) Software-Entwicklung

Starte in unserem Software-Team in Hannover und entwickle mit uns die Steuerungs-Innovationen für die Werkzeugmaschinen der Zukunft. Es erwarten Dich spannende Aufgaben z. B. in der Entwicklung grafischer Benutzeroberflächen (GUI), geometrischer Algorithmen für mehrdimensionale Bewegungen oder von Software für die Bahninterpolation zukunftsweisender numerischer Steuerungen. Beste Entwicklungsperspektiven inklusive!



Wir sind online!  
heidenhain\_newtalents

# #

## DU + HEIDENHAIN

### Langfristige Perspektiven ...

... dafür steht HEIDENHAIN – auch in der Zusammenarbeit mit Studierenden. Deine Entwicklung bei uns startet schon während Deines Studiums und geht im Idealfall nahtlos in eine spannende Karriere bei HEIDENHAIN über. Freu Dich auf:

- vielseitige Praxisphasen, in denen Du mit uns die Technologien der Zukunft vorantreibst.
- die Zusammenarbeit mit den besten Köpfen der Branche.
- Seminare und (Networking-)Events, die Dich fachlich und persönlich weiterbringen.
- individuelles Coaching und Mentoring.
- eine attraktive Vergütung, die Dir ein gutes Auskommen während des Studiums gewährt.
- ein tolles Arbeitsklima: kollegial, menschlich, wertschätzend und interessiert.

Bewerbung für das Stipendium bis 30.09.2022  
für Förderbeginn in 2023

- Nähere Infos unter [studium.heidenhain.de](http://studium.heidenhain.de) oder persönlich bei Dr. Florian Schindler. Tel. 08669 31-1228 oder per Mail: [studium@heidenhain.de](mailto:studium@heidenhain.de)

Einstieg als Software-Entwickler (m/w/d):  
jederzeit

- Nähere Infos unter [heidenhain.de/karriere](http://heidenhain.de/karriere) oder bei Nicole Trübenbach Tel. 08669 31-3259



Prof. Dr.-Ing. Berend Denkena



Prof. Dr.-Ing. Hans-Josef Endres

Liebe Leserinnen und Leser,

Nachhaltigkeit – das Nischenthema von einst – ist ins Zentrum von Politik und Gesellschaft gerückt. Dass es seit kurzem ein Bundesministerium gibt, das Wirtschaft und Klimaschutz in einem Ressort vereint, ist ein starkes Signal für die Notwendigkeit, Ökonomie und Ökologie zusammenzudenken.

Selbstverständlich reicht es nicht, Klimaneutralität, Ressourcenschonung und Energieeffizienz auf die politische Agenda zu setzen. Es kommt darauf an, sie praktisch umzusetzen, also technische, logistische und organisatorische Lösungen zu finden, die den ökologischen Anforderungen gerecht werden, ohne dass wirtschaftliche Einbrüche und soziale Konflikte unsere hochindustrialisierte Gesellschaft destabilisieren. In den Laboren und Versuchsfeldern des Maschinenbaus und der anderen ingenieurwissenschaftlichen Disziplinen arbeiten die Menschen, die die technische Kompetenz und die wissenschaftliche Kreativität haben, daran, solche Lösungen zu entwickeln.

Wir haben die Nachhaltigkeit zum Schwerpunktthema dieses Magazins gemacht, weil auch in den PZH-Instituten nicht erst seit gestern an der Welt von morgen gearbeitet wird: Durch die Entwicklung ressourcen- und umweltschonender Technologien für die Industrie – von Leichtbaukonstruktionen über energie- und materialsparende Produktionsverfahren bis zu innovativen Recyclinglösungen und der Nachhaltigkeitsbewertung – gehört die Produktionstechnik zu den Treibern des ökologischen Umbaus. Aber nicht nur durch seine Forschung, sondern auch durch seine Lehre spielt der universitäre Maschinenbau eine Schlüsselrolle für die Weichenstellung in Richtung einer nachhaltigen Gesellschaft: In seinen Vorlesungen und Übungen wird der technische und wissenschaftliche Nachwuchs ausgebildet, der die Wende in den kommenden Jahrzehnten voranbringen wird. Seit dem vergangenen Wintersemester bietet die Fakultät für Maschinenbau der Leibniz Universität Hannover den neuen Bachelor-Studiengang „Nachhaltige Ingenieurwissenschaft“ an – den deutschlandweit einzigen universitären Studiengang dieser Art. Die Institute des PZH sind daran konzeptionell und durch ihre Lehrveranstaltungen maßgeblich beteiligt. Auch diese Aktivitäten wollen wir Ihnen in diesem Heft vorstellen.

Die Herausforderungen, vor denen wir aktuell stehen, sind groß, aber wir haben das Potential, sie zu meistern. In diesem Sinne wünschen wir Ihnen im Namen des PZH eine interessante und Mut machende Lektüre!

Berend Denkena  
Vorstandssprecher 2021

Hans-Josef Endres  
Vorstandssprecher 2022



## Panorama 2021 / 2022

**6 RoboHub eingeweiht**

**8 Zu Gast bei Freunden**

**10 Personalia**

**12 Meldungen**

**16 Fokus Forschung**

## Nachhaltigkeit



**24**

**24 Maschinenbau - Treiber der Nachhaltigkeit**

Ein Essay über DIE Herausforderung der Zeit und warum dem Maschinenbau eine Schlüsselrolle zukommt

**28 Nachhaltige Ingenieurwissenschaft:**

Ein deutschlandweit einmaliger Studiengang auf dem Campus Maschinenbau

**32 Miniaturisierte Quantengravimeter**

Eine Entwicklung des Instituts für Mikroproduktionstechnik (IMPT) und des Instituts für Quantenoptik (IQ)



**34**

**34 Gewichtsverlust:**

Die stärkste Landmaschine der Welt nimmt ab

**36 Sintern statt Ätzen:**

3D-Druck macht Fertigung von Leiterbahnen umweltfreundlicher

**38 Plastik im Aquarium:**

Am IKK wird erforscht, wie sich Kunststoff im Meer zersetzt



**41 Maßfertigung:**

Der SFB 'Tailored Forming' entwickelt Herstellungsverfahren für belastungsangepasste Maschinenbauteile

# Jahresbericht 2021

**44 PZH - Fakten und Zahlen**

**46 PZH - Schwerpunkte für Industriekooperationen**

**48 Berufungen, Habilitationen, Promotionen**

**49 Gäste**

**49 Auszeichnungen**

**50 Seminare, Workshops, Konferenzen**

**50 Patente**

## **Geschichte, Aus der Forschung, Lehre, Forschungsprojekte, Veröffentlichungen, Anschaffungen:**

**52 IFA** – Institut für Fabrikanlagen und Logistik

**58 IFUM** – Institut für Umformtechnik und Umformmaschinen

**66 IFW** – Institut für Fertigungstechnik und Werkzeugmaschinen

**78 IMPT** – Institut für Mikroproduktionstechnik

**86 IKK** – Institut für Kunststoff- und Kreislauftechnik

**91 ITA** – Institut für Transport- und Automatisierungstechnik

**96 match** – Institut für Montagetechnik

**102 IW** – Institut für Werkstoffkunde

**110 TEWISS** Technik und Wissen GmbH

**112 Unternehmen im PZH**

**114 Anreise / Impressum**



Illustrationen: Sylwia Kubus

### Redaktioneller Hinweis:

Wir legen großen Wert auf eine gendersensible Sprache.

Da uns Sprachfluss, -logik und Lesbarkeit der Magazintexte wichtig sind, haben wir uns dennoch – in Übereinstimmung mit gängiger journalistischer Praxis – für das generische Maskulinum („die Mitarbeiter“, „die Forscher“) als geschlechtsübergreifende Bezeichnung entschieden.

# RoboHub Niedersachsen: neues Zentrum für Cobot- und Roboterautomation

Leichtbauroboter wie beispielsweise Cobots können flexibel eingesetzt werden und tragen zur Effizienzsteigerung sowie Ressourcenschonung in der Produktion bei. Sie bieten großes Potential für die Zukunftsfähigkeit insbesondere von mittelständischen Industrie- und Handwerksbetrieben. Interessierten Unternehmen steht nun ein neues Zentrum zum Thema Cobot und Roboterautomation zur Verfügung: der RoboHub Niedersachsen.

Leichtbauroboter, wie zum Beispiel Cobots sind für die Automation von vielfältigen Produktionsaufgaben geeignet: das Spektrum reicht von der Erledigung einfacher Greif- und Platzierungsaufgaben über Qualitätsprüfungen bis hin zu komplexen Bewegungsabläufen, wie sie zum Beispiel beim Montieren oder dem Führen von Werkzeugen nötig sind. Die Leichtbauroboter übernehmen monotone und gesundheitsgefährdende Tätigkeiten, sind rund um die Uhr einsetzbar und können dank Sensorik und weiterentwickelter Steuerungstechnik Aufgaben vielfach präziser ausführen, als es von Hand möglich ist. Dadurch fällt weniger Ausschuss an, die vorhandenen Produktionskapazitäten

werden besser ausgenutzt und Verluste durch Leerlauf werden vermieden. Auf diese Weise tragen Cobots beträchtlich zur Einsparung von Energie und Material bei und helfen, den Fachkräftemangel zu kompensieren.

Besonders attraktiv sind Cobots für mittelständische Industrie- und Handwerksbetriebe: Die Geräte lassen sich auch von Robotik-Laien unaufwändig programmieren, die Bedienung ist leicht erlernbar und über Schnittstellen ist eine Verbindung mit anderen Produktionsmaschinen möglich. Viele Cobots sind zudem leichter als normale Industrieroboter, ermöglichen einen mobilen und flexiblen Einsatz und eignen sich für die automatisierte Produktion auch bei kleinen Stückzahlen.

Dadurch sind sie auch für Produktionsaufgaben geeignet, welche bisher nicht wirtschaftlich automatisiert werden konnten. Ein großes Potential zur Steigerung der Wettbewerbsfähigkeit von Unternehmen kann erschlossen werden.

Für Fach- und Führungskräfte, die sich darüber informieren möchten, wie der eigene Betrieb von Leichtbaurobotern profitieren kann, bieten die TEWISS – Technik und Wissen GmbH, das Institut für Montagetechnik (match) der Leibniz Universität Hannover, die Region Hannover und die Firma Vision Lasertechnik seit Mai 2022 gemeinsam den RoboHub Niedersachsen an. Der Hub – eine Kombination aus Experimentallabor und



Die Einführungsveranstaltung stiess auf großes Echo bei Wirtschaft und Politik. V.l.n.r.: Dr. Jan Jocker, Geschäftsführer der TEWISS GmbH, Philipp Becker, Geschäftsführer der Firma Vision Lasertechnik, Torsten Bethke, Geschäftsführer der Firma micronex GmbH, Prof. Dr. Holger Blume, Vizepräsident für Forschung und Transfer der LUH, Tilman Kuban, Mitglied des Deutschen Bundestags, Steffen Krach, Präsident der Region Hannover, Stefan Muhle, Staatssekretär im Niedersächsischen Ministerium für Wirtschaft, Arbeit, Verkehr und Digitalisierung, Claudio Provenzano, Bürgermeister der Stadt Garbsen. Foto: Leo Menzel

# RoboHub

NIEDERSACHSEN

Das RoboHub Niedersachsen wird gefördert mit Mitteln des Ministeriums für Wirtschaft des Landes Niedersachsen sowie mit Mitteln der Region Hannover.

Informationszentrum – ist im Produktionstechnischen Zentrum Hannover (PZH) in Garbsen eingerichtet. Im Rahmen von individuellen Workshops, Schulungen sowie Veranstaltungen, die am Bedarf der jeweiligen Unternehmen ausgerichtet sind, erleben Entscheider und Beschäftigte, wie sich Automatisierungsprojekte unter den Bedingungen des eigenen betrieblichen Alltags umsetzen lassen. Handlings- und Bearbeitungsaufgaben können mit den im Hub verfügbaren Cobot-Systemen real erprobt werden. So lassen sich Kosten und Nutzen realistisch abschätzen. Angesprochen sind Industrie- und Handwerksbetriebe aus Niedersachsen mit produktions-technischen Fragestellungen,

unabhängig vom bisherigen Automatisierungsgrad der Unternehmen.

Zu den Angeboten des RoboHub gehören einführende Informationsveranstaltungen, Basisschulungen zu Themen wie Sicherheit, Programmierung und Schnittstellen zu Produktionsmaschinen sowie individuelle Beratungen und maßgeschneiderte Workshops zur praktischen Erprobung von Automatisierungsaufgaben. Bei Bedarf werden im RoboHub Niedersachsen an die jeweiligen Bauteile angepasste Greifer und Werkstückablagen im 3D-Druck hergestellt.

Der RoboHub Niedersachsen fördert die Vernetzung und den Erfahrungsaustausch zwischen den Unternehmen und bietet der Cobot-

Community eine neue Plattform. Betriebe profitieren von Best-Practice-Beispielen, erwerben Know-How und sammeln selbst Erfahrungen rund um das Thema Robotik. ◀

Weitere Informationen:

Dr.-Ing. Jan Jocker  
(TEWISS – Technik und Wissen GmbH)  
Tel. 0511 762 4874,  
jocker@tewiss.uni-hannover.de

[www.robohub-nds.de](http://www.robohub-nds.de)

[www.digitalagentur-niedersachsen.de/digitalhubs-niedersachsen/robohub-niedersachsen/](http://www.digitalagentur-niedersachsen.de/digitalhubs-niedersachsen/robohub-niedersachsen/)



Sebastian Blankemeyer (li.) vom Institut für Montagetechnik bei der Vorführung eines Cobots mit interessierten Gästen. Foto: Leo Menzel

# MuT trotz Pandemie: Online durch die MINT-Welt

Bereits zum zwölften Mal fand im vergangenen Jahr „Mädchen und Technik“ (MuT) statt – trotzdem war es eine Premiere: Pandemiebedingt wurde der jährliche Projekttag des Instituts für Mikroproduktionstechnik (IMPT) und des PZH, an dem Schülerinnen in die Welt der Technikwissenschaften und Ingenieurberufe eintauchen, komplett online veranstaltet.

MuT gibt Schülerinnen ab 13 die Möglichkeit, durch Mitmach-Projekte ihr Interesse an der Technik zu entdecken oder weiter auszubauen, mit Wissenschaftlerinnen ins Gespräch zu kommen, ohne Scheu Fragen zu stellen und die Vielfalt technischer Ausbildungen und Berufe kennenzulernen. Die Veranstaltung, bei der die Mädchen sonst in echten Laboren und Versuchsfeldern das Gießen, Löten, Schweißen, Konstruieren und Programmieren ausprobieren, musste dieses Mal virtuell stattfinden. Das Themenspektrum der zehn Online-Projekte reichte von der Herstellung eines umweltschonenden Shampoos über den Entwurf und Bau elektrischer Schaltungen bis zur virtuellen Fabrikplanung und dem Bau einer „Hologramm“-Erweiterung für das Handydisplay. Auch ein virtuelles MINT-Interview fand statt. Die Schülerinnen, die teilweise von zu Hause, teilweise vom Klassenzimmer aus teilnahmen, hatten sich vorher für jeweils zwei Projekte entschieden.

Sie bekamen Projektpakete zugeschickt mit allem, was sie für die Versuche brauchten.

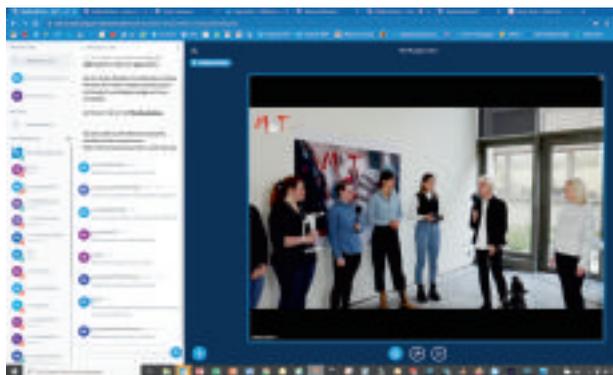
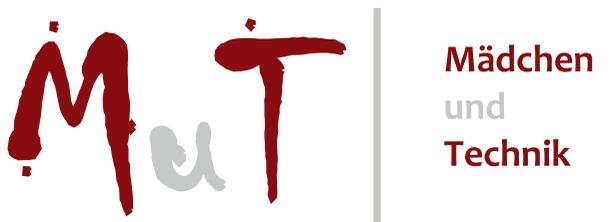
„Auf diese Weise konnten wir den Teilnehmerinnen trotz der erzwungenen Distanz praktische Aufgaben und Experimente ‚zum Anfassen‘ anbieten, auch wenn Techniken wie Schmieden oder Schweißen dieses Mal natürlich ausfallen mussten“, sagt Selina Raugel vom Institut für Mikroproduktionstechnik (IMPT), die MuT gemeinsam mit ihrem Kollegen Rico Ottermann organisiert.

Beliebtestes Projekt bei den Teilnehmerinnen war ein Online-Escape-Room, bei dem es darum ging gemeinsam in der Gruppe Rätsel aus der Mathematik, Biologie, Chemie, Informatik und dem Ingenieurwesen zu lösen, Spaß zu haben und am Ende eine Schatztruhe zu öffnen.

Die Vorbereitungen für MuT 2022 sind bereits gestartet. Geplant sind 20 Projekte. Die Veranstaltung wird am 14.11.2022 stattfinden – dieses Mal wieder in Präsenz. ◀



*Projekttag in Zeiten von Pandemien: Die Projekte finden unter Anleitung Online statt. (Foto: IMPT)*



*Meetings in Zeiten von Pandemien: Die Projekte finden unter Anleitung Online statt. (Foto: IMPT)*

## Energieeffiziente Prozessketten im Automobilbau

„Mit innovativer Fertigungstechnik zum energieeffizienten Antriebsstrang!“ Unter diesem Motto fand im Juni vergangenen Jahres eine vom Institut für Fertigungstechnik und Werkzeugmaschinen (IFW) organisierte Online-Tagung zum Verbundprojekt Antriebsstrang 2025 statt, die vom Bundeswirtschaftsministerium gefördert wurde. Den Schwerpunkt der Veranstaltung, an der zahlreiche Experten aus der internationalen Wissenschaft und Industrie teilnahmen, bildeten Vorträge zur Entwicklung von energieeffizienten Prozessketten zur Herstellung eines reibungs-, gewichts- und lebensdaueroptimierten Antriebsstrangs. Videos der am IFW aufgebauten Demonstratorprozessketten veranschaulichten die Wirkungsweise der untersuchten Technologien.

Zu den präsentierten Projekten gehörte ein neuartiges Fertigungsverfahren für Zylinderlaufbuchsen in Schwerlastmotoren, das die zur Herstellung nötige Prozesskette deutlich verkürzen wird. Zudem kann mit der neu entwickelten Zylinderlaufbuchse der Dieserverbrauch auf deutschen Autobahnen um ca. 45.000.000 Liter reduziert werden. Energieeffizienz und CO<sub>2</sub>-Reduktion standen auch im Mittelpunkt der anderen Forschungsprojekte, die bei der Tagung vorgestellt wurden. Dabei ging es um innovative Prozessketten zur Herstellung von Fahrwerkskomponenten aus Aluminium und von Antriebsgelenkwellen sowie um aktuelle Untersuchungen an Flügelzellenpumpen und eine Software, die die ökologische Bewertung und Steuerung beliebiger Prozessketten erlaubt.



Ihre Anwendung auf die im Verbundvorhaben betrachteten Prozessketten ergab, dass sich das Gesamtpotential in der Herstellungs- und Nutzungsphase durch Optimierung von Gewicht, Reibung und Energie auf Einsparungen in Höhe von 991.000 Tonnen CO<sub>2</sub> pro Jahr für den Wirkungsbereich Deutschland beläuft. ◀

Weitere Informationen: Daniel Katzsch (IFW),  
Tel. 0511 762 5502, [katzsch@ifw.uni-hannover.de](mailto:katzsch@ifw.uni-hannover.de)

Einen ausführlichen Text finden Sie unter:  
[www.ifw.uni-hannover.de/](http://www.ifw.uni-hannover.de/)

## Internationale Konferenz: Produktionstechnische Innovationen in der Luftfahrtindustrie

Die Covid-19-Pandemie hat die internationale Luftfahrtindustrie durch rückläufige Passagierzahlen, Reisebeschränkungen und Störungen in den Lieferketten für die Flugzeugproduktion vor besondere Herausforderungen gestellt. Wie ihnen durch flexible und ressourceneffiziente Produktionssysteme und die ökonomische Fertigung kleiner Losgrößen zu begegnen ist, war eines der bestimmenden Themen der 21. „Machining Innovations Conference for Aerospace Industry“ (MIC 2021), die im Dezember vergangenen Jahres stattfand. Ausgerichtet wurde die Veranstaltung – pandemiebedingt in virtueller Form – vom Institut für Fertigungstechnik und Werkzeugmaschinen (IFW) und dem Manufacturing Innovations Network. Zwei Tage lang tauschten sich 85 Ingenieure aus Wissenschaft und Industrie über produktionstechnische Innovationen und Forschungsergebnisse in der Luftfahrtindustrie aus. Mit Teilnehmern aus acht Ländern (Nordamerika, Asien und Europa) wurde die Konferenz wieder ihrem internationalen Anspruch

gerecht. Die vier Sessions standen unter den Oberthemen: ‘Machine Tools & Clamping’, ‘Production Technology & Materials’, ‘Control, Monitoring & Software’, ‘Machine Components & Tools’. Die nächste Machining Innovations Conference for Aerospace Industry findet in diesem Jahr am 30.11. und 1.12. im PZH statt. ◀



**MIC 2021**

21<sup>st</sup> Machining Innovations Conference  
for Aerospace Industry

## Wechsel im IMPT: **Marc Wurz erhielt Ruf an die Universität Ulm**

Dr.-Ing. Marc Christopher Wurz, von 2005–2021 zunächst Oberingenieur, danach Stellvertretender Institutsleiter am Institut für Mikroproduktionstechnik (IMPT), wurde zum Juni vergangenen Jahres zum Professor an die Universität Ulm berufen. Er bekleidet dort die Professur für „Integration von Mikro- und Nanosystemen“ in der Fakultät für Ingenieurwissenschaften in Kooperation mit dem Institut für Quantentechnologien am Deutschen Zentrum für Luft- und Raumfahrt. Die Forschungsaktivitäten und Entwicklungen haben das Ziel, Quantensysteme anwendungsreif zu machen. Zu den Einsatzgebieten gehören zum Beispiel das Quantencomputing und künftige Weltraummissionen.

Neuer Oberingenieur am IMPT ist Folke Dencker, der auch die stellvertretende Geschäftsführung übernommen hat. Er konnte bereits mehrere größere Drittmittelprojekte einwerben und auch die experimentellen

Möglichkeiten am Institut ausbauen. So wird demnächst eine Anlage verfügbar sein, mit der auch Diamantschichten hergestellt werden können. ◀



(Foto: IMPT)

## Auszeichnung für Exzellenz: **Gedenkmünze für Marc-André Dittrich**

Dr.-Ing. Marc-André Dittrich (IFW) erhielt im vergangenen Jahr die Otto-Kienzle-Gedenkmünze für seine Forschungen im Bereich selbstoptimierender Produktionssysteme. Die Wissenschaftliche Gesellschaft für Produktionstechnik (WGP) würdigte damit seine herausragenden interdisziplinären Leistungen in der Produktionstechnik an der Schnittstelle zur Informatik. Die WGP verleiht die Otto-Kienzle-Gedenkmünze jährlich an eine Nachwuchswissenschaftlerin oder einen Nachwuchswissenschaftler für herausragende wissenschaftliche Leistungen auf dem Gebiet der Produktionstechnik. Benannt ist die Auszeichnung nach dem Ingenieur und Fertigungstechniker Otto Kienzle, der nach dem Zweiten Weltkrieg an der Technischen Hochschule Hannover lehrte.

„Insbesondere bei sich selbst optimierenden Fertigungssystemen hat Marc-André Dittrich eine Schnittstelle zur Informatik geschaffen. Neben grundlegenden Aspekten konnten wir durch seine Arbeiten vor allem bei der praktischen Umsetzung der Systeme einen großen Schritt nach vorne machen“, so Prof. Berend Denkena, Leiter des IFW und Vizepräsident der WGP.

Digitalisierung, Nachhaltigkeit, Prozessrobustheit – der thematische Bogen von Dittrichs Forschungen ist weit gespannt, seine Herangehensweise interdisziplinär. „Die Forschung in der Fertigungstechnik beschränkt sich oftmals noch auf die mechanische Machbarkeit“, so Dittrich. Er hingegen versuche, aktuelle Entwicklungen im Bereich Digitalisierung und künstlicher Intelligenz in die Produktionstechnik zu überführen und dort nutzbar zu machen. ◀



(Foto: IFW)

## Neuer Präsident der WLT: Professor Dr.-Ing. Ludger Overmeyer

Zum Anfang des Jahres 2021 hat Professor Dr.-Ing. Ludger Overmeyer die Präsidentschaft der Wissenschaftlichen Gesellschaft Lasertechnik e.V. (WLT) übernommen. Overmeyer ist Vorstandsmitglied des Laser Zentrums Hannover e.V. (LZH) und Vorsitzender seines Wissenschaftlichen Direktoriums.

„Die WLT ist eine starke Gemeinschaft wissenschaftlicher Einrichtungen“, sagt Professor Dr.-Ing. Overmeyer und beschreibt die Ziele so: „Wir wollen auch in Zukunft unsere Kompetenzen in der Lasertechnologie und Photonik nutzen, um die Forschung in dem Bereich voranzutreiben und die Ergebnisse für andere Disziplinen zu erschließen.“

Die Arbeit der WLT konzentriert sich auf die Identifikation und aktive Beförderung strategischer Ziele, um die Laserstrahlung als universell einsetzbares „Werkzeug“ wissenschaftlich weiterzuentwickeln und für neue interdisziplinäre Einsatzfelder in den Optischen Technologien nutzbar zu machen. Die Geschäftsführung der WLT übernimmt begleitend Dr. Moritz Hinkelmann, Gruppenleiter Optische Systeme am LZH.

### Über die WLT

Die Wissenschaftliche Gesellschaft Lasertechnik e.V. (WLT) wurde 1997 gegründet; sie ging aus dem 1987 gegründeten Wissenschaftlichen Arbeitskreis Lasertechnik hervor. Die Mitglieder der WLT sind Leiter von großen wissenschaftlichen

Einrichtungen, die sich vorwiegend mit der Erzeugung, Verstärkung, Formung, Übertragung, Messung und Anwendung von Laserstrahlung beschäftigen. Dabei handelt es sich sowohl um Universitätseinrichtungen als auch Institute der Fraunhofer-Gesellschaft, der Max-Planck-Gesellschaft, der Leibniz-Gemeinschaft, der Helmholtz-Gemeinschaft sowie um weitere außeruniversitäre Einrichtungen. ◀



Text: Patricia Fischer, Foto: ITA

Kontakt: Dr. Moritz Hinkelmann, (0511) 2788-268, [m.hinkelmann@lzh.de](mailto:m.hinkelmann@lzh.de)

## Gründerpreis für IFW-Wissenschaftler

Die Produktivität und Ressourceneffizienz metallverarbeitender Prozesse wie Drehen und Fräsen mit Hilfe von Computersimulationen zu erhöhen, ist das Ziel der Tetralytix GmbH, einer Ausgründung der Leibniz Universität Hannover. Das Start-up hat einen der insgesamt sechs Gründerpreise des „Gründungswettbewerbs - Digitale Innovationen“ gewonnen. Zum Tetralytix Team gehören Dr.-Ing. Arne Mücke und Dr.-Ing. Oliver Pape, die während ihrer Promotionen und Arbeit am Institut für Fertigungstechnik und Werkzeugmaschinen (IFW) in zahlreichen Projekten leistungsfähige Zerspanwerkzeuge und -prozesse mit Hilfe virtueller Technologie entwickelt haben, sowie die Wirtschaftswissenschaftlerin Karolin Fricke. Um die innovativen Methoden der Industrie zugänglich zu machen, haben sie 2021 die Tetralytix GmbH gegründet. Der Gründerpreis wird vom Bundesministerium für Wirtschaft und Energie verliehen und ist mit 32.000 Euro dotiert. Er umfasst neben dem Preisgeld Coachingmaßnahmen, die die Gründer unterstützen sollen, ihr Geschäftsmodell zu etablieren und ihr Start-up weiterzuentwickeln. Der „Gründungswettbewerb - Digitale Innovationen“ richtet sich an innovative Unternehmensgründungen, die auf digitalen Technologien basie-

ren. Wesentliche Kriterien sind die Erfahrung und Qualifikation der Gründer, die Innovativität, der Kundennutzen und das Alleinstellungsmerkmal der Gründungsidea. ◀

Weitere Informationen zu Tetralytix: <https://tetralytix.de>



Die Preisträger (v. l. n. r.) Oliver Pape, Karolin Fricke und Arne Mücke. Foto: tetralyx

## Auftragsforschung: Förderangebote für den Mittelstand

Zukunftsorientierte Unternehmen können auf Forschung und Entwicklung nicht verzichten. Für kleine und mittlere Unternehmen (KMU) gibt es in Deutschland zahlreiche Möglichkeiten, solche Projekte mit Fördermitteln zu finanzieren.

Ein Beispiel dafür bietet ein KMU, das Wissenschaftler des Instituts für Fabrikanlagen und Logistik (IFA) gemeinsam mit dem Institut für Montagetechnik (match) bei der Harmonisierung des Produktionssystems begleitet haben. Die Produktion des Unternehmens schien ihre Kapazitätsgrenze erreicht zu haben. Das Ziel der Wissenschaftler war es, die Auslastung der aktuellen Arbeitssysteme zu überprüfen und die Gesamtproduktivität durch Sofortmaßnahmen zu steigern. Sie haben Potenziale zur Abstimmung der Arbeitssysteme durch Digitalisierungsmaßnahmen identifiziert, bewertet und in eine Roadmap überführt. Durch die individuelle Entwicklung eines Softwaredemonstrators war es dem Unternehmen möglich, Potenziale im Bereich der Informationsbereitstellung für die entsprechenden Arbeitssysteme sofort zu heben.

Für das Unternehmen war die Forschungs- und Beratungsleistung kostenlos, die Projektkosten von mehr als 20.000 Euro wurden komplett mit Fördermitteln bezahlt – über das Mittelstand 4.0-Kompetenzzentrum Hannover „Mit uns digi-

tall“, das vom Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi) finanziert wurde. Die Förderung für das Zentrum endete im Mai 2021, das neue Mittelstand-Digital Zentrum Hannover knüpft jedoch nahtlos daran an und bietet kostenfreie Unterstützung für KMU. Darüber hinaus können Unternehmen Ausgaben für Forschung und Entwicklung steuerlich geltend machen.

Unterstützung bei der Forschung und Entwicklung im Bereich Produktionstechnik können Unternehmen von zahlreichen Partnern erhalten. In Hannover sind das beispielsweise das Produktionsstechnische Zentrum Hannover (PZH) mit seinen acht Instituten, das Laser Zentrum Hannover e. V. (LZH) und das Institut für Integrierte Produktion Hannover gGmbH (IPH). Sie alle haben sich als erfahrene Partner in der Auftragsforschung für Industrieunternehmen etabliert und begleiten Unternehmen von der Beantragung einer Förderung bis zur erfolgreichen Durchführung ihrer Projekte.

*Den vollständigen Text finden Sie unter: [www.phi-hannover.de](http://www.phi-hannover.de)  
'Weitere Informationen bei:*

*Dr.-Ing. Vivian Kuprat, (0511) 762-18185,  
[kuprat@ifa.uni-hannover.de](mailto:kuprat@ifa.uni-hannover.de)*

## Erweiterte Realität schafft freie Sicht für Gabelstaplerfahrerinnen

Ein Forscherteam des Instituts für Transport- und Automatisierungstechnik (ITA) und des Instituts für Integrierte Produktion Hannover (IPH) gGmbH entwickelt gemeinsam mit Gabelstapler-Herstellern und weiteren Industrieunternehmen ein auf Augmented-Reality basierendes Assistenzsystem. Sie soll Gabelstaplerfahrern eine deutlich größere Sichtfreiheit verschaffen.

Am Steuer eines Gabelstaplers ist es nicht leicht, den Überblick zu behalten. Der Hubmast, das Fahrzeugdach und die Ladung versperren die Sicht. Schon heute helfen Kameras dem Fahrer, indem sie Bereiche erfassen, die sich nicht einsehen lassen. Doch je mehr der Fahrer auf Bildschirme im Inneren der Kabine schaut, desto weniger nimmt er die reale Umgebung außerhalb des Staplers wahr.

Ein neuer Ansatz wird am ITA und am IPH im gemeinsamen Forschungsprojekt ViSIER (Virtuelle Sichtverbesserung und intuitive Interaktion durch Erweiterte Realität an Flurförderzeugen) verfolgt. Das Ziel ist ein Bedienerassistenzsystem für Gabelstapler zu realisieren, das mit Hilfe von Erweiterter Realität (Augmented Reality, AR) Sicht Einschränkungen ausgleicht: Künftig sollen die Fahrer eine AR-Brille tragen, mit der sie durch Hindernisse „hindurchsehen“ können. Zudem können im Sichtfeld wichtige Infor-

mationen und Warnhinweise eingeblendet werden. Das bedeutet, dass der Träger einer AR-Brille sowohl die reale Umgebung sieht als auch zusätzliche Informationen, die virtuell eingeblendet werden. Blickt der Staplerfahrer beispielsweise direkt nach vorn, sieht er auf dem Hubmast, der Ladung und auf weiteren sichtein-



*Eine AR-Brille tragen, erlaubt es, durch Hindernisse „hindurchzusehen“. (Foto: IPH)*

schränkenden Komponenten ein Hologramm der dahinterliegenden Umgebung. Dieses wird durch ein Multi-Kamera-System aufgenommen. Eine nachgelagerte Software setzt diese Bilder zusammen und berechnet einen perspektivisch korrekten Ausschnitt. Der Effekt ist, als könnte er durch Sichthindernisse hindurchsehen.

Zum Abschluss des Projekts wurde eine Validierung in einer logistiknahen Umgebung durchgeführt und das System für verschiedene Handhabungsaufgaben getestet. Dabei konnte die grundsätzliche Eignung eines auf Augmented Reality basierenden Assistenzsystems für die Kompensation von Sicht-einschränkungen demonstriert werden. Bevor es industriell eingesetzt werden kann, müssen Hard- und Software noch weiterentwickelt sowie verschiedene datenschutztechnische

und sicherheitsbezogene Fragestellungen geklärt werden. Zukünftig ermöglicht die Systemarchitektur auch die Einblendung von weiteren Informationen. Neben den Kameradaten können beispielsweise daraus generierte Warnhinweise angezeigt werden. Zusätzliches Potential liegt in der Anbindung an die bestehende betriebseigene Infrastruktur wie zum Beispiel an das Lagerverwaltungssystem. ◀

*Weitere Informationen:*

*Lukas Jütte (ITA), Tel. 0511 762 18173,*

*lukas.juette@ita.uni-hannover.de*

*Alexander Poschke (IPH), Tel. 0511 279 76-229,*

*poschke@iph-hannover.de*

*Ausführliche Texte finden Sie unter: [phi-hannover.de/](http://phi-hannover.de/)*

## Weniger Verschleiß beim Schmieden

**Nitrieren schützt Werkzeugoberflächen vor Verschleiß, macht sie aber gleichzeitig anfällig für Risse und Oxidation. Welcher Stahl nach dem Nitrieren die besten Eigenschaften aufweist, haben Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler des Instituts für Umformtechnik und Umformmaschinen (IFUM) und weiterer Institute untersucht.**

Zur wirtschaftlichen Massenfertigung von Bauteilen gehören Verfahren der Warmformgebung, zum Beispiel das Gesenkschmieden. Die so hergestellten Bauteile erfüllen besonders hohe Anforderungen bezüglich ihrer Betriebsfestigkeit und Zuverlässigkeit. Eingesetzt werden sie beispielsweise in der Medizintechnik – etwa als anatomische Implantate – oder in Antriebsbaugruppen für den Schienenverkehr, für Notstromaggregate oder für die Fahrzeugtechnik.

Die hohen Umformtemperaturen der Schmiederohteile von bis zu 1.250 °C und die hohen Umformkräfte bewirken, dass das Schmiedewerkzeug in beträchtlichem Maß Reibung und mechanischen sowie starken thermischen und chemischen Beanspruchungen ausgesetzt ist. Mit steigender Einsatzdauer nehmen deshalb die Oberflächendefekte am Werkzeug zu. Das verringert die Bauteilgenauigkeit, erhöht die Ausschussrate und vermindert die Produktivität des Werkzeugs.

Um dem Verschleiß entgegenzuwirken, werden die Werkzeuge oftmals nitriert. Hierbei wird Stickstoff durch einen Diffusionsprozess in den Randbereich des Stahls eingebracht, wodurch sich die Härte der Werkzeugoberfläche erhöht. Der Nachteil dieses Verfahrens: Die Werkzeugoberflächen werden anfälliger für Risse und Oxidation.

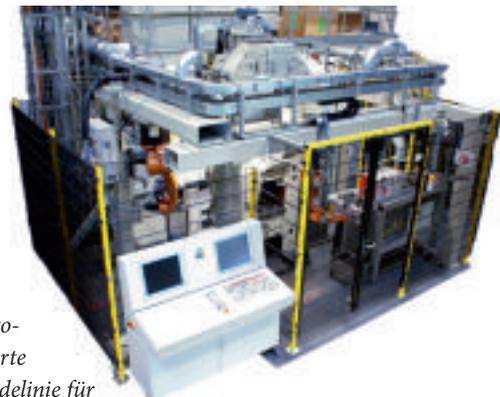
Was genau die Nitrierung bei verschiedenen Stahllegierungen bewirkt, wird im Forschungsprojekt „Verbesserung des Einsatzverhaltens von Werkzeugen der Warmformgebung durch nitriergerechte Auswahl von Warmarbeitsstählen“ untersucht. Beteiligt sind neben dem IFUM das Fraunhofer-Institut für Schicht- und Oberflächentechnik (IST) und das Zentrum für Mikrotechnologien (ZfM) der Technischen Universität Chemnitz. Die Forschenden haben marktgängige Werkstoffe unterschiedlicher chemischer Zusammensetzungen

ausgewählt und nach dem Vergüten auf ihre jeweilige Arbeits-härte nitriert, dann einer Reihe unterschiedlicher thermischer und mechanischer Belastungen ausgesetzt und schließlich auf Riss- und Oxidationsneigung hin untersucht. Diese Testergebnisse wurden anschließend noch in industrienahen Serienschmiedeversuchen auf ihre Praxistauglichkeit hin überprüft.

Das Ergebnis: Neben den klassischen Warmarbeitsstählen (1.2343, 1.2367) haben sich drei weitere Werkstoffe als aussichtsreich herausgestellt – sowohl der Nitrierstahl 1.8550 als auch besonders die Kaltarbeitsstähle 1.2362 und 1.2363. Diese drei Werkstoffe werden bei weiteren Validierungsversuchen in Schmiedeunternehmen eingesetzt, um ihre Eignung und den kostensenkenden Effekt anhand echter Produktionsprozesse beurteilen zu können. ◀

*Weitere Informationen: Marcel Rothgänger (IFUM),*

*Tel. 0511 762 2846, [m.rothgaenger@ifum.uni-hannover.de](mailto:m.rothgaenger@ifum.uni-hannover.de)*



*Vollauto-matisierte Schmiedelinie für Serienschmiedever-suche am IFUM. (Foto: R. Laeger, IFUM)*

## Der beste Freund des Ingenieurs: **Roboter-Hund Emma am match**

Vierbeiniger Neuzugang am Institut für Montagetechnik (match): Der wendige Roboter-Hund kann Treppen steigen, sich auf unwegsamem Gelände fortbewegen, nach einem Sturz aufstehen, Gegenstände tragen und sogar Türen öffnen.

„Emma“ nennen die Ingenieurinnen und Ingenieure am match ihren neuen Roboter-Hund von Boston Dynamics. Der Vierbeiner kann über ein Tablet gesteuert und programmiert werden. Der interne Akku erlaubt einen autonomen Betrieb von bis zu 90 Minuten – dann muss Emma ins Körbchen oder besser gesagt auf die Ladestation.

Emma verfügt dank ihrer fünf Kameras über eine 360-Grad-Rundumsicht und kann Hindernissen selbstständig auswei-

chen. Mit ihrem Greifarm kann sie 5 kg schwere Objekte heben oder bis zu 25 kg schwere Objekte ziehen. Außerdem kann Emma mit diesem Arm Türen öffnen und schließen sowie Ventile betätigen .

Auf seinem Rumpf kann der Hunde-Roboter weitere 14 kg tragen, wodurch ausreichend Raum für zusätzliche Sensorik und Datenverarbeitung vorhanden ist. Insgesamt bietet Emma großartiges Potential für Forschung, Entwicklung und Lehre am match und wird das Institut im Bereich der mobilen Robotik als treue Begleiterin zur Seite stehen. ◀

Weitere Informationen: Tobias Recker (match),  
Tel. 0511 762 18240, recker@match.uni-hannover.de



## Medizinische Implantate: Neuer Prüfstand in Betrieb genommen

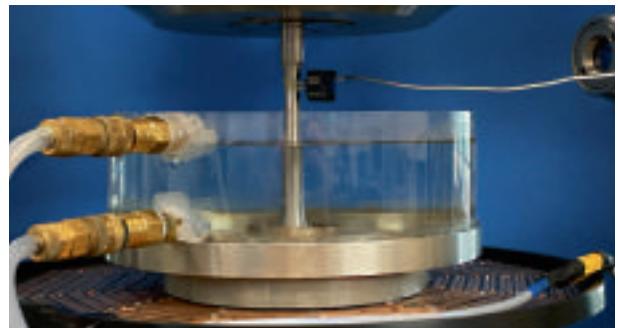
Medizinische Implantate sind nicht nur mechanischen Belastungen durch die Bewegungen des Patienten ausgesetzt, sondern auch dem korrosiven Angriff durch Körperflüssigkeiten. Deshalb müssen Implantatwerkstoffe neben Ermüdungs- auch auf Korrosionseigenschaften hin untersucht werden.

Das ermöglicht jetzt ein neuer Prüfstand am Institut für Werkstoffkunde (IW), der auch für die Untersuchung neuartiger Implantat-Werkstoffe genutzt werden kann. Dazu zählen beispielsweise biokompatible resorbierbare Werkstoffe auf Eisenbasis, die vom IW mitentwickelt werden. Resorbierbare Werkstoffe – sie lösen sich nach einiger Zeit im Körper auf – werden in Implantaten dort eingesetzt, wo sie nur vorübergehend benötigt werden. Das ist etwa bei Knochenbrüchen der Fall, wo das Implantat Knochenmaterial nur bis zur vollständigen Heilung ersetzt. Dem Patienten bleibt so die operative Entfernung des Implantats erspart.

Besonders vielversprechend sind Implantate, die mit Hilfe additiver Fertigungsverfahren hergestellt werden und somit individuell anpassbar sind. Jedoch entstehen bei diesen Verfahren oftmals Defekte wie zum Beispiel Poren, die die Implantateigenschaften später stark beeinflussen können. Deshalb ist es wichtig, zu untersuchen, wie sich derart verarbeitete Werkstoffe unter körperähnlichen Bedingungen verhalten. Der neue Prüfstand am IW erlaubt die Prüfung ihrer Ermüdungs-

festigkeit in verschiedenen korrosiven Medien, die speziell auf den späteren Einsatzort des Implantats abgestimmt sind. Auf diese Weise lässt sich ausschließen, dass Implantate in Folge der kombinierten korrosiven und zyklisch-mechanischen Belastung im menschlichen Körper frühzeitig versagen. Mit Hilfe solcher Untersuchungen werden in Kooperationsprojekten mit dem IW zudem neuartige Legierungen entwickelt, die sich für die additive Fertigung resorbierbarer Implantate eignen. ◀

Weitere Informationen: Patrick Evers (IW),  
Tel. 0511 762 18171, [evers@iw.uni-hannover.de](mailto:evers@iw.uni-hannover.de)



Korrosionszelle mit eingesetzter Ermüdungsprobe aus Reineisen.  
(Foto: IW)

## Nachhaltig zukunftsfähig: Mittelstand-Digital Zentrum Hannover unterstützt kleine und mittlere Unternehmen

Am PZH hat im vergangenen Jahr das erste Mittelstand-Digital Zentrum „Mit uns digital!“ bundesweit seine Arbeit aufgenommen. Es knüpft an die bisherige Arbeit des Mittelstand 4.0-Kompetenzzentrums Hannover an, dessen Förderung nach fünfjährig Jahren Laufzeit zu Ende ging. Ziel des neuen Zentrums, das Teil eines Netzwerks ist und vom Bundesministerium für Wirtschaft und Energie mit 5,7 Millionen Euro über einen Zeitraum von drei Jahren gefördert wird, ist es, Anwendungen der Digitalisierung und Künstlichen Intelligenz in kleinen und mittleren Unternehmen (KMU) voranzutreiben und die Unternehmen nachhaltig zukunftsfähig aufzustellen. Die Angebote sind dank öffentlicher Förderung für die Unternehmen kostenfrei. Der Fokus auf Nachhaltigkeit, der schon im Vorgängerzentrum bestand, wird in der Arbeit des neuen Zentrums eine noch stärkere Rolle spielen. „Nachhaltigkeit bedeutet in diesem Zusammenhang, neben ökologischen auch die sozialen und ökonomischen Aspekte zu betrachten. Dafür müssen alle Bereiche eines Unternehmens in den Blick genommen werden“, sagt Prof.



Mittelstand-Digital  
Zentrum  
Hannover

Dr.-Ing. Berend Denkena, Leiter des Instituts für Fertigungstechnik und Werkzeugmaschinen (IFW) und Konsortialleiter des neuen Zentrums. Neben Aspekten wie Energieeffizienz und Einsatz regenerativer Energien wird das Augenmerk auch auf Faktoren wie Weiterbildung, Nachwuchsförderung, ökonomischer Krisenfestigkeit und technischer Innovationskraft liegen.

Das Team des Zentrums bietet den Unternehmen ihrem jeweiligen digitalen Reifegrad entsprechend Firmengespräche, Weiterbildungen, Workshops und praktische Demonstrationen. Dazu gehört die Mobile Fabrik, die am 11. Mai vom niedersächsischen Wirtschaftsminister Dr. Bernd Althusmann eröffnet wurde. In dieser rollenden Demonstrationsfabrik, die zu den Unternehmen kommt, können die Besucher produktionstechnische KI-Anwendungen ganz konkret anhand der Fertigung eines miniaturisierten Kleintransporters erleben. ◀

Weitere Informationen: Gerold Kuiper (IFW), Tel. 0511 762 18325, [kuiper@mitunsdigital.de](mailto:kuiper@mitunsdigital.de), [www.mittelstand-digital.de](http://www.mittelstand-digital.de)

# Intelligente Implantate für mehr Patientensicherheit

Am PZH werden neuartige Implantate entwickelt, die Komplikationen erkennen und Gegenmaßnahmen einleiten können.

Implantate sind elementar für die Wiederherstellung unterschiedlichster Körperfunktionen und aus der modernen Medizin nicht mehr wegzudenken. Doch zu oft noch haben Patienten mit Komplikationen zu kämpfen. Völlig neue Wege zur Steigerung der Implantatsicherheit werden jetzt im Forschungsverbund „Sicherheitsintegrierte und infekti-onsreaktive Implantate“ (SIIRI) beschritten. In enger Kooperation mit der Medizin und mehreren anderen Fachdisziplinen werden hierzu am PZH intelligente Implantat-systeme für die Zahnmedizin, die Orthopädie und die Ohrenheilkunde entwickelt.

Dafür werden ingenieurwissenschaftliche Sicherheitskonzepte, wie sie zum Beispiel in der Luftfahrt zur Anwendung kommen, medizinisch nutzbar gemacht. Mit modernster Technologie ausgestattet, werden die neuen Implantate erst-mals eine kontinuierliche Kontrolle der Implantatfunktionen mit Hilfe chemischer, biologischer und physikalischer Detektionssysteme erlauben. Damit las-sen sich technische oder biologische Komplikationen frühzeitig erkennen, um beispielsweise Infektionen vorzubeugen. Die Ziele des Forschungsverbunds sind aber noch weiter gesteckt: Die Implantat-systeme sollen in die Lage versetzt werden, über Regelkreise eigenständig Infektionen zu detektieren, Medikamente freizusetzen und Heilungsprozesse einzu-leiten. Ein weiterer innovativer Ansatz in diesem Forschungsverbund ist die kom-munikationswissenschaftliche Begleitung der Arzt-Patienten-Interaktion: Dadurch wird die Patientenperspektive von Anfang an in alle Forschungs- und Entwicklungs-schritte einbezogen, was zu einer weiteren Erhöhung der zukünftigen Implantat- und damit Patientensicherheit beitragen wird.

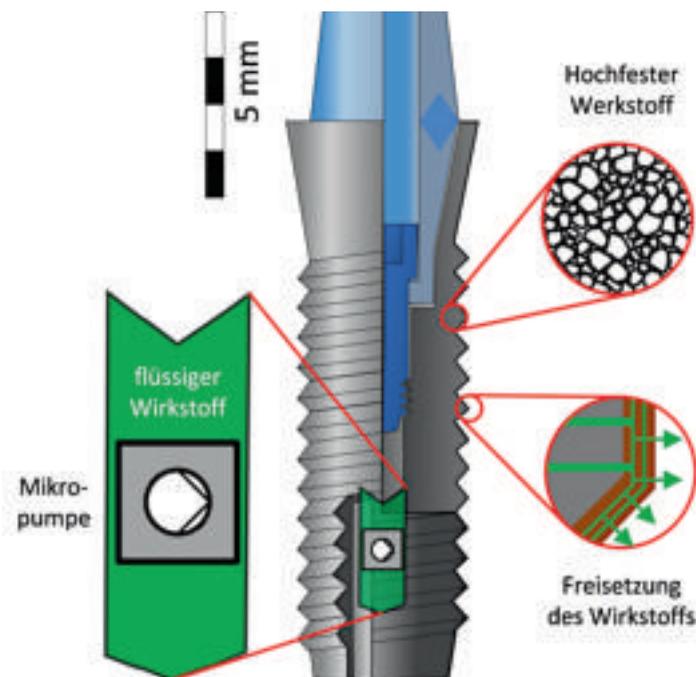
ziplinärer Zusammenarbeit erfüllen. Die technikwissenschaftlichen, medizinischen und naturwissenschaftlichen Kompetenzen der Projektpartner ergänzen sich dafür optimal“, so Hans Jürgen Maier, Professor am Institut für Werkstoffkunde (IW) und Co-Sprecher des Sonderforschungsbereichs. ◀

Weitere Informationen: Prof. Dr.-Ing. Hans Jürgen Maier (IW), Tel. 0 511 762 4311, maier@iw.uni-hannover.de

Ausführliche Texte finden Sie unter:

<https://gepris.dfg.de/gepris/projekt/426335750?context=projekt&task=showDetail&id=426335750&>

<https://www.uni-hannover.de/de/universitaet/aktuelles/online-aktuell/details/news/millionen-foerderung-fuer-hannovers-implantat-forschung/>



„Die extrem herausfordernden Aufgaben, die wir uns in diesem Forschungsverbund stellen, können wir nur in enger interdis-

Active Stimulus-responsive Implantate: Auf einen Reiz werden im Implantat gespeicherte antibakterielle Wirkstoffe automatisch durch eine Mikropumpe in das umliegende Gewebe abgegeben. Grafik: Klose/Pott, IW

# Fabrikplanung gestaltet Krankenhäuser

Am Institut für Fabrikanlagen und Logistik (IFA) werden Methoden der Fabrikplanung eingesetzt, um Krankenhaussysteme und ihre Abläufe im Klinikalltag zukunftsfähig zu gestalten.

Krankenhäuser stehen unter enormem Wandlungsdruck: Ihre wirtschaftliche Situation ist schwierig, aber gleichzeitig müssen sie mit medizintechnischen Innovationen Schritt halten und zahlreiche Herausforderungen wie beispielsweise die Alterung der Gesellschaft oder aktuell die Covid19-Pandemie bewältigen. Doch trotz dieser Besonderheiten – im Prinzip stehen Krankenhäuser vor ähnlichen Problemen wie Fabriken: Historisch gewachsene Strukturen bewirken ineffiziente Prozesse oder verhindern die Anpassung an aktuelle und künftige Erfordernisse.

Im Gegensatz zu Krankenhäusern bestehen für Fabriken wissenschaftlich fundierte Ansätze und Methoden, um diesen Problemen zu begegnen. Deshalb kann die Fabrikplanung helfen, Krankenhaussysteme effizient und zukunftsfähig zu gestalten. Vor diesem Hintergrund entwickelt das IFA gemeinsam mit dem Karlsruher Institut für Technologie und Management im Baubetrieb (TMB) im Rahmen des Forschungsprojektes „MedFAP“ fabrikplanerische Leitprinzipien zur Planung von Krankenhäusern mit wandlungsfähigen Raum-, Technik- und Organisationskonzepten. Die Forschungsergebnisse sollen sowohl für Grund- als auch für Maximalversorger anwendbar sein.

Unter der Annahme, dass Krankenhäuser und Fabriken über Gemeinsamkeiten verfügen, ist es möglich, fabrikplanerische Ansätze auf Krankenhaussysteme zu übertragen. So sind beispielsweise sowohl die technische Fertigung als auch die medizinische Therapie durch übergeordnete Hauptprozesse vorbestimmt. Zudem gibt es Entsprechungen zwischen den verschiedenen Produktgruppen in einer Fabrik und den verschiedenen diagnosebezogenen Fallgruppen in einem Krankenhaus. Für diese Gruppen ist außerdem eine weitere Unterteilung in Produktvarianten beziehungsweise individuelle Krankheitsbilder

möglich. Daraus folgt, dass in beiden Systemen mehrere Produktions- oder Behandlungsabläufe nebeneinander existieren und sich somit jeweils voneinander abweichende Arbeitsabläufe sowie komplexe Flussbeziehungen ergeben.

Um die praktische Anwendbarkeit der planerischen Konzepte sicherstellen zu können, sind für „MedFAP“ Informationen und Daten aus dem Klinikalltag eine erfolgskritische Projektgrundlage. Außerdem sind die schrittweise abgeleiteten Leitprinzipien jeweils durch Fallstudien und Workshops zu evaluieren. Als Unterstützung für das Forschungsprojekt konnten dafür verschiedene Medizinische Hochschulen und weitere Krankenhäuser gewonnen werden. Damit ist die für den Erfolg entscheidende Beteiligung aus der Krankenhauspraxis gewährleistet. ◀

Weitere Informationen: Lena Wecken (IFA)

Tel. (0511) 762-18199, [wecken@ifa.uni-hannover.de](mailto:wecken@ifa.uni-hannover.de)

Einen ausführlichen Text finden Sie unter: [phi-hannover.de](http://phi-hannover.de)



Integration von Flussorientierung in Krankenhaussysteme – das ist das Ziel des Forschungsprojektes „MedFAP“. (Foto: Scott Blake, [unsplash.com](https://unsplash.com) / Bildmontage: Lena Wecken, IFA)

# Produktionstechnische Expertensysteme: Wälzschälens mit Künstlicher Intelligenz

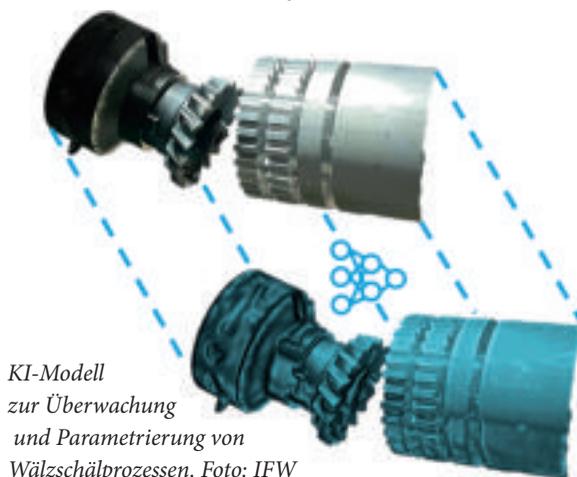
Im Forschungsprojekt ‚IIP-Ecosphere‘ entwickelt das Institut für Fertigungstechnik und Werkzeugmaschinen (IFW) gemeinsam mit Industriepartnern lernende KI-Systeme für mittelständische Hersteller.

Künstliche Intelligenz spielt eine immer wichtigere Rolle in der Produktionstechnik. Maschinelles Lernen und der Einsatz neuronaler Netze eröffnen die Möglichkeit, Maschinen und ganze Produktionssysteme so zu trainieren, dass sie gewünschte Aktionen ausführen, Fehler erkennen und sich selbst optimieren. Im Forschungsprojekt „IIP-Ecosphere – Next Level Ecosphere for Intelligent Industrial Production“, das 2020 startete, geht es darum, KI-Systeme insbesondere für kleine und mittlere Unternehmen zu entwickeln. In dem dreijährigen, vom Bundeswirtschaftsministerium geförderten Projekt kooperieren Institute mehrerer Universitäten sowie produktionstechnische Unternehmen. Auf Basis vernetzter, intelligenter und autonomer Systeme möchten die Partner ein neuartiges KI-Ökosystem entwickeln. Praxisbeispiele für solche KI-Anwendungen liefern Demonstrationsprojekte, die bei Industriepartnern eingerichtet wurden und vom Institut für Fertigungstechnik und Werkzeugmaschinen (IFW) wissenschaftlich betreut werden.

Dazu gehört ein KI-Expertensystem, das die Herstellung von Verzahnungen überwacht und steuert. Verzahnungen werden durch ein rotierendes Werkzeug unter hoher Drehzahl in ein ebenfalls rotierendes Werkstück „geschält“. Wie hoch die Produktivität dieses sogenannten Wälzschälens und die Qualität der Bauteile sind, hängt von einer Vielzahl von Eingangsparametern ab, zum Beispiel von der Schnittgeschwindigkeit oder der Schnitttiefe. Diese Parameter für das Wälzschälens optimal einzustellen, erfordert hohen Aufwand und tiefgehendes Prozesswissen – ein Know-how, das gerade in kleineren Unternehmen häufig nicht zur Verfügung steht. Ein wirtschaftlicher Betrieb solcher Prozesse ist deshalb für viele Unternehmen nicht möglich. Um diese Lücke zu füllen, hat die Gildemeister Drehmaschinen GmbH – Partner von IIP-Ecosphere – einen speziellen „Zyklus“ entwickelt. Dabei handelt es sich um ein Programm, das die Bewegungsabläufe von Werkstück und Werkzeug steuert. „Das KI-Expertensystem soll helfen, diese Herausforderung zu meistern, indem es frühzeitig Fehler im Fertigungsprozess entdeckt und auf diese Weise ungeplante Maschinenstillstände oder Defekte am Werkstück, etwa aufgrund eines gebrochenen Werkzeugs, verhindert“, so Jonas Becker, wissenschaftlicher Mitarbeiter am IFW.

Damit das Expertensystem diese Aufgabe erfüllen kann, muss es trainiert werden. Die Grundlage für das Training bilden Daten, die die Produktionsmaschinen selbst liefern, beispielsweise Antriebsströme oder -positionen. Ein Industrie-PC des IIP-Ecosphere-Partners Artis Marposs Monitoring Solutions GmbH erfasst diese Maschinendaten. Die Basis für die intelligente Überwachung bilden generative, neuronale Netze, wie sie für die Bildverarbeitung entwickelt wurden. Diese Netze sind in der Lage, aus verarbeiteten Bilddaten realer Personen nach bestimmten Vorgaben Bilder von Menschen zu erzeugen, die gar nicht existieren. „Mit der gleichen Methode werden im Demonstrationsprojekt ‚Zykloptimierung‘ Signalverläufe, beispielsweise von Motorströmen erzeugt, die einem optimalen Herstellungsablauf entsprechen“, erläutert Jonas Becker. Das KI-System misst gleichzeitig die realen Motor-Datenströme und gleicht diesen Ist-Verlauf mit dem Soll-Verlauf permanent ab. Dieser Vergleich erlaubt die schnelle Entdeckung von Fehlern im Prozess. „Komplexe Zerspanprozesse wie das Wälzschälens sind ein wesentlicher Teil der industriellen Wertschöpfung. Gerade für mittelständische Unternehmen hat der Einsatz von KI in diesem Bereich großes Zukunftspotential“, sagt Jonas Becker. ◀

Weitere Informationen: Jonas Becker (IFW),  
Tel. 0511 762 18289, Becker@ifw.uni-hannover.de



KI-Modell zur Überwachung und Parametrierung von Wälzschälensprozessen. Foto: IFW

# Optische Datenübertragung mit gedruckten Wellenleitern

In Umgebungen mit vielen elektromagnetischen Feldern ist die elektronische Datenübertragung oft nur eingeschränkt möglich. Das Institut für Transport- und Automatisierungstechnik (ITA) forscht daher gemeinsam mit Industrieunternehmen an einer innovativen Produktionskette, um kostengünstige optische Datenübertragung in Leiterplattensysteme zu integrieren.

Durch immer mehr elektronische Geräte im Alltag steigt auch die Zahl elektromagnetischer Felder, die zur Kommunikation genutzt werden. Diese können sich überlagern und verursachen besonders bei hohen Datenraten wechselseitige Signalstörungen. Dagegen bleibt eine optische Datenübertragung davon ungestört. Übertragen werden hier Photonen, also Lichtteilchen, die nicht elektrisch geladen sind. Optische Wellenleiter in Form von Glasfasern werden über lange Distanzen schon seit geraumer Zeit genutzt. Für Kurzstrecken und Anwendungen mit hoher Funktionsdichte gibt es allerdings noch keine kostengünstige Lösung, denn die Herstellung von großen Mengen an Lichtwellenleitern und ihre Integration in flachen Leiterplattensystemen stellt bislang eine komplexe produktionstechnische Herausforderung dar.

Vor diesem Hintergrund entwickelt das ITA im Verbund OptiK-Net (Direktdruck und Integration von optischen Kurzstreckennetzwerken), gefördert vom Bundesforschungsministerium, gemeinsam mit Industriepartnern eine optische Flex-Leiterplatte, die sich kostengünstig produzieren lässt. Durch solche Leiterplatten können verschiedene optische Funktionen umgesetzt werden, die in Zukunft als passive optische Netzwerke, optische Bussysteme oder auch optische Sensoren nutzbar sind. Anwendungsmöglichkeiten liegen in der Elektromobilität und Kommunikationstechnik, aber auch in Massenprodukten wie intelligenten Verpackungen und Beleuchtungsanwendungen.

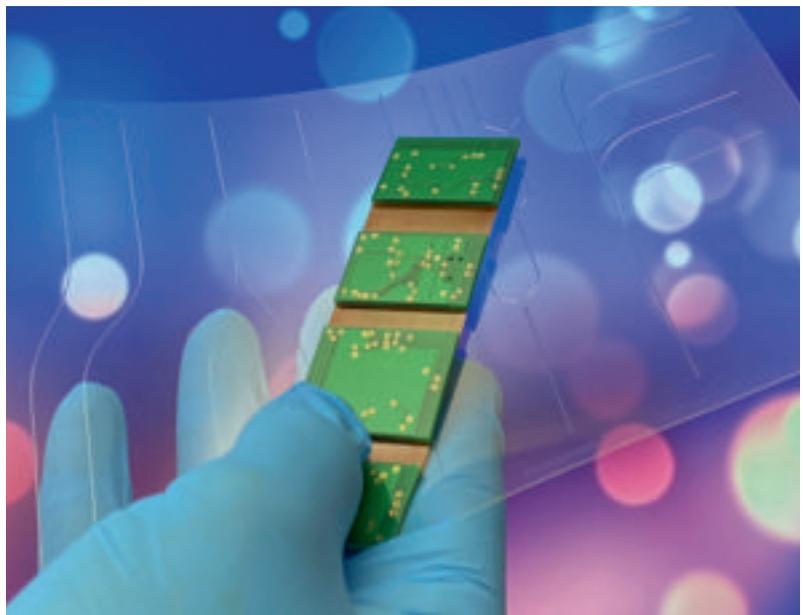
Ziel ist es herauszufinden, wie polymere Lichtwellenleiter – angepasst an die Leiterplattenintegration – drucktechnisch hergestellt werden können und wie sich die Integration in konventionelle Leiterplatten industriell umsetzen lässt. Dafür stellen die Forscher Lichtwellenleiter im Tiefdruck-, Siebdruck- und Flexodruckverfahren her und prüfen sie hinsichtlich ihrer optischen Eigenschaften und Produktionspotentiale.

Dabei wird bei allen Druckprozessen mehrschichtig Lichtwellenleiterpolymer inklusive Schutz- und Mantelschichten deckungsgleich auf Foliensubstrat aufgebracht. Im Zentrum der Forschungsarbeiten stehen zum einen die optischen Eigenschaften der Polymere im Verhältnis zu ihrer Eignung für den Druck, zum anderen geht es um die Frage, wie die gedruckten Wellenleiter optimal in die Leiterplatten zu integrieren sind. Zum Halbzeit-Meilensteintreffen des Projekts im vergangenen Jahr konnte bereits ein erster Demonstrator gezeigt werden, der die grundlegende Funktion einer optischen Netzwerkverbindung anhand eines gedruckten optischen Wellenleiters abbildet. ◀

Weitere Informationen: [Andreas Evertz \(ITA\)](mailto:andreas.evertz@ita.uni-hannover.de),

Tel. 0511 762 18174, [andreas.evertz@ita.uni-hannover.de](mailto:andreas.evertz@ita.uni-hannover.de)

Einen ausführlichen Text finden Sie unter: [phi-hannover.de](http://phi-hannover.de)



Ziel ist es herauszufinden, wie polymere Lichtwellenleiter drucktechnisch hergestellt werden können. Foto: ITA

# Maschinenlärm sehen und reduzieren

Das Institut für Umformtechnik und Umformmaschinen (IFUM) erforscht die Schallerzeugung von Stanzautomaten mithilfe einer akustischen Kamera und der Simulation von Geräuschentwicklungen. Auf dieser Basis lassen sich deutlich leisere Maschinen konstruieren.

Ob im Straßenbau oder in der Fabrik – Maschinen machen Krach. Besonders laut ist es, wenn Bleche gestanzt werden, zum Beispiel für Autokarosserien. Die Lärmpegel hier haben sich in den vergangenen Jahren sogar noch erhöht, weil innovative Werkstoffe mit hohen Festigkeiten zum Einsatz kommen, die das Fahrzeuggewicht reduzieren und die Crashsicherheit erhöhen.

Wenn beim Stanzen der Schneidstempel mit hohem Druck die Blechformen heraustrennt, werden die Bauteile der Presse in intensive Schwingungen versetzt. Dadurch entstehen Schallwellen, die über 100 dB erreichen können. Das entspricht in etwa der Lautstärke eines Presslufthammers. Wer dauerhaft solchem Maschinenlärm ausgesetzt ist, kann physische und psychische Langzeitschäden davontragen. Außerdem leidet die Konzentrationsfähigkeit derjenigen, die die Maschinen bedienen. Hinzu kommt, dass aus Lärmschutzgründen die Produktionszeiten eingeschränkt sind, was die Produktivität insgesamt mindert. Schallschutzkabinen für das Bedienpersonal sind zwar effektiv, aber mit hohen Kosten verbunden. Zudem erhöhen sie den Platzbedarf und beschränken die Zugänglichkeit für Justier-, Wartungs- und Reparaturarbeiten. Andere Lösungen, wie Schnittschlagdämpfer, die die Schwingungen reduzieren, sind ebenfalls teuer und außerdem wartungsintensiv. Zudem eignen sie sich nicht für alle Pressen.

Am IFUM werden derzeit Lösungen zur Lärminderung erforscht, die diese Nachteile vermeiden. Zum Einsatz kommt eine „akustische Kamera“: Es handelt sich um ein Feld aus 112 Mikrofonen, die um eine optische Kamera herum angeordnet

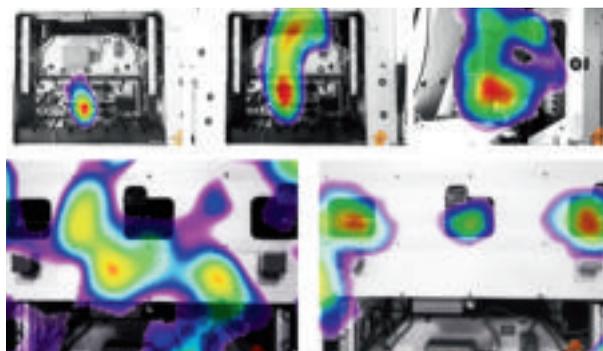
sind. Der messbare Frequenzbereich beträgt 10–24.000 Hz und der Betriebsbereich reicht bis 120 dB. Die Kamera nimmt Frequenzspektren und Schalldruckpegel auf, die den einzelnen Maschinenkomponenten anschaulich zugeordnet werden können. In Kombination mit einer Auswertesoftware ist es auf diese Weise möglich, die Geräuschquellen zu lokalisieren und festzustellen, welche Bauteile der Presse bei einem Stanzvorgang in Schwingungen versetzt werden und welche unterschiedlichen Schalldruckpegelfelder dadurch entstehen. Mit Hilfe dieser Daten lässt sich simulieren, welchen Einfluss die Formen und Materialeigenschaften der unterschiedlichen Komponenten der Pressen auf die Lärmentwicklung haben. Entsprechende Experimente mit realen Pressen wären gar nicht oder nur mit großem Aufwand möglich. Es zeigt sich, dass beispielsweise eine geeignete Abrundung der Kanten des Maschinengehäuses den Schalldruckpegel in kurzer Entfernung um 5 dB verringern kann.

Auf Basis der Forschungsergebnisse lassen sich leiser arbeitende Schneidpressen konstruieren. Das erspart Kosten für Schallschutzkabinen oder Schnittschlagdämpfer. Diese akustischen Optimierungen verbessern also nicht nur den Lärmschutz, sondern sie steigern auch die Wirtschaftlichkeit und somit die Wettbewerbsfähigkeit der Maschinenhersteller und -anwender. ◀

Weitere Informationen: *Dietmar Friesen (IFUM)*

Tel. 0511 762 5502, [friesen@ifum.uni-hannover.de](mailto:friesen@ifum.uni-hannover.de)

Einen ausführlichen Text finden Sie unter: [phi-hannover.de](http://phi-hannover.de)



Oben: Mit Hilfe einer akustischen Kamera lassen sich die Schall-emissionen einer Umformmaschine erfassen.

Unten: Visualisierung von Schallemissionen an unterschiedlichen Orten einer Presse. (Fotos: IFUM)

# Produktionstechnik auch für unterwegs



**phi**

**Produktionstechnik  
Hannover informiert**

Vielversprechende Ergebnisse, ausgezeichnete Wissenschaftler, neue Kooperationen: Mit der phi bleiben Sie produktionstechnisch auf dem Laufenden und in Kontakt mit dem Produktionstechnischen Zentrum Hannover, dem Laser Zentrum Hannover und dem Institut für Integrierte Produktion Hannover. [www.phi-hannover.de](http://www.phi-hannover.de)



# Hochpräziser Computertomograph: match kooperiert mit Siemens Healthineers

Ein neuer quantenzählender Computertomograph des Medizintechnikunternehmens Siemens Healthineers ermöglicht Aufnahmen mit bis dahin unerreichter Genauigkeit. Im Bereich des Prototypenbaus und der Montageprozessentwicklung leistete das Institut für Montagetechnik (match) Unterstützung.

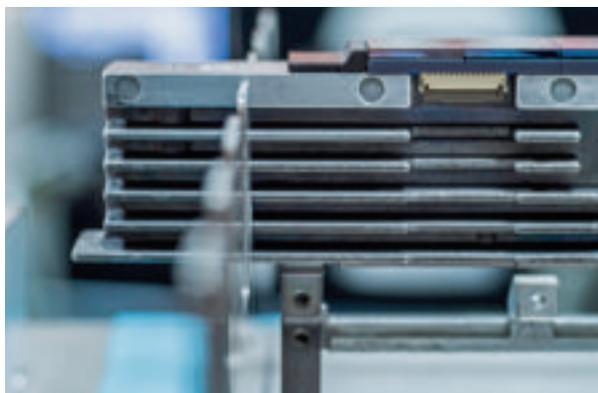
Ein Forschungsteam der Firma Siemens Healthineers stellte im vergangenen Jahr einen quantenzählenden Computertomographen vor und wurde dafür als eine von drei Forschungsgruppen für den Deutschen Zukunftspreis 2021 nominiert. Dieser Computertomograph bietet eine bislang unerreichte Kombination von hoher Bildschärfe und extrem kurzer Bildaufnahmezeit mit verbesserten Bildkontrasten und aussagekräftigeren Bildinhalten. Gleichzeitig wird eine geringere Strahlen- und Kontrastmitteldosis benötigt. Dadurch ist eine deutlich präzisere Diagnostik möglich. Zudem können Patienten behandelt werden, bei denen aufgrund der hohen Strahlenbelastung bislang eine Untersuchung schwierig war. Dazu gehören beispielsweise Kinder und Patienten mit Nierenerkrankungen.

Basis der neuen Technologie sind Einkristalle aus Cadmiumtellurid, die Röntgenstrahlung direkt in elektrische Signale wandeln. Dieses Material lässt sich aber nicht beliebig verarbeiten. Deshalb muss jeder Computertomograph aus nur ca. 4 cm<sup>2</sup> großen Sensoren zusammengesetzt werden. Damit sich trotzdem ein einheitliches Bild ergibt, ist dabei höchste Genauigkeit erforderlich – der Spielraum beträgt nur wenige Mikrometer. Diese Anforderungen erfüllt die flexible Präzisionsmontageanlage des match, deren Herzstück ein kartesischer Roboter ist. Die Anlage ermöglicht die automatisierte Montage von Fertigungsmustern auf höchstem Niveau sowie eine Auswertung der erreichbaren Genauigkeit.

Zwischen Siemens Healthineers und dem match besteht seit vielen Jahren eine enge Kooperation. In weiteren Forschungsprojekten geht es um die Entwicklung von neuen

Montageprozessen und um die Optimierung bereits bestehender Klebprozesse. ◀

Weitere Informationen: Philipp Jahn (match)  
Tel. 0511 762 18250, jahn@match.uni-hannover.de



Oben: Sensormodul des quantenzählenden Computertomographen,  
unten: Präzisionsmontageanlage des match (Fotos: match)

# Textilabfälle: Neues Recyclingverfahren spart Rohstoffe und schont die Umwelt

Am IKK - Institut für Kunststoff- und Kreislauftechnik wird in Zusammenarbeit mit Industriepartnern ein neues mechanisches Recyclingverfahren entwickelt, das aus Textilabfällen hochwertige Kunststoffrezyklate macht.

Textilien aus natürlichen oder chemischen Faserstoffen spielen insbesondere in der Bekleidungsindustrie eine entscheidende Rolle. Um Kundenwünsche zu erfüllen, wird die Kleidung in unterschiedlichsten Designs, Funktionen, Farben, Formen und Größen angeboten. Für die Textilindustrie bedeutet das, ständig neue Produkte entwickeln zu müssen. Eingesetzt werden häufig Mischgewebe aus natürlichen und synthetischen Fasern.

Mehr als die Hälfte der weltweit produzierten Fasern – etwa 55 Millionen Tonnen – sind Polyesterfasern, die einen anwendungsspezifisch aufbereiteten synthetischen thermoplastischen Kunststoff darstellen. Im Hinblick auf die Polymerart sind sie zwar identisch, aber sie kommen zumeist sowohl auf Textil- als auch auf Garnebene in einer sich ständig ändernden Palette von Zusammensetzungen vor. Der Grund: Die Hersteller hatten bisher nur die Nutzungsphase und die damit verbundenen Kundenansprüche an das Produkt im Blick. Was mit den Produkten geschieht, nachdem sie ausrangiert wurden, steht hingegen nicht im Fokus. Dadurch wird das effiziente Recycling von Textilerzeugnissen zu einer großen Herausforderung.

Im Jahr 2018 betrug nach Angaben von Eurostat die Menge der Textilabfälle in der EU über zwei Millionen Tonnen, wovon knapp 340.000 Tonnen in Deutschland anfielen. Mittlerweile bekommt die Wiederverwertbarkeit der Abfälle und Alttextilien eine steigende Bedeutung für die Textilindustrie. Dennoch ist ab einem bestimmten Punkt ein Weiterverkauf oder eine Wiederaufbereitung von Textilartikeln nicht mehr möglich, so dass sie als Abfall entsorgt werden müssen. Aktuell wird der größte Teil der Textilabfälle verbrannt oder deponiert, da es kein technologisch machbares und zugleich industriell einsetzbares Recyclingverfahren gibt, mit dem sich so große Mengen an Abfallmaterial bewältigen ließen. Das belastet die Umwelt und führt zu einem hohen Rohstoffverbrauch, da nicht genügend Rezyklate für die Produktion neuer Textilien zur Verfügung stehen.

Am IKK wurde ein innovatives mechanisches Verfahren entwickelt, das eine vielversprechende Lösung für das Recycling verschiedener Arten von Textilabfällen liefert. Dabei werden



Proben nach verschiedenen Recyclingstufen (Foto: Madina Shamsuyeva)

schmelzbare Bestandteile von Textilien wie ein thermoplastisches Material behandelt. Die sortierten Textilabfälle werden zunächst zerkleinert und pelletiert, im nächsten Schritt geschmolzen und nach dem Prinzip der „kaskadenfilterbasierten Recyclingextrusion“ als zähe Masse unter hohem Druck in mehreren Stufen gefiltert und zu Granulaten verarbeitet.

Die Qualität dieser Rezyklate kann je nach Bedarf mit verschiedenen Additiven wie beispielsweise Füll- und Farbstoffen, Verstärkungsmitteln, Haftvermittlern, Schlagzähigkeitsmodifikatoren oder auch durch Zugabe von Neukunststoffen verbessert werden. Die Rezyklate lassen sich für die Produktion verschiedener Spritzgießteile verwenden.

Zu den Vorteilen dieses Ansatzes gehört, dass er für große Mengen an Einsatzstoffen geeignet ist, dezentral umgesetzt werden kann und modulare Verarbeitungsschritte erlaubt. Gleichzeitig hängt die Qualität der Rezyklate stark von den vorbehandelten Materialien ab, die in den Recyclingprozess eingespeist werden.

„Zur Zeit erforschen wir gemeinsam mit Herstellern von Markenartikeln und Anlagenbauern, wie sich die einzelnen Vorbehandlungs- und Verarbeitungsschritte der kaskadenfilterbasierten Recyclingextrusion optimieren lassen. Dies ist ein Weg, um zukünftig Deponieabfälle und möglicherweise auch die Verbrennung von Textilien vollständig zu vermeiden“, sagt Dr. Madina Shamsuyeva, wissenschaftliche Mitarbeiterin am IKK. ◀

Weitere Informationen: Dr. Madina Shamsuyeva (IKK), Tel. 0511 762-18345, [shamsuyeva@ikk.uni-hannover.de](mailto:shamsuyeva@ikk.uni-hannover.de)  
Einen ausführlichen Text finden Sie unter: [phi-hannover.de/](http://phi-hannover.de/)

# Maschin Treiber der



# enbau - Nachhaltigkeit

*Text: Wolfgang Krischke  
Illustrationen: Sylvia Kubus*



Angesichts von steigenden Meeresspiegeln, anhaltenden Trockenperioden, verschmutzten Meeren und einem dramatischen Rückgang der Artenvielfalt ist „Nachhaltigkeit“ zum Megathema der Gegenwart geworden. Doch das Grundprinzip, um das es dabei geht, kannte schon vor mehr als dreihundert Jahren ein Mann, der von E-Mobilität und Recycling nicht einmal träumen konnte. Der kursächsische Bergbaubeamte Hans Carl von Carlowitz forderte im Jahr 1713 „eine kontinuierliche beständige und nachhaltige Nutzung“ des Waldes. Damit gehörte er zu den ersten, die ‚Nachhaltigkeit‘ als ökologischen Begriff im Sinne von Ressourcenschonung und Regenerationsfähigkeit verwendeten. Dass das mit Blick auf die Forstwirtschaft geschah, ist nicht verwunderlich: Holz war im 17. und 18. Jahrhundert ein äußerst knapper Rohstoff, begehrt als Bau- und Brennmaterial. Besonders der Bergbau, das Hüttenwesen und die Salinen verbrauchten riesige Mengen davon und verursachten immer wieder „Holznot“. Nur durch eine Kontrolle des Holzein-

schlags und kontinuierliche Wiederaufforstung ließen sich diese frühen Industrien auf Dauer betreiben und zugleich eine Versteppung der Landschaft verhindern. Lange war „Nachhaltigkeit“ deshalb vor allem ein forstwirtschaftliches Prinzip.

Aus dem Nischenbegriff von einst ist mittlerweile ein Schlagwort mit globaler Dimension geworden. Der einzige Weg, den Klimawandel, die Umweltverschmutzung und das Artensterben wirksam einzudämmen, führt über eine Wirtschaft, in der Nachhaltigkeit das leitende Prinzip darstellt. Doch die entscheidende Herausforderung besteht darin, diese politische Zielvorgabe praktisch umzusetzen, also Lösungen zu entwickeln, die technisch gut funktionieren, und gleichzeitig die hochindustrialisierten Gesellschaften vor wirtschaftlichen Einbrüchen und sozialen Verwerfungen zu bewahren. Dabei kommt dem Maschinenbau – seinen Forschungseinrichtungen ebenso wie seinen Unternehmen – eine Schlüsselrolle zu. Schließlich sind es die hier ent-

wickelten Technologien, die in der Industrie zum Einsatz kommen und so einen entscheidenden Beitrag zur Erreichung von Zielen wie Klimaneutralität und Ressourcenschonung leisten können. Das Potential, das der Maschinenbau in dieser Richtung entfalten kann, haben der Maschinenbauverband VDMA und die Strategieberatung Boston Consulting Group (BCG) in einer Studie untersucht (<https://media-publications.bcg.com/BCG-German-For-Machinery-Makers-Green-Tech-Creates-Green-Business-2020-07-14.pdf>).

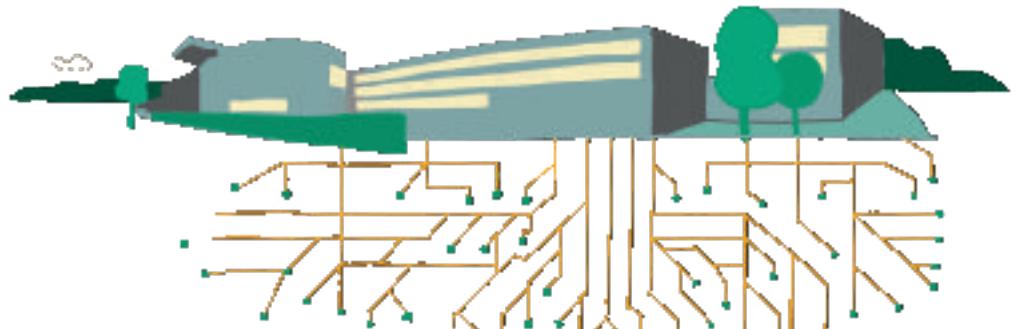
---

### Am meisten Treibhausgas entsteht durch die Fertigung

---

Danach erzeugen die OECD-Staaten gemeinsam mit Brasilien, Russland, Indien, China und Südafrika jährlich 35 Gigatonnen an CO<sub>2</sub>-Emissionen. Am meisten Treibhausgas entsteht durch die Fertigung (16,7 Gt), gefolgt von Bauwirtschaft (6,7 Gt), Transport (5,7 Gt) sowie Landwirtschaft und Entsorgung (4,3 Gt). Die Maschinenbaubetriebe





selbst emittieren nur 0,2 Gigatonnen, wobei der zunehmende Einsatz energie- und materialsparender Herstellungsverfahren für eine sinkende Tendenz sorgt. Im globalen Maßstab entscheidender ist, dass die Maschinen- und Anlagenbauer durch ihre Produkte Einfluss auf die Treibhausgasemissionen vieler Sektoren der industriellen und landwirtschaftlichen Produktion haben. Je stärker sie bei der Entwicklung der Technologien, die sie ihren Kunden anbieten, ökologische Kriterien einbeziehen, desto weiter bringen sie den Umbau hin zu einer nachhaltigen Wirtschaft voran. Langfristig lassen sich auf diese Weise der Studie zufolge die jährlichen CO<sub>2</sub>-Emissionen um insgesamt bis zu 30 Gigatonnen, also 86 Prozent senken.

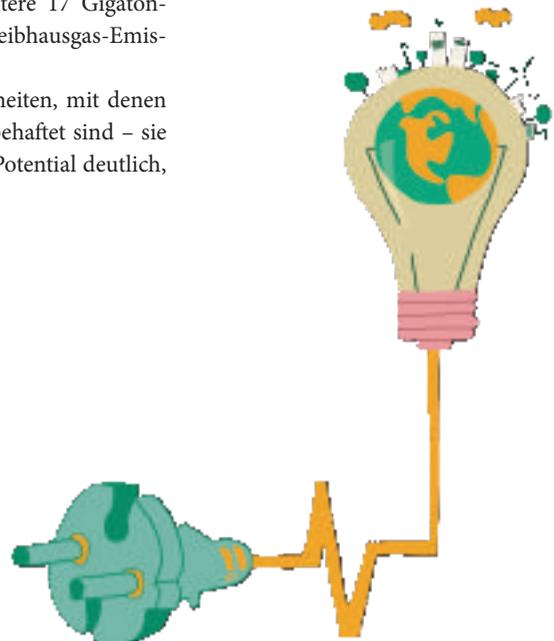
### Der Maschinenbau kann den ökologischen Fußabdruck seiner Kunden verkleinern

Zu diesen Hebeln, mit denen der Maschinenbau den ökologischen Fußabdruck seiner Kunden verkleinern

kann, gehören zum einen heute schon gängige Technologien wie beispielsweise Anlagen zur Erzeugung erneuerbarer Energie, optimierte Heiz- und Kühlsysteme mit Wärmerückgewinnung, energieeffiziente Motoren oder materialsparende Herstellungsverfahren. Durch eine flächendeckende Verbreitung und Nutzung dieser heute bereits wirtschaftlich einsetzbaren Technologien ließen sich der Studie zufolge 13 Gigatonnen oder 37 Prozent der Gesamtausstoßes an CO<sub>2</sub> einsparen. Andere Technologien wie die Methan-nutzung für den Antrieb von Landmaschinen oder die Herstellung und Nutzung „grünen“ Wasserstoffs als Energieträger werden möglicherweise in Zukunft Bedeutung bekommen, wenn ihre Herstellung und ihr Einsatz im industriellen Maßstab und zu marktwirtschaftlichen Bedingungen möglich sind. Damit ließen sich weitere 17 Gigatonnen der aktuellen Treibhausgas-Emissionen vermeiden.

Bei allen Unsicherheiten, mit denen solche Berechnungen behaftet sind – sie machen das immense Potential deutlich,

das der Maschinenbau in Sachen Nachhaltigkeit birgt. Dafür, dass dieses Potential auch realisiert wird, steht eine immer größer werdende Zahl von Ingenieuren, die ihre Kompetenz und Innovationsfreude mit ökologischem Engagement verbinden. Für sie sind Ressourcenschonung, Energieeffizienz und Abfallvermeidung keine Zusatzthemen, sondern integraler Bestandteil der Lösungen, an denen sie arbeiten. Dazu trägt auch die Lehre an den Hochschulen bei: „Grüne“ Aspekte, die in den Maschinenbaustudiengängen früher nur am Rand vorkamen, erhalten in den Lehrplänen eine stetig wachsende Bedeutung. Moderner Maschinenbau ist zu einem Treiber der Nachhaltigkeit geworden. Das ist eine gute Nachricht, denn Nachhaltigkeit „ist eine unentbehrliche Sache“, wie schon Hans Carl von Carlowitz festgestellt hatte.



# Nachhaltige Ingenieurwissenschaft: Ein deutschlandweit einmaliger Studiengang auf dem Campus Maschinenbau

Text: Wolfgang Krischke

Wie schaffen wir es, klimaneutral zu produzieren, das Artensterben einzudämmen, die Vermüllung der Meere zu stoppen? Nachhaltigkeitsziele zu formulieren reicht nicht – es kommt darauf an, sie in die Praxis unserer hochindustrialisierten Gesellschaft umzusetzen. Dafür braucht es Menschen, die ökologisches Denken, technische Kompetenz, Innovationsfreude und wissenschaftlich geschulten Pioniergeist verbinden. Sie auszubilden, ist das Ziel des neuen Bachelor-Studiengangs Nachhaltige Ingenieurwissenschaft, den die Fakultät Maschinenbau der Leibniz Universität Hannover seit dem Wintersemester 2021/22 anbietet.

Es ist deutschlandweit der einzige universitäre Studiengang dieser Art. Beteiligt sind insgesamt acht Fakultäten. Neben ingenieurwissenschaftlichen Kernfächern wie Mathematik, Technische Mechanik, Konstruktionslehre, Werkstoffkunde oder Energie- und Verfahrenstechnik stehen Themen der Nachhaltigkeitswissenschaft, des Umweltrechts und der Technikphilosophie auf dem Lehrplan. Gleich im ersten Semester absolvieren die Studierenden ein praxisnahes Bachelorprojekt. In Gruppen erarbeiten sie ingenieurwissenschaftliche Lösungen zu aktuellen Forschungs- oder Praxisproblemen, etwa wie Kunststoffe recycelt oder Schutzmasken im Medizinstor umweltschonender werden können. Hier geht es auch um Teamfähigkeit, Projektmanagement



und Eigenverantwortung – Kompetenzen, auf deren Ausbildung auch sonst im Studium Wert gelegt wird.

Wie groß die Nachfrage nach einer solchen Ausbildung ist, zeigen die Anmeldungen: Mit 115 Erstsemestern, davon 43 Frauen, ging der neue Studiengang im Oktober an den Start. „Die Zahlen zeigen uns, dass wir mit unserem Angebot richtig liegen“, sagt Lisa Lotte Schneider, Leiterin des Studiendekanats an der Fakultät für Maschinenbau. „Es gibt viele junge Menschen, die ihre Begeisterung für die Technik mit ökologischem Engagement verbinden wollen. Für sie haben wir die Nachhaltige Ingenieurwissenschaft konzipiert. Themen wie Ressourcenschonung und Energieeffizienz sind hier nicht Zusatzangebote, sondern mit den technischen Ausbildungsinhalten verwoben.“

Einen wichtigen Bestandteil des Lehrplans bilden produktionstechnische Vorlesungen und Übungen aus allen Disziplinen des PZH. Zwei PZH-Institute liefern darüber hinaus mit ihren Modulen einen besonderen Beitrag zum Nachhaltigkeitsprofil des Studiengangs: Das Mo-

dul ‚Nachhaltige Produktion‘ des Instituts für Fabrikanlagen und Logistik (IFA) behandelt alle Facetten der Nachhaltigkeit in Produktionsunternehmen, von der Material- und Energieeffizienz über Mitarbeiterpartizipation, Fragen der Beschaffung und Distribution bis hin zu rechtlichen und politischen Aspekten (s. Interview). Im Modul ‚Polymerwerkstoffe‘ des Instituts für Kunststoff- und Kreislauftechnik (IKK) geht es um die Eigenschaften der unterschiedlichen Kunststofftypen und die Methoden ihrer Analyse, während das Modul ‚Kreislauftechnik‘, ebenfalls vom IKK veranstaltet, die unterschiedlichen Verarbeitungs- und Recyclingtechnologien behandelt. Bei der ‚Nachhaltigkeitsbewertung‘, dem dritten IKK-Modul, bilden Ökobilanzen ein zentrales Thema. (s. Interview).

Wer nach dem Bachelorabschluss weitermachen will, kann einen Masterstudiengang der beteiligten ingenieurwissenschaftlichen Fakultäten anschließen. Möglich sind beispielsweise Maschinenbau, Umweltingenieurwesen, Mechatronik und Robotik oder Biomedizintechnik. Einen Arbeitsplatz zu finden, wird den Nachhaltigkeitsingenieuren von morgen aller Voraussicht nach nicht schwerfallen. Mit ihrem Wissen und Know-how werden sie in der produzierenden Industrie, der Fertigungstechnik, im Bereich der erneuerbaren Energien, in der Abfallwirtschaft, der Rohstoffindustrie, aber auch in öffentlichen Einrichtungen und in der Politikberatung sehr gefragt sein.

**Herr Dr. Heinen, Sie sind von diesem Semester an Dozent für das Modul ‚Nachhaltige Produktion‘ im Studiengang Nachhaltige Ingenieurwissenschaft. Dieses Thema ist für Sie auch als Lehrstoff kein Neuland, Sie halten dazu schon seit mehreren Jahren eine Vorlesung im Studiengang Maschinenbau. Welche Erfahrungen als Dozent haben Sie mit dem Thema in der universitären Lehre gemacht?**

Ich biete seit 2015 im Maschinenbau die Lehrveranstaltung ‚Nachhaltigkeit in der Produktion‘ an. Es ist keine klassische Vorlesung, sondern eher ein Seminar, das von Diskussionen und der gemeinsamen Erarbeitung von Lösungen lebt. Deshalb ist die Teilnehmerzahl auf 25 begrenzt. Die Idee dazu hatten Prof. Nyhuis, der Leiter des IFA, und ich. Nachhaltigkeit in der Fabrik war damals noch ein Nischenthema, im Lehrplan kam es überhaupt nicht vor. Jetzt gibt es einen kompletten Studiengang dafür.

**Wie war die Resonanz der Studenten auf Ihre Vorlesung?**

Als ich anfang, waren wir zu zehnt in der Vorlesung. Jetzt, sieben Jahre später, hat sich die Situation völlig verändert. Obwohl es keine Pflichtveranstaltung ist, bekomme ich jedes Mal 80 bis 90 Anmeldungen. Die Mehrzahl muss ich wegen der begrenzten Platzzahl leider ablehnen.

**Sieben Jahre sind ja keine lange Zeit.**

**Was hat sich so grundlegend verändert?**

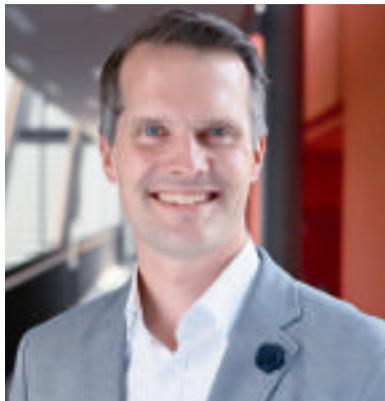
Mittlerweile trifft die Vorlesung einen Nerv, weil das Thema Nachhaltigkeit eine enorme Wucht bekommen hat. Das merkt man ja auch an den Erstsemesterzahlen im neuen Studiengang. Für die jungen Leute, die jetzt anfangen zu studieren, haben ökologische Aspekte eine ganz großes Gewicht. Ich frage meine Studierenden immer: Werden solche Kriterien für Sie auch bei der Wahl des Arbeitgebers eine Rolle spielen? Alle sagen: Ja, natürlich!

**Nun ist Nachhaltigkeit ja ein weiter Begriff. Was verbinden Sie in Ihrer Vorlesung damit?**

Wenn es um Fabrikplanung geht, ist Nachhaltigkeit ein übergeordnetes Thema, das alle Bereiche eines Unternehmens durchzieht. Der Schwerpunkt der Vorle-

sung liegt zwar auf der Frage, wie man die Produktion im Sinne der Nachhaltigkeit organisieren kann. Aber wir schauen auch in andere Unternehmensbereiche wie Beschaffung oder Vertrieb. Das Ganze fußt auf einem Modell mit drei Säulen: Neben der ökonomischen steht die ökologische Perspektive, bei der es zum Beispiel um Materialeinsparung und Energieeffizienz geht. Und drittens gehört die soziale Perspektive, also die Mitarbeiterzufriedenheit, zur Nachhaltigkeit.

**Bringen Sie den Studenten auch Strategien bei, wie sie das Thema Nachhaltigkeit in die Betriebe hineinbringen können?**



*Dr.-Ing. Tobias Heinen ist einer der drei Geschäftsführer der GREAN GmbH. Die Firma – eine Ausgründung aus dem Institut für Fabrikanlagen und Logistik (IFA) – berät produktionstechnische Unternehmen bei der Fabrikplanung und Prozessoptimierung. Als Lehrbeauftragter des IFA hält er Gastvorlesungen im Studiengang Maschinenbau sowie im neuen Studiengang Nachhaltige Ingenieurwissenschaft. Foto: GREAN*

Ja, nach den theoretischen Grundlagen geht es im zweiten Teil der Vorlesung um die Frage, wie sich Nachhaltigkeit als leitendes Thema in einem Unternehmen implementieren und umsetzen lässt. Es gibt parallel zur Vorlesung eine Übung. Da spielen wir anhand eines realen Fallbeispiels die unterschiedlichen Schritte der Umwandlung von einem klassisch organisierten hin zu einem nachhaltig organisierten Unternehmen durch.

**Welche praktischen Erfahrungen haben**

**Sie als Berater bislang mit solchen Umwandlungsprozessen gemacht?**

Was man in den Unternehmen wirklich verstanden hat, ist die ökologische Seite der Nachhaltigkeit. Wegen der steigenden Energiepreise und der Probleme bei Materiallieferungen muss man niemandem mehr erklären, warum man Energie und Material einsparen sollte. Aber der Blick durch die soziale Brille, den gibt es bislang selten. Wie kann ich meine Fabrik so gestalten, dass meine Mitarbeiter ihn als einen angenehmen, vielleicht sogar inspirierenden Arbeitsort erleben? Dieser Frage werden sich Unternehmer stellen müssen, denn wegen der demographischen Entwicklung können sich gut ausgebildete Leute den Arbeitgeber mittlerweile aussuchen. Einzelne Unternehmensleitungen reagieren auch schon auf diese Situation und versuchen, eine Fabrik zu bauen, die sich weniger wie eine Fabrik, sondern eher wie eine Arbeitswelt anfühlt.

**Was heißt das konkret?**

Zum einen geht es um ganz einfache Sachen, zum Beispiel um Tageslicht in der Halle statt ausschließlich künstlicher Beleuchtung, um eine effiziente Lüftungstechnik, angenehme Temperaturen, gute Sozialräume. Aber es geht auch um die künstliche Trennung, die bislang besteht zwischen denen, die in schicken Büros sitzen und die Produktion planen und denen, die an der Maschine stehen und das dann „ausbaden“ müssen. Diese Trennung sollte aufgehoben werden: Entscheidungen sollten stärker in den produzierenden Bereichen selbst fallen, weil die Mitarbeiter dort auch die Konsequenzen tragen müssen. Aber da gibt es noch viel Überzeugungsarbeit zu leisten.

**Neben Ihrer Nachhaltigkeitsvorlesung im Maschinenbau werden Sie nun auch das Modul ‚Nachhaltige Produktion‘ im Studiengang Nachhaltige Ingenieurwissenschaft unterrichten. Gibt es da Unterschiede?**

Es ist ein Pflichtmodul, das heißt, die Teilnehmerzahl wird deutlich höher sein. Ich werde trotzdem versuchen, den interaktiven Charakter aus der Maschinenbau-Vorlesung so weit wie möglich mit hinüberzunehmen.



*Prof. Dr.-Ing. Hans-Josef Endres ist Leiter des IKK – Instituts für Kunststoff- und Kreislauftechnik. Die Forschungsarbeit des Instituts nimmt den gesamten Lebenszyklus von biobasierten und konventionellen Kunststoffen in den Blick und zwar von der Materialentwicklung über die Verarbeitung, Anwendung bis hin zu den verschiedenen End of Life Optionen sowie der Nachhaltigkeitsbewertung der Werkstoffe und Prozesse.*

**Herr Professor Endres, das IKK ist in der Nachhaltigen Ingenieurwissenschaft mit drei profilgebenden Lehrveranstaltungen vertreten. Waren Sie auch bereits an der Konzeption des Studiengangs beteiligt?**

Die Idee wurde in der „Fakultät „geboren“. Ich habe mich gerne in die Entwicklung des Studiengangs von Anfang an eingebracht, denn zum einen ist Nachhaltigkeit eines der Kernthemen des IKK und zum anderen bietet der Studiengang uns als neuem Institut eine sehr gute Möglichkeit, unsere Lehrinhalte auch in Form von Pflichtmodulen in einem neu zu gestaltenden Curriculum zu positionieren. Ich kann mir auch vorstellen, dass wir auf den Bachelor-Studiengang später noch einen Masterstudiengang aufsetzen.

**Wie verlief die Planungsphase? Muss-**

**anfang viel Überzeugungsarbeit leisten?**

Nein, nachdem der Maschinenbau die Initiative zu diesem Studiengang ergriffen hatte, bekam das Thema sehr schnell eine positive Eigendynamik. Die Resonanz, sowohl innerhalb der Universität als auch von Seiten des Wissenschaftsministeriums, war von Anfang an sehr ermutigend.

**Der Studiengang versammelt ja viele Fächer unter einem Dach. Haben Sie und die anderen Mitglieder des Planungsteams sich zusammengesetzt und überlegt, wen sie ansprechen können?**

Wir sind auf Kollegen, die in der Lehre passende Themen behandeln, aktiv zugegangen, aber einige haben sich auch selbst gemeldet. Klar war für uns alle, dass es nicht damit getan war, schon bestehende Lehrinhalte zum Beispiel zur materialge-

rechten Konstruktion nun einfach mit dem Etikett der Nachhaltigkeit zu versehen, sondern dass neue, studiengangspezifische Vorlesungen angeboten werden müssen. Daneben haben wir auch geschaut, wie man schon existierende Lehrveranstaltungen so weiterentwickeln kann, dass sie in das Profil passen.

**Eine der Lehrveranstaltungen, die das IKK anbietet, trägt den Titel „Nachhaltigkeitsbewertung“. Worum geht es da?**

Es ist eine Vorlesung, die über zwei Semester läuft und aus zwei Teilen besteht. Da geht es im ersten Teil um die Frage, was Nachhaltigkeit überhaupt ist und wie man Nachhaltigkeit bewerten kann, also welche Aspekte, Kriterien und Standards eine Rolle spielen, wenn man beispielsweise eine Ökobilanz zur Adressierung der Umweltauswirkungen erstellen will und



*Hannah Goerdeler, studiert im initialen Semester des neuen Studiengangs „Nachhaltige Ingenieurwissenschaft“. Foto: privat*

**Frau Goerdeler, was hat Sie motiviert, Nachhaltige Ingenieurwissenschaft zu studieren?**

Ich bin naturwissenschaftlich interessiert und habe zunächst ein Semester Mathe-

matik studiert. Aber da fehlte mir der praktische Bezug und ich habe auch gemerkt, dass mir die Fokussierung auf nur ein Fach wie Mathematik oder Physik nicht abwechslungsreich genug ist. Als ich dann auf die Nachhaltige Ingenieurwissenschaft stieß, die viele unterschiedliche praktische und theoretische Aspekte kombiniert, habe ich mir gedacht: Das probiere ich mal aus. Bis jetzt bin ich damit sehr zufrieden.

**Wie haben Sie das erste Semester des neuen Studiengangs erlebt?**

Wir haben ja zunächst viele Vorlesungen in den Grundlagenfächern, die nicht neu konzipiert wurden, sondern an denen auch diejenigen teilnehmen, die Maschinenbau oder Wirtschaftsingenieurwesen studieren. Aber es gab auch einige Lehrveranstaltungen nur für uns, zum Beispiel in der technischen Mechanik und in der Nachhaltigkeitswissenschaft. Das war gut,

weil man da die Kommilitonen kennenlernen konnte, mit denen man künftig zusammen studieren wird.

**Ihr erstes Semester war ja zugleich die Premiere des Studiengangs. Lief alles glatt oder hat es noch hier und da geruckelt?**

Gelegentlich wurde noch an der einen oder anderen Stellschraube gedreht, aber im Großen und Ganzen habe ich organisatorisch keinen Unterschied zu schon länger eingeführten Studiengängen bemerkt. Bis auf einen: Tutoren aus unserem Studiengang gab es natürlich noch nicht. Das haben erstmal Studierende aus dem Maschinenbau übernommen.

**Wenn Sie sich unter Ihren Kommilitonen umhören – was reizt sie an der Nachhaltigen Ingenieurwissenschaft?**

Neben der thematischen Vielfalt ist für viele der ökologische Schwerpunkt ein entscheidender Anreiz. Es gibt etliche, die

welche Freiheitsgrade es dabei gibt. Im zweiten Teil erstellen die Studierenden dann aktiv selber Ökobilanzen unter Nutzung spezifischer Softwareprogramme und in enger Anleitung durch uns. Sie lernen dabei auch, die dafür notwendigen Daten zu recherchieren. Es ist eine sehr interaktive und betreuungsintensive Lehrveranstaltung, denn jeder bekommt hier sein eigenes Thema und führt die Ergebnisse am Ende in einer Hausarbeit zusammen.

#### Was sind Freiheitsgrade?

Das sind zum Beispiel die jeweiligen Systemgrenzen, die ich wählen kann oder die Entscheidung darüber, welche Umweltkategorien ich einbeziehe und welche nicht. Nehmen wir zum Beispiel den Einsatz von Kohlenstofffasern im Auto: Blicke ich nur auf den Kraftstoffverbrauch, schneiden sie wegen ihres geringen Gewichts sehr gut ab. Aber ich muss auch berücksichtigen, wie viel Energie ihre Herstellung erfordert und welche Probleme die Entsorgung bereitet. Im ersten Teil der Vorlesung sensibilisieren wir die Studierenden für solche Aspekte und befähigen sie, Ökobilanzen kritisch zu hinterfragen. Im zweiten Teil gewinnen sie ein Verständnis darüber, wie wichtig hier zu die richtigen Annahmen und deren je-

weilige Auswirkungen sind.

#### Worum geht es bei den anderen beiden Modulen, die das IKK zum Studiengang beisteuert?

Im Modul ‚Polymerwerkstoffe‘ geht es zunächst einmal um Basiswissen, also um die Herstellung und den chemischen Aufbau der Kunststoffe. In einem weiteren Schritt werden dann insbesondere die für Rezyklate relevanten Kunststoffeigenschaften angesprochen. Die Studierenden lernen – auch durch praktische Laborübungen – wie diese Eigenschaften ermittelt werden und wie sie mit der Mikrostruktur der Kunststoffe zusammenhängen. Damit wird die Grundlage für das daran anschließende Modul ‚Kreislauftechnik‘ gelegt. Da beschäftigen wir uns mit den Anforderungen an die Inputströme und deren Behandlungsstufen sowie mit den unterschiedlichen Recyclingverfahren. Oder wir behandeln zum Beispiel die Frage, warum bestimmte Kunststofftypen nicht zusammen eingeschmolzen werden dürfen oder wie ich die Kreislaufkonzepte einschließlich der technischen Recyclingprozesse gestalten muss, damit die Rezyklate höherwertig und konkurrenzfähig im Vergleich zu den Primärkunststoffen sind.

#### Denken Sie, dass die Nachhaltige Ingenieurwissenschaft junge Leute anzieht, die früher gar keine Ingenieurwissenschaft studiert hätten oder reagiert der Studiengang auf ein verändertes Bewusstsein bei denjenigen, die die klassische Klientel für ein Maschinenbau- oder Elektrotechnikstudium bilden?

Ich denke, wir werden beides haben. Es wird diejenigen geben, die in erster Linie Maschinenbau studieren wollen und es gut finden, dass sich dieser Studiengang auch mit den zunehmenden ökologischen Herausforderungen auseinandersetzt und technische Lösungen entwickelt. Aber es wird auch andere geben, für die die Nachhaltigkeit im Vordergrund steht und die sich freuen, dass sie sich jetzt auf der Basis einer breiten ingenieurtechnischen Ausbildung dafür einsetzen können. Aber gemeinsam ist ihnen die Überzeugung, dass wir und insbesondere die zukünftigen Entscheidungsträger nicht einfach so weitermachen können wie bisher. Spannend wird sein, wie sich der Studiengang in den nächsten Jahren konsolidieren wird und in welchen Branchen und Berufen die Studierenden nach dem Abschluss unterkommen werden.

sich für die klassischen Ingenieurstätigkeiten nicht so interessieren, die aber glauben, dass der Nachhaltigkeitsschwerpunkt einen entscheidenden Unterschied macht und sie später im Beruf auch in dieser Richtung etwas bewirken können.

#### Das thematische Spektrum im Studiengang ist groß und reicht von der Produktionstechnik über Umweltrecht bis zur Wissenschaftsphilosophie. Was interessiert Sie unter diesen Fächern am meisten?

Ich finde sowohl die naturwissenschaftlichen und technischen Grundlagen als auch die speziell auf Nachhaltigkeit fokussierten Fächer interessant. Die Kombination aus Theorie und Praxis ist sinnvoll: Um Nachhaltigkeit zu gestalten, sollte man sich klar machen, was man darunter eigentlich versteht und welche verschiedenen Ansätze es gibt. Umweltethik finde ich sehr spannend, aber mir hat zum Bei-

spiel auch die Konstruktionslehre viel Spaß gemacht. Da ging es vor allem um technisches Zeichnen und Normierung. Und ich habe mich gefreut, dass es gleich im ersten Semester das Bachelorprojekt gab, wo man schon mal einen praktischen Ansatzpunkt gezeigt bekam.

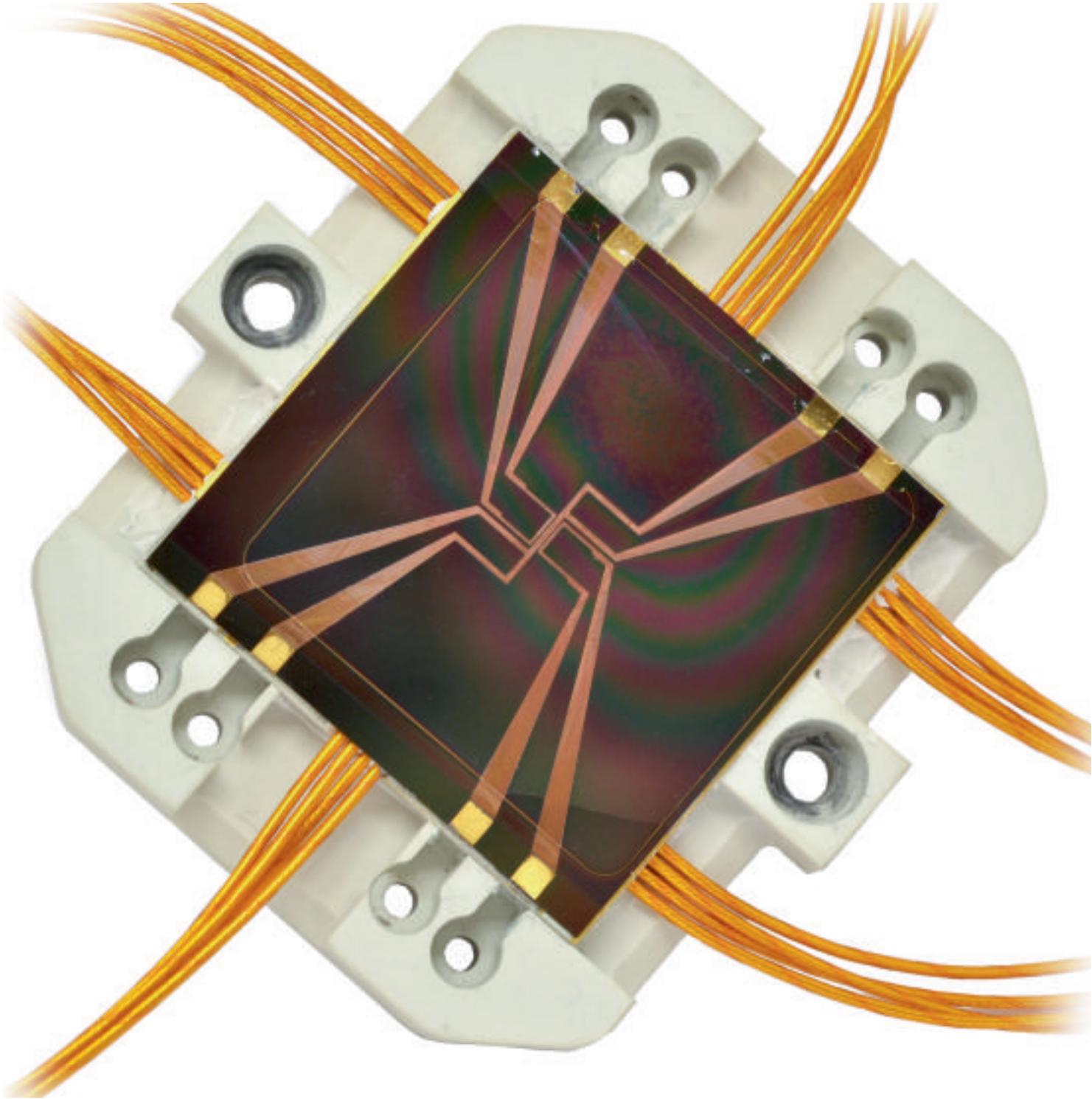
#### Was haben Sie da gemacht?

Ich war im Projekt ‚What’s happening with my ‚Gelber Sack‘?‘, das sich mit Kunststoffrecycling beschäftigte. Wir haben uns im Labor Eigenschaftsprüfungen für Kunststoffe angesehen und ein Materialdatenblatt erstellt.

#### Sind Sie in den Lehrveranstaltungen schon auf etwas gestoßen, das für Sie besonders neu oder überraschend war?

Vor allem zum Thema Kunststoff habe ich viel erfahren, was ich vorher so nicht wusste, zum Beispiel wie Recycling funktioniert und welche Konsequenzen es hat, dass sich vieles gar nicht recyceln lässt. Das

passte wiederum zu einem Thema, das wir in der Konstruktionslehre behandelten, als es um das Entwerfen von Bauteilen und Geräten ging: Eine billige Methode, die Bestandteile zusammenzufügen, ist oft das Zusammenkleben oder Zusammenschweißen. Aber das verhindert das Recycling, weil sich die Komponenten dann nicht mehr trennen lassen. Was mich auch beeindruckt hat, war ein Vortrag, den eine studentische Arbeitsgruppe in der Nachhaltigkeitswissenschaft gehalten hat: Es ging um den Anstieg des Meeresspiegels – und zwar am Beispiel der Niederlande. Dadurch wurde die Dramatik besonders deutlich, denn bei einem entsprechenden Anstieg wäre nicht nur wie in Deutschland der Küstenstreifen unter Wasser, sondern fast die Hälfte des Landes. Ich bin also schon im ersten Semester auf Aspekte und Denkansätze gestoßen, denen ich sonst nicht begegnet wäre.



# Miniaturisierte Quantengravimeter für die Klimaforschung

Wissenschaftler des Instituts für Mikroproduktionstechnik (IMPT) und des Instituts für Quantenoptik (IQ) entwickeln miniaturisierte Quantengravimeter zur hochpräzisen Messung der Erdbeschleunigung. Zu den Einsatzgebieten gehören die Klima- und die Erdbebenforschung.

*Text: Wolfgang Krischke*

*Foto: IMPT*

Die Gravimetrie ermöglicht die Vermessung des Schwerefelds der Erde. Das gibt an, wie stark ein Gegenstand an verschiedenen Orten auf der Erdoberfläche beschleunigt wird. Das Schwerefeld ist etwa über einer Eisenerzschicht stärker als über einer Sandschicht, da Sand eine geringere Dichte als Eisenerz besitzt. Deshalb kann man aus der Stärke des Schwerefeldes auf die Beschaffenheit des Erdinneren schließen. Gravimetrische Methoden werden zum Beispiel für die Erkundung von Bodenschätzen oder den Tiefbau eingesetzt, sie dienen zur Frühwarnung vor Erdbeben und Vulkanausbrüchen und sie sind Teil der Klimaforschung, die sich mit der Massenverteilung der Erde, mit Meeresströmungen und dem Grundwasserspiegel in Folge des Klimawandels befasst.

Um die Erdbeschleunigung hochpräzise zu messen, entwickeln Forscher des IMPT und des IQ miniaturisierte Quantengravimeter, die sich die Welleneigenschaften von Atomen zunutze machen. Das Funktionsprinzip basiert dabei auf der Untersuchung des freien Falls von Atomen im Ultrahochvakuum. Im Gegensatz zu klassischen Interferometern ist dieser Fall reibungslos und benötigt keine komplexe Mechanik mit regelmäßiger Wartung und Kalibrierung. Laserimpulse, die von einer Kamera detektiert werden, dienen zur Positionsbestimmung während des freien Falls. Die Genauigkeit ist jedoch begrenzt, da heutzutage „nur“ lasergekühlte Atome verwendet werden, die unterschiedliche Wellenbewegungen aufweisen. Um die Genauigkeit zu erhöhen, sollen Bose-Einstein-Kondensate

als Quelle für die Quantengravimeter genutzt werden: Dabei handelt es sich um Elementarteilchen, die sich aufgrund extrem niedriger Temperaturen alle gleich verhalten. Der Schwerpunkt des IMPT liegt auf der Miniaturisierung und Weiterentwicklung von Atomchips als Quelle von Bose-Einstein-Kondensaten mit dem Ziel, ein transportables Quantengravimeter zu realisieren, welches sich für den Einsatz im Feld oder an Bord von Flugzeugen, Höhenforschungsraketen oder Satelliten eignet.

Diese mikrotechnologischen Systeme werden derzeit noch in rein makroskopischen Aufbauten eingesetzt. Daher wollen die Wissenschaftler am IMPT im nächsten Schritt die Messumgebung miniaturisieren. Zu den Forschungsschwerpunkten zählt dabei die Realisierung von kompakten Ultrahochvakuum-Systemen einschließlich geeigneter Füge- und Integrationstechniken, miniaturisierter Atomquellen sowie Pump- und Messsystemen. Ein vielversprechendes Konzept ist dabei die Verwendung von sogenannten nicht-verdampfenden Gettermaterialien (NEG), deren Grundlage die Oberflächensorption von Gasmolekülen darstellt.

*Weitere Informationen:*

*Alexander Kassner,*

*Prof. Dr.-Ing. Marc Christopher Wurz*

*Tel. (0511) 762-18025*

*kassner@impt.uni-hannover.de*

*Einen ausführlichen Text finden Sie unter: [phi-hannover.de](http://phi-hannover.de)*

# Gewichtsverlust:

## Die stärkste Landmaschine der Welt nimmt ab



Tonnenschwere Landmaschinen leichter machen und so die Klima- und Umweltbelastungen reduzieren – daran forscht man am Institut für Fertigungstechnik und Werkzeugmaschinen (IFW) in Zusammenarbeit mit der Technischen Universität Clausthal und Industriepartnern.

*Text: Wolfgang Krischke  
Foto/Montage: Krone/IFW*

In den vergangenen Jahrzehnten sind landwirtschaftliche Erntemaschinen immer leistungsfähiger, aber auch schwerer geworden. Das bringt Nachteile mit sich: Durch das höhere Gewicht steigt der Treibstoffverbrauch und die Grenzen der zulässigen Straßenbelastung werden erreicht. Zudem nimmt die Bodenverdichtung auf den Äckern zu. Das hemmt die Versickerung des Regenwassers und verschlechtert die Lebensbedingungen von Bodenorganismen. Im Projekt AgriLight, das vom Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz gefördert wird, arbeitet ein Forschungsteam des IFW und des Instituts der Polymerwerkstoffe und Kunststofftechnik der Technischen Universität Clausthal gemeinsam mit den Industriepartnern Maschinenfabrik Bernard KRONE GmbH & Co. KG und M&D Composites Technology GmbH an einer Lösung dieser Probleme. Als beispielgebendes Forschungsobjekt dient die zurzeit stärkste Landmaschine der Welt: der Feldhäcksler BiG X des Landmaschinenherstellers Krone. Feldhäcksler werden zur Aufnahme, Zerkleinerung und Verladung von landwirtschaftlichem Erntegut eingesetzt. Insbesondere bei der Ernte von Mais und anderen nachwachsenden Rohstoffen spielen sie eine immer wichtigere Rolle.

Um das Gesamtgewicht von BiG X zu verringern, wollen die Wissenschaftler den eine Tonne wiegenden Hauptrahmen





aus Stahl samt anliegenden Tanks und Aggregaten durch eine Leichtbaukonstruktion aus Glasfaser- und Kohlenstoffaserverbundwerkstoffen ersetzen, die nur halb so viel wiegen wird. Das soll nicht nur die Straßenoberflächen entlasten und die Bodenverdichtung reduzieren. „Wir versprechen uns davon auch eine signifikante Reduktion des Kraftstoffverbrauchs und damit eine Verminderung von schädlichen Treibhausgasen. Zudem brauchen die Landwirte für den Betrieb der Maschinen dann keine Ausnahmegenehmigungen mehr“, erläutert Dr.-Ing. Carsten Schmidt, Leiter der Forschungskoope-ration am CFK Nord in Stade, einer Außenstelle des IFW.

Eine der Herausforderungen besteht darin, dass sich die mechanischen, elektrischen und chemischen Eigenschaften der Leichtbaumaterialien

von denen des Stahls teilweise grundlegend unterscheiden. Gleichzeitig verlangen Faserverbunde andere Fertigungsverfahren und bieten dafür neue Formgebungsmöglichkeiten. Zur Ausschöpfung des vollen Leichtbaupotenzials werden diese Eigenschaften bei der Konstruktion berücksichtigt. Ein weiterer Schwerpunkt liegt in der Erforschung einer Verbindungstechnik, die sich für die Faserverbund-Rahmenstruktur und deren Integration eignet. Dafür entwickeln die Ingenieure einen hybriden Strukturaufbau: In die stark beanspruchten Schnittstellen werden metallische Einleger mit einer besonderen Form integriert. Sie sollen zum einen den hohen Lasten standhalten und zum anderen die Verwendung bekannter und in der heutigen Montage eingesetzter Verbindungsmethoden der Metallverarbeitung erlauben.

Am Ende des Projekts wird das neue Leichtbau-Rahmenkonzept in einem speziellen Prüfstand praxisnah auf seine Serientauglichkeit hin getestet werden. „Wenn die Ergebnisse positiv ausfallen, wird das ein entscheidender technischer und ökologischer Fortschritt für die Landwirtschaft sein“, so Dr. Carsten Schmidt.

Weitere Informationen:  
Dr.-Ing. Carsten Schmidt (IFW)  
Tel. 04141 7763811,  
Schmidt@ifw.uni-hannover.de



# Sintern statt Ätzen: 3D-Druck macht Fertigung von Leiterbahnen umweltfreundlicher

Das Institut für Transport- und Automatisierungstechnik (ITA) entwickelt ein innovatives 3D-Druckverfahren, das die Produktion von Leiterbahnen umweltfreundlicher, effizienter und flexibler macht.

*Text: Wolfgang Krischke*

*Fotos: ITA*



**L**eiterbahnen sind die „Adern“ der Mikroelektronik. Sie dienen der Strom- und Signalübertragung in elektronischen Bauelementen und integrierten Schaltkreisen, die – von der Computer über die Fahrzeug- bis zur Medizintechnik – aus unserem Alltag nicht mehr wegzudenken sind.

Allerdings bringen die herkömmlichen Herstellungsverfahren ökologische Probleme mit sich. Um Leiterbahnen zu erzeugen, werden mit Kupfer beschichtete Platten mit einem lichtempfindlichen Lack überzogen. Nach der Belichtung mit einer Vorlage werden die Bahnen in der Kupferschicht durch Ätzverfahren hervorgebracht. Dafür sind Bäder mit hochgiftigen Chemikalien notwendig. Die Produktion findet deshalb überwie-

gend in Asien statt, wo die Umweltvorschriften weniger streng sind. Hinzu kommt ein hoher Kupferverbrauch: Bis auf die Strukturen, die als Leiterbahnen dienen, muss die Kupferbeschichtung komplett weggeätzt werden.

Am Institut für Transport- und Automatisierungstechnik (ITA) wird im Forschungsprojekt „3D-CopperPrint“ eine Technik entwickelt, die umweltfreundlicher ist, Material spart und zudem weniger Arbeitsschritte erfordert. Es handelt sich um ein 3D-Druckverfahren, mit dem sich die Leiterbahnen direkt auf den Bauteiloberflächen erzeugen lassen: Zunächst wird eine Grundierung aufgetragen, um Oberflächendefekte auszugleichen und das Bauteil thermisch zu isolieren. An-

schließend folgt eine Schicht aus kupferhaltigem Lack. Die Leiterbahnen entstehen hier aber nicht durch Ätzen, sondern durch Sintern, ein Verfahren, das auch dem Brennen von Keramik zugrunde liegt. Im ITA kommt allerdings kein Brennofen zum Einsatz, sondern das Lasersintern: Bei diesem 3D-Druckverfahren reduziert ein Laserstrahl die Kupferverbindungen aus dem Lack zu elementarem Kupfer und verschmilzt sie miteinander. Im letzten Schritt entfernt eine Laserreinigung den restlichen, nicht gesinterten Lack. Auf diese Weise werden die Leiterbahnen direkt auf der Bauteiloberfläche erzeugt, chemische Bäder entfallen und der Kupferverbrauch ist geringer. „Dadurch leistet unser Verfahren einen wesentlichen Beitrag zur Nachhaltigkeit bei der Herstellung von



*Gedruckte Leiterbahnen in der Anwendung:  
auf einem Hörgerätebauteil (links) und auf einem  
Antennendeckel.*

Elektronik. Zudem lässt es sich auf verschiedenste Trägermaterialien und Bauteilarten übertragen und ist dadurch flexibler einsetzbar als die bisherigen Fertigungstechniken“, sagt Ejvind Olsen, wissenschaftlicher Mitarbeiter am ITA. Er und seine Kollegen untersuchen derzeit, welche Lackarten, Trägermaterialien, Beschichtungs- und Trocknungsverfahren sich für die industrielle Fertigung am besten eignen und wie sich der Lasersinterprozess optimieren lässt.

Weitere Vorteile des neuen Verfahrens: Sowohl der Auftrag des Kupferlacks als auch das Lasersintern lassen sich sehr flexibel für individuelle Anforderungen einsetzen. Deshalb eignet sich der 3 D-Druck besonders für die Fertigung klei-

ner Serien. Beispiele aus der Medizintechnik sind individualisierte Hörgeräte oder mit elektronischen Funktionen ausgestattete Hüftimplantate. Dadurch, dass die neuartige Produktionsweise mit weniger Arbeitsschritten und gänzlich ohne chemische Bäder auskommt, werden kleine und mittelständische Unternehmen in die Lage versetzt, elektronische Bauteile kostengünstig und mit einer hohen Variabilität herzustellen.

Am ITA hat Ejvind Olsen das Lasersintern bereits erfolgreich angewendet, um Antennen auf der Innenseite von Gehäusedeckeln aufzutragen und damit die Eignung des Verfahrens für das Bedrucken dreidimensionaler Oberflächen nachgewiesen. Dadurch eröffnen sich völlig neue Freiheitsgrade für das De-

sign von räumlichen Schaltungsträgern. Durch isolierende Schutzschichten können die Leiterbahnen auch mehrlagig aufgebracht werden. Auf diese Weise lassen sich komplexe elektronische Funktionen in eine Vielzahl von Trägermaterialien integrieren. Für den Vortrag, in dem Olsen seine Forschungen vorstellte („Printing of laser-generated conductive copper tracks on 3D components“), erhielt er im vergangenen Jahr beim 14. Internationalen MID (Molded Interconnect Devices)-Kongress einen Best Paper Award.

*Weitere Informationen:  
Ejvind Olsen (ITA),  
Tel. 0511 762 18329  
ejvind.olsen@ita.uni-hannover.de  
phi-hannover.de*



# Plastik

## im Aquarium:

Am IKK  
wird erforscht,  
wie sich  
Kunststoff  
im Meer  
zersetzt

Mehrere Millionen Tonnen an Kunststoffabfällen gelangen jedes Jahr in die Meere.

Wie das Plastik im Wasser abgebaut wird und wie sich die ökologischen Schäden eindämmen lassen, erforscht man im neuen Prüflabor des IKK – Instituts für Kunststoff- und Kreislauftechnik.

*Text: Wolfgang Krischke*

*Fotos: Nico Niemeyer*

Auf dem Tisch liegen vier Plastikstreifen, etwa zehn Zentimeter lang, geformt wie miniaturisierte Paddel. Der linke Streifen ist glatt und leuchtet weiß, der nächste ist von vielen Rissen überzogen. Die beiden rechten Streifen sind von einer grau-braunen Kruste überzogen, von einem sind nur noch die „Paddelblätter“ übrig, der Steg dazwischen existiert nicht mehr. „An solchen Proben lässt sich sehen, was mit Kunststoffen geschieht, die als Abfall ins Meer gelangen“, erklärt Dr. Florian Bittner, Bereichsleiter Materialprüfung am IKK. „Der linke Streifen ist neu, die anderen Streifen waren für mehrere Monate bei unterschiedlichen Bedingungen im südostasiatischen Ozean ausgelagert. Die überkrusteten Proben weisen organi-

sche Ablagerungen auf, zugleich kann man den Abbau des Kunststoffmaterials erkennen, der bei der rechten Probe schon weit fortgeschritten ist.“ Was genau bei dieser Zersetzung vor sich geht, wie schnell sie verläuft und in welche Partikel und chemischen Verbindungen die unterschiedlichen Kunststoffe zerfallen, wenn sie im Meer, in Flüssen oder Seen treiben oder auf dem Grund liegen, wollen Florian Bittner und seine Kollegen am IKK herausfinden.

Für ihre Forschungsarbeiten gibt es dringenden Bedarf: Schätzungsweise sieben Millionen Tonnen an Kunststoffabfällen – vom Einkaufsbeutel über die Trinkflasche bis zum ausrangierten Fischernetz – gelangen jährlich in die Ozeane. Sie verursachen massive ökolo-

gische Schäden. Tiere verfangen sich in Plastikteilen oder verschlucken sie und verenden daran. Zudem können sich in Zerfallsprodukten von Kunststoffabfällen Giftstoffe anreichern, die über Muscheln und Fische auch in die menschliche Nahrungskette gelangen können. Doch obwohl die Probleme durch die globale Vermüllung der Gewässer von Jahr zu Jahr wachsen, weiß man über die chemischen und mechanischen Abbauprozesse, die der Plastikabfall in diesen Ökosystemen durchläuft, noch recht wenig. Das liegt auch daran, dass hier viele unterschiedliche Faktoren auf komplexe Weise ineinandergreifen: Nicht nur die Kunststoffsorte, sondern auch die Art des Produkts spielt eine Rolle: Es macht



einen Unterschied, ob es sich um kompakte Bauteile, Schäume, Folien, Fasern oder Mikropartikel handelt. Zudem beeinflussen Salzgehalt und Temperatur des Wassers, Strömung, Gezeiten, Lichteinstrahlung, die Verfügbarkeit von Sauerstoff und die Aktivitäten von Mikroorganismen die Abbauprozesse in den unterschiedlichen Habitaten.

Um diese Vorgänge zu erforschen, wird am IKK im Rahmen des von der EU und dem Land Niedersachsen finanzierten Projekts „SkalAb“ (Mehrskalige Analyse aquatischer Abbaumechanismen von Polymerwerkstoffen) seit Anfang dieses Jahres ein flexibles Prüflabor aufgebaut. Das Labor erlaubt den Nachbau verschiedenartiger „Wasserwelten“ – Flüsse, Seen oder Meere – in unterschiedlichen Größenordnungen. Die Skala reicht von klassischen Laborversuchen über Aquarien (Mikrokosmen) bis hin zu großen Tanks (Mesokosmen).

Eine der Versuchsreihen, die bereits laufen, widmet sich dem Reifenabrieb, der einen großen Anteil des Mikroplastiks in den Gewässern ausmacht. Der Versuchsaufbau besteht aus schmalen Aquarien, die mit Sand, Reifenpartikeln

und Wasser gefüllt sind. Die Aquarien stehen auf „Schüttlern“, die Wasserbewegungen erzeugen und auf diese Weise unterschiedlich starke Wellengänge simulieren. Ziel der Studie ist es, herauszufinden, welchen Einfluss die verschiedenen Zusammensetzungen des Reifenmaterials und die Form der Partikel auf den Abbau des Abriebs im Wasser hat und welche Rolle Wassertemperatur, Sauerstoff- und Salzgehalt, Lichteinfall, Wellengang und Sedimentbewegungen spielen.

Für die detaillierte Analyse der Materialveränderungen und Abbauprozesse stehen im IKK-Labor chemische und mikroskopische Verfahren zur Verfügung. Eigens entwickelt haben die Wissenschaftler eine Methode, die einen Computertomographen (CT) nutzt, um den Materialabbau, die Rissbildung und den Bewuchs durch Algen und andere Organismen quantitativ zu bestimmen. Das CT-gestützte Verfahren hat den Vorteil, dass es biologische Schichten von dem Kunststoff, den sie bewachsen, unterscheiden kann. Auf diese Weise lassen sich auch Proben wie die stark überkrusteten „Paddel“ präzise untersuchen.

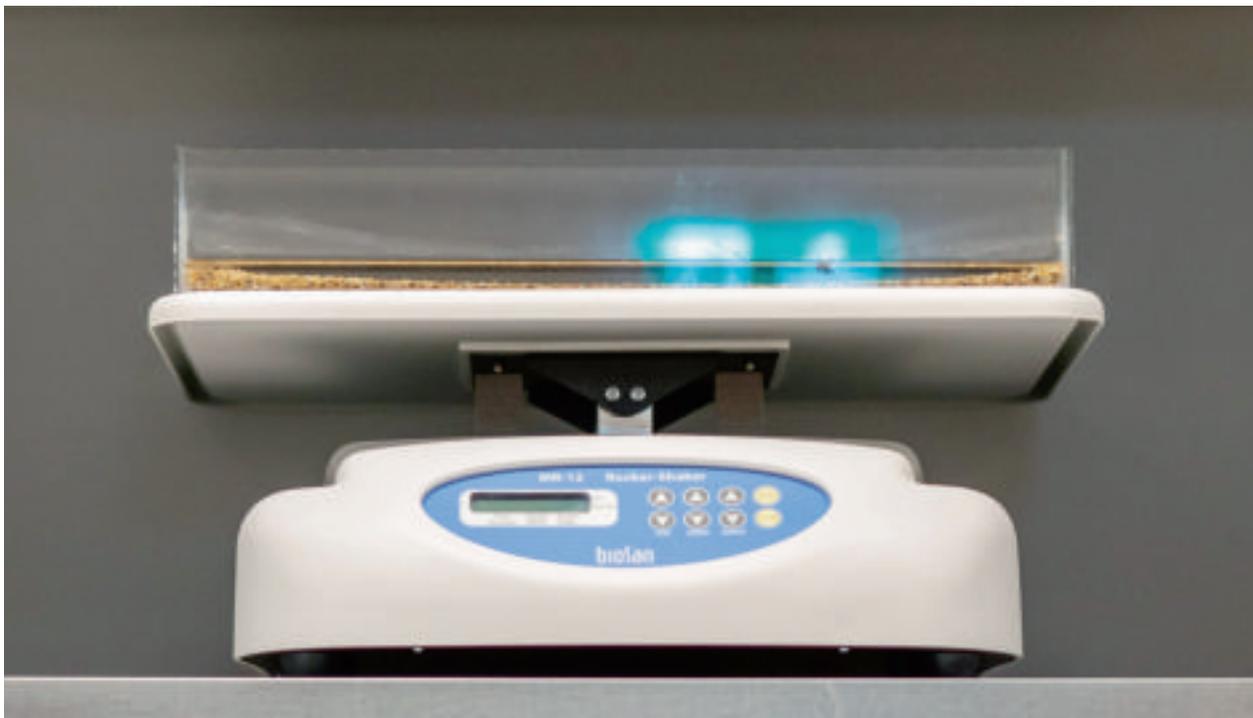
Kunststoffe sind aus vielen Bereichen des modernen Lebens, von der Landwirtschaft bis zur Medizin, nicht mehr wegzudenken. Andererseits wurden die ökologischen Aspekte zu lange vernachlässigt, ein Denken in Kreisläufen stand bei der Kunststoffindustrie bis vor kurzem nicht so sehr im Fokus. Wie die Forschungen im IKK dazu beitragen werden, hier eine Wende zu vollziehen, umreißt Florian Bittner: „Unser Ziel ist es, zunächst einmal Halbwertszeiten für die unterschiedlichen Polymerwerkstoffe und die daraus gefertigten Produkte vorherzusagen und zwar unter Berücksichtigung der diversen Einflussfaktoren. Auf der Basis dieser Erkenntnisse wollen wir dann für Kunststoffprodukte, deren Eintrag in die Umwelt unvermeidbar ist, Werkstoffe entwickeln, die biologisch abbaubar sind und ebenso gute Gebrauchseigenschaften aufweisen wie die bislang verwendeten Materialien.“

*Weitere Informationen:*

*Dr. Florian Bittner (IKK)*

*Tel. 0511 762 13301,*

*bittner@ikk.uni-hannover.de*



*Aquarium auf einem „Schüttler“, der unterschiedlich starke Wellengänge simuliert.*

# Maßfertigung: **Der SFB ‚Tailored Forming‘ entwickelt Herstellungsverfahren für belastungsangepasste Maschinenbauteile**

Maschinen leichter oder effizienter zu machen, spart Ressourcen und reduziert den CO<sub>2</sub>-Ausstoß. Möglich ist das durch die Kombination verschiedenartiger Werkstoffe innerhalb eines Bauteils. Doch die Herstellung solcher Hybridbauteile ist eine technische Herausforderung. Im SFB ‚Tailored Forming‘ arbeitet ein Team aus zwölf Instituten – darunter vier aus dem PZH – gemeinsam an der Entwicklung neuartiger Prozessketten.

*Text: Wolfgang Krischke*

*Fotos: IFUM*

Die Verbindung unterschiedlicher Werkstoffe zu Hybridbauteilen ist an sich nichts Neues: In der Blechverarbeitung kommen schon lange maßgeschneiderte Bauteile (Tailored Blanks) zum Einsatz, die aus unterschiedlichen Stahlsorten gefügt und anschließend umgeformt werden. Auf diese Weise lassen sich Blechbauteile fertigen, die in begrenzten Bereichen unterschiedliche Festigkeiten aufweisen. Sie finden sich millionenfach in den Karosserien von Autos.

Auch bei Massivbauteilen, wie sie etwa als Antriebswellen, Zahnräder oder Turbinenschaufeln eingesetzt werden, bietet es sich an, sie aus unterschiedlichen Werkstoffen zusammenzusetzen. Wenn zum Beispiel eine Welle nur in einem begrenzten Bereich besonderen Belastungen standhalten muss, gibt es eigentlich keine Notwendigkeit, sie komplett verschleißfest zu produzieren. Statt des hochwertigen Stahls, den man nur in diesem Abschnitt braucht, könnte man für den Rest der Welle ein leichteres oder preisgünstigeres Material

verwenden, das die benötigten Eigenschaften ebenfalls erfüllt – etwa Aluminium oder eine weniger hochwertige Stahlsorte. Viele Massivbauteile – von Fahrwerkskomponenten bis zu medizinischen Prothesen – ließen sich je nach Bedarf leichter, kleiner, funktionsgerechter oder kostengünstiger herstellen.

Hybride Massivbauteile werden zwar auch heute schon produziert, aber anders als bei den Tailored Blanks in der Blechverarbeitung werden die verschie-

denen Werkstoffe entweder während des Umformprozesses oder erst danach gefügt. Im SFB 1153 „Prozesskette zur Herstellung hybrider Hochleistungsbauteile durch Tailored Forming“ hingegen hat man einen neuen Weg eingeschlagen: Anknüpfend an die Maßfertigung der Blechbauteile wird hier eine innovative Prozesskette entwickelt, um Hochleistungsbauteile aus zwei verschiedenen Werkstoffen schon vor der Umformung zu fügen. Der Grund: Durch den nachfolgenden Umformprozess – Walzen,





*Eine innovative Prozesskette erlaubt, Hochleistungsbauteile aus zwei verschiedenen Werkstoffen schon vor der Umformung zu fügen.*

Schmieden, Fließpressen – werden die Werkstoffe stoffschlüssig gefügt und durch die nachfolgende Umformung wird die Fügezone geometrisch sowie thermomechanisch beeinflusst. Zunächst fügen die Forscherinnen und Forscher des SFB also zwei unterschiedliche Werkstoffe – Stahl und Aluminium oder zwei unterschiedliche Stahlsorten – zu einem Halbzeug, aus dem sie durch die Umformung und die anschließende Nachbearbeitung ein maßgeschneidertes Hochleistungsbauteil – etwa eine Welle oder einen Querlenker – fertigen. Zu den besonderen Herausforderungen für den Umformungsprozess gehören die unterschiedlichen Fließ- und Verbindungseigenschaften der zu kombinierenden Werkstoffe.

Die Federführung des SFB liegt beim Institut für Umformtechnik und Umformmaschinen (IFUM). Zu den beteiligten PZH-Instituten gehören neben dem IFUM das Institut für

Werkstoffkunde (IW), das Institut für Montagetechnik (match) und das Institut für Fertigungstechnik und Werkzeugmaschinen (IFW).

In der ersten Förderperiode des Sonderforschungsbereichs von 2015 bis 2019 wurden verschiedene Prozessketten zur Herstellung hybrider Massivbauteile entwickelt und umgesetzt. Nach Ende dieser Förderperiode bewilligte die Deutsche Forschungsgemeinschaft eine Anschlussförderung für vier Jahre mit einer Gesamtfördersumme von gut zehn Millionen Euro. Danach ist noch eine weitere Verlängerung um vier Jahre möglich.

„Tailored Forming ist ein wichtiger Baustein für die Produktionstechnik von morgen, denn es vereint Materialeinsparung und Energieeffizienz mit einer Steigerung der Bauteilfunktionalität und einer möglichen Kosten-

ersparnis. Deshalb ist das Interesse der Industrie an unserer wissenschaftlichen Arbeit seit dem Start des Sonderforschungsbereichs groß“, sagt SFB-Sprecher und IFUM-Leiter Professor Bernd-Arno Behrens.

SFB-Geschäftsführerin Dr. Johanna Uhe skizziert den aktuellen Stand und die nächsten Schritte: „Jetzt, während der zweiten Förderperiode, liegt unser Fokus auf der Erweiterung der Werkstoffkombinationen, der Integration weiterer Funktionen in die Bauteile und einer anwendungsnahen Weiterentwicklung der Prozessketten. Der Transfer der Herstellungsverfahren in die Industrie ist nun ein entscheidender Abschnitt unserer weiteren Arbeit.“

*Weitere Informationen:  
Dr.-Ing. Johanna Uhe (IFUM),  
Tel. 0511 762 2427,  
uhe@ifum.uni-hannover.de*

# Jahresbericht 2021



44	<b>PZH - Fakten und Zahlen</b>
46	<b>PZH - Schwerpunkte für Industriekooperationen</b>
48	<b>Berufungen, Habilitationen, Promotionen</b>
49	<b>Gäste</b>
49	<b>Auszeichnungen</b>
50	<b>Seminare, Workshops, Konferenzen</b>
50	<b>Patente</b>
	<b>Geschichte, Aus der Forschung, Lehre, Forschungsprojekte, Veröffentlichungen, Anschaffungen:</b>
52	<b>IFA</b> – Institut für Fabrikanlagen und Logistik
58	<b>IFUM</b> – Institut für Umformtechnik und Umformmaschinen
66	<b>IFW</b> – Institut für Fertigungstechnik und Werkzeugmaschinen
78	<b>IMPT</b> – Institut für Mikroproduktionstechnik
86	<b>IKK</b> – Institut für Kunststoff- und Kreislauftechnik
91	<b>ITA</b> – Institut für Transport- und Automatisierungstechnik
96	<b>match</b> – Institut für Montagetechnik
102	<b>IW</b> – Institut für Werkstoffkunde
110	<b>TEWISS</b> Technik und Wissen GmbH
112	<b>Unternehmen im PZH</b>
114	<b>Anreise / Impressum</b>

# Fakten und Zahlen

## Menschen

An den acht Universitätsinstituten arbeiten rund 280 wissenschaftliche und mehr als 100 nichtwissenschaftliche Mitarbeiter. Letztere sind vorwiegend als Angestellte in Technik und Verwaltung tätig. Dazu kommen rund 530 studentische Mitarbeiter, die „HiWis“, außerdem 20 Auszubildende und neun junge Mitarbeiter im FWJ, dem Freiwilligen Wissenschaftlichen Jahr.

Bei der TEWISS GmbH und den angesiedelten Unternehmen sind insgesamt rund 100 weitere Mitarbeiter beschäftigt. Insgesamt arbeiten damit etwa 1.000 Menschen im PZH.

Während des Semesters nutzen etwa 800 Studenten das Vorlesungsangebot am PZH.

## Ort

Das Gebäude des Architekten Günter Henn macht die Begegnung und die Zusammenarbeit der dort beschäftigten Menschen sehr einfach: Der zentrale Spine, eine transparente Halle, schafft Verbindungen zwischen allen Einrichtungen des PZH sowie zum Hörsaal, zur Bibliothek und zu den Seminarräumen.

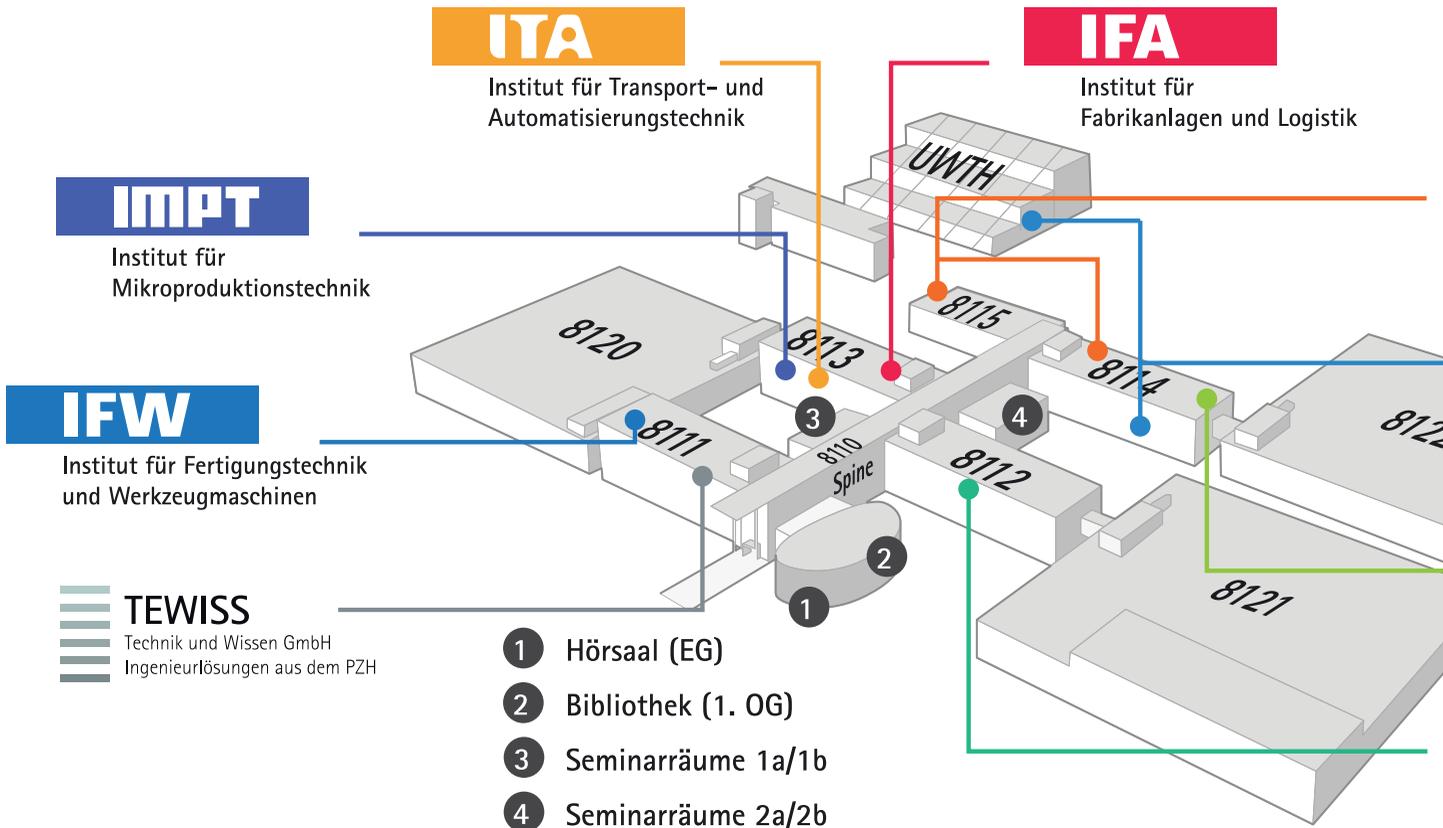
Fünf Labor- und Bürotrakte gehen von dort ab, drei große Hallen für die Versuchsfelder schließen sich an. Nutzfläche gesamt: etwa 22.000 Quadratmeter. Das PZH liegt in Garbsen, nahe der A2-Ausfahrt Hannover-Herrenhausen.

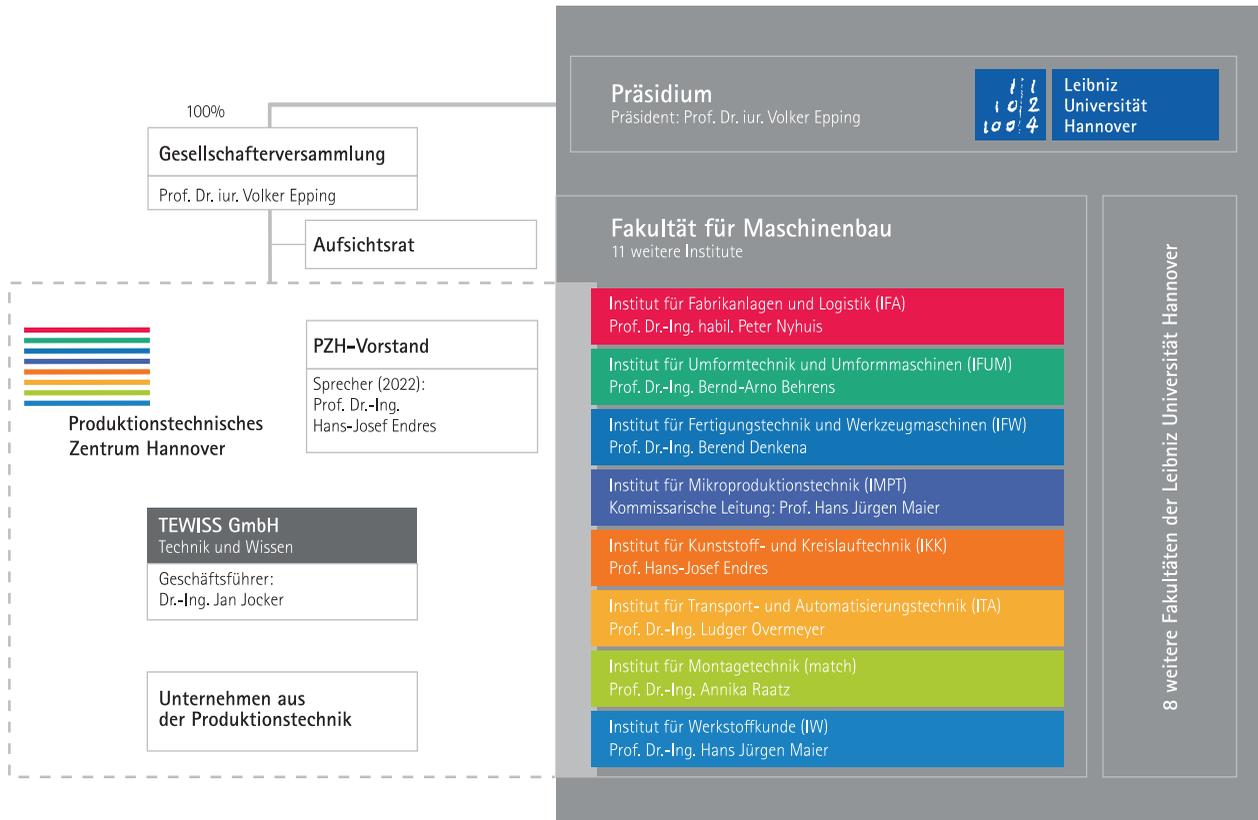
Seit 2019 sind mit dem Campus Maschinenbau, der gegenüber dem PZH liegt, alle 19 Maschinenbauinstitute der LUH in Garbsen vereinigt.

## Geschichte

Hochschulforschung und Unternehmen der Produktionstechnik unter einem Dach zusammenbringen, Kompetenzen bündeln, Synergien schaffen: das war die Idee der PZH-Wegbereiter an der Leibniz Universität Hannover. Alle damals noch sechs Institute, die sich mit Produktionstechnik und Logistik beschäftigten und noch über die ganze Stadt verstreut forschten, teilten diese Idee, genau wie später zahlreiche Unternehmen.

Die Leibniz Universität gründete 2001 die PZH GmbH (heute TEWISS GmbH), die im Rahmen einer Public Private Partnership das Vorhaben vorantrieb, zusammen mit Land und Bund ein Drittel zur Finanzierung des PZH-Baus beizutragen.





## IKK

Institut für Kunststoff- und Kreislauftechnik

## IW

Institut für Werkstoffkunde

## match

Institut für Montagetechnik

## IFUM

Institut für Umformtechnik und Umformmaschinen

## Drittmittel

Die Institute des PZH finanzieren ihre Arbeit zum weit überwiegenden Teil aus Drittmitteln. Diese Mittel werden über Forschungsanträge jeweils für einzelne Projekte eingeworben. Gelder kommen von der Deutschen Forschungsgemeinschaft, die auch die Sonderforschungsbereiche finanziert, sie kommen vom Bundesministerium für Bildung und Forschung und dem Bundesministerium für Wirtschaft und Energie. Sie stammen aus EU-Mitteln, aus der Industrie und von der VolkswagenStiftung.

2021 hat das PZH mehr als 24,8 Millionen Euro (vorläufige Berechnung) Drittmittel eingeworben. Eingeworbene Landesmittel sind in dieser Summe nicht enthalten.

## Struktur

Das PZH gehört zur Leibniz Universität Hannover. Die acht Maschinenbau-Institute, die sich hier zusammengeschlossen haben, sind Teil der Fakultät für Maschinenbau, der insgesamt 19 Institute angehören.

Die acht Institutsleiter und der Geschäftsführer der TEWISS-GmbH bilden den Vorstand des PZH; die Aufgabe des Vorstandssprechers wechselt jährlich. Im Jahr 2021 sprach Professor Berend Denkena für den Vorstand. Er wurde im Januar 2022 von Professor Hans-Josef Endres abgelöst.

Die TEWISS GmbH ist eine hundertprozentige Tochter der Leibniz Universität.

# Schwerpunkte für Industriekooperationen

Das Produktionstechnische Zentrum Hannover als Partner für Unternehmen

Ob über die industrielle Gemeinschaftsforschung (IGF), in Verbundprojekten, durch Auftragsforschung oder mit Dienstleistungsangeboten: für jedes produktionstechnische Thema gibt es hier das richtige Institut:

## IFA

Institut für  
Fabrikanlagen und Logistik

Prof. Dr.-Ing. habil. Peter Nyhuis

- ▶ Data Analytics in der industriellen Produktion
- ▶ Quickcheck Produktionssystem
- ▶ Digitalisierung im Fabrikbetrieb und der Fabrikplanung
- ▶ Produktionsplanung, -steuerung und -controlling
- ▶ Lean Production
- ▶ Prozessoptimierung im Produktionssystem
- ▶ Fabrikplanung
- ▶ Supply Chain- und Produktionsmanagement

## IFUM

Institut für Umformtechnik  
und Umformmaschinen

Prof. Dr.-Ing. Bernd-Arno Behrens

- ▶ Auslegung umformtechnischer Werkzeuge und -prozesse
- ▶ Maschinenentwicklung (Antriebe, Aktoren, Regelung)
- ▶ Simulation, Messung und Beeinflussung von Presseneigenschaften und Emissionen
- ▶ Prototypenbau für Blech- und Massivumformwerkzeuge
- ▶ Strukturanalyse von Bauteilen und taktile Bauteilvermessung
- ▶ Verschleißuntersuchungen an Blech- und Massivumformwerkzeugen
- ▶ Thermo-mechanische Werkstoffcharakterisierung
- ▶ FE-Simulation von Blech- und Massivumformprozessen

## IFW

Institut für Fertigungstechnik  
und Werkzeugmaschinen

Prof. Dr.-Ing. Berend Denkena

- ▶ Werkzeug- und Prozessentwicklung/-optimierung für Zerspanung und Schleifen
- ▶ Geometrie-, Oberflächen- und Eigenspannungsanalyse
- ▶ Angepasste Fertigungsverfahren zur Funktionalisierung von Bauteiloberflächen (beispielsweise Reibungsminimierung)
- ▶ Analyse von Produktionsmaschinen und Komponenten (beispielsweise Zustandsdiagnose, Genauigkeit, Schwingungen, Thermik)
- ▶ Simulationsbasierte NC-Code-Optimierung und Beratung zur durchgängigen CAD-CAM-Kette
- ▶ Funktionsorientierte Prozessplanung anhand von Datenrückführung
- ▶ Beratung im Bereich der Fertigungsplanung und -steuerung

## IMPT

Institut für  
Mikroproduktionstechnik

- ▶ Mikrosensorik und Mikroaktorik
- ▶ Entwicklung von Produktionsprozessen für Mikrosysteme in der Klein- und Mittelserie
- ▶ Mechanische Mikrobearbeitung und Mikromontage
- ▶ Mikro- und Nanotribologie
- ▶ Aufbau- und Verbindungstechnik

**IKK**

**Institut für Kunststoff-  
und Kreislauftechnik**

Prof. Dr.-Ing. Hans-Josef Endres

- ▶ Anwendungsspezifische Materialentwicklung und Polymeranalytik/  
Qualitätskontrolle
- ▶ Verarbeitung/Compoundierung/Extrusion von Kunststoffen, Biokunststoffen  
und Hybridwerkstoffen
- ▶ Recyclingtechnik - Optimierung der Prozesse und Ergebnisqualitäten
- ▶ Ermittlung von Materialeigenschaften unter statischer und dynamischer  
Belastung sowie Dauerbelastung
- ▶ Bewitterungs- und Abbauersuche an polymerbasierten Materialien
- ▶ Nachhaltigkeitsbewertung von Materialien, Prozessen und End of Life Szenarien

**ITA**

**Institut für Transport- und  
Automatisierungstechnik**

Prof. Dr.-Ing. Ludger Overmeyer

- ▶ Ermittlung der dynamischen Zeitfestigkeit von Fördergurtverbindungen
- ▶ Ermittlung des Eindrückrollwiderstandes und Bestimmung  
der Schnittfestigkeit von Fördergurten
- ▶ Ermittlung des Laufwiderstandes von Tragrollen
- ▶ Dauerfestigkeits- und Stoßeinwirkungsuntersuchung mittels weg-  
und kraftgeregelten Belastungen
- ▶ Anwendungsbezogene Untersuchung der Leistungsfähigkeit von RFID-Komponenten
- ▶ Mikrochip-Montage von Prototypen (Flip-Chip- und Wirebond-Verfahren)
- ▶ Entwicklung und Prüfung industrieller Klebeverbindungen
- ▶ Virtuelle Sichtverbesserung an Flurförderzeugen

**match**

**Institut für  
Montagetechnik**

Prof. Dr.-Ing. Annika Raatz

- ▶ Konzipierung von robotergestützten Handhabungsvorgängen (Robotertechnik,  
Kollaborierende Montage, Sensorunterstützung, Greiftechnik)
- ▶ Entwicklung und Optimierung von Montageprozessen (Präzisionsmontage,  
High-Speed Pick & Place, Handhabung formlabiler Bauteile, Klebprozesse)
- ▶ Entwicklung und Umsetzung von Prozessen der Mensch-Roboter-Kollaboration
- ▶ Maschinenkonzepte und Systems Engineering für  
Handhabungs- und Montageprozesse
- ▶ Intelligente Maschinenkomponenten auf Basis von Smart Materials  
(Soft Material Robotic Systems, Funktionsintegration)

**IW**

**Institut für  
Werkstoffkunde**

Prof. Dr.-Ing. Hans Jürgen Maier

- ▶ Analysentechnik und Schadensforschung
- ▶ Gießtechnische Herstellung von Mg- und Al-Legierungen
- ▶ Korrosionsuntersuchungen
- ▶ Löten, thermisches Spritzen
- ▶ Prozessentwicklung für das Strangpressen von Leichtmetallen  
und Werkstoffverbunden
- ▶ Schneid- und Schweißprozesse in Sonderumgebungen
- ▶ Technologieentwicklung zum drahtbasierten additiven Fertigen (NVEB-AM; WAAM)
- ▶ Wärmebehandlung und mechanische Prüfung
- ▶ Zerstörungsfreie Bauteilprüfung und Prozesssteuerung bzw. -regelung

**TEWISS**

Technik und Wissen GmbH

Ingenieurlösungen aus dem PZH

- ▶ Sondermaschinenbau – Konzeption, Entwicklung, Realisierung
- ▶ Mechatronische Systeme, Geräte, Anlagen
- ▶ Steuerungstechnik – Konzept, Entwurf, Realisierung
- ▶ Innovationsberatung und Technologietransfer
- ▶ TEWISS Verlag

# Berufungen, Habilitationen, Promotionen

## Berufung

**Dr.-Ing. Marc-Christopher Wurz**  
wurde an das Deutsche Luft- und Raumfahrtzentrum in Ulm berufen.

## Habilitation

**Dr.-Ing. habil. Marc-André Dittrich**  
Autonome Werkzeugmaschinen - Definition, Elemente und technische Integration

## Promotionen

**Dr.-Ing. Esmail Asadi,**  
SiC-Mikrofräswerkzeuge für die Mikrobearbeitung, IMPT

**Dr.-Ing. Hans-Bernward Besserer**  
Ermüdungsverhalten von blechmassiv-umgeformten Bauteilen, IW

**Dr.-Ing. Lars Bindszus**  
Dezentrale Steuerung von Gurtförderanlagen mit direkt antreibenden Tragrollen, ITA

**Dr.-Ing. Florian Bohne**  
Lagrange-Methoden für die numerische Abbildung von gekoppelten Drapier- und Fließpressprozessen, IFUM

**Dr.-Ing. A. Bouabid**  
Grundlagen zur anwendungsspezifischen Herstellung bronzegebundener Schleifwerkzeuge, IFW

**Dr.-Ing. Kai Brunotte**  
Beitrag zur Steigerung der Standmenge von Werkzeugen der Warmmassivumformung durch den Einsatz lokaler belastungsangepasster Verschleißschutzbehandlungen, IFUM

**Dr.-Ing. Cássia Castro Müller**  
Herstellung und Charakterisierung von pseudoelastischen FeMnAlNi-Formgedächtnislegierungen, IW

**Dr.-Ing. Alexander Chugreev**  
Numerische und experimentelle Untersuchungen zur Simulation von Rotationsreißschweißprozessen, IFUM

**Dr.-Ing. Uliana Dudko**  
Fully Optical Communication and Powering using Integrated Autonomous Sensor Nodes, ITA

**Dr.-Ing. Carolin Felix**  
Logistische Versorgungsprozessanalyse der Montage, IFA

**Dr.-Ing. Jan Friedrichs**  
Synchron und direkt angetriebener Mehrkoordinatenmotor für Werkzeugmaschinen, IFW

**Dr.-Ing. Tobias Gartzke**  
Profiltiefschleifen mit mikrostrukturierter Schleifscheibentopographie, IFW

**Dr.-Ing. Lars Gebel**  
Bewertung von martensitischen Chromstählen für die Warmumformung der automobilen Großserienfertigung, IFUM

**Dr.-Ing. Bechir Hachicha**  
Oberflächenintegration von optischen Mikropolymerfasern, ITA

**Dr.-Ing. Lasse Härtel**  
Modellbasierte Datenanalyse zur Identifikation logistischer Schwachstellen in Produktionsbereichen, IFA

**Dr.-Ing. Vitali Hecht-Linowitzki**  
Einfluss der Umhüllungskomponenten von Stabelektroden auf den Lichtbogenprozess beim hyperbaren nassen Elektrodenschweißen, IW

**Dr.-Ing. Arndt Hohnholz**  
Additive Fertigung von photosensitiven Multimaterialsystemen mittels Aerosol-Jet als Sprühaufragsverfahren, LZH

**Dr.-Ing. Matthias Kaiser,**  
Modellierung und Herstellung eines akustischen Wandlers auf Waferniveau

unter Einsatz von Polymermembranen, IMPT

**Dr.-Ing. Daniel Klaas,**  
Technologieentwicklung zur Direktabscheidung und Strukturierung von Sensorik auf insbesondere Großbauteilen am Beispiel von Dehnungsmessstreifen, IMPT

**Dr.-Ing. Demian Langen**  
Steuerung des Erstarrungsgefüges der Legierung Ti-6Al-4V beim Wolfram-Inertgas-Schweißen, IW

**Dr.-Ing. Rabi Lahdo**  
Laserstrahlschweißen von Stahl an Aluminiumlegierungen im Dickblechbereich, LZH

**Dr.-Ing. Lennart Lippold**  
Verbesserung tribologischer Eigenschaften von Schmiedegesenken durch Oberflächenkonditionierung mittels Strahlverfahrenstechnik, IFUM

**Dr.-Ing. Kolja Hannes Meyer**  
Lastangepasste Randzonenfunktionalisierung, IFW

**Dr.-Ing. Georg Henrik Prinzhorn**  
Modellbasierte Produktionsplanung und -steuerung der Baustellen- und Gruppenmontage, IPH

**Dr.-Ing. Alexander Schmidt**  
Multivariate Vorspannungsüberwachung von Kugelgewindetrieben auf Basis steuerungsinterner Informationen, IFW

**Dr.-Ing. Tobias Schneider**  
Optisches Messverfahren zur gleichzeitigen Erfassung von Absolutdrehwinkel und Drehmoment an Wellen, IPH

**Dr.-Ing. Jens Schrödter**  
Methodenentwicklung zur Charakterisierung und Modellierung temperatur- und gefügeabhängiger Fließeigenschaften, IFUM

**Dr.-Ing. Melissa Seitz**

Datenbasierte Analyse und Prognose des logistischen Systemverhaltens in Produktionsbereichen mit komplexen Materialflüssen, IFA

**Dr.-Ing. Christian Teige**

Erhöhung der Prozessstabilität lang auskragender Zerspanwerkzeuge durch den Einsatz von Reibsegmenten, IFW

**Dr.-Ing. Johanna Uhe**

Numerische und experimentelle Untersuchungen zum Verbundstrangpressen unter Berücksichtigung der intermetallischen Phasenbildung, IFUM

**Dr.-Ing. Florian Uhlich**

Lernende Prozesssimulation für die Prognose und Kompensation von Formabweichungen in der Einzelteilfertigung, IFW

**Dr.-Ing. Felix Wellmann**

Monolithic Fiber Amplifiers for high Power Single-Frequency and Single-Mode Laser Beam Generation, LZH

**Dr.-Ing. Martin Westbomke**

Effiziente Gestaltung der Demontage von Windenergieanlagen, IPH

**Dr. -Ing. Matthias Witt**

Kraftsensitiver Werkzeugrevolver zur Prozessüberwachung und automatisierten Adaption der Prozesseinstellgrößen beim Drehen, IFW

**Dr.-Ing. Michael Zenker**

Bewertung von Gestaltungsvarianten der Flächenbelegungsplanung bei Baustellenmontagen, IP

## Gäste

**Dr.-Ing. Tobias Heinen**

GREAN GmbH, Garbsen, Deutschland  
Vorlesung: Nachhaltigkeit in der Produktion

**Dr.-Ing. David Herberger**

INVERTO GmbH, Köln, Deutschland  
Vorlesung: Fabrikplanung

**Dr.-Ing. Rouven Nickel**

Volkswagen Nutzfahrzeuge, Hannover, Deutschland  
Vorlesung: Anlagenmanagement

**Dr.-Ing. Stefan Rief**

Fraunhofer-Institut für Arbeitswirtschaft und Organisation, Stuttgart, Deutschland  
Vorlesung: Arbeitsgestaltung im Büro

**Hon.-Prof. Dr.-Ing. Lars Vollmer**

intrinsicify.me GmbH, Berlin, Deutschland  
Vorlesung: Denken und Handeln in Komplexität

**Dr. Thomas P. Meichsner**

Coaching for World Class Manufacturing  
Vorlesung: Moderner Automobilkarosseriebau

**Dr.-Ing. Dipl.-Phys. Harald Seegers**

MTU Maintenance Hannover GmbH, Langenhagen  
Vorlesung: Technologie der Produktregeneration

**Dr.-Ing. Dirk Bormann**

TRIMET Aluminium SE  
Vorlesung: Nichteisenmetallurgie

**Honorarprof. Dr. jur. Clemens Stewing**

Mannesmann Precision Tubes GmbH, Zeithain  
Vorlesung: Stahlwerkstoffe

**Dr. rer. nat. Peter Wilk**

MAN Energy Solutions SE, Augsburg  
Vorlesung: Korrosion

**Prof. Dr.-Ing. Benedikt Meier,**

Rheine, Deutschland  
Vorlesung: Angewandte Aggregatmontage

## Auszeichnungen

**Dipl.-Ing. Chris Pfeffer, IFUM**

EFB-Projektpreis für das AiF-Projekt 19412N „Einsatz lufthärtender Chromstähle zur Herstellung höchstfester dünnwandiger Blechformteile“

**Julia Huuk, IFW**

IFW-Kooperationspreis 2021, Hannover, Deutschland

**Christian Teige, IFW**

Hans-Kurt-Tönshoff-Preis 2021, Hannover, Deutschland

**Mirko Theuer, IFW**

Fritz Studer Award 2020 – Innovative Grinding Technologies

**Marc-André Dittrich, IFW**

Otto-Kienzle-Gedenkmünze 2021, Hannover, Deutschland

**Anatoly Glukhovskoy, Maren Prediger,**

**Marc Wurz, IMPT**

Best Session Paper, 2021 IEEE 71nd ECTC Virtual Conference

**Dr. Sc. techn. Oleksandr Golovko, IW**

**Dr.-Ing. Sabine Behrens, IW**

**Dipl.-Ing. Hendrik Vogt, IFUM**

EFB-Projektpreis 2021 der europäischen Forschungsvereinigung für Blechverarbeitung e.V. für Ergebnisse im Rahmen des Forschungsvorhabens „Tailored Tempering von 7xxx-Aluminiumlegierungen“, EFB Forum-BLECH im web, 01.07.2021, Onlinekonferenz

**M.Sc. Christian Hinte, IW**

„Editors Choice“-Award für "The Effect of Increasing Chemical Complexity on the Mechanical and Functional Behavior of NiTi-Related Shape Memory Alloys"

**M.Sc. Lara Vivian Fricke, IW**

2. Platz Poster-Wettbewerb der virtuellen DGZfP-Jahrestagung 2021, Onlinekonferenz

# Seminare, Workshops, Konferenzen

Praxisseminar Fabrikplanung, IFA,  
20.-21.04.2021

Grundlagen der Lean Production, IFA, 09.07.2021 |  
14.07.2021 | 16.07.2021

Lean für Führungskräfte, IFA, 16./17.08.2021

Werden Sie schlank! Lean trifft Industrie 4.0 (Webinare),  
IFA, 19.01.2021 | 15.04.2021

Werden Sie schlank! Lean trifft Industrie 4.0 (Schulung),  
IFA, 23./24.08.2021

Mädchen & Technik Kongress 2021, IMPT, virtuell

Arbeitskreistreffen Industrieforum  
Schleifwerkzeugherstellung, IFW,  
04.05.2021, 04.11.2021

Runder Tisch der Spanntechnik, IFW,  
20.05.2021, 09.12.2021

MIC2021,  
Machining Innovations Conference for Aerospace Industry,  
IFW, 01.12.2021

59. Konferenz des Arbeitskreises Wasserstrahltechnik  
(AWT), IW, Webkonferenz, 08.03.2021

AWT-Härtereikreis Hannover, IW, PZH-Garbsen,  
21.09.2021, 16.11.2021

DGM-Seminar „Moderne Beschichtungsverfahren“, Online-  
Live-Fortbildung, 24.-25. März 2021

MHI Mitgliederversammlung, match, 09.06.2021

MHI Fachkolloquium, match, 10.06.2021 und 11.06.2021

General assembly of SPP2100 priority programme match,  
5.07.2021 – 08.07.2021

Schülerbesuch Otfried-Preußler-Schule Hannover und  
Lehramts-Studierende, match 16.09.2021

## Patente (Auswahl)

### IFUM - Institut für Umformtechnik und Umformmaschinen

#### DE 10 2012 021 926 Musterprobengeometrie und Musterprüfverfahren

Zur Bestimmung des Umformvermögens von Werkstoffen wurden in der Vergangenheit monoaxiale Zugversuche durchgeführt. Die Verwendung von Kreuzzugproben wiederum ermöglichte die Nachempfindung biaxialer Werkstoffbeanspruchungen. Durch die Entwicklung einer neuen Scherzugprobengeometrie konnte die Einfachheit des monoaxialen Zugversuchsverfahrens mit der Aussagekräftigkeit eines biaxialen Prüfverfahrens kombiniert werden.

### IFW - Institut für Fertigungstechnik und Werkzeugmaschinen

#### DE 10 2019 120 155 Verfahren zum Herstellen eines Zerspanwerkzeugs aus einem Rohling und Schleifschnecke zum Herstellen eines Zerspanwerkzeugs

Die industrielle Herstellung von rotationssymmetrischen Zerspanwerkzeugen wie z.B. Fräsern ist mit stetig steigenden An-

forderungen an die Qualität dieser Werkzeuge sowie die Produktivität und Effizienz der zugehörigen Fertigungsprozesse konfrontiert. Da im Rahmen konventioneller Werkzeugschleifprozesse ein Zielkonflikt zwischen der erreichbaren Werkzeugqualität und der Prozessproduktivität besteht, ist die Entwicklung neuartiger Fertigungsprozesse zur Deckung der weltweiten Nachfrage nach qualitativ hochwertigen Zerspanwerkzeugen notwendig.

Konventionelle Fertigungsprozesse rotationssymmetrischer Zerspanwerkzeuge beinhalten mehrere aufeinanderfolgende Schleifoperationen, die mit verschiedenen Schleifwerkzeugen durchgeführt werden und sich hinsichtlich der Prozessführung deutlich voneinander unterscheiden. Dies ermöglicht es zwar die einzelnen Schleifprozesse stets so anzupassen, dass die jeweilige Bearbeitungsaufgabe optimal erfüllt werden kann, beeinträchtigt jedoch durch die beispielsweise mit einem Werkzeugwechsel einhergehenden Nebenzeiten die Prozessproduktivität.

Zur Lösung des Eingangs erwähnten Zielkonflikts ist daher ein neuartiges kontinuierliches Schleifverfahren für Zerspanwerkzeuge entwickelt und patentiert worden. Das Verfahren über-

trägt das aus der Zahnradherstellung bekannte kontinuierliche Wälzschleifen mithilfe von speziellen Schleifwerkzeugen, sog. Schleifschnecken, auf die Herstellung von Zerspanwerkzeugen. Ebenso wie im Bereich der Zahnradherstellung können mithilfe des neuentwickelten Verfahrens durch die gleichzeitige Bearbeitung der Nuten und Umfangsschneiden der Zerspanwerkzeuge die für den Schleifprozess benötigten Haupt- und Nebenzeiten gesenkt werden, da Bearbeitungsschritte und Hilfsprozesse eingespart werden können.

Das neuentwickelte Verfahren steigert auf diesem Wege nicht nur die Produktivität des Werkzeugschleifprozesses, ohne die Zerspanwerkzeugqualität zu beeinträchtigen, sondern ermöglicht durch seine besonderen Eingriffsbedingungen auch die Herstellung von Zerspanwerkzeuggeometrien, die mit konventionellen Schleifoperationen nicht hergestellt werden können. Zudem kann das entwickelte Verfahren auch zum Nachschleifen und somit zur Wiederaufbereitung verschlissener rotationssymmetrischer Zerspanwerkzeuge genutzt werden.

### **IFW - Institut für Fertigungstechnik und Werkzeugmaschinen & IW - Institut für Werkstoffkunde**

**DE 10 2020 105 360**

#### **Werkzeugmaschine zum Herstellen eines gehärteten Bauteils**

Herstellungsverfahren wie bspw. von Wälzlagern nutzen in der Regel einen Prozess, der in einem ersten Schritt eine endkonturnahe Massivumformung, in einem zweiten Schritt eine Wärmebehandlung (Härtung) und in einem dritten Schritt eine spanende Nachbearbeitung beinhaltet. Aus dem Stand der Technik ist kein Prozess bekannt, der eine gezielte Gefügebeeinflussung mit einer reproduzierbaren Gefügeumwandlung im Zuge des Zerspanungsprozesses beinhaltet, um die Materialeigenschaften in der Randzone zu verbessern.

Mit dem entwickelten Verfahren soll eine gezielte Gefügebeeinflussung mit einer reproduzierbaren Gefügeumwandlung im Zuge des Zerspanungsprozesses ermöglicht werden. Dabei werden Stähle mit umwandlungsfähigem Austenit verwendet. Die Bearbeitungstemperatur wird auf bis zu -196 °C abgekühlt, so dass sich in der Bearbeitungszone eine Temperatur von maximal -50 °C einstellt. In die Scherzone wirkt eine so hohe Belastung, dass der vorhandene Austenit im Gefüge zu deformations-induziertem, hartem Martensit umklappt. Als Zerspanungswerkzeug wird dabei ein Werkzeug mit Freiflächenrücksatz verwendet, um die Wirkung des Verschleißes auf das Endprodukt so gering wie möglich zu halten. Zur Prozesskontrolle wird eine Wirbelstromanalyse verwendet.

### **IMPT- Institut für Mikroproduktionstechnik**

**DE 10 2014 004 323**

#### **Beschichtungseinrichtung zum zumindest teilweisen Beschichten einer Oberfläche**

Ursprünglich wurden Beschichtungstechnologien als Verschleißschutz oder im Bereich der Mikrotechnologie zur Herstellung von Mikrochips verwendet. Durch Beschichtungen können bestimmte Glanz-, Rauigkeits- oder Farbwerte, aber auch chemische oder physikalische, beispielsweise optische, Eigenschaften der beschichteten Bauteile gezielt eingestellt werden.

Durch das strukturierte Aufbringen mehrerer Schichten gegebenenfalls unterschiedlicher Materialien auf eine Oberfläche eines Bauteiles können z.B. Sensoren zur Überwachung von Bauteileigenschaften unmittelbar auf ein Bauteil aufgebracht werden. Dazu sind verschiedene Beschichtungsverfahren bekannt, die die Gemeinsamkeit aufweisen, dass sie in einer mit Unterdruck beaufschlagten Vakuumkammer durchgeführt werden. Um vergleichsweise große Bauteile zu beschichten, brauchte man entsprechend große Vakuumkammern. Diese Problematik löst die Erfindung dadurch, dass eine mobile Vakuumkammer per Unterdruck auf einem Bauteil aufgesetzt und eine Beschichtung vor Ort durchgeführt werden kann.

### **IW - Institut für Werkstoffkunde**

**EP3 916 276**

#### **Ventil zum Wasserstrahlabrasiv-suspensionsschneiden**

Beim Wasser-Abrasiv-Suspensions-Schneiden wird zum Schneiden von Materialien eine Suspension, bestehend aus Wasser und Abrasivmittel vorgemischt, die dann druckbeaufschlagt als Schneidmedium verwendet wird. Problematisch bei diesem Verfahren ist, dass zum Nachfüllen des Abrasivmittels die Anlage außer Betrieb genommen, der Abrasivmittelbehälter in einen drucklosen Zustand gebracht sowie verschleißbedingt sämtliches Abrasiv aus den Ventilen gespült werden muss. Zudem muss beim Schalten der Ventile, nachdem diese zuvor gespült wurden, konstruktionsbedingt ein vergleichsweise großer Abstand durch einen nadelförmigen Zylinder überbrückt werden, was insbesondere im Falle einer Druckbeaufschlagung im Hochdruckbereich (8000 bar) zum Eintritt vorhersehbarer Knickfälle führt.

Zur Verringerung der Knickgefahr wurde deshalb im gefährdeten Konstruktionsbereich eine radiale Gleitlagerung vorgesehen, die versetzungsbewegungsinitiierten Knickfällen entgegenwirkt.



Foto: Christian Wyrwa

Professor Peter Nylhuis, Institutsleiter

## Geschichte des Instituts

Das Institut für Fabrikanlagen und Logistik blickt auf eine interessante Historie zurück. Bereits 1877 fand in Hannover eine vierstündige Vorlesung statt, die die „Einrichtung und Konstruktion von Werkstätten und Fabrikanlagen“ zum Inhalt hatte. Durch die zunehmende Industrialisierung gewann diese Thematik immer mehr an Bedeutung. 1945 erging schließlich ein erster Lehrauftrag „Fabrikanlagen“, der zwei Jahre später um das Themengebiet „Arbeitsmaschinen“ erweitert wurde. Der Lehrstuhl für Arbeitsmaschinen und Fabrikanlagen wurde 1954 von der damaligen Technischen Hochschule Hannover eingerichtet. Im Jahr 1966 wurde schließlich das Institut für Fabrikanlagen gegründet. Die vier Arbeitsgebiete waren die Fabrikanlagenplanung, der Fabrikanlagenbetrieb, die Handhabungstechnik sowie die Anlagentechnik. Diese Bereiche bilden auch heute noch eine wichtige Grundlage für die Arbeit am Institut. Im Jahr 2001 vom Institut für Fabrikanlagen in das Institut für Fabrikanlagen und Logistik umbenannt, nahm das Institut im Jahr 2003 zusätzlich den Bereich der Arbeitswissenschaft auf und komplettierte somit sein derzeitiges Forschungsportfolio.

## Aus der Forschung

**FABRIKPLANUNG** / Die Fachgruppe Fabrikplanung unterstützt Industrieunternehmen bei der Neu- und Umplanung ihrer Produktionsstätten. Ob im Rahmen eines Neubaus auf der „grünen

Wiese“ oder einer Reorganisation einzelner Produktionsbereiche: gemeinsam mit den Kunden werden unternehmensindividuelle und zukunftsrobuste Lösungen erarbeitet. Von der Analyse und Auswahl potentieller Produktionsstandorte über die detaillierte Analyse der bestehenden Fabriksituation bis hin zur Feinplanung von Produktionslayouts werden dabei sämtliche Aufgaben von der Gruppe Fabrikplanung adressiert. Dabei greifen die Mitarbeiter auf die Erfahrung aus über 50 Jahren Fabrikplanung am IFA zurück.

**PRODUKTIONS- UND ARBEITSGESTALTUNG** / Die Fachgruppe Produktions- und Arbeitsgestaltung fokussiert die zukunftsfähige Ausgestaltung nachhaltiger und effizienter Prozesse und Systeme in den wertschöpfenden Bereichen sowie den Menschen als Leistungsträger in der Fabrik. Wir untersuchen Wirkzusammenhänge auf dem Shopfloor und entwickeln und nutzen Werkzeuge zur Prozessverbesserung wie zum Beispiel Methoden der Lean Production, innovative Ansätze der zukunftsfähigen Produktionssystemgestaltung sowie Ansätze der Industrie 4.0. In Bezug auf den Menschen bildet die Leistungsfähigkeit der Mitarbeiter in der Produktion von heute und für die kommende Generation das zentrale Thema. Vor diesem Hintergrund konzentriert sich die Fachgruppe u.a. auf Themen wie Kommunikation, Qualifizierung, Führung und Ergonomie. Das aus den Projekten heraus gewonnene Wissen wird im Rahmen verschiedener Schulungsangebote an die Industrie weitergegeben. Die Schulungen werden häufig im Rahmen der IFA-Lernfabrik durchgeführt, um das Erlernte nachhaltig als Wissen der Seminarteilnehmer zu verankern.

**PRODUKTIONSMANAGEMENT** / Im Rahmen von Forschungsprojekten und Beratungsaufträgen entwickelt die Gruppe Produktionsmanagement innovative Lösungen für produzierende Unternehmen. Hierbei werden unter anderem Projekte hinsichtlich Durchlaufzeit-, Bestands- und Terminanalysen in Produktionsbereichen, Analysen von Lagerbereichen sowie Dimensionierungen von Fertigungslosgrößen durchgeführt. Auf konzeptioneller Ebene unterstützt die Gruppe Produktionsmanagement Unternehmen bei der Entwicklung von Produktionscontrollingansätzen, der Konfiguration von Fertigungssteuerungen sowie der Digitalisierung des Auftragsabwicklungsprozesses. Zum Einsatz kommen dabei Beschreibungs-, Wirk- und Entscheidungsmodelle, die Unternehmen bei ihren Planungs-, Steuerungs- und Controllingaufgaben auf verschiedenen Aggregationsebenen nachhaltig unterstützen sowie neueste Ansätze aus dem Bereich der Data Analytics.

## Schwerpunkte für Industriekooperationen

### Data Analytics in der industriellen Produktion

Der Einsatz von Data-Analytics-Methoden und -Werkzeugen

in der industriellen Produktion hat in den letzten Jahren – insbesondere im Kontext der Digitalisierung und Industrie 4.0 – rasant an Bedeutung gewonnen. Data-Analytics-Methoden in der industriellen Produktion erlauben es, Daten aus verschiedensten Quellen zu extrahieren, zusammenzuführen und systematisch zu untersuchen. Durch anschließend durchgängige datenbasierte Auswertungen z. B. mit Methoden des maschinellen Lernens ist es oftmals möglich völlig neue Rückschlüsse auf bislang unbekannte Zusammenhänge innerhalb von Lieferketten und Prozessen zu schließen. Dies ermöglicht die Weiterentwicklung und Optimierung von Produktionssystemen und stellt damit eine Grundlage für langfristigen Markterfolg dar. Data Analytics bietet zudem die Chance, Modelle und Hypothesen über logistische oder wirtschaftliche Zusammenhänge in Produktions- und Logistikprozessen zu untersuchen und unterstützt somit die Entscheidungsfindung des (Unternehmens-) Managements.

Die umfassenden Kompetenzen im Bereich Data Analytics werden dabei durch Erfahrungen aus zahlreichen Industrie- und Forschungsprojekten sowie die über Jahrzehnte aufgebaute Expertise in der Produktionslogistik ergänzt. Durch den Einsatz von Materialflusssimulationen, Business-Intelligence-Software sowie Process-Mining identifizieren wir logistische Schwachstellen in der Produktion und leiten Potenziale sowie effektive Maßnahmen zur Ursachenbehebung ab.

### Quickcheck Produktionssystem

Was gestern noch gut funktionierte, reicht heute zum Teil nicht mehr, um sich an veränderte Rahmenbedingungen und Anforderungen der Kunden und des Marktes anzupassen. Die Ursachen für diese Probleme sind den Unternehmen jedoch in den meisten Fällen ebenso unklar wie das Bewusstsein dafür, wie es zu diesem Zustand kommen konnte.

Mit dem IFA-Quickcheck bieten wir die Möglichkeit, sich einen schnellen Überblick über die wichtigsten Handlungsfelder im Unternehmen zu machen und Quick Wins zu realisieren. Die aufgezeigten Potentiale und unsere Handlungsempfehlungen stellen wiederum die Grundlage für deren Umsetzung in weiteren Projekten dar. Mit unseren Schwerpunktthemen Fabrikplanung, Produktionsmanagement sowie Produktions- und Arbeitsgestaltung bilden wir die ganzheitliche Gestaltung von Produktionssystemen ab und erarbeiten anforderungsgerechte und kundenindividuelle Lösungsansätze.

### Digitalisierung im Fabrikbetrieb und in der Fabrikplanung

Die Digitalisierung verspricht unter dem Stichwort „Manufacturing 4.0“ die Hebung wesentlicher Logistikeffizienzpotenziale. Die intelligente Vernetzung von Einzeltechnologien, Mitarbeitern, Produkten und dem übergeordneten Produktionssystem ist hierbei die Kernherausforderung für Unternehmen. Die ganzheitliche Betrachtung der Produktion muss im Fokus stehen, um basierend auf anforderungsgerechten Analyse- und Auswahlmethoden eine intelligente Integration von IT-Systemen sowie Technologien der

Industrie 4.0 zu ermöglichen. Vom IFA entwickelte Konzepte wie Intro 4.0 unterstützen Unternehmen gezielt bei der Identifikation der wesentlichen Digitalisierungslösungen. Mangelnde Transparenz bzgl. eines zu erwartenden Nutzens und des Steigerungspotenzials der Logistikeffizienz, die bspw. die Auslastung, Liefertreue oder Lieferzeit betrifft, wird durch das genannte Konzept aufgelöst. Auch im Bereich der Fabrikplanung ermöglicht die Digitalisierung eine deutliche Verbesserung von Handlungs- und Reaktionsfähigkeit während des Fabrikplanungsprozesses z. B. durch digitale Fabriklayouts. Sie ermöglichen sowohl in der Neuplanung als auch der Reorganisation von Fabriken die Planungsdauer und -kosten zu reduzieren sowie die Transparenz und Übersichtlichkeit zu erhöhen. Die zielgerichtete Digitalisierung der Produktion befähigt Mitarbeiter und Systeme neben der anforderungsgerechten operativen Planung und Steuerung folglich auch zur langfristigen, strategischen Fertigungs- und Montageplanung.

Die durch das IFA entwickelten Modelle und Methoden fokussieren die ganzheitliche Digitalisierung des Unternehmens, ermöglichen es den aktuellen Reifegrad des Unternehmens sowie ein Zielbild zu entwickeln und somit den Digitalisierungsfortschritt im Unternehmen messbar zu beschleunigen.

### Produktionsplanung, -steuerung und -controlling

In Zusammenarbeit mit Industrieunternehmen werden Wirk- und Kausalzusammenhänge auf dem Gebiet des Produktionsmanagements erstellt und untersucht mit dem Ziel, den Auftragsabwicklungsprozess in Unternehmen zukunftsorientiert zu verbessern. Dazu legen wir im Bereich des strategischen Produktionsmanagements langfristig die Ausrichtung der Ziele der Produktion und des Produktionssystems mit Ihnen fest. Aufbauend darauf werden, unterstützt durch die am IFA entwickelten Methoden und Modelle des taktischen Produktionsmanagements, Entscheidungen unterstützt und getroffen. Somit können Anpassungen z. B. bezüglich der optimalen Auftragsabwicklungsstrategie oder des erforderlichen Produktionsprinzips zielkonform umgesetzt werden.

Zur Sicherstellung einer bestmöglichen Effizienz und Transparenz sowie einer zielorientierten Positionierung im Konflikt zwischen (Logistik-)Leistung und (Logistik-)Kosten, wenden wir in unseren Projekten daher zum einen etablierte logistische Modelle wie die Produktionskennlinien und das Trichtermodell, aber auch Methoden der Data Analytics an. Dabei folgen wir stets unserem Anspruch, gemeinsam mit dem Industrieunternehmen ganzheitliche und fundierte Lösungsansätze zu erarbeiten, welche die Transparenz in der Auftragsabwicklung erhöhen und die logistische Zielerreichung langfristig positiv unterstützen.

### Lean Production

Die maximale Kundenorientierung bringt eine stetig wachsende Varianz von Produkten und die Reduzierung von Lieferzeiten mit sich. Um hier langfristig erfolgreich zu sein, unterstützt das IFA Unternehmen dabei, ihre Produktion durch kontinuierliche Verbesserung und Vermeidung von Verschwendung im Sinne der

Lean Production stetig weiterzuentwickeln. Nur so kann die Wertschöpfung gesteigert und eine hohe Produkt- sowie Prozessqualität bei niedrigen Kosten erreicht werden. Methoden wie 5S zur Schaffung von Ordnung und Sauberkeit, Kanban zur Steuerung der Produktion, KVP zur ständigen Verbesserung, One-Piece-Flow zur Reduzierung von Durchlaufzeiten, SMED um Rüstzeiten zu reduzieren oder Just-In-Time können helfen, diese Ziele zu erreichen. Sie unterstützen dabei, Ihre Produktion in einen Fluss zu bringen und auch die vorgelagerten Prozesse so schlank wie möglich zu gestalten. Das IFA stellt dabei stets eine ganzheitliche Betrachtung und Verbesserung des Produktionssystems sicher und bezieht alle Prozessbeteiligten durch workshopbasierte und akzeptanzförderliche Implementierungsstrategien mit ein. Denn eine Grundvoraussetzung für die erfolgreiche Einführung und Umsetzung der Veränderungen ist die Akzeptanz durch die Mitarbeiter auf dem Shopfloor.

### Prozessoptimierung im Produktionssystem

Auf den bestehenden globalisierten Märkten müssen Produktionssysteme extrem flexibel sein, sowohl in der Produktionskapazität als auch in der Fähigkeit, verschiedenste Varianten in beliebiger Reihenfolge zu fertigen. Nur so können die gestellten Kundenanforderungen in Bezug auf die geforderte Logistikleistung erfüllt werden. Infolge dieser Trends werden Produkte und Produktionsprozesse immer komplexer und die Anzahl der zu berücksichtigenden Parameter bei der Auslegung der Prozesse zunehmend unüberschaubar.

Daher bedarf es zur Prozessoptimierung, neben der Reduzierung von Verschwendung, detaillierter Analysen, aus denen Maßnahmen zur Optimierung der relevanten Prozesse abgeleitet werden sowie eines zielgerichteten Leitfadens zur Erschließung von Chancen und Potenzialen.

Das IFA ist sich der hohen Bedeutung der Prozessoptimierung bewusst. Wir haben es uns daher zur Aufgabe gemacht, unser breites Fachwissen, ausgiebige Erfahrung in der Prozessoptimierung bei Industriepartnern sowie unseren unmittelbaren Zugang zu den neuesten Erkenntnissen der Wissenschaft zu nutzen, um Ihr Unternehmen bei der Gestaltung und Optimierung Ihrer Produktionssysteme zu unterstützen. Gemeinsam mit Ihnen können wir Lösungskonzepte gemäß des State of the Art erarbeiten und zusammen für eine zukunftsorientierte Festigung der Wettbewerbsfähigkeit Ihres Unternehmens sorgen.

### Fabrikplanung

Die Planungsphasen der Richtlinie VDI 5200 „Fabrikplanung – Planungsvorgehen“ wurden im Rahmen des Fachausschusses des Vereins der Deutschen Ingenieure (VDI) vom IFA maßgebend erarbeitet und bilden ein zeitgemäßes, ganzheitliches Modell der Fabrikplanung. Aufgrund der engen Abstimmung zwischen Industrie und Wissenschaft zeichnet sich die VDI Richtlinie 5200 als ein Modell mit hoher Akzeptanz und Anerkennung aus, welches sich durch die Anwendung in zahlreichen Fabrikplanungsprojekten des IFA als äußerst praxistauglich erwiesen hat. Auf-

grund der hohen Komplexität der Aufgabe der Neuplanung oder Reorganisation von Fabriken ist die einfache Anwendung des Phasenmodells jedoch nicht trivial.

Deshalb unterstützt das IFA Unternehmen dabei die avisierten Zielgrößen der Fabrik bereits in dem Fabrikplanungsprozess zu berücksichtigen und eine höchstmögliche Zielerreichung in der Planung und dem anschließenden Fabrikbetrieb zu gewährleisten. Durch die methodische und inhaltliche Unterstützung im sequentiellen und teilweise iterativen Ablauf der Phasen der Fabrikplanung nach der VDI 5200 ermöglichen wir eine höchstmögliche Güte der Ergebnisse. Wir begleiten den gesamten Planungsprozess über die fünf Phasen Zielfestlegung, Grundlagenermittlung, Konzeptplanung, Detailplanung und Realisierungsvorbereitung sowie die anschließende Realisierung, Überwachung und Hochlaufbetreuung mit fachkundigem Projektmanagement. Dabei steht der effiziente Prozess und intensiver Austausch mit den Projektbeteiligten im Vordergrund.

### Supply Chain- und Produktionsmanagement

Heutige Lieferketten sehen sich einer stark schwankenden und zunehmend diversifizierten Nachfrage ausgesetzt. Daher müssen Bedarfe und Kapazitäten über die gesamte Lieferkette laufend aufeinander abgestimmt werden. Das Supply Chain Management (SCM) sieht dabei eine ganzheitliche Planung und Steuerung der unternehmensinternen wie auch der unternehmensübergreifenden Lieferkette vom Rohstofflieferanten bis zum Endkunden mit dem Ziel der Erreichung einer hohen logistischen Leistungsfähigkeit und geringen logistischen Kosten vor. Durch hohe Transparenz, möglichst automatisierte Auswertungen granularer Daten und unter Verwendung eines durchgängigen Produktionsmanagements können Bedarfe und Kapazitäten in Einklang gebracht werden, der Bull-Whip-Effekt mit sich aufschwingenden Nachfrageprognosen vermieden und die Produktion im Sinne des Heijunka als Methode des Lean Managements nivelliert werden. Neben der Nivellierung der Produktion gilt es, Bestandsniveaus innerhalb der Lieferkette zielgerichtet einzustellen und zu steuern. Die am IFA entwickelten Logistischen Modelle und Kennlinien erlauben eine Positionierung in diesem Spannungsfeld und häufig die Realisierung bislang ungehobener hoher Bestandssenkungspotentiale. Diese Potentiale können durch ein strategisches und durchgängiges Bestandsmanagement langfristig im Unternehmen etabliert werden.

Mit unseren Kompetenzen im Supply Chain Management sowie im Supply Chain Design unterstützen wir Unternehmen, ihre Lieferkette strategisch und zielorientiert aufzubauen, sie laufend an ändernde Rahmenbedingungen anzupassen und sie effizient zu steuern. Dadurch kann eine hohe Kundenorientierung unter niedrigen Kosten und so der langfristige Unternehmenserfolg sichergestellt und ausgebaut werden.

- 19 *wissenschaftliche Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter*
- 6 *nichtwissenschaftliche Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter*
- 39 *studentische Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter*

# IFA 2021

## Institut für Fabrikanlagen und Logistik

### Leitung

Prof. Dr.-Ing. habil. Peter Nyhuis

### Lehre

41 Masterarbeiten, 31 Studienarbeiten und 21 Bachelorarbeiten

### Aktuelle Forschung

#### ELIAS (Economic Planning Assessment) - Entwicklung eines softwarebasierten Kalkulators - Abschätzung der Kosten als Basis einer sinnvollen Planung

Fabriken zeichnen sich durch eine hohe Lebensdauer und außerordentliche Investitionskosten aus. Kapitalintensive Planungsvorhaben beeinflussen maßgeblich die Liquidität von Unternehmen. Verlässliche Daten und Informationen stellen eine Grundvoraussetzung dar, um Fabrikplanungsprojekte frühzeitig einer Wirtschaftlichkeitsbeurteilung zu unterziehen. In der frühen Phase der Fabrikplanung sind diese Daten jedoch häufig fehlend oder nicht ausreichend belastbar. Das erschwert maßgeblich die frühzeitige Dimensionierung von Betriebsmitteln, Personalaufkommen und Produktionsflächen sowie die daran gebundene Kostenkalkulation. Damit einhergehend steigt auch das Risiko für Fehlinvestitionen.

Das Ziel des Forschungsvorhaben „ELIAS – Economic Planning Assessment“, ein Kooperationsprojekt zwischen dem Institut für Fabrikanlagen und Logistik und der GREAN GmbH ist die Entwicklung eines softwarebasierten Planungsinstruments, um die Kalkulation von Investitionskosten für Fabrikplanungsprojekte trotz fehlender oder unscharfer Daten zu ermöglichen. Mithilfe des Forschungsvorhabens sollen Investitionskosten bereits in der Vorbereitungsphase von Fabrikplanungsprojekten valide abgeschätzt und dadurch zukunftssichere Entscheidungen getroffen werden.

#### LoProBe - Logistische Produktportfoliobewertung (DFG)

Herkömmliche Ansätze zur Produktportfoliobewertung evaluieren Portfolios häufig nur unter Berücksichtigung von marktorientierten oder finanzwirtschaftlichen Bewertungsdimensionen. Logistikaufwendungen wie bspw. hohe Rüstaufwände, die in der Produktion durch die Beibehaltung problematischer Produkte in Produktportfolios entstehen können, werden aktuell nicht dediziert in den Fokus genommen. Im Rahmen des Projekts „LoProBe – Logistische Produktportfoliobewertung“ wird eine Methode zur multikriteriellen, logistikorientierten Bewertung entwickelt, die den Einfluss von Produktportfolios auf Zielgrößen der Logistikleistung und Logistikkosten produzierender Unternehmen beschreibt. So werden durch die im Projekt entwickelten Methoden bspw. kapazitive Mehrbedarfe von Produktportfolios, die sich aus Rüstabhängigkeiten ergeben können, beschreibbar gemacht. Ziel ist es, Unternehmen

die aufwandsarme Optimierung ihrer Produktportfolios unter Berücksichtigung unterschiedlicher Produktportfolioalternativen zu ermöglichen. So ist bspw. die Löschung von Produkten aus dem Portfolio denkbar, sofern ein negativer Einfluss auf logistische Zielgrößen festgestellt werden kann. Die Anwendbarkeit wird durch die Einbindung der Forschungserkenntnisse innerhalb eines Softwaretools sichergestellt, das basierend auf Unternehmens-, Produkt- und Produktionsdaten eine logistikorientierte, workshopbasierte Portfoliooptimierung ermöglicht.

#### teamIn - Interaktive Führung und Technologien für die Teaminteraktion von Morgen (BMBF)

Das Forschungsprojekt teamIn verfolgt das Ziel, ein Leitbild für die digital unterstützte Führungsorganisation von morgen zu entwickeln. Der Fokus liegt dabei auf einer ganzheitlichen Betrachtung von Technologie in Kombination mit den Fähigkeiten und Bedürfnissen der Nutzer. Als Ergebnis entstehen konkrete Führungs- und Organisationskonzepte unter Einbindung digitaler Methoden wie z.B. künstlicher Agenten oder Live-Mitarbeiter-Feedback. Diese ermöglichen zukunftsgerichtete Führungs- und Organisationsstrukturen und verbessern damit die innerbetriebliche Kommunikation. Dabei ist die Einbindung aller Beteiligten in den Prozess der Veränderung von übergeordneter Bedeutung.

**reQenrol** - Das Forschungsprojekt reQenrol verfolgt das Ziel, sowohl ein Konzept als auch einen Softwaredemonstrator für eine kompetenz- und qualitätsbasierte Personaleinsatzplanung und -schulung in produzierenden KMUs mittels Smart Devices zu entwickeln. Die Personaleinsatzplanung soll dabei durch ein intelligentes Assistenzsystem unterstützt werden, welches Empfehlungen zur kompetenzgerechten Allokation von Mitarbeitenden zu Tätigkeiten gibt. Gleichzeitig werden erforderliche Schulungsunterlagen vom System identifiziert und den Mitarbeitenden über Smart Devices bereitgestellt, um mögliche Lücken zwischen Ist- und Soll-Qualifikation durch ein effizientes „Training on the Job“ zu schließen. Erzielte Kompetenzsteigerungen werden dabei systematisch erfasst und die Kompetenzprofile der Mitarbeitenden entsprechend aktualisiert. Dabei ist die Befähigung von KMU zur systematischen Steigerung ihrer Mitarbeitendenflexibilität von übergeordneter Bedeutung.

#### HaLiMo 2 - Systematische Untersuchung der Wirkung von Verfahren der Produktionsplanung und der Produktionssteuerung auf logistische Zielgrößen (DFG)

Ziel des Forschungsprojektes ist die strukturierte und einheitliche Sammlung von Verfahren zur Erfüllung der Aufgaben im Rahmen der Produktionsplanung und -steuerung (PPS). Darauf aufbauend sollen sowohl die direkten als auch die indirekten Wirkungen der PPS-Verfahren auf die logistischen Zielgrößen untersucht werden. Ergebnis dieser Untersuchungen sind belastbare Aussagen über Wirkzusammenhänge und Wechselwirkungen. Die Beschreibung dieser erfolgt hierbei quantitativ durch die mathematische Verknüpfung von Elementen der unternehmensin-

ternen Lieferkette und den logistischen Zielgrößen mithilfe bestehender logistischer Modellen.

#### MPPS-Fabrik - Entwicklung eines Prozessmodells der Multiprojektplanung und -steuerung in der Fabrik (DFG)

Unternehmen sind heute mehr denn je gezwungen, regelmäßig Projekte in ihren Fabriken zu initiieren, um durch ständige Anpassung und Veränderung die Wettbewerbsfähigkeit zu sichern. Solche Projekte werden individuell gesteuert und verwaltet. Die Durchführung vieler Projekte führt jedoch häufig zu Situationen, in denen sich verschiedene Projekte hinsichtlich ihrer Planung und Steuerung überschneiden. Zur Steuerung von Umgebungen, die aus Projekten mit unterschiedlichem Umfang und Zeitrahmen bestehen, nutzen Unternehmen allgemeingültige Modelle des Multiprojektmanagements (MPM). Damit ein Prozessmodell für das Multiprojektmanagement den spezifischen Anforderungen der Fabrik gerecht wird, werden darüber hinaus Erkenntnisse aus der Produktionsumgebung benötigt. Das Forschungsprojekt „MPPS-Fabrik“ hat daher zum Ziel, das konventionelle Projektmanagement um eine systematische, effiziente und leistungsfähige Multiprojektplanung und -steuerung für die Fabrik zu erweitern. Dadurch soll innerhalb des Projektportfolios die Auswahl der richtigen Projekte, zur richtigen Zeit und unter Berücksichtigung der richtigen Ressourcenzuweisung unterstützt werden. Um dies gewährleisten zu können, sind in diesem Rahmen die besonderen Anforderungen, Prozesse und Rahmenbedingungen von Fabriken zu berücksichtigen.

#### Komm 4.0 - Entwicklung eines Modells und einer Vorgehensmethode zur Beschreibung, Bewertung und Gestaltung von Kommunikationskonzepten in Fabriken im Kontext von Industrie 4.0 (DFG)

Tiefgreifende Veränderungen in der technischen und organisatorischen Struktur haben die Kommunikation zwischen den Elementen einer Fabrik beeinflusst. Insbesondere Industrie 4.0 als aktueller Trend in der Produktionstechnik stellt neue Anforderungen an die Kommunikation. So umfassen die Erwartungen eine Vielzahl von Auswirkungen und Potenzialen von Industrie 4.0 auf die Kommunikation in Fabrikssystemen. Exemplarisch werden am häufigsten Effizienz- und Produktivitätssteigerungen als Effekte von Industrie 4.0 genannt. Solche Einflüsse können sich jedoch sowohl positiv als auch negativ in Fabrikssystemen auswirken. Eine umfassende und allgemeingültige Beschreibung dieser Aspekte ist jedoch noch nicht vorhanden. Ebenso fehlt ein Verständnis für die Ursache-Wirkungs-Zusammenhänge zwischen den Anforderungen an die Kommunikation zwischen den Systemkomponenten einer Fabrik, die sich aus Industrie 4.0 ergeben. Das fehlende spezifische Verständnis der durch Industrie 4.0 verursachten Auswirkungen und der Ursache-Wirkungs-Beziehungen zwischen den Anforderungen an die Kommunikation zwischen den Systemkomponenten der Fabrik führt dazu, dass effektive Kommunikationskonzepte in Fabrikssystemen nicht gestaltet werden können. Bestehende Kommunikationssysteme

bleiben daher unerwünschten Effekten ausgesetzt und lassen gewünschte Effekte ungenutzt. Das Ziel dieses Forschungsprojektes ist es daher, bestehende Kommunikationskonzepte zu beschreiben und zu bewerten, sowie effektivere Konzepte zu entwerfen und bisherige Empfehlungen hinsichtlich der Gestaltung von Kommunikationskonzepten gegebenenfalls anzupassen.

#### **Qfalle - Quantitative Fabrik-Lebenszyklus-Evaluation (DFG)**

Um erfolgreich am Markt zu bestehen, benötigen Unternehmen flexible und wandlungsfähige Fabriken. Laufend erforderliche Anpassungsprozesse müssen dabei zielgerichtet gestaltet werden, um die benötigte Wirtschaftlichkeit der Fabriken über deren gesamten Lebenszyklus zu sichern. Ökologische Zielsetzungen gewinnen ebenfalls an Bedeutung. Die besondere Herausforderung für Fabrikplaner liegt in der Tatsache, dass die Lebensdauer von Fabrikgebäuden, Produktionsmaschinen oder technischer Gebäudeausrüstung die Produktionsdauer von Produkten in der Regel deutlich übersteigt. Vor dem Hintergrund verschiedener Veränderungstreiber wie bspw. neuer Technologien, verkürzter Produktlebenszyklen oder geänderter Gesetzgebung gilt es, alle Fabrikobjekte unter Berücksichtigung ihres individuellen Lebenszyklus so aufeinander abzustimmen, dass eine im Hinblick auf die ökonomischen und ökologischen Ziele geeignete Fabrikkonfiguration erreicht wird. Im Rahmen des Forschungsprojektes „Qfalle“ soll ein Modell entwickelt werden, welches verschiedene Fabrikkonfigurationen bis hin zur Fabrikebene quantitativ aus Lebenszyklussicht bewerten kann. Dazu sollen Verläufe von Leistungskennzahlen der einzelnen Fabrikobjekte eines Fabriksystems einschließlich ihrer Abhängigkeiten untersucht und prognostiziert werden, um darauf aufbauend Managemententscheidungen zu treffen, die zu einer ökonomisch und ökologisch verbesserten Fabrikkonfiguration führen.

**MedFAP** - Das Forschungsvorhaben „MedFAP“ stellt Leitprinzipien zur flussorientierten Strukturierung und Anordnung sowie zur Ausgestaltung wandlungsfähiger Funktionsbereiche und Räumlichkeiten auf, um die Wirtschaftlichkeit und Wandlungsfähigkeit von Krankenhäusern mithilfe fabrikplanerischer Methoden zu steigern.

#### **Exzellenzcluster PhoenixD - Photonics, Optics, Engineering – Innovation Across Disciplines (DFG)**

Kürzere Produktlebenszyklen, kleine Stückzahlen und Funktionsintegrationen bei gleichzeitiger Miniaturisierung und hohen Qualitätsstandards stellen die moderne Optikfertigung vor große Herausforderungen. Zusätzlich zu den hohen logistischen Marktanforderungen müssen Optikerhersteller neue Prozesse entwickeln, um zukünftige Bedarfe zu decken. Neuartige automatisierte und selbstoptimierende Produktionssysteme sind notwendig, um den Herausforderungen gerecht zu werden. Genau jetzt ist die Zeit, Simulation und moderne Produktion zusammen auf die Präzision optischer Systeme

zu übertragen – ein Paradigmenwechsel in Optikdesign, -simulation und -herstellung. Das Vorhaben PhoenixD vereint eine disziplinübergreifende Initiative zur Entwicklung erstklassiger Optik, Produktionstechnik, Simulations- und Materialkompetenz. In PhoenixD werden wissenschaftliche Leitfragen beantwortet, wie zukünftige Optiksysteine unter Abwägung der notwendigen Präzision, des Grades der Integration und der Kosten produziert werden können. Dieser ganzheitliche Ansatz liefert neue individuelle Lösungen. Ziel des IFA ist es, einen systematischen Ansatz zur Gestaltung der gesamten Wertschöpfungskette zu entwickeln, damit die Optik von morgen bereits heute produziert werden kann.

#### **MoBAStra - Modellbasierte Bestimmung der aus wirtschaftlicher und logistischer Sicht geeigneten Auftragsabwicklungsstrategie (AIF)**

Die Auswahl einer aus wirtschaftlicher und logistischer Sicht geeigneten Auftragsabwicklungsstrategie spielt zur Realisierung möglichst effizienter und verschwendungsfreier Produktionsprozesse eine grundlegende Rolle. In der Praxis entscheiden sich aber viele Unternehmen für eine Auftragsabwicklungsstrategie nach qualitativen Kriterien oder nach Erfahrungswerten, zumeist pauschal für bestimmte Artikel und Auftragsarten. Die von der Wahl der Auftragsabwicklungsstrategie beeinflussten logistischen und wirtschaftlichen Zielgrößen sind jedoch entscheidend für den Unternehmenserfolg. Exemplarisch sind Lieferzeit, Liefertermintreue bzw. -einholung, Rüstkosten oder Kosten für die erforderliche Kapazitätsflexibilität zu nennen.

Mit dem Forschungsvorhaben MoBAStra sollen Unternehmen bei der Entscheidungsfindung hinsichtlich der Auftragsabwicklungsstrategie durch eine ganzheitliche Quantifizierung der Wechselwirkungen unterstützt werden. Dabei werden die beiden grundlegenden Auftragsabwicklungsstrategien make-to-stock (Lagerfertigung) und make-to-order (Auftragsfertigung) sowie Mischstrategien betrachtet. Ziel des Forschungsvorhabens ist die Entwicklung eines umfassenden Entscheidungsunterstützungsmodells, welches dem Anwender ein nachvollziehbares, quantifiziertes Ergebnis zur Wahl der Auftragsabwicklungsstrategie liefert. Hierfür werden die Auswirkungen verschiedener Auftragsabwicklungsstrategien auf wettbewerbsrelevante Zielgrößen quantifiziert und in einem Gesamtmodell zusammengeführt.

#### **SFB 871 Teilprojekt D1 - Modellierung von Regenerationslieferketten (DFG)**

Der Sonderforschungsbereich (SFB) 871 „Regeneration komplexer Investitionsgüter“ erforscht seit 2010 die wissenschaftlichen Grundlagen der Regeneration von komplexen Investitionsgütern wie Flugtriebwerken, Windenergieanlagen oder Schienenfahrzeugen. Das übergeordnete Ziel des durch das IFA verantworteten Teilprojektes D1 ist die Erhöhung der Logistikperformance von Regenerationsprozessen (z.B. in Form der Liefertermintreue). Im Fokus steht die individuelle Gestaltung und Konfiguration der produktionslogistischen Prozesse bei Regenerations-

dienstleistern. Abhängig von der gewählten Konfiguration der Lieferkette sind Regenerationsdienstleister in der Lage, eine bestimmte Logistikleistung am Markt anzubieten. Besondere Berücksichtigung findet dabei der Einfluss der außergewöhnlich hohen Informationsunschärfe hinsichtlich Zeitpunkt und Umfang des Regenerationsbedarfs – teils bis in den fortgeschrittenen Auftragsstatus hinein. Dazu wurden auf Basis von Data Mining bereits Optimierungsansätze für die Kapazitätsplanung mit kurz-, mittel- und langfristigem Zeithorizont entwickelt. Diese ermöglichen präzisere Prognosen hinsichtlich zukünftig zu erwartender Regenerationsaufträge sowie der hieraus resultierenden Arbeitsbelastung. Ebenfalls wurden mathematische Modelle zur Beschreibung der Wirkzusammenhänge zwischen der Logistikperformance und der Ersatzteilversorgung entwickelt. Diese werden aktuell auf eine mehrstufige Ersatzteilversorgung erweitert und in einen integrierten Ansatz für das Produktions- und Ersatzteilmanagement überführt.

#### **Technologieinitiative Triebwerksinstandsetzung (TinTin) - Modellgestützte Lieferzeitprognose für das Auftragsmanagement in der Regeneration**

Die Planung von Regenerationsaufträgen (Instandhaltungs- und Reparaturmaßnahmen) unterliegt einer starken Dynamik hinsichtlich des Umfangs sowie des Zeitpunkts notwendiger Maßnahmen. Die Vorhersagbarkeit von Auftragsdurchlaufzeiten wird von einer Vielzahl interner und externer Einflussfaktoren beeinflusst und ist durch die resultierende Komplexität stark eingeschränkt. Diese Unschärfe führt zu einem regelmäßigen Änderungsbedarf in der Produktionsplanung und -steuerung (PPS). Mit Hilfe von Data und Process Mining kann eine modellgestützte Betrachtung der Einflussfaktoren und eine Vorhersage des Durchlaufverhaltens einzelner Aufträge unterstützt und damit die Planungsentscheidung vereinfacht werden. Faktoren, die durch auf allgemeingültigen Wirkbeziehungen basierende logistische Modelle nicht abgebildet werden können, können so explizit innerhalb eines Prognoseansatzes berücksichtigt werden. Vor diesem Hintergrund besteht das Kernziel des Forschungsvorhabens in der Verzahnung der Forschungsdisziplinen Data Mining, Process Mining sowie der logistischen Modellierung zu einem hybriden Ansatz zur Durchlaufzeitprognose in der Regeneration komplexer Investitionsgüter.

#### **iMoD**

Die Flugzeugproduktion zeichnet sich durch eine hohe Vielfalt an Teilprozessen aus. Diese lassen sich aufgrund der Komplexität von Bauteilen und der hohen Sicherheits- und Qualitätsansprüche schwer automatisieren. Daher werden viele Arbeiten manuell und teilweise in ergonomisch ungünstigen Positionen durchgeführt. Die im Flugzeugbau eingesetzten Automatisierungssysteme sind in stationärem Einsatz und dadurch unflexibel. Neben der notwendigen Rekonfiguration einzelner Roboter zur Erhöhung der Flexibilität steht zudem die gesamte Produktionsorganisation der aus der „Lean-Philosophie“ entstammenden Linienfer-

tigung auf dem Prüfstand. Der Einsatz hybrider Fertigungsprinzipien – die bspw., auf einer Fließfertigung basierend, Bypässe in modulare Werkstätten vorsehen – bietet die Chance, eine hohe Variantenvielfalt bei gleichzeitig maximaler Auslastung und Effizienz zu ermöglichen. Die Beschreibung des Systemverhaltens innerhalb hybrider Fertigungsprinzipien wird bisher jedoch nicht adressiert. Ebenso ist die dezentrale Koordination von Ressourcen, welche durch geeignete Kombinationen neue Fähigkeitsräume erschließen können, ein noch kaum erforschter Ansatz, der ein erhebliches Verbesserungspotenzial darstellt.

Ziel dieses Projektes ist die Entwicklung einer kollaborativen Einsatz-Umgebung für die Robo-

tik und Intralogistik der Flugzeugmontage, basierend auf einer durchgängig digitalisierten Planung, in der neuartige, hybride Produktionsstrukturen effektiv eingesetzt und Transporte von Großbauteilen durch intelligente Transportsysteme flexibilisiert werden.

#### SFB 1368 VP01 Monetäre Innovationsbewertung

Die Anwesenheit von Sauerstoff innerhalb metallverarbeitender Produktionsprozesse schränkt die Möglichkeiten der Metallverarbeitung ein. Der Sonderforschungsbereich 1368 erschließt daher das Forschungsgebiet der sauerstofffreien Produktion, indem ein Verständnis für die Vorgänge und Mechanismen innerhalb von Fertigungs-, Montage- und Handhabungs-

prozessen unter technisch vollständigem Ausschluss von Sauerstoff aufgebaut wird. Die Implementierung innovativer Produktionsverfahren und -technologien wie die der sauerstofffreien Produktion beeinflusst die monetären und produktionslogistischen Zielgrößen im jeweiligen Produktionssystem. Um derartige innovationsgetriebene Auswirkungen zur Unterstützung der Innovationsentscheidung zu bewerten, besteht das Ziel des Vorprojekts zur monetären Innovationsbewertung darin, einen Modellierungsansatz zur monetären ex ante Bewertung technologischer Innovationen zu entwickeln.

## Veröffentlichungen (Auszug)

### Beiträge in Zeitschriften/Aufsätze (reviewed)

**Ast, J.; Wasseghi, R.; Nyhuis, P. (2021):** A comparison of methods for determining performance based employee deployment in production systems, *Production Engineering Research Development*; DOI: 10.1007/s11740-021-01019-5

**Cevirgen, C.; Hook, J.; Nyhuis, P. (2021):** Investitionsentscheidungen unter Unsicherheit, *wt Werkstatttechnik online Jahrgang 111 (2021) Heft 04*; DOI: 10.37544/1436-4980-2021-04

**Cevirgen, C.; Rieke, L.; Bischoff, L.-M.; Nyhuis, P. (2021):** Investment Feasibility Study for Factory Planning Projects, *Journal of Production Systems and Logistics*; Volume 1 | 8; DOI: 10.15488/11143

**Heuer, T.; Maier, J. T.; Schmidt, M.; Nyhuis, P. (2021):** Eilaufträge logistisch beherrschen, *wt Werkstatttechnik online Band 110 (2021) Nr. 4, S. 185-189*; DOI: 10.37544/1436-4980-2021-04-7  
**Hiller, T.; Mayerhoff, J.; Nyhuis, P. (2021):** Energy Costs In Production Planning And Control: A Categorical Literature Review And Comparative Analysis, *Journal of Production Systems and Logistics* 1 (2021); DOI: 10.15488/11126

**Hiller, Tobias; Cevirgen, Cihan; Nyhuis, Peter (2021):** Exploring The Potential Of Digital Twins For Production Control & Monitoring, *Journal of Production Systems and Logistics*; Volume 1 | Article 5; DOI: 10.15488/10599

**Hiller, T.; Lucht, T.; Kämpfer, T.; Vinke, L.; Holtsch, P.; Nyhuis, P. (2021):** Hybride Lieferzeitprognose: Verbesserte Termin- und Auftragsplanung im volatilen MRO-Umfeld, *ZWF - Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb* 116 (2021) 12; DOI: <https://doi.org/10.1515/zwf-2021-0197>

**Hook, J.; Nielsen, L.; Nyhuis, P. (2021):** Introduction Of A Concept For Planning And Controlling Multi-Project Environments In

*Factories*, *Journal of Production Systems and Logistics* 1; Volume 1 | 9; DOI: 10.15488/11155

**Lucht, T.; Drewal, F.; Nyhuis, P. (2021):** Approaching Automation of Production Planning and Control: A Theoretical Framework, *Journal of Production Systems and Logistics*; Volume 1 | Article 6; DOI: 10.15488/11127

**Lucht, T.; Mütze, A.; Kämpfer, T.; Nyhuis, P. (2021):** Model-Based Approach for Assessing Planning Quality in Production Logistics, *IEEE Access*; 2021, Volume 9; DOI: 10.1109/ACCESS.2021.3104717

**Nielsen L., Klausung P., Nyhuis P. (2021):** Towards a Target System to Incorporate Sustainability in Multi-project Management in Factories, *Cuevas R., Bodea CN., Torres-Lima P. (eds) Research on Project, Programme and Portfolio Management. Lecture Notes in Management and Industrial Engineering*, Springer, Cham.; DOI: 10.1007/978-3-030-60139-3\_2

**Nyhuis, Peter; Rochow, Niklas E.; Krause, Marilena; Pischke, Dennis; Seitz, Melissa; Kuprat, Vivian K. (2021):** Organisationsformen der Produktion, *Journal of Production Systems and Logistics* 1 (2021), 13.; DOI: 10.15488/11332

**Park, Y.-B.; Nyhuis, P. (2021):** Operationalisation Of Communication

*Structure Requirements In Factories In The Context Of Industry 4.0*, *Journal of Production Systems and Logistics* 1 (2021), 17; DOI: 10.15488/11513

**Rieke, L.; Cevirgen, C.; Nyhuis, P. (2021):** Introduction of an Economic Assessment Approach for Factory Planning, *Journal of Production Systems and Logistics* 1; DOI: 10.15488/11144

### Vorträge

**Heuer, T. (2021):** Make-to-order, make-to-stock or something in between?. News from the Logistics Think Tanks, Science & Research – International Supply Chain Conference 2021, Berlin

**Nyhuis, P.; Lucht, T.; Mütze, A., Wenzel, A. (2021):** Robuste Lieferkettengestaltung - Wie Lieferketten ganzheitlich gestalten?, 2. Expertenforum Produktionsplanung und -steuerung, 17. Juni 2021, Frankfurt am Main, Deutschland Weitere Informationen

### Konferenz (reviewed)

**Der, A.; Hingst, L.; Karl, A.; Nyhuis, P.; Herrmann, C. (2021):** Factory life cycle evaluation through integrated analysis of factory elements, The 28th CIRP Conference on Life Cycle Engineering, March 10 – 12, 2021, Jaipur, India; DOI: 10.1016/j.procir.2021.01.127



IFA Lernfabrik. Foto: Leo Menzel



Foto: Christian Wyrwa

Professor Bernd-Arno Behrens, Institutleiter

## Geschichte des Instituts

Das Institut für Umformtechnik und Umformmaschinen ist eines der ältesten umformtechnischen Institute an deutschen Universitäten. Gemeinsam mit dem Institut für Fertigungstechnik und Werkzeugmaschinen kann es seine Geschichte zurückverfolgen bis zu Karl Karmarsch, der im Jahr 1831 die Höhere Gewerbeschule - den Vorläufer der heutigen Leibniz Universität Hannover - gründete und dort mechanische Technologie lehrte. Er begründete damit eine lange Tradition erstklassiger Forschung in der Fertigungs- und insbesondere der Umformtechnik. Im Jahr 1954 wurde das Lehrgebiet in den Lehrstuhl für Fertigungstechnik und Spanende Werkzeugmaschinen und den Lehrstuhl für Werkzeugmaschinen und Umformtechnik, der von Otto Kienzle geführt wurde, aufgeteilt.

Im Jahre 2004 zog das Institut zusammen mit fünf weiteren produktionstechnischen Instituten in das Produktionstechnische Zentrum Hannover (PZH) nach Garbsen. Im Jahr 2019 wurde der Campus Maschinenbau der Leibniz Universität Hannover eröffnet. Das IFUM und die gesamte Fakultät Maschinenbau sind nun in Garbsen angesiedelt.

Das IFUM versteht sich als zuverlässiger Forschungspartner in allen grundlagen- und anwendungsorientierten Fragestellungen der Umformtechnik. Darüber hinaus zeichnet sich das Institut nicht nur durch die Beantwortung aktueller umformtechnischer Problemstellungen aus, sondern vielmehr durch die

Erarbeitung übergreifender Konzepte und fungiert so als engagierter und kompetenter Ansprechpartner. Dabei kann auf ein umfangreiches Wissen aus Forschung und Entwicklung zurückgegriffen werden. Innovative Prozesse und Verfahren des Kalt- und Warmumformens, zukunftsorientierte Anlagen- und Werkzeugkonzepte sowie die Untersuchung neuartiger Werkstoffe werden experimentell und virtuell abgebildet. Zur Umsetzung dieser Kernkompetenzen gliedert sich das Institut in vier Fachbereiche. Diese umfassen die Blech- und Massivumformung, die Umformmaschinen sowie die Materialcharakterisierung und Simulation.

## Aus der Forschung

Der Sonderforschungsbereich (SFB) 1153 „Tailored Forming“ setzt sich zum Ziel, die Potentiale hybrider Massivbauteile auf Basis neuartiger Prozessketten zu erschließen und die dafür notwendigen fertigungstechnischen Verfahren zu entwickeln. Im Gegensatz zu bestehenden Fertigungsprozessen hybrider Massivbauteile, bei denen der Fügeprozess erst während oder nach der Umformung erfolgt, werden im SFB 1153 maßgeschneiderte Halbzeuge verwendet, die bereits vor dem Formgebungsprozess gefügt werden. Auf diese Weise lassen sich Bauteile fertigen, die den geforderten Anforderungsprofilen der unterschiedlichen Struktur- und Funktionsbereiche im Bauteil wesentlich besser entsprechen als Bauteile aus Mono-

werkstoffen. Durch die Kombination unterschiedlicher Werkstoffe innerhalb eines Bauteils kann bei gleicher oder verbesserter Leistungsfähigkeit zum einen durch den lokalen Einsatz von Leichtbauwerkstoffen das Bauteilgewicht reduziert werden und zum anderen durch die Kombination kostengünstiger mit hochwertigen Legierungen die Kosten des Bauteils reduziert werden. Gegenüber den bestehenden Fertigungsverfahren werden in der Tailored-Forming-Prozesskette durch die einfache Geometrie der vorgefügten Halbzeuge die Handhabung sowie die prozessichere Herstellung einer stoffschlüssigen Fügezone erleichtert. Der gezielt gesteuerte Werkstofffluss während der anschließenden Umformung ermöglicht zudem die Beeinflussung der resultierenden Fügezonengeometrie, was mit konventionellen Fügeverfahren aktuell nicht realisierbar ist. Durch die thermomechanische Beeinflussung während der Umformung kann außerdem eine Verbesserung der Fügezonqualität erzielt werden. Der innovative Ansatz des SFB 1153 beinhaltet eine ganzheitliche Betrachtung des Fertigungs- und Entwicklungsprozesses vom Halbzeug bis zum einsatzfähigen Bauteil unter Erstellung von hierfür notwendigen Verfahrensrichtlinien und der Ableitung spezifischer Gesetzmäßigkeiten.

Als Hauptziele der zweiten Förderperiode lassen sich die Erweiterung des Materialspektrums, die Funktionsintegration und die Erhöhung der Bauteilkomplexität sowie die generelle Weiterentwicklung der erarbeiteten Prozessschritte und -ketten definieren. Hierdurch sollen das Eigenschaftsspektrum erweitert und die Leistungsfähigkeit sowie die Integration der Tailored-Forming-Technologie verbessert werden, um so das Anwendungspotential insgesamt zu erhöhen. Der Nachweis der Übertragbarkeit der im SFB erarbeiteten wissenschaftlichen Grundlagen auf industrielle Fertigungsprozesse und Anwendungsfälle wird in der zweiten Förderperiode durch zwei Transferprojekte erbracht. Hierbei erfolgt zum einen die Skalierung der erarbeiteten Prozessketten auf Großbauteile und zum anderen auf industrierelevante Lastkollektive und Demonstratoren.

Im Teilprojekt A04 „Sinterbeschichtungen Formhärten“ des SFB 1368 wird in Zusammenarbeit mit dem Institut für Werkstoffkunde der Leibniz Universität eine Möglichkeit zur sauerstofffreien Beschichtung während der konduktiven Erwärmung von Platinen für das Formhärten untersucht. Das Formhärten ist ein etabliertes Verfahren um ultrahochfeste Bauteile herstellen zu können. In der Industrie hat sich dabei die Erwärmung der Platinen mittels Rollenherdöfen etabliert. Da dieses Verfahren nicht energieeffizient ist, treten alternative Verfahren, wie die konduktive Blecherwärmung, in der aktuellen Forschung in den Mittelpunkt. Die konduktive Erwärmung ist in der Lage, Blechzuschnitte innerhalb weniger Sekunden auf die notwendige Austenitisierungstemperatur von ca. 950 °C zu erwärmen. Der limitierende Faktor ist dabei allerdings, dass derzeit keine Beschichtung vorhanden ist, die bei einer so raschen Erwärmung einen ausreichenden Zunder- sowie Korrosionsschutz bietet. Ziel des Teilprojektes A04 ist es daher, bei der Erwärmung unter sauerstofffreier Atmosphäre eine Beschichtung auf-

zutragen, welche den Ansprüchen des Formhärten gerecht wird. Für die Beschichtung stehen mehrere NiCrP Lot- und Sinterpulver zur Verfügung. Die sauerstofffreie Atmosphäre sorgt bei der konduktiven Erwärmung für eine desoxidierte Oberfläche und ist Voraussetzung für eine metallurgische Anbindung des pulverförmigen Zusatzwerkstoffs. Das IFUM erarbeitet derzeit einen Versuchsaufbau, mit dem es möglich ist die sauerstofffreie Atmosphäre um die Anlageneinheit zur konduktiven Erwärmung herstellen und halten zu können. Zusätzlich wird zur Messung des Sauerstoffgehalts ein Sauerstoffmessgerät, das innerhalb des Teilprojekts S01 entwickelt wurde, in den Versuchsaufbau integriert.

Im Teilprojekt A03 „New diagnostic methods to detect loosened hip arthroplasties“ des SFB 298 soll in Zusammenarbeit mit dem Labor für Biomechanik und Biomaterialien (LBB) der Medizinischen Hochschule Hannover sowie dem Institut für Grundlagen der Elektrotechnik und Messtechnik (GEM) der Leibniz Universität eine Methode zur frühzeitigen Erkennung von gelockerten Hüftimplantaten entwickelt werden. Die Lockerung eines Hüftimplantates führt zu extremer Schädigung des Knochens und ist nach aktuellem Stand der medizinischen Forschung erst durch das Auftreten entsprechender Schmerzreize beim Patienten diagnostizierbar. Tritt dieser Fall ein, muss das Implantat operativ ausgetauscht werden, da es für präventive Maßnahmen zu spät ist. Um diese diagnostische Lücke zu schließen, wird in diesem Teilprojekt die akustische Emissionsanalyse (AE-Analyse) zur Detektion einer asymptotischen Lockerung eingesetzt. Die akustischen Emissionen treten als Resultat der Oberflächenreibung durch relative Mikrobewegungen (30-100 µm) zwischen der Knochen- und der Implantatoberfläche auf. Das IFUM beschäftigt sich derzeit in direkter Zusammenarbeit mit dem LBB mit dem Entwurf und dem Aufbau eines Versuchsstandes zum Nachbilden der Reibverhältnisse zwischen Knochen- und Implantatoberfläche, um die durch die Reibung zwischen Knochen und Implantat auftretenden charakteristischen AE-Signale zu bestimmen. Anschließend soll ein weiterer Versuchsstand konstruiert werden, der typische Alltagsbelastungen auf den Implantat-Prothesenverbund (z. B. Gehen) nachbildet und die Aufzeichnung der dabei entstehenden Emissionen ermöglicht. Im letzten Schritt sollen die mit der entwickelten Messmethodik gewonnenen Erkenntnisse in einer klinischen Probandenstudie eingesetzt und optimiert werden.

Das Ziel des AiF/EFB-Forschungsprojektes „Prozessintegrierte Schmierung im Folgezug“ ist, die gezielte aktive Schmierung hochbelasteter Bereiche im Tiefziehprozess zu realisieren. Hiermit sollen Schmiermittel eingespart werden, in dem diese nur in den relevanten kritischen Bereichen am Werkzeug zum Einsatz kommen. Dies bringt sowohl ökologische als auch prozess- und wartungstechnische Vorteile mit sich, da auf Methoden wie das Eintauchen der Werkzeuge in Tauchbecken oder das Beschmieren vor bzw. zwischen mehreren Umformstufen verzichtet werden kann. Das Projekt wird in Kooperation mit dem Institut für Produktentwicklung und Gerätebau (IPEG) bearbeitet. Zur

Realisierung einer prozessintegrierten Schmierung werden Schmierkanäle in einer additiv hergestellten Werkzeugmatrize vorgesehen, mit deren Hilfe lokal Schmiermittel zwischen Werkzeug und Halbzeug eingebracht werden kann. Die Kanalgeometrie im Werkzeug soll dabei eine gleichmäßige Verteilung des Schmiermittelzulaufes ermöglichen. Die Positionierung und Geometrie der Kanalauslassöffnungen am Werkzeug sind ein entscheidender zu erforschender Faktor. Hierbei spielen Größen wie die Ausprägung des Druckpolsters, die Beeinflussung des Reibwertes sowie die Bildung von Schmieraschen eine Rolle. Zur Entwicklung geeigneter Strategien wird daher neben einer experimentellen Betrachtung eine numerische Untersuchung hinsichtlich mechanischer und strömungsmechanischer Charakteristiken vorgenommen. Der Fokus liegt hierbei auf der Entwicklung additiver Fertigungsprozesse, der Einsparung von Schmierstoffen in Ziehprozessen und der Optimierung der Bauteilqualität.

Im Hinblick auf die aktuellen Erkenntnisse zum Klimawandel nehmen Ressourceneffizienz und Reduktion des CO<sub>2</sub>-Ausstoßes sowohl politisch als auch gesellschaftlich einen immer höheren Stellenwert ein. Im Verbundvorhaben: „ERProFit - Energie- und Ressourceneffiziente Produktion - Sauerstoffarmes Schmieden durch Retrofit bestehender Schmiedeanlagen“ steht die Verringerung des CO<sub>2</sub>-Ausstoßes in der Wertschöpfungskette der Warmmassivumformung im Vordergrund, indem die Zunderbildung im Umformprozess verringert wird. Bei der Warmmassivumformung von Stahlwerkstoffen kommt es infolge von Oxidation der Rohteile zu einer ausgeprägten Zunderbildung, welche zu einem signifikanten Materialverlust (ca. 2 % bis 3 % der eingesetzten Masse) führt. Der verzundernde Werkstoff steht für die Herstellung von umformtechnischen Produkten somit nicht mehr zur Verfügung, muss allerdings im Vorfeld kostenintensiv hergestellt, transportiert und erwärmt werden. Weiterhin fördert der Zunder, aufgrund seiner hohen Härte von bis zu 1000 HV, den Werkzeugverschleiß erheblich. Ziel des Forschungsprojektes ist es, die Eignung von sauerstoffarmen, industriellen Abgasen als Schutzgas zur Zundervermeidung zu untersuchen.

In der ersten Projektphase werden industrielle Abgase, mit unterschiedlichen Konzentrationen der einzelnen Bestandteile, nachgebildet und ihr Einfluss auf die Verzunderung von Halbzeugen aus unterschiedlichen Stählen untersucht. Hierfür werden die Halbzeuge gewogen, in definierten Gasatmosphären 60 Minuten bei 1100 °C erwärmt und anschließend in derselben Gasatmosphäre abgekühlt. Nach der Abkühlung werden die Probenkörper erneut gewogen, nachdem sie mit Glasperlen gestrahlt wurden, um potentiell vorhandene Zunderschichten zu entfernen. Die sich einstellende Gewichts Differenz der Halbzeuge beschreibt die Menge des sich bildenden Zunders während der Erwärmung und Abkühlung und lässt Rückschlüsse auf die Eignung des jeweiligen Abgases als Schutzgas zu. In der weiterführenden Projektphase wird eine Schmiedezelle gasdicht abgekapselt, sodass vollautomatisierte Serienschmiedeversuche in definierten Gasatmosphären durchgeführt werden können, um so

den Einfluss der verringerten Zunderbildung auf die Werkzeugstandzeiten zu ermitteln.

In vielen Hochleistungswerkstoffen wird eine Eigenschaftsverbesserung über sekundäre, härtere Phasen erreicht. Diese können aus dem Werkstoff selbst ausgeschieden werden oder gezielt, wie in Metal Matrix Composites (MMC), eingebrachte harte Phasen sein. Generell steigern sie unter anderem den Verschleißwiderstand und bieten somit Potential, den Belastungen eines Schmiedegesenks zu begegnen.

Während die Werkstoffentwicklung weit fortgeschritten ist und warmfeste Nickelbasislegierungen oder mit Siliziumkarbid verstärkte Aluminiumlegierungen Eintritt in technische Anwendungen finden, stellen diese Werkstoffe die Produktionstechnik vor neue Herausforderungen. Für die umformtechnische Verarbeitung dieser Werkstoffe bedeutet dies vor allem eine hohe abrasive Werkzeugbelastung. Gegenüber den keramischen Hartphasen, mit Härten über 2000 HV, sind konventionelle nitrierte Werkzeugstähle weich und werden durch Mikrozerspannung abgetragen. Beschichtungen als Verschleißschutz erreichen zwar vergleichbare Härte, sind aber abhängig von der Tragfähigkeit des Werkzeugstahls und brechen im Versagensfall auf.

Hier bieten Werkzeugkomponenten aus Hartverbundwerkstoffen eine mögliche Alternative. Durch eingebettete Hartphasen geeigneter Größe und Konzentration wird die Stahlmatrix gegen Furchung und Mikrozerspannung geschützt. Im Projekt „Effiziente Anwendung von Hartverbundwerkstoffen für Umformwerkzeuge“ werden verschiedene Hartphasen auf ihre Einsatzfähigkeit untersucht. Die Bewertung erster Varianten erfolgt mittels Biegeproben, welche aktuell hergestellt und anschließend geprüft werden. Die pulvermetallurgische Herstellung der Proben und in späteren Arbeitspaketen die anschließende Anbindung partieller Verstärkungen an Werkzeuge werden mithilfe von Field Assisted Sintering Technologies (FAST) umgesetzt. Dabei wird die Pulvermischung in einem Schritt kompaktiert und gesintert. Es entstehen vollständig verdichtete Komponenten (>99 % rel. Dichte), die mit derselben Anlagentechnik durch Diffusionsfügen mit dem Werkzeug aus Stahl verbunden werden. Das Einsatzverhalten der Werkzeuge wird daraufhin in Serienschmiedeversuchen in einer vollautomatisierten Schmiedezelle untersucht. Das Ziel des Vorhabens ist eine partielle Verstärkung durch Hartphasen auf Schmiedegesenken zu ermöglichen, welche zudem für die Wiederaufbereitung der Werkzeuge verwendet werden kann. Die Validierung der besten Varianten erfolgt schlussendlich durch die Verstärkung industrieller Schmiedegesenke und die darauf folgende Verschleißanalytik.

Um die Einhaltung enger Geometrietoleranzen von in Stempelpressen hergestellten Werkstücken zu gewährleisten, bedarf es einer strengen Qualitätskontrolle. Die nachgelagerte, i.d.R. stichprobenartige Qualitätssicherung in Form manueller Maßkontrollen reicht häufig aufgrund der zunehmenden Forderung nach einer 100%-Gutteilquote nicht aus und ist zudem mit hohem Personalaufwand verbunden. In einem abgeschlossenen Vorhaben wurde die Möglichkeit untersucht, die Werkstückmaße wäh-

rend der Produktion in Stufenpressen prozessbegleitend und vollautomatisch aufzuzeichnen. Die Arbeiten werden fortgesetzt, die gewonnenen Ergebnisse um Kenntnisse zur Messung der Innenkontur von Werkstücken erweitert, welche bisher aufgrund besonderer technischer Herausforderungen unberücksichtigt blieben. Auf deren Grundlage wird eine prozessbegleitende Messmethodik zur umfangreichen Geometrieerfassung inkl. der Vereinigung gemessener Außen- und Innenkonturen weiterentwickelt. Geeignete Algorithmen werden zur frühzeitigen Erkennung von Ausschuss qualifiziert und exemplarisch an mittels Kragenziehens hergestellten Werkstücken validiert.

Energiegebundene Umformmaschinen wie Schmiedehämmer werden aufgrund schlagartig aufgebrachter Prozesskräfte zum Schwingen angeregt, was sich negativ in Form von Erschütterungen der Maschinenumgebung bemerkbar macht. Es kann zu Beschädigungen umliegender Produktionsstätten sowie gesundheitlichen Beeinträchtigungen von Menschen in der Umgebung kommen. Die dem beantragten Forschungsprojekt zugrundeliegende Arbeitshypothese besagt, dass mittels optimierter und variabel einstellbarer Dämpfungseigenschaften in der Maschinen Gründung die stoßartige Anregung energiegebundener Umformmaschinen effektiver als mit bisher erhältlichen Systemen gedämpft werden kann. Dies soll mittels eines Dämpfungssystems auf Basis von magnetorheologischen Flüssigkeiten belegt werden. Zunächst werden hierzu die an und in der Umgebung von Hämmern auftretenden Schwingungen ermittelt und die Ergebnisse zur Validierung eines zu erstellenden Simulationsmodells verwendet. Nach der Konstruktion eines Demonstrators und eines angepassten Prüfstandes wird unter Verwendung des Simulationsmodells eine autoadaptive Dämpferregelung auf der Basis evolutionärer Algorithmen aufgesetzt. Prüfstand und Dämpfer werden gebaut. Validierungsversuche runden das Vorhaben ab. Der Nutzen für die KMU liegt in der Minderung von Erschütterungsemissionen energiegebundener Umformmaschinen und den damit verbundenen Möglichkeiten, Produktionszeiten auszuweiten, höherer (auch örtlicher) Flexibilität beim Aufbau von Produktionsanlagen, geringeren Gesundheitsgefahren, weniger Erschütterungen in der Umgebung.

Im Mitte 2021 gestarteten Verbundprojekt AgaPolCo (Aggregated Polygon Forming based Processes for large Fuselage Components) werden durch Aggregation bekannter Umformtechnologien neue Umformverfahren entwickelt und zur effizienten Herstellung von Flugzeugstrukturbauteilen wie Rumpfstrukturen, Doppler, Türen oder komplexe Hautfelder angewendet. Hierfür arbeitet das IFUM eng mit dem auf Luft- und Raumfahrttechnologie spezialisierten Unternehmen Deharde GmbH zusammen. Im Mittelpunkt steht hierbei die Weiterentwicklung der innovativen Polygon Forming Technologie, die von der Firma Deharde GmbH bereits erfolgreich für die Kaltumformung von Komponenten der Luft- und Raumfahrtindustrie wie beispielsweise der Rumpfschale des Airbus Beluga XL eingesetzt wird. Die Polygon Forming Technologie ermöglicht die Herstellung von gebogenen Strukturbauteilen aus bereits vorzerspannten Halbzeugen. Durch

die Zerspanung im ebenen Zustand und das anschließende Umformen können die sonst aufwendigen Zerspannungen an dreidimensionalen Bauteilen entfallen. Im Rahmen des Projektes soll die Technologie zur Herstellung komplexerer Geometrien wie sphärisch gebogener Bauteile qualifiziert werden. Hierfür wird der Prozess sowohl numerisch als auch technologisch grundlegend anhand eines Funktionsdemonstrators am UIFUM untersucht. Ein weiteres Teilziel ist die Schaffung eines Digital Twins zur Virtualisierung des Produktionsprozesses. Hierfür wird zudem Messensorik in den Umformprozess implementiert, um den Digital Twin mit direkt messbaren Prozessgrößen zu korrelieren. Dies ermöglicht eine inline Bewertung der aktuellen Prozessstabilität. Das Projekt wird durch das Land Niedersachsen/NBank gefördert.

Die Trends Leichtbau, Funktionsintegration und Variantenvielfalt stehen ebenfalls im BMBF Projekt HyFive im Fokus. Ziel des Projektes ist die Entwicklung großserienfähiger Prozesse zur Fertigung von Kunststoff-Metall-Hybridbauteilen. Dabei sollen gleichzeitig die neuen Herausforderungen durch eine verstärkte Forderung nach einer hohen Variantenvielfalt im Hinblick auf die Fertigungsprozesse berücksichtigt werden. Der Schwerpunkt des IFUM liegt hierbei auf der technologischen und numerischen Entwicklung, Analyse und letztendlich Umsetzung eines Prozesses zur Fertigung von Batteriewannen bestehend aus einem fließgepressten Grundbauteil aus glasplattenverstärkten Thermoplasten (GMT) sowie Verstärkungen aus UD-Tape. Gleichzeit wird überprüft, inwiefern weitere Eigenschaften wie EMV- oder Brandschutz durch Modifikation der UD-Tapes direkt in das Bauteil integriert werden können. Zunächst wird das Formänderungsverhalten aller eingesetzten Werkstoffe unter prozessspezifischen Eigenschaften mittels geeigneter Versuchsaufbauten charakterisiert. Die ermittelten experimentellen Daten dienen anschließend als Basis für die Entwicklung und Parametrisierung geeigneter Materialmodelle und den Aufbau numerischer Modelle des Fertigungsprozesses. Ziel der numerischen Prozessauslegung ist die Entwicklung geeigneter Prozessfenster, Ermittlung optimaler Temperierungskonzepte und Positionierungen der Halbzeuge im Werkzeug sowie die Interaktion der Halbzeuge im Fertigungsprozess. Anschließend werden geeignete Konzepte technologisch umgesetzt. Zusätzlich soll die Batteriewanne durch einen metallischen Verstärkungsrahmen erweitert werden. Dieser sorgt für die notwendige Stabilität der Baugruppe und soll im Falle eines Crashes die auftretenden Kräfte aufnehmen. Für die Auslegung des Verstärkungsrahmens werden geeignete Werkstoffe mit hoher spezifischer Festigkeit identifiziert, um das Leichtbaupotenzial optimal auszunutzen.

51 wissenschaftliche Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter  
 21 nichtwissenschaftliche Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter  
 97 studentische Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter  
 3 Auszubildende  
 3 FWJ-ler/innen

**Leitung**

Prof. Dr.-Ing. Bernd-Arno Behrens

**Lehre**

33 Masterarbeiten, 31 Studienarbeiten und 36 Bachelorarbeiten

**Aktuelle Forschung**

**Blechumformung**

SFB 1368, Teilprojekt A04:  
Prozessintegrierte metallische Sinterbeschichtungen für das Formhärten mit konduktiver Erwärmung (DFG)

SFB/TRR 298, Teilprojekt A03:  
Neue Messmethoden für die Lockerungsdiagnostik von Hüftendprothesen (DFG)

Festigkeitssteigerung bei Bauteilen aus Magnesiummetallegerungen durch Ausscheidungshärtung (DFG)

Methode zur modellgetriebenen Konstruktion von Tiefziehwerkzeugen (DFG)

Verbesserung der Versagenscharakterisierung von hochfesten Stahlblechwerkstoffen durch Kopplung von Messsystemen zur optischen Formänderungsanalyse mit der Schallemissionstechnik (DFG)

TFP:  
Erzeugung von Bereichen mit reduzierter Festigkeit an formgehärteten Bauteilen mittels einer Temperierungsstation (DFG)

Einsatz wasserbasierter Schmierstoffe für die Anwendung in der Blechumformung (AiF/EFB)

Entwicklung eines analytischen Auslegungstools für eine Erwärmungsvorrichtung zur homogenen konduktiven Blecherwärmung mit strukturierten Elektroden im Formhärteprozess mit 74 % Energieeinsparpotenzial (AiF/ZIM)

Entwicklung eines energie- und handhabungsoptimierten konduktiven Blecherwärmungsprozesses für das Formhärten (AiF/ZIM)

Erweiterung des Clinchens von Druckgussbauteilen (AiF/EFB)

Kragenziehen mit integriertem Gewindeformen (AiF/EFB)

Prozessintegrierte Schmierung im Folgezug (AiF/EFB)

Prozessstabilität bei der Organoblechumformung durch wärmeisolierende Werkzeugbeschichtungen (AiF/EFB)

Schmierstoffeinsparung bei Mehrstufenwerkzeugen durch kombinierte oxidische Ver-

schleißschutzschichten aus  $\alpha$ -Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> und amorphem SiO<sub>2</sub> (AiF/EFB)

Tiefziehen mit integrierter induktiver Flanscheinzugsensorik in Dünnschichttechnik (AiF/FOSTA)

Verstärkung dünner formgehärteter Bauteile mit FVK-Verrippungen (AiF/FAT)

Umweltschonende Blecherwärmung für das Formhärten von Karoseriestrukturbauteilen (DBU)

AgaPolCo - Vereinigung von Einzelprozessen in der Herstellung von Rumpfschalen und zugehörigen Komponenten zur Effizienzsteigerung von Flugzeugrumpfstrukturen (NBank)

HyFiVe - Großserienfähige Variantenfertigung von Kunststoff-Metall-Hybridbauteilen (BMBF)

**Massivumformung**

SFB 1153, Teilprojekt B02  
Gesenschnieden koaxial angeordneter Hybridhalbzeuge (DFG)

SFB 1153, Teilprojekt B03  
Ermittlung des Formänderungsvermögens und der resultierenden Bauteileigenschaften beim Fließpressen von seriell angeordneten Hybridhalbzeugen (DFG)

SFB 1153, Teilprojekt/Transferprojekt T2  
Umformtechnische Herstellung eines funktionsangepassten Hybrid-Ritzels (DFG)

SFB 1368, Teilprojekt A03  
Neuartige Verfahrenskombination zur Herstellung von Bauteilen auf Titanaluminid-Basis unter sauerstofffreier Atmosphäre (DFG)

Gezielte Gesenktemperaturführung durch die Integration von Wärmeleitrohren in Werkzeugen der Warmmassivumformung (DFG)

Untersuchungen zum Einsatz von metallhaltigen DLC-Schichtsystemen als Verschleißschutzmaßnahme für Schmiedegesenke (DFG)

Entwicklung und Untersuchung mechanischer Eigenschaften umformtechnisch hergestellter und thermomechanisch behandelte Schmiedewerkzeuge (DFG)

Ermittlung der Verfahrensgrenzen zur Wiederaufbereitung abgenutzter Zahnräder mittels Präzisionsnachformung bei erhöhten Temperaturen (DFG)

Präzisionsschnieden gegossener Vorformen (DFG)

Umformtechnische Wiederaufbereitung metallischer Späne durch Sintern und Schmieden (DFG)

Untersuchung zum Einsatzverhalten von selbstschmierenden Pulverpresswerkzeugen (DFG)

Untersuchung mechanischer Eigenschaften massivumgeformter Eisen-Aluminium-Legierungen (DFG)

Randschichtfunktionalisierung durch verformungsinduzierten Martensit an Kugellageringen (DFG)

Erhöhung der Verschleißbeständigkeit von Schmiedewerkzeugen durch Einsatz eines intelligenten Warmarbeitsstahls in Kombination mit einer werkstoffspezifischen angepassten Nitrierschicht (AiF/FOSTA)

Verbesserung des Einsatzverhaltens von Werkzeugen der Warmformgebung durch nitriergerichte Auswahl von Warmarbeitsstählen (AiF/FOSTA)

Standmengen- und schmiermittelloptimierte Gesenkenoberflächen für die temperierte Aluminiummassivumformung (AiF/FSV)

Standmengensteigerung von Schmiedegesenken und Warmumformwerkzeugen durch Integration von additiv gefertigten oberflächennahen Kühlelementen aus hochverschleißbeständigen Materialien (AiF/FGW)

Einsatz additiv gefertigter Schmiedegesenke mit konturangepasster Innenkühlung (AiF/AVIF)

ERProFit - Energie- und Ressourceneffiziente Produktion - Sauerstoffarmes Schmieden durch Retrofit bestehender Schmiedeanlagen (BMBF)

**Umformmaschinen**

Berührungsloser Vorschub von metallischen Folien in der Mikrostanzttechnik (DFG)

Mikroprägen funktionaler Oberflächen (Exzellenzcluster PhoenixD) (DFG)

Linear angetriebene Hybridaktuatorik zur umformtechnischen Fertigung komplexer Bauteile (DFG)

Prozessbegleitende Ausschusserkennung mittels umfangreicher Erfassung der Werkstückgeometrie in Stufenpressen Modellgestützte Diagnose auf Basis von Betriebsgrößen in Umformmaschinen (AiF/EFB)

Reduzierung der Schallemissionen beim Schneiden höher und höchstfester Blechwerkstoffe (AiF/EFB)

Magnetorheologische Pressengründung (AiF/VDW)

Bauteilbezogene Prozessdatenakquise (AiF/EFB)

Potentiale additiv gefertigter Teile im Pressenbau (AiF/EFB)

**Materialcharakterisierung und Simulation**

SFB 1153, Teilprojekt A1:  
Einfluss der lokalen Mikrostruktur auf die Um-

formbarkeit stranggepresster Werkstoffverbunde (DFG)

SFB 1153, Teilprojekt C1:  
Experimentell-numerische Methode zur Vorhersage der Schädigung und des Versagens von Fügezonen in Hybridhalbzeugen während der Umformung (DFG)

Verbesserte FE-Simulation des Scherschneidprozesses durch eine temperatur- und dehnratenabhängige Erweiterung des MMC-Modells (DFG)

Tiefziehen mit zusätzlicher Kraffteinleitung II (DFG)

Bauteilvariation in der Herstellung von Hybridverbunden durch freikinematisches Umformen  
Allgemeingültige Modellierung der Werkstoff- und Oberflächenveränderungen für die FEM-Simulation des Gesekenschmiedens von Kohlenstoffstählen (DFG)

Verbesserung der Versagenscharakterisierung von hochfesten Stahlblechwerkstoffen durch Kopplung von Messsystemen zur optischen Formänderungsanalyse mit der Schallemissions-technik (DFG)

Grundlegende Untersuchungen von gradientenabhängigen nitrirten Schmiedewerkzeugen in der Warmmassivumformung unter zyklischen thermomechanischen Beanspruchungen (DFG)

Numerische Abbildung der Warmmassivumformung mit integrierter Wärmebehandlung unter Berücksichtigung des Einflusses veränderlicher Spannungszustände auf das umwandlungsplastische Dehnverhalten (DFG)

Ermittlung der Umformgrenzen von martensitischen Chromstählen in der Warmblechumformung (DFG)

Entwicklung einer Methodik zur Bewertung der Ermüdungslebensdauer von hoch belasteten Warmumformwerkzeugen auf Basis fortschrittlicher Werkstoffmodelle (DFG)

Verbesserte Versagenscharakterisierung von hochfesten Stahlblechwerkstoffen anhand einer neuen Versuchsmethodik für Scherzugversuche in einachsigen arbeitenden Zugprüfmaschinen (DFG)

MOBILISE – Mobility in Engineering and Science (BMBF)

HyFiVe – Großserienfähige Variantenfertigung von Kunststoff-Metall-Hybridbauteilen (BMBF)

AgaPolCo – Vereinigung von Einzelprozessen in der Herstellung von Rumpfschalen und zugehörigen Komponenten zur Effizienzsteigerung von Flugzeugstrukturen (BMBF)

Formschlüssige In-Mould-Verbindung zwischen FVK und einem mit Fließlochhülsen strukturierten Blechleinleger (AiF)

FE-Modellierung der Halbwarmumformung von 7000er Aluminiumblech und Voraussage der Bauteileigenschaften nach der Auslagerung mit KNN (AiF)

Ortsabhängige Modellierung der Reibung in Abhängigkeit von Gleitweg und Kontaktdruck in der Massivumformung (AiF)

## Veröffentlichungen (Auszug)

### Zeitschriften/Aufsätze – reviewed

**Aldakheel, F.; Behrens, B.-A.; Böhm, C.; Chugreeva, A.; Ince, C.-V.; Raatz, A.; Uhe, J.; Wriggers, P.; (2021):** A design concept of active cooling for tailored forming workpieces during induction heating, *Production Engineering*, Vol. 15, 26. Februar 2021, S.177-186, DOI: <https://doi.org/10.1007/s11740-021-01027-5>

**Behrens, B. A., Uhe, J. (2021):** Introduction to tailored forming, *Production Engineering*, 31. Januar 2021, DOI: <https://doi.org/10.1007/s11740-021-01022-w>

**Behrens, B.; Brunotte, K.; Wester, H.; Kock, C. (2021):** Targeted adjustment of residual stresses in hot-formed components by means of process design based on finite element simulation, *Archive of Applied Mechanics*, 26. März 2021, DOI: <https://doi.org/10.1007/s00419-021-01928-y>

**Behrens, B.-A.; Brunotte, K.; Hübner, S.; Wester, H.; Müller, F.; Müller, P.; Wälder, J.; Matthias, T. (2021):** Further Development of Wear Calculation and Wear Reduction in Cold Forging Processes, *Journal of Manufacturing and Materials Processing*, Vol. 5, Issue 2, 13. April 2021, DOI: <https://doi.org/10.3390/jmmp5020036>

**Behrens, B.-A.; Brunotte, K.; Petersen, T.; Relge, R. (2021):** Investigation on the Microstructure of ECAP-Processed Iron-Aluminum Alloys, *Materials* 2021, Vol. 14, Issue 1, 05. Januar 2021, S.219, DOI: <https://doi.org/10.3390/ma14010219>

**Behrens, B.-A.; Brunotte, K.; Wester, H.; Dykiert, M. (2021):** Fracture Characterisation by Butterfly-Tests and Damage Modelling of Advanced High Strength Steels, *Key Engineering Materials*, Volume 883, 2021, S.294-302, DOI: <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/KEM.883.294>

**Behrens, B.-A.; Brunotte, K.; Wester, H.; Rothgänger, M.; Müller, F. (2021):** Multi-Layer Wear and Tool Life Calculation for Forging Applications Considering Dynamical Hardness Modeling and Nitrided Layer Degradation, *Materials* 2021, Vol. 14, Issue 11, 05. Januar 2021, S. 104, DOI: <https://doi.org/10.3390/ma14010104>

**Behrens, B.-A.; Chugreeva, A.; Heimes, N.; Klose, C.; Maier, H.J.; Thürer, S.E.; Uhe, J. (2021):** Process chain for the manufacture of hybrid bearing bushings, *Production Engineering*,

Vol. 15, 17. Februar 2021, S.137-150, DOI: <https://doi.org/10.1007/s11740-021-01028-4>

**Behrens, B.-A.; Dröder, K.; Hürkamp, A.; Droß, M.; Wester, H.; Stockburger, E. (2021):** Finite Element and Finite Volume Modelling of Friction Drilling HSLA Steel under Experimental Comparison, *Materials* 2021, Vol. 14, Issue 20, 12. Oktober 2021, DOI: <https://doi.org/10.3390/ma14205997>

**Behrens, B.-A.; Gibmeier, J.; Brunotte, K.; Wester, H.; Simon, N.; Kock, C. (2021):** Investigations on Residual Stresses within Hot-Bulk-Formed Components Using Process Simulation and the Contour Method, *Metals* 2021, Vol. 11, Issue 4, 31. März 2021, DOI: <https://doi.org/10.3390/met11040566>

**Behrens, B.-A.; Maier, H. J.; Poll, G.; Overmeyer, L.; Wester, H.; Uhe, J.; Hassel, T.; Pape, F.; Lammers, M.; Hermsdorf, J.; Kaierle, S.; Budde, L.; Saure, F.; Mildebrath, M.; Coors, T.; Faqiri, M. Y.; Büdenbender C. (2021):** Influence of degree of deformation on welding pore reduction in high-carbon steels, *Production Engineering*, 16. Februar 2021, S. 161-168, DOI: <https://doi.org/10.1007/s11740-020-01009-z>

**Behrens, B.-A.; Poll, G.; Möhwald, K.; Schöler, S.; Pape, F.; Konopka, D.; Brunotte, K.; Wester, H.; Richter, S.; Heimes, N. (2021):** Characterization and Modeling of Nano Wear for Molybdenum-Based Lubrication Layer Systems, *Nanomaterials* 2021, Vol. 11, Issue 6, 21. Mai 2021, DOI: <https://doi.org/10.3390/nano11061363>

**Behrens, B.-A.; Rosenbusch, D.; Wester, H.; Stockburger, E. (2021):** Material Characterization and Modeling for Finite Element Simulation of Press Hardening with AISI 420C, *Journal of Materials Engineering and Performance*, 16. September 2021, S.1-8, DOI: <https://doi.org/10.1007/s11665-021-06216-y>

**Behrens, B.-A.; Schröder, J.; Brands, D.; Brunotte, K.; Wester, H.; Scheunemann, L.; Uebing, S.; Kock, C. (2021):** Numerische Prozessauslegung zur gezielten Eigenspannungseinstellung in warmmassivumgeformten Bauteilen unter Berücksichtigung von Makro- und Mikroskala, *Forschung im Ingenieurwesen* (2021), 20. April 2021, DOI: <https://doi.org/10.1007/s10010-021-00482-x>

**Behrens, B.-A.; Uhe, J.; Petersen, T.; Klose, C.; Thürer, S. E.; Diefenbach, J.; Chugreeva, A. (2021):** Challenges in the Forging of Steel-Aluminum Bearing Bushings, *Materials* 2021, Vol. 14, Issue 4, 08. Februar 2021, S.803, DOI: <https://doi.org/10.3390/ma14040803>

**Behrens, B.-A.; Uhe, J.; Petersen, T.; Nürnberger, F.; Kahra, C.; Ross, I.; Laeger, R. (2021):** Contact Geometry Modification of Friction-Welded Semi-Finished Products to Improve the Bonding of Hybrid Components, *Metals* 2021, Vol. 11, Issue 1, 08. Januar 2021, DOI: <https://doi.org/10.3390/met11010115>

**Behrens, B.-A.; Ursinus, J.; Duran, D.; Matthias, T. (2021):** Impact extrusion with pressure superimposition / Fließpressen mit Drucküberlagerung, WT WerkstattsTechnik online, 2021, Ausgabe 10-2021, DOI: 10.37544/1436-4980-2021-10-17

**Behrens, B.-A.; Ursinus, J.; Duran, D.; Uhe, J.; Matthias, T. (2021):** Fließpressen mit Drucküberlagerung, WT WerkstattsTechnik online 11/12, 2021, DOI: <https://doi.org/10.37544/1436-4980-2021-10-1>

**Franceschi, A.; Stahl, J.; Kock, C.; Selbmann, R.; Ortmann-Ishkina, S.; Jobst, A.; Merklein, M.; Kuhfuß, B.; Bergmann, M.; Behrens, B.-A.; Volk, W.; Groche, P. (2021):** Strategies for residual stress adjustment in bulk metal forming, Archive of Applied Mechanics, 25. Februar 2021, DOI: <https://doi.org/10.1007/s00419-021-01903-7>

**Hinz, L.; Metzner, S.; Müller, P.; Schulte, R.; Besserer, H.-B.; Wackenrohr, S.; Sauer, C.; Kästner, M.; Hausotte, T.; Hübner, S.; Nürnberger, F.; Schleich, B.; Behrens, B.-A.; Wartzack, S.; Merklein, M.; Reithmeier, E. (2021):** Fringe Projection Profilometry in Production Metrology: A Multi-Scale Comparison in Sheet-Bulk Metal Forming, Sensors 2021, Vol. 21, Issue 7, 30. März 2021, DOI: <https://doi.org/10.3390/s21072389>

**Müller, P.; Hübner, S.; Vogt, H.; Rosenbusch, D.; Behrens, B. (2021):** Investigation of the Influence of a Superimposed Oscillated Forming Process on Forming Characteristics, Key Engineering Materials Vol. 883, April 2021, S.181-186, DOI: <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/KEM.883.181>

**Scandola, L.; Büdenbender, C.; Till, M.; Maier, D.; Ott, M.; Behrens, B.-A.; Volk, W. (2021):** Development of a numerical compensation framework for geometrical deviations in bulk metal forming exploiting a surrogate model and computed compatible stresses, International Journal of Material Forming, 25. Februar 2021, DOI: <https://doi.org/10.1007/s12289-020-01603-7>

#### Konferenzbeiträge – reviewed

**Albracht, L.; Hübner, S.; Holländer, U.; Behrens, B.-A. (2021):** Coating Materials Under Oxygen-Free Silane Atmosphere for Hot Stamping, 10th Congress of the German Academic Association for Production Technology (WGP), Dresden, 28. September - 01. Oktober 2021, Veröffentlicht in: Proceedings of the 10th Congress of the German Academic Association for Production Technology (WGP), S.3-10, DOI: [https://doi.org/10.1007/978-3-030-78424-9\\_1](https://doi.org/10.1007/978-3-030-78424-9_1)

**B.-A. Behrens, S. Hübner, H. Vogt, O. Golovko, S. Behrens, F. Nürnberger (2021):** Influence of the quenching rate and natural ageing duration on the formability and mechanical properties of EN AW-7075, 13th International Conference on the Technology of Plasticity, Columbus, USA, 25. - 30. Juli 2021

**Behrens, B.-A., Heymann, A. (2021):** Investigation on Temperature Control in the Sps Process with Titanium Aluminides, 30th Anniversary International Conference on Metallurgy and Materials, Brno, Czech Republic, 02. April 2021, Veröffentlicht in: Proceedings 30th Anniversary International Conference on Metallurgy and Materials, S.1089-1094, DOI: <https://doi.org/10.37904/metal.2021.4221>

**Behrens, B.-A.; Brunotte, K.; Petersen, T.; Ostermeyer, C.; Till, M. (2021):** Adjusting mechanical properties of forging dies produced by ausforming, 24rd International Conference on Material Forming (ESAFORM 2021), Liège, Belgium, 14.-16. April 2021, DOI: <http://dx.doi.org/10.25518/esaform21.2697>

**Behrens, B.-A.; Brunotte, K.; Petersen, T.; Relge, R.; Till, M. (2021):** Transfer of ausforming parameters to scaled forging tools, 30th Anniversary International Conference on Metallurgy and Materials, Brno, Czech Republic, 26.-28. Mai 2021, Veröffentlicht in: Proceedings 30th Anniversary International Conference on Metallurgy and Materials, S.247-252, DOI: <https://doi.org/10.37904/metal.2021.4118>

**Behrens, B.-A.; Duran, D.; Uhe, J.; Matthias, T. (2021):** Numerical investigations on the influence of the weld surface and die geometry on the resulting tensile stresses in the joining zone during an extrusion process, 24rd International Conference on Material Forming (ESAFORM 2021), Liège, Belgium, 14.-16. April 2021, Link: <https://popups.uliege.be/esaform21/index.php?id=919>

**Behrens, B.-A.; Hübner, S.; Holländer, U.; Langohr, A.; Pfeffer, C.; Albracht, L. (2021):** Increasing the energy absorption of monolithic manganese boron steels in oxygen-free environment, International Deep-Drawing Research Group Conference (IDDRG 2021), Stuttgart, 21. Juni - 02. Juli 2021, Veröffentlicht in: IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, Volume 1157-7, DOI: [doi:10.1088/1757-899X/1157/1/012021](https://doi.org/10.1088/1757-899X/1157/1/012021)

**Behrens, B.-A.; Krimm, R.; Koß, J.; Höber, A. (2021):** A Versatile IoT-Approach to Process Data Acquisition, 24rd International Conference on Material Forming (ESAFORM 2021), Liège, Belgium, 14.-16. April 2021, DOI: <https://doi.org/10.25518/esaform21.2043>

**Behrens, B.-A.; Rosenbusch, D.; Wester, H.; Dykiert, M. (2021):** Comparison of different testing approaches to describe the fracture behaviour of AHSS sheets using experimental and numerical investigations, International Deep-Drawing Research Group Conference (IDDRG 2021), Stuttgart, 21. Juni - 02. Juli 2021, Veröffentlicht in: IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, Volume 1157, DOI: <https://doi.org/10.1088/1757-899X/1157/1/012059>

**Behrens, B.-A.; Uhe, J.; Süer, F.; Duran, D.; Matthias, T.; Ross, I. (2021):** Fabrication of steel-aluminium parts by impact extrusion, Ma-

terials Today, 2021, Veröffentlicht in: Materials Today: Proceedings

**Behrens, B.-A.; Ursinus, J.; Büdenbender, C.; Brunotte, K.; Nürnberger, F.; Demler, E. et al. (2021):** Computed tomography-based defect characterization and prediction of fatigue properties of extrudates from recycled field-assisted sintered EN AW-6082 aluminium chips, Fatigue 2021, Nottinghamshire, UK, 29. - 31. März 2021, Veröffentlicht in: Proceedings of the 8th Engineering Integrity Society International Conference on Durability and Fatigue (2021), S. 170-182

**Behrens, B.-A.; Wester, H.; Petersen, T.; Uhe, J.; Büdenbender, C.; Peddinghaus, J.; Chugreeva, A. (2021):** Numerical evaluation of forging process designs of a hybrid co-extruded demonstrator consisting of steel and aluminium, 24rd International Conference on Material Forming (ESAFORM 2021), Liège, Belgium, 14.-16. April 2021

**Bohr, D.; Petersen, T.; Brunotte, K.; Behrens B.-A. (2021):** Influence of Friction-Reducing Powder-Compaction Tool Coatings on Green-Compact Properties, 10th Congress of the German Academic Association for Production Technology (WGP), Dresden, 28. September - 01. Oktober 2021, Veröffentlicht in: Proceedings of the 10th Congress of the German Academic Association for Production Technology (WGP), S.349-356, DOI: [https://doi.org/10.1007/978-3-030-78424-9\\_39](https://doi.org/10.1007/978-3-030-78424-9_39)

**Bohr, D.; Petersen, T.; Brunotte, K.; Behrens B.-A. (2021):** Investigation of Pressing and Ejection Performance of Friction-Reducing Powder-Compaction Tool Coatings, 30th Anniversary International Conference on Metallurgy and Materials, Brno, Czech Republic, 02. April 2021, Veröffentlicht in: Proceedings 30th Anniversary International Conference on Metallurgy and Materials, S.759-765, DOI: <https://doi.org/10.37904/metal.2021.4179>

**Höber, A.; Commichau, O.; Behrens, B.-A.; Krimm, R. (2021):** Evaluation of an Electromagnetic Feeding Principle on Thin Metallic Foils, 10th Congress of the German Academic Association for Production Technology (WGP), Dresden, 28. September - 01. Oktober 2021, Veröffentlicht in: Proceedings of the 10th Congress of the German Academic Association for Production Technology (WGP), S.47/55, DOI: [https://doi.org/10.1007/978-3-030-78424-9\\_6](https://doi.org/10.1007/978-3-030-78424-9_6)

**Schöler S.; Heimes N.; Konopka D.; Behrens B.-A.; Poll G., Möhwald K. (2021):** Molybdenum based coatings on 100Cr6 bearing steel surfaces, Symposium Materialtechnik, 2021, Veröffentlicht in: Tagungsband 4. Symposium Materialtechnik, Band 10, S.284 - 289

**Weichenhain, J.; Althaus, P.; Hübner, S.; Wester, H.; Rosenbusch, D.; Behrens, B.-A. (2021):** Investigation of a Compression Molding Process for the Variant Flexible Production of a GMT Battery Shell, 11th Congress of the German Academic Association for Production

Technology (WGP), Dresden, 5. September 2021, Veröffentlichung in: Proceedings of the 11th Congress of the German Academic Association for Production Technology (WGP), S.20-28, DOI: [http://dx.doi.org/10.1007/978-3-030-78424-9\\_3](http://dx.doi.org/10.1007/978-3-030-78424-9_3)

**Konferenzbeiträge - nicht reviewed**

**Grajczak, J.; Nowroth, C.; Twiefel, J.; Wallaschek, J.; Nothdurft, S.; Hermsdorf, J. Wesling, V.; Kaierle, S. (2021):** Investigations on the weld seam geometry of ultrasonic assisted laser beam welded round bars in and beside antinode position. Lasers in Manufacturing (LiM), 2021, DOI: <https://doi.org/2021-proceedings/joining-welding-and-brazing>

**Zeitschriften/Aufsätze - nicht reviewed**

**Behrens, B.-A.; Dilger, K.; Wehmeyer, J.; Yil-kiran, D.; Vogt, H.; Pfeffer, C.; Pung-Sauer, F.; Kaempfe, L.; Gundlach, C. (2021):** Verstärkung dünner formgehärteter Bauteile mittels FVK-Verrippungen, FAT-Schriftenreihe 349, 2021

**Behrens, B.-A.; Müller, F. (2021):** Ansatz zur numerischen Bestimmung der Härteevolution in der Werkzeugrand-schicht aufgrund von thermischen Belastungen beim Formhärten, Fosta-Forschungsbericht zum Projekt P 1152, Forschungsvereinigung Stahlanwendung e. V., 2021

**Behrens, B.-A.; Müller, F. (2021):** Entwicklung einer Testmethodik zur Ermittlung der Neuhärte- und Anlaseffekte von Schmiedewerkzeugen unter zyklischer thermomechanischer Beanspruchung zur Verbesserung der numerischen Verschleißvorhersage, FSV Forschungsberichte Nr. 189 (IGF19647 N), 2021

**Behrens, B.-A.; Wester, H.; Müller, F. (2021):** Verbesserte Verschleißvorhersage beim Schmieden durch realitätsnahe Berücksichtigung von Härteänderungen, massivUMFORMUNG, September 2021, Fachzeitschrift des Industrieverbands Massivumformung e. V.

**Friesen, D.; Krimm, R.; Behrens, B.-A. (2021):** Konzeptabhängige Maschinenschwingungen nach der Materialtrennung beim Scherschneiden, EFB-Forschungsbericht Nr. 560, Europäische Forschungsgesellschaft für Blechverarbeitung e.V., Hannover, 2021, ISBN: 978-3-86776-617-3

**Lorenz, U.; Behrens, B.-A.; Acar, S.; Herbst, S. (2021):** Nitrierbehandlung eines zyklisch selbsthärtenden Warmarbeitsstahls, massivUMFORMUNG, März 2021, Fachzeitschrift des Industrieverbands Massivumformung e. V., S.68-72

**Rothgänger, M.; Mejauschek, M.; Hegselmann, H. (2021):** Verschleißreduktion beim Schmieden: Welcher Werkstoff fürs Werkzeug?, PHI - Produktionstechnik Hannover informiert, 11. Juni 2021, Link: <https://phi-hannover.de/verschleissreduktion-beim-schmieden-welcher-werkstoff-fuers-werkzeug/>

**Dissertationen**

**Brunotte, K. (2021):** Beitrag zur Steigerung der Standmenge von Werkzeugen der Warmmassivumformung durch den Einsatz lokaler belastungsangepasster Verschleißschutzbehandlungen, Berichte aus dem IFUM, Band 5/2021, 16. September 2021, TEWISS-Verlag, ISBN: 978-3-95900-620-0

**Chugreev, A. (2021):** Numerische und experimentelle Untersuchungen zur Simulation von Rotationsreißschweißprozessen, Berichte aus dem IFUM, Band 4/2021, 16. September 2021, TEWISS-Verlag, ISBN: 978-3-95900-616-3

**Gebel, L. (2021):** Bewertung von martensitischen Chromstählen für die Warmumformung der automobilen Großserienfertigung, Berichte aus dem IFUM, Band 3/2021, 21. April 2021, TEWISS-Verlag, ISBN: 978-3-95900-560-9

**Lippold, L. (2021):** Verbesserung tribologischer Eigenschaften von Schmiedegesenken durch Oberflächenkonditionierung mittels Strahlverfahrenstechnik, Berichte aus dem IFUM, Band 1/2021, 22. März 2021, TEWISS-Verlag, ISBN: 978-3-95900-548-7

**Schrödter, J. (2021):** Methodenentwicklung zur Charakterisierung und Modellierung temperatur- und gefügeabhängiger Fließeigenschaften, Berichte aus dem IFUM, Band 2/2021, 17. März 2021, TEWISS-Verlag, ISBN: 978-3-95900-553-1

**Uhe, J. (2021):** Numerische und experimentelle Untersuchungen zum Verbundstrangpressen unter Berücksichtigung der intermetallischen Phasenbildung, Berichte aus dem IFUM, Band 6/2021, 09. November 2021, TEWISS-Verlag, ISBN: 978-3-95900-629-3

**Wesentliche Neuanschaffungen**

**Gleeble 3800 MPU Hot Torsion**

Die Hot Torsion MPU erweitert den am IFUM vorhandenen thermophysikalischen Umformulator um die Möglichkeit Torsionsbelastungen aufzubringen. Somit können Materialien für die Massiv- und Blechumformung unter sehr hohen Formänderungen charakterisiert werden. Die erreichbaren Formänderungen gehen dabei deutlich über die in konventionellen Versuchen unter einem uniaxialen Spannungszustand erreichbaren Grenzen hinaus. Dies ermöglicht zum einen eine deutlich genauere Extrapolation des Materialverhaltens unter realistischen, prozessrelevanten Umformbedingungen. Zum anderen können auch Effekte wie das Rekristallisationsverhalten unter hohen Formänderungen gezielt analysiert werden. Die konduktive Erwärmung ermöglicht dabei die Prüfung von Materialien in einem breiten Temperaturspektrum von Raumtemperatur bis hin zu prozessrelevanten Temperaturen der Warmumformung im Bereich von 1250 °C. Die Torsionsbelastung kann zudem mit einer axial überlagerten Prüfkraft kombiniert werden um auch den Effekt von multiaxialen Spannungszuständen zu untersuchen.



Gleeble 3800 MPU Hot Torsion. Foto: IFUM



Foto: Pro Werk

Professor Berend Denkena, Institutleiter

## Geschichte des Instituts

1831 gründete Karl Karmarsch die Höhere Gewerbeschule in Hannover, den Vorläufer der TU und heutigen Leibniz Universität. Als Direktor vertrat er auch das Fach „Mechanische Technologie“, aus dem sich die Fachrichtung „Fertigungstechnik“ entwickelte. So kann sich das IFW auf mehr als 180 Jahre alte Wurzeln berufen.

## Aus der Forschung

### Arbeitsgruppe Fertigungsverfahren

**TECHNOLOGIEN ZUR FUNKTIONALISIERUNG** / Die Oberflächen- und Randzoneneigenschaften eines Bauteils bestimmen in großem Maße die Lebensdauer im Einsatz, die Tribologie im Kontakt mit Reibpartnern und das Strömungsverhalten von Medien an der Oberfläche. Häufig ist heute noch nicht bekannt, welche Oberflächen- und Randzoneneigenschaften zu einer verbesserten Funktion – zum Beispiel hinsichtlich der Lebensdauer – führen und wie diese Eigenschaften durch den Bearbeitungsprozess gezielt eingestellt werden können. Die Abteilung der Technologien zur Funktionalisierung am IFW entwickelt daher Bearbeitungsprozesse, die eine gezielte und reproduzierbare Herstellung von Oberflächenstrukturen und Randzoneneigenschaften erlauben. Zu den untersuchten Prozessen zählen die Zerspanung mit geometrisch bestimmter und unbestimmter Schneide sowie Oberflächenverfestigungsverfahren. Aktuell werden am IFW in dem vom BMWI geförderten Verbundvorhaben Antriebsstrang 2025 energieeffiziente Prozessketten zur Herstellung eines reibungs-, gewichts- und lebensdaueroptimierten Automobil-Antriebsstrangs entwickelt. Es werden die Auswirkungen von Mikrostrukturen, additiv gefertigter Bauteilfeatures und

festgewalzter bzw. gehärteter Bauteile an unterschiedlichen Stellen des Antriebsstrangs untersucht. Darüber hinaus werden im DFG-Sonderforschungsbereich 1153 Prozessstrategien zur spannenden Bearbeitung hybrider Bauteile entwickelt. Hier wird Grundlagenwissen erzeugt für eine zukünftige Bearbeitung aus unterschiedlichen metallischen Werkstoffen gefügter Bauteile. Ein weiterer Schwerpunkt des IFW ist die Kombination von Fertigungsverfahren zur Optimierung der Bauteilrandzone. Mit dem innovativen Drehwalzprozess wurde ein Verfahren entwickelt, das die im Drehprozess erzeugte Wärme gezielt zur Verfestigung der Bauteilrandzone nutzt. Dadurch können Produktivität bei der Bearbeitung und die Lebensdauer von Bauteilen gesteigert werden. Die Oberflächentopografie ist ebenfalls Teil von anwendungsorientierten Fragestellungen, die in Zusammenarbeit mit Industrieunternehmen im Arbeitskreis Smart Surfaces beantwortet werden. Hier werden gezielt Oberflächentopographien zur Steigerung der Leistungsfähigkeit bereits im Einsatz befindlicher Bauteile erzeugt. In Kooperation mit Werkzeugherstellern und Anwendern aus unterschiedlichen Bereichen des allgemeinen Maschinenbaus erforscht das IFW darüber hinaus anwendungsnah Technologien zur Funktionalisierung von Oberflächen.

**ZERSPANUNG** / Aufgrund der hohen Temperaturen, Spannungen, Umform- und Trenngeschwindigkeiten resultiert in der Zerspanung ein Belastungskollektiv am Werkzeug, das heute noch nicht vollständig verstanden ist. In der Abteilung Zerspanung werden Methoden zur Erforschung des Belastungskollektivs in Abhängigkeit beispielsweise der Mikrogeometrie der Schneidkante oder der Eigenschaften von Werkzeugbeschichtungen entwickelt. Weiterhin steht die Effizienz von Zerspanprozessen sowie die Bearbeitung von schwer zerspanbaren Werkstoffen im Fokus. Ein Forschungsgebiet ist

die Untersuchung der Zerspanung unter sauerstofffreier Atmosphäre innerhalb des Sonderforschungsbereichs 1368 „Sauerstofffreie Produktion“. Durch eine sauerstofffreie Atmosphäre ändern sich die chemischen Vorgänge während des Zerspanungsprozesses, sodass Verschleißverhalten und Spanbildungsmechanismen signifikant beeinflusst werden können. Die Ressourcenerückführung von in der Zerspanung anfallenden Titanspänen wird im Projekt „Return II“ erforscht. Bei der Herstellung großer Strukturbauteile für die Luft- und Raumfahrt wird bis zu 95 % des Materials zerspannt, welches bisher nur unzureichend in die Wertschöpfungskette zurückgeführt wird. Besonders hohes Potenzial bietet die Wiederverwertung als Pulver für die additive Fertigung, da hier deutlich weniger Prozessschritte zur Aufbereitung des Werkstoffs notwendig sind. Weiterhin wird im Schwerpunktprogramm 2231 des DFG der Einfluss des Kühlschmierstoffs (KSS) auf die tribologischen Verhältnisse in der Zerspanung untersucht. Dazu wurde ein Hobelprüfstand um die Möglichkeit der KSS-Zufuhr erweitert. Neben den grundlagenlastigen Forschungsprojekten werden mehrere AiF-Projekte in enger Abstimmung mit der Industrie innerhalb eines Arbeitskreises des Vereins Deutscher Werkzeugmaschinenfabriken (VDW) bearbeitet.

Innerhalb des Projekts „Prozessstellgrößenmodulationen für die Stahlbearbeitung mit Kühlschmierung“ wird der Einfluss von kontinuierlich variierenden Schnittgeschwindigkeiten und Zahnvorschüben auf den Drehprozess untersucht. Das Ziel ist es dabei, möglichst günstige thermomechanische Belastungen am Schneidkeil zu erzielen, um den Werkzeugverschleiß zu reduzieren. Das AiF-Projekt „Laserbearbeitung von Hartmetallwerkzeugen“ untersucht das Potenzial der Laserbearbeitung zur Einbringung von Spanleitstufen. Im Gegensatz zu konventionellen Drehwerkzeugen kann eine Spanleitstufe bei Formdrehwerkzeugen nicht direkt beim Sinterprozess erfolgen, da die finale Werkzeuggeometrie im Anschluss an das Sintern anwendungsspezifisch über das Schleifen erzeugt wird. Der Laserprozess bietet hierbei eine wirtschaftliche Alternative, auch bei Formdrehwerkzeugen eine Spanleitstufe zu erzeugen. Das AiF-Projekt „ClaFoTurn“ untersucht das Verhalten der Prozesskräfte neuartiger Drehprozesse. Die betrachteten innovativen Drehprozesse weisen gegenüber konventionellen Drehprozessen zusätzliche Achsbewegungen auf und besitzen somit das Potenzial, die Produktivität in der Fertigung signifikant zu steigern. Die Kenntnis der Prozesskräfte ist insbesondere für eine bedarfsgerechte Einspannung von Werkzeug und Werkstück von Relevanz.

**SCHLEIFTECHNOLOGIE** / Schleifen wird sowohl für die produktive Zerspanung von hochharten Werkstoffen als auch für die Erzeugung hochpräziser Oberflächen eingesetzt. Dabei sind neben dem Einsatz der Schleifwerkzeuge insbesondere auch deren Herstellprozess und die daraus resultierenden Eigenschaften von besonderer Bedeutung. Daher wird am IFW derzeit die Fertigung von Schleifwerkzeugen und deren Ein-

fluss auf den Schleifprozess untersucht. Die Charakterisierung der Schleifwerkzeuge durch neu entwickelte Methoden ermöglicht dabei eine Verknüpfung der Schleifbelageigenschaften mit dessen Einsatzverhalten, sodass die Auswahl eines geeigneten Schleifwerkzeugs für einen bestimmten Anwendungsfall erleichtert wird. Um das Einsatzverhalten zu ermitteln, werden sowohl Schnittunterbrechungen zur Bestimmung der Spanbildungsmechanismen durchgeführt als auch industrielle Anwendungsfälle optimiert. Derzeit werden beispielsweise die Herstellung von PCBN-Schaftwerkzeugen („Ressourceneffizientes Schleifen von PCBN-Schaftwerkzeugen“) oder das Einsatzverhalten konventioneller Schleifwerkzeuge mit Stäbchenkorund („Grundlage für den wirtschaftlichen Einsatz von Stäbchenkorundscheiben“) in industrienahen AiF-Forschungsprojekten adressiert.

Ein weiterer Schwerpunkt der Abteilung liegt in der schleiftechnologischen Herstellung von Dreh-, Bohr- und Fräswerkzeugen. Die Entwicklung eines neuen Schleifprozesses im Rahmen des DFG-Projekts „Kontinuierliches Wälzschleifen schneidender Verzahnungen“ ermöglicht, alle Schneiden eines Bohrers oder Fräasers zeitgleich zu erzeugen und so die Prozessproduktivität bei der Fertigung dieser Werkzeuge zu steigern. Im Projekt „Herstellung und Einsatzverhalten von Zerspanwerkzeugen aus Gesteinen“ (DFG) wird durch den Einsatz natürlich vorkommender Gesteine die kostenintensive und umweltbelastende Nutzung von Hartmetall als Schneidstoff reduziert. Für den umweltbewussten Rückbau von Kernkraftanlagen werden häufig Seilschleifprozesse eingesetzt, da diese nicht auf eine Prozesskühlung durch öl- oder wasserbasierte Flüssigkeiten angewiesen sind. Einer Sekundärkontamination dieser Flüssigkeiten wird somit vorgebeugt, sodass die aufwendige Entsorgung des Kühlschmierstoffs als Sondermüll entfällt. Der Verzicht auf Kühlschmierstoff geht jedoch mit erhöhten Prozesstemperaturen einher, sodass besondere Anforderungen an die zugehörigen Seilschleifwerkzeuge gestellt werden. Deshalb entwickelt das IFW im BMBF-Projekt „Produktives Seilschleifen von Stahl durch modellbasierte Prozessauslegung“ derzeit neue Werkzeugkonzepte und optimiert die Prozessführung bei Seilschleifprozessen, sodass Kernkraftwerke zukünftig prozesssicher, umweltbewusst und ohne Gefährdung des Bedienpersonals rückgebaut werden können.

**Arbeitsgruppe Maschinen und Steuerungen**  
**MASCHINENKOMPONENTEN** / Sensorische Fähigkeiten sind Voraussetzungen zur Umsetzung adaptiver und intelligenter Komponenten. Die Abteilung Maschinenkomponenten beschäftigt sich mit der Erforschung und Entwicklung solcher Systeme. Schwerpunktt Themen sind Spanntechnik, Motorspindeln und Konzepte zur passiven und aktiven Dämpfung von Werkzeugmaschinenkomponenten und Werkzeugmaschinen: Eine neuartige, gedämpfte Spindel reduziert Werkzeugeschwingungen so weit, dass eine Erhöhung der Schnitttiefe um bis zu

50 % erreicht wird. Durch aktive Ruckentkopplung im Projekt „AiR“ werden Schwingungsamplituden um mehr als 50 % verringert. Zudem wird zurzeit eine Bohrstange entwickelt, die durch gezielte Pulsung des KSS-Volumenstroms an der Schneidkante eine Reduktion von Werkzeugschwingungen ermöglicht. Ziel des Projektes „CyberChuck“ ist es, ein Drehspannfutter mit sensorischen Fähigkeiten auszustatten, sodass eine Überwachung der Spannkraft ermöglicht wird. Durch Integration der Aktorik in das Spannfutter rückt zusätzlich die Erzeugung der Betätigungskraft wesentlich näher an dessen Wirkstelle und erlaubt somit eine prozessparallele Regelung der Spannkraft. Ein sensorisches Spannsystem dient im Projekt „TensorMill“ als Informationsquelle zur Beurteilung der Fertigungsqualität. Zur Erweiterung der Überwachungsmöglichkeiten von Profilschneidführungen in Werkzeugmaschinen wird im Projekt „Kraftsensitive Führungswagen“ ein Konzept erforscht, das mithilfe von direktabgeschiedenen Dehnungsmessstreifen eine präzise Messung wirkender Prozessbelastungen ermöglicht. Im Projekt „AllSpann“ wird ein formflexibles Spannsystem entwickelt, um geometrisch komplexe Werkstücke im Bereich der additiven Fertigung aufwandsarm zu spannen. Durch eine umspannfreie Bearbeitung wird eine Reduktion von Rüst- und Nebenzeit um bis zu 70 % angestrebt. Zur Steigerung der Fertigungspräzision beim Werkzeugschleifen wird im Projekt „Fühlende Spindel“ ein neuartiges Sensorkonzept entwickelt, mit dessen Hilfe die beim Schleifen auftretenden Abdrängungseffekte kompensiert werden. Innerhalb des Exzellenzclusters „PhoenixD“ entwickelt das IFW einen hochpräzisen und dynamischen Aktuator zur Kompensation von Fehlern bei der Fertigung optischer Komponenten. Durch die Verbindung eines Mehrkoordinaten-Antriebssystems mit einer hydrostatischen Führung entsteht ein Pinolendirektantrieb für Werkzeugmaschinen, der die positiven Eigenschaften der Hydrostatik mit den Vorzügen der direkten Antriebstechnik verbindet. Dadurch können die Dämpfung und die Dynamik gleichzeitig gesteigert werden.

**MASCHINENTECHNOLOGIEN** / Produktivität ist nicht der einzige Erfolgsfaktor für die Produktion von morgen. Flexibilität, Autonomie und Ressourceneffizienz von Fertigungseinrichtungen nehmen in Zukunft einen immer höheren Stellenwert ein. Die Abteilung Maschinentechnologien löst sich daher gezielt von verfügbaren Produktionssystemen und entwickelt neue Konzepte, die diesem Anforderungsprofil gerecht werden. Dabei sind sowohl Werkzeugmaschinen für Sonderanwendungen als auch Universalmaschinen und Maschinenverbände Gegenstand der aktuellen Forschung. Die Integration von Sensorik und Aktorik bspw. in Tiefbohr- und Seilsägemaschinen ermöglicht eine Prozessregelung und damit eine signifikante Steigerung der Prozesssicherheit. Die magnetische Führung einer Ultrapräzisionsfräsmaschine kompensiert beschleunigungsbedingte Bahnabweichungen und zeigt das Potenzial für Produktivitätssteigerungen in der Ul-

trapräzisionsbearbeitung auf. Die Regelung ganzer Prozessketten über mehrere Maschinen hinweg ist für die automatisierte Produktion individueller Bauteile unumgänglich. Während dies im SFB 871 zur Regeneration komplexer Investitionsgüter eingesetzt wird, fokussiert das BMBF-Projekt TempoPlant die Fertigung individualisierter Implantate. Das Zusammenspiel aus integrierter Messtechnik und Fertigungstechnik erlaubt dabei eine autonome Anpassung der Werkzeugwege innerhalb einer Qualitätsregelung. Zusätzlich werden die Fertigungs- und Messdatendaten zu Dokumentationszwecken in den zertifizierten Prozessen der Medizintechnik genutzt.

**PROZESSÜBERWACHUNG UND -REGELUNG** / Die Abteilung Prozessüberwachung und -regelung schafft Mehrwerte aus Daten von Fertigungsprozessen. Mit modernen Methoden der Signalverarbeitung, Sensorfusion und des maschinellen Lernens werden die Zustände von Maschine, Werkstück und Prozess in Echtzeit erfasst. Werkzeugmaschinen sollen so Prozesswissen erlernen, um damit Prozesse autonom optimieren und auf Qualitätsmerkmale hin regeln zu können. Im DFG-Projekt Intelligente Maschine wird dies am Beispiel des fortlaufenden Anlernens von Ratterkarten und der darauf basierenden Regelung der Prozessstellgrößen aufgezeigt. Mit dem Einsatz solcher intelligenter Überwachungs- und Regelungssysteme rücken auch Herausforderungen in Bezug auf Datenhandling und Geschäftsmodelle in den Vordergrund. Daher werden im Verbundprojekt IIP-Ecosphere gemeinsam mit Industriepartnern Methoden und Werkzeuge erarbeitet, die insbesondere KMU einen niedrighschweligen Zugang zu Künstlicher Intelligenz in der Fertigung erlauben. In diesem Kontext ist die Abteilung auch an Standardisierungsbestrebungen wie dem universal machine tool interface (umati) des VDW beteiligt. Als Quelle von Prozessdaten dienen die Maschinensteuerung und sensorische Komponenten. Im Projekt Strombasierte Abdrängungskompensation wird untersucht, wie sich Bearbeitungskräfte aus den Strömen der Antriebe zuverlässig bestimmen lassen und somit auf zusätzliche Kraftsensorik verzichtet werden kann.

## **Arbeitsgruppe Produktionssysteme**

**NC-SIMULATION UND -OPTIMIERUNG** / Wieso weicht das Bauteil vom Sollwert ab? Diese Frage beantworten die Wissenschaftler\*Innen mit dem selbst entwickelten Simulationssystem IFW CutS: Es simuliert die Effekte und Wechselwirkungen von Bearbeitungsprozess, Werkstück und Werkzeugmaschine. Die Fertigungsprozesse werden digital durchgeführt, um mögliche Fehlerursachen zu identifizieren, die ursächlich für das real auftretende Problem sind. Mittels Kompensationsstrategien und innovativer CAD/CAM-Technologien werden anschließend die NC-Maschinenprogramme optimiert, Prozesseffekte vorhergesagt und fehlerreduzierte Bauteile gefertigt. Die Vision besteht in einer virtuellen Prozessinbetriebnahme, um ressourcenschonend eine Feh-

lerkompensation vorab digital durchführen zu können. Somit werden Maschinenkapazitäten geschont und das für Versuche benötigte Material deutlich reduziert. Neben der Prozesssimulation werden Optimierungsalgorithmen und maschinelle Lernverfahren aus dem Bereich Künstlicher Intelligenz (KI) genutzt, um eine lernfähige Prozessadaption aufzubauen. Die verwertbare Datenmenge wird zusätzlich um Mess-, Maschinen- und Sensordaten erweitert.

**FUNKTIONSORIENTIERTE PROZESSPLANUNG** / Im Juli 2021 wurde die Arbeitsgruppe Produktionssysteme um die Abteilung Funktionsorientierte Prozessplanung erweitert. Im Rahmen ihrer täglichen Arbeit nutzen und erforschen die Wissenschaftler Methoden der Prozessplanung, um funktionale Bauteileigenschaften prozesssicher zu realisieren. So wird beispielsweise an Methoden gearbeitet, um funktionale Eigenschaften (u.a. Lebensdauer, tribologische Eigenschaften, Randzoneneigenschaften) in klassische Prozessplanungsgrößen (u.a. Stellgrößenbereiche, Werkzeugwahl, Wahl der Fertigungsverfahren) zu übersetzen. Weitere Forschungsschwerpunkte bestehen in Methoden zur Unterstützung der virtuellen Qualitätssicherung und zur Rückführung von Qualitätsdaten in die Prozessplanung. Erforscht werden hierbei Prognosemodelle unter unterschiedlichen Rahmenbedingungen. Beispielsweise wird im DFG-geförderten Projekt LearnWZS eine echtzeitfähige Simulation des Werkzeugschleifprozesses entwickelt, mit der sowohl die Effizienz als auch die Qualität des Fertigungsprozesses erhöht wird. Dafür werden in der Prozessplanung maschinelle Lernalgorithmen angewandt, welche sich unabhängig von Werkstück, Werkzeug und Werkzeugmaschine selbstständig optimieren. Des Weiteren werden innerhalb des Zukunftslabors Produktion am Beispiel der Druckgussindustrie interdisziplinär Technologien entwickelt und erforscht, die eine selbstständige Optimierung von Fertigungsverfahren und Produktionsabläufen durch das Schließen der digitalen Prozesskette erlauben. Außerdem beschäftigt sich das Projekt MaBaID mit der Identifikation von spanenden Bauteilen in der Prozesskette. Über die bei der Zerspanung entstandenen stochastischen Oberflächenmerkmale können die Bauteile fälschungssicher im gesamten Lebenszyklus identifiziert werden. Es wird dabei eine Fälschungssicherheit von 10–20 erreicht, was ähnlich zum menschlichen Fingerabdruck ist.

**FERTIGUNGSPLANUNG UND -STEUERUNG** / Kernaufgabe der Arbeitsgruppe ist die Erforschung adaptiver Methoden der Arbeitsablaufplanung für eine optimierte Grobplanung von Prozessketten. Im Projekt IIP-Ecosphere „Next Level Ecosphere for Intelligent Industrial Production“ arbeiten Wissenschaftler gemeinsam mit 19 Partnern aus Industrie und Forschung an Methoden zum vereinfachten Einsatz von Künstlicher Intelligenz in der Fertigungspla-

nung und -steuerung. Hier fließen auch die Erkenntnisse aus dem parallel laufenden DFG-Grundlagenprojekt „Selbstoptimierende dezentrale Fertigungssteuerung“ ein. Der Wirkungsgrad der modernen Planungs- und Steuerungslogiken hängt wesentlich von der Qualität der verwendeten Eingangsdaten ab. Um Betriebsdaten auf einem möglichst hohen qualitativen Niveau zur Verfügung stellen zu können, wird im Projekt Lokofer gemeinsam mit den Partnern Fauser und ATS Elektronik an einem Lokalisierungs- und Kommunikationssystem zur betriebsbegleitenden Fertigungsplanung und -steuerung gearbeitet. Liegen entsprechende Rückmeldezeiten von Aufträgen und technische Zeichnungen vor, kann der Angebotsprozess für Lohnfertiger beschleunigt werden. Im Projekt JobTRADE wurde zusammen mit Fauser eine Plattform zur rüstopptimierten Kalkulation von Zerspanungsprozessen entwickelt. Weitergeführt wird dieser Ansatz zusammen mit Point 8 im Projekt AutoPlan durch die automatisierte Erstellung von Arbeitsplänen aus technischen Zeichnungen. Die Nachhaltigkeit der Produktion wird ebenfalls gefördert. Aufbauend auf den ersten Ergebnissen wird im Projekt Return II eine Planungsmethode zur unternehmensübergreifenden Energieeffizienzoptimierung bei der Herstellung von Titanbauteilen entwickelt. Durch die ergänzenden Arbeiten der Partner Cronimet, DMG Mori und TLS Technik sowie des Helmholtz-Zentrums Hereon soll so eine Closed-Loop Prozesskette zur additiven Fertigung von Titanbauteilen realisiert werden. Um neben effizienten auch robuste Fertigungsabläufe zu planen, wird im Projekt MultiPEP die multikriterielle Personaleinsatzplanung unter Berücksichtigung der Robustheit von Produktionssystemen untersucht.

### Arbeitsgruppe Hochleistungsproduktion von CFK-Strukturen

Seit mehr als zehn Jahren stellen durchgängige Lösungen für die wirtschaftliche und robuste Fertigung von kohlenstofffaserverstärkten Kunststoffen (CFK) den Forschungsschwerpunkt der Institutsaußenstelle am CFK-Nord in Stade dar und sind gleichzeitig Motivation für die Entwicklung neuer Maschinen- und Überwachungsansätze. Hierbei kooperiert das Forscherteam des IFW mit Flugzeugentwicklern aus Braunschweig und Werkstoffwissenschaftlern aus Clausthal.

Ein zentraler Forschungsschwerpunkt des zwanzigköpfigen Teams sind Automated-Fiber-Placement-Systeme, die gewöhnlich zu den bevorzugt eingesetzten Fertigungssystemen zur Herstellung von Hochleistungs-Leichtbaustrukturen zählen. Bereits drei neuartige Legesysteme wurden von Mitarbeitern des IFW entwickelt und realisiert. Sie sind für den roboterbasierten Einsatz konzipiert und verarbeiten duromere und thermoplastische Faserverbundmaterialien. Aufgrund der hohen Schmelztemperaturen von luftfahrt-

zertifizierten Thermoplasten, die bis zu 400°C betragen, forscht das Team an gekoppelten Methoden zur Aufschmelzung des Kunststoffes mit Hilfe eines VCSEL-Hochleistungslasers und einer schwingungsangeregten Konsolidiereinheit. Eine Verbesserung der Fertigungsqualität erreichen die Wissenschaftler durch eine integrierte Online-Prozessüberwachung, die das Legeergebnis fortwährend thermografisch überwacht und so präventive Handlungsstrategien zur Qualitätssicherung ermöglicht. In diesem Zusammenhang forscht das IFW an Methoden des Maschinellen Lernens, gekoppelt mit einer strukturmechanischen Simulation. Dadurch gelingt es den Forschern erstmals, Fertigungsfehler zu klassifizieren und ihren individuellen Einfluss auf die mechanischen Bauteileigenschaften direkt im Prozess zu bewerten. Ebenfalls erfolgreich umgesetzt wurden Vorhaben zur Entwicklung und Erforschung eines neuartigen hochflexiblen Drapierlegesystems für Trockenfasertextilien, mit dem es gelingt, komplex geformte Strukturkomponenten im eigens entwickelten Continuous-Wet-Draping herzustellen. Aktuelle Forschungsarbeiten zu den geometrischen Fertigungsrestriktionen der Drapier- und Legetechnologien ermöglichen außerdem innovative Gestaltungsrichtlinien für zukünftige Maschinenkonzepte. Die Erkenntnisse werden zusätzlich in eine integrierte Methode zur Auslegung von Faserverbundstruktur und Prozesskette überführt, mit der bereits im frühzeitigen Entwicklungsstadium unkonventionell versteifte Flugzeugumpfbauweisen bewertet werden können.

Ein weiterer Fokus der Forschergruppe liegt auf der patentierten Multilayer-Insert-Technologie, die im Rahmen des Schwerpunktprogramms 1712 zum Thema intrinsische Hybridverbunde erfolgreich entwickelt und erforscht wurde. Die auf dünnwandigen Hybridlaminaten basierende Verbindungstechnologie führt zu einer deutlichen Steigerung der einleitbaren Lasten und einer verbesserten Schadenstoleranz von Fügungen. Während die Anwendung der Hybridverbindungen im Flugzeugbau, Automobilbau und Sportgerätebau nachgewiesen wurde, finden aktuell Forschungsarbeiten zum Transfer der Technologie in den Landmaschinenbau am Beispiel eines Carbon-Leichtbau-chassis sowie in den Sektor der erneuerbaren Energiegewinnung am Beispiel von Carbon-Rotorblättern für Gezeitenströmungsturbinen statt.

### Arbeitsgruppe Mit uns digital

Das Mittelstand-Digital Zentrum Hannover „Mit uns digital!“ hilft Unternehmen des Mittelstandes, ihre Wettbewerbsfähigkeit im Kontext von Digitalisierung und Industrie 4.0 zu stärken. Informationsveranstaltungen, Firmengespräche, Schulungen und Umsetzungsprojekte – mit diesen Angeboten macht das Zentrum Unternehmen des Mittelstandes fit für die digitale Zukunft. Das Themenspek-

trum reicht von der Digitalisierung einzelner Produktions- und Logistikprozesse über Recht und Ökonomie bis hin zu Arbeit 4.0. Die Expertenfabriken des Zentrums bieten gebündeltes Industrie 4.0-Wissen zu unterschiedlichen Themen und demonstrieren Einsatzmöglichkeiten. Ein weiterer Schwerpunkt des Zentrums betrifft den Wissenstransfer zur Künstlichen Intelligenz (KI) über Informationsveranstaltungen, Schulungen, Firmengespräche und Projekte mit Unternehmen. Die Angebote des vom Bundeswirtschaftsministerium geförderten Zentrums sind kostenlos. Die Demonstrationsfabrik des Zentrums präsentiert praxisnah auch für kleine und mittlere Unternehmen bezahlbare Lösungen zur Digitalisierung und zu Anwendungen von KI. Die mobile Fabrik bringt Industrie 4.0-Demonstratoren und -Lösungen direkt zu den Unternehmen. Sowohl die mobile Fabrik als auch die Demonstrationsfabrik sind darüber hinaus wesentliche Bestandteile der Einführungsschulung „Digitalisierung in der Produktion“. In beiden Fabriken werden den Unternehmen anhand der Herstellung eines individuell konfigurierbaren Stiftes in Losgröße 1 Digitalisierungslösungen und KI-Anwendungen vorgestellt – von der Kommissionierung über die Fertigung bis zur Auslieferung entlang der gesamten Wertschöpfungskette. Das Mittelstand-Digital Zentrum Hannover gehört zu Mittelstand-Digital. Mit dem Mittelstand-Digital Netzwerk unterstützt das Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz die Digitalisierung in kleinen und mittleren Unternehmen und dem Handwerk. Weitere Informationen finden Sie unter [www.mittelstand-digital.de](http://www.mittelstand-digital.de).

93	wissenschaftliche Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter
27	nichtwissenschaftliche Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter
268	studentische Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter
3	Auszubildende
5	FWJ-ler/FWJ-lerinnen

# IFW 2021

## Institut für Fertigungstechnik und Werkzeugmaschinen

### Leitung

Prof. Dr.-Ing. Berend Denkena

### Lehre

68 Masterarbeiten, 70 Studienarbeiten, 43 Bachelorarbeiten

### Aktuelle Forschung

#### Fertigungsverfahren

SFB 81 C1: Prozessauslegung (DFG)

SFB 871 B2: Reparaturzelle (DFG)

SFB 1138 B3: Spanen (DFG)

Modellierung der Prozesskräfte bei komplexen Drehprozessen (IGF-AiF)

SPP 2231: Kopplung experimenteller und numerischer Methoden zur mehrskaligen Analyse der Wirkmechanismen von Kühlschmierstrategien in Zerspanprozessen (DFG)

Gefügeausbildung beim selektiven Laserstrahlschmelzen von Titanlegierungen und Einfluss auf die Zerspanbarkeit (DFG)

Steigerung der Energieeffizienz entlang der Prozesskette zur Fertigung von Hartmetallwerkzeugen (BMWK)

Auslegung von Prozessstellgrößenmodulationen für die Stahlbearbeitung mit Kühlschmierung (IGF-AiF)

Metallgebundene Werkzeuge zur Produktivitätsmaximierung beim Schleifen hochharter Schneidstoffe (AiF)

Einsatzverhalten sintermetallischer Diamantschleifscheiben mit chemisch angebundenen Schleifkörnern (DFG)

Wissensbasierte Auslegung des Fertigungsprozesses von Schleifwerkzeugen (ZIM)

Gradiert: Gradierte Schleifscheiben für das Spannutenschleifen von Vollhartmetallfräsern (ZIM)

Kontinuierliches Wälzschleifen schneidender Verzahnungen 2 (DFG)

Leistungssteigerung metallisch gebundener CBN-Werkzeuge durch kryogene Kühlung (DFG)

Hocheffiziente Seilschleifsegmente mittels additiver Siebdrucktechnologie (BMBF)

Herstellung und Einsatzverhalten von Zerspanwerkzeugen aus Gesteinen (DFG)

SFB 1368 TP C04: Bearbeitungskonzepte für die sauerstofffreie Feinbearbeitung (DFG SFB) Ressourceneffizientes Schleifen von PCBN-Schaftwerkzeugen (AiF)

Produktives Seilschleifen von Stahl durch mo-

dellbasierte Prozessauslegung (BMBF) Grundlage für den wirtschaftlichen Einsatz von Stäbchenkorundschleifscheiben (AiF)

Optimal machining of CFRP structural part by innovative PCD drill concept and quality inspection system (ZIM)

Erhöhte Ermüdungsfestigkeit von Schweißverbindungen in der Windenergie durch Festwalzen (AiF)

Ermüdungsfestigkeit von Stumpfnahstößen hochfester Offshore-Feinkornbaustähle mit und ohne Nachbehandlung für den Bau von Offshore-Windenergieanlagen (AiF)

Antriebsstrang 2025 - Energieeffiziente Prozessketten zur Herstellung eines reibungs-, gewichts- und lebensdaueroptimierten Antriebsstrangs (BMWK)

SFB1153-B4 Funktionsangepasste Prozessplanung der spanenden Bearbeitung hybrider Bauteile (DFG)

TR73-T09 Vor-Ort-Bearbeitung von komplexen Funktionsbauteilen mit Nebenformelementen aus Feinblech – Blechmassivumformung (DFG)

Einfluss präparationsinduzierter Eigenspannungen in der Schneidkante von Zerspanwerkzeugen auf das Verschleißverhalten hochharter Schneidstoffe (DFG)

Tribologisch optimierte Oberflächentopografien zur Lebensdauersteigerung von Gewindetriebsen durch das Wirbelverfahren (ZIM)

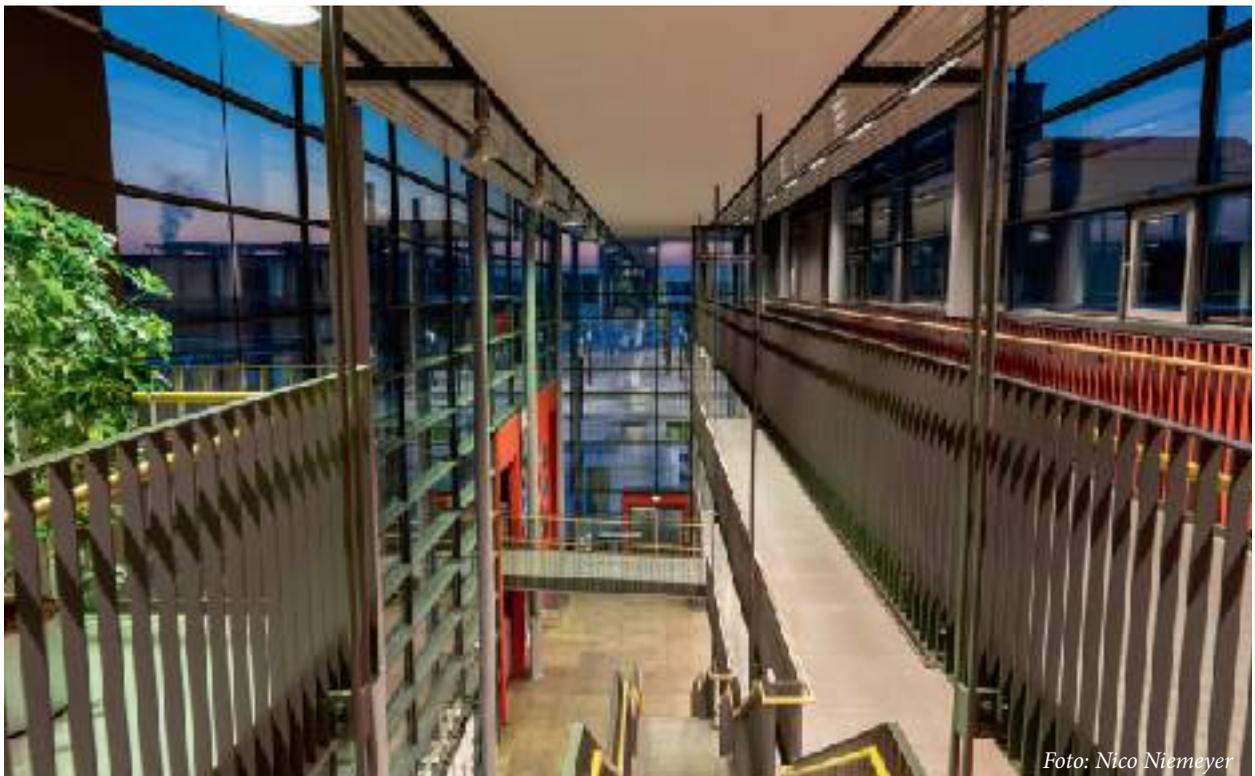


Foto: Nico Niemeyer

Hartfräsen von Mikroschmiernäpfen zur Reibungs- und Verschleißreduktion in hochbelasteten Wälzkontakten (DFG)

TR SIIRI A04 Bedarfsgeechte Auslegung und Fertigung schädigungstoleranter Implantatverbindungen (DFG)

## Maschinen und Steuerungen

AiR: Aktive Ruckentkopplung für Werkzeugmaschinen (DFG)

AllSpann: Modulares Spannsystem für die mehrseitige Bearbeitung von additiv gefertigten Bauteilen ohne manuelles Umspannen (BMBF)

Antriebsstrang 2025: Energieeffiziente Prozessketten zur Herstellung eines reibungs-, gewichts- und lebensdaueroptimierten Antriebsstrangs (BMW i)

CyberChuck: Cyberphysisches 4-Backen-Drehspannfutter mit elektrischer Kraftbetätigung für die vernetzte Hochleistungs- und Präzisionsbearbeitung (BMBF)

DAMPP: Entwicklung von Dämpfer-Abstütz-Modulen zur Erhöhung der Produktivität und Prozesssicherheit für das BTA-Tiefbohren (ZIM)

ElSe: Vollelektrische mobile Seilsege (ZIM)

Fühlende Spindel: Produktivitätssteigerung beim Werkzeugschleifen mit Hilfe einer „führenden“ Spindel (DFG)

GTB: Geregelt Tiefbohren (AiF-IGF)

Hybride Spindel: Prozessabhängige Einstellung der Spindeldynamik zur Produktivitätssteigerung in der spanenden Bearbeitung (AiF-IGF)

IIP-Ecosphere - Next Level Ecosphere for Intelligent Industrial Production (BMW i)

Intelligente Werkzeugmaschine zur autonomen Prozessoptimierung (DFG)

Mobile Technologieplattform für hybride Prozessketten (NBank)

Pionolenmotor: Hydrostatisch gelagerter Pionolenmotor für Drehmaschinen (DFG)

ProMeFe: Prozessüberwachtes und geregeltes mechanisches Festwalzen (ZIM)

PÜ-Schleifen: Korrelation der Prozesssignale beim Schleifen mit den resultierenden Größen am Bauteil (DFG)

SFB 1153: Prozesskette zur Herstellung hybrider Hochleistungsbauteile durch Tailored Forming (DFG)

SFB871-B2: Geschickte Reparaturzelle (DFG)

SFB871-S: Systemdemonstrator (DFG)

SpD: Methode zur motorintegrierten Dämpfung von Spindelschwingungen bei Werkzeugmaschinen (DFG)

TempoPlant: Teilautonome Fertigungszelle für orthopädische Implantate (BMBF)

TensorMill: Intelligente Vernetzung zur autonomen Fräsbearbeitung von Strukturbauteilen (BMBF)

Quali-Wirb: Online Qualitätsüberwachung beim Gewindewirbeln (ZIM)

Vi-Spann: Verfahren für die virtuelle Spannplanung in der Arbeitsvorbereitung (AiF-IGF)

## Produktionssysteme

AdaPES: Adaptive Prozessplanung für das Entgraten von Strukturbauteilen (ZIM)

Antriebsstrang 2025: Energieeffiziente Prozessketten zur Herstellung eines reibungs-, gewichts- und lebensdaueroptimierten Antriebsstrangs (BMW i)

Apollo: Entwicklung einer Methode für die Kollisionsvermeidung mit Maschinenstopp in <1 s und Look-ahead-Funktion für 5 - 10 NC-Sätze sowie Erforschung einer Methodik zur Kollisionsvermeidung auf Basis von Simulations-, Achs- und Arbeitsraumdaten (ZIM)

ARGONAUT: Aircraft Gearbox Design and Manufacturing of Tomorrow (BMW i)

Autoplan: Automatisierte Bestimmung der Vorgabezeiten und der Arbeitsvorgangsfolge unter Berücksichtigung technologischer Zwangsfolgen (ZIM)

BaSys4iPPS: BaSys 4 integrated PPS (BMBF)

Hephaestus: Machine learning methods for adaptive process planning of 5-axis milling (DFG)

IIP-Ecosphere - Next Level Ecosphere for Intelligent Industrial Production (BMW i)

Leibniz AI Academy: Disziplinübergreifende, hybride Micro-Degrees für Studium und Weiterbildung – LeibnizAI (BMBF)

Lern WZS: Lernende Prozessadaption für das Werkzeugschleifen (DFG)

Lokofer: Lokalisierungs- und Kommunikationssystem zur betriebsbegleitenden Fertigungsplanung und -steuerung (ZIM)

MaBaID: Digitaler Fingerabdruck zur markierungsfreien, branchenübergreifenden Bauteilidentifikation in der spanenden Prozesskette (AiF)

MultiPEP: Multikriterielle Personaleinsatzplanung unter Berücksichtigung der Robustheit von Produktionssystemen (DFG)

PhönixD-M2: Task Group F2: Expert Systems for Quality Control (DFG)

Poly-ProFiLED: Prozesskette für Polygon-umgeformte Al-Strukturbauteile (NBank)

Return II: Prozesskette zur geschlossenen additiv-subtraktiven Fertigung von Titanbauteilen mit Recyclingmaterial (BMW i)

Self: Selbstoptimierende dezentrale Fertigungssteuerung (DFG)

SFB871-C1: Regeneration komplexer Investitionsgüter - Simulationsbasierte Prozessauslegung spanender Rekonturierungstechnologien (DFG)

SPP1480: Bewertung und Adaption spanender Fertigungsprozesse zur Kompensation von thermischen und mechanischen Bearbeitungseinflüssen (DFG)

SPP2231 (Flusimpro): Modellierung der Kühlwirkung beim Werkzeugschleifen unter Berücksichtigung prozessbedingter Unsicherheiten (DFG)

TempoPlant: Teilautonome Fertigungszelle für orthopädische Implantate (BMBF)

TRR-SIIRI 298 A1: Implantatsicherheit durch Individualisierung der Revision und der Regeneration von primären Prothesenkomponenten (DFG)

VerticalE2E: Vertikal integrierte, nachhaltige End-to-End-Fabrik (NBank)

ZL Produktion: Zukunftslabor Produktion (MWK)

## Veröffentlichungen (Auszug)

### Beiträge in Büchern (reviewed)

**Stobrawa, S., Denkena, B., Ditttrich, M.-A., von Soden, M.:** Requirements for the Optimization of Processes Using a Digital Twin of Production Systems, Chapter 2, DigiTwin: An Approach for Production Process Optimization in a Built Environment, (eds.) Stjepandic, J. Sommer, M., Denkena, B., ISBN 978-3-030-77538-4, Springer Verlag, S. 13-30.

**Stjepandic, J., Sommer, M., Stobrawa, S.:** Digital Twin: A Conceptual View, Chapter 3, DigiTwin: An Approach for Production Process Optimization in a Built Environment, (eds.) Stjepandic, J. Sommer, M., Denkena, B., ISBN 978-3-030-77538-4, Springer Verlag, S. 13-50.

**Stobrawa, S., Vibora Münch, G., Denkena, B., Ditttrich, M.-A.:** Design of simulation models, Chapter 9, DigiTwin: An Approach for Production Process Optimization in a Built Environment, (eds.) Stjepandic, J. Sommer, M., Denkena, B., ISBN 978-3-030-77538-4, Springer Verlag, S. 181-204.

**Stjepandic, J., Sommer, M., Stobrawa, S.:** The Commercialization of Digital Twin by an Extension of a Business Ecosystem, Chapter 10, DigiTwin: An Approach for Production Process Optimization in a Built Environment, (eds.) Stjepandic, J. Sommer, M., Denkena, B., ISBN 978-3-030-77538-4, Springer Verlag, S. 205-230.

**Stjepandic, J., Sommer, M., Stobrawa, S.:** Digital Twin: Conclusion and Future Perspectives, Chapter 1, *DigitTwin: An Approach for Production Process Optimization in a Built Environment*, (eds.) Stjepandic, J. Sommer, M., Denkena, B., ISBN 978-3-030-77538-4, Springer Verlag, S. 235-259.

**Denkena, B., Dittrich, M.-A., Fohlmeister, S., Kemp, D., Palmer, G.:** Scalable cooperative multi-agent-reinforcement-learning for order-controlled on schedule manufacturing in flexible manufacturing systems, Skalierbares kooperatives Multi-Agent-Reinforcement-Learning zur termintreuen, auftragsgesteuerten Fertigungssteuerung in flexiblen Fertigungssystemen, *Simulation in Produktion und Logistik 2021*, Hrsg. Jörg Franke und Peter Schuderer, Cuvillier Verlag, S. 177-186.

#### Beiträge in Zeitschriften/Aufsätzen

**Denkena, B., Bergmann, B., Hein, M.:** Innovative Methode zur Schneidkantenpräparation mit nachgiebigen Diamantwerkzeugen in der Werkzeugschleifmaschine, *Diamond Business 4* (2021), Nr. 79, S. 12-19.

**Denkena, B., Arnold, D., Wilmsmeier, S., Dayeg, A.:** Betriebsdaten und ihre aktuellen Potenziale Ein Blick auf die in der Industrie erfassten Produktionsdaten, *ZWF, Industrie 4.0*, 116 (2021), 11, S. 852-855.

**Denkena, B., Krödel, A., Kostka, M., Kempf, F.:** Mischanalyse in der Schleifscheibenherstellung Mixing analysis in the grinding wheel production, *WT Werkstattstechnik*, BD. 111 (2021), Nr. 10, DOI: 10.37544/1436-4980-2021-10-81, S. 735-739.

**Kettelmann, S.:** Titan – zu wertvoll für den Abfall, *tit!* (2021), Nr. 1+2, S. 15.

**Denkena, B., Bergmann, B., Klaproth, M., Ottermann, R., Dencker, F., Wurz, M.:** Direkt-abgeschiedene DMS-Sensorik - Neuartiger Ansatz zur Kraftmessung an Führungswagen, *VDI-Z BD. 163* (2021), Nr. 11-12, S. 55-57.

**Denkena, B., Klemme, H., Nübel, N.:** Bauteile simulationsgestützt aufarbeiten, *Kostenkontrolle beim Instandsetzen, IT&Production*, Ausgabe Dezember 2021, S. 32-33.

**Denkena, B., Dültgen, P., Bergmann, B., Theiss, R., Bruchhaus, T., Köhler, L., Koll, T.:** Etablierung eines mechanischen Abrichtverfahrens für das Trennschleifen, *dihw - Diamant Hochleistungswerkzeuge*, 13 (2021) 4, S. 8-12.

**Denkena, B., Bergmann, B., Claßen, M.:** Dämpfer-Abstütz-Modul für das BTA-Tiefbohren, *mav*, September 2021, S. 80-83.

**Denkena, B., Dittrich, M.-A., Wichmann, M., Friebe, S.:** Ressourceneffizientes Umschleifen verschlissener VHM-Werkzeuge, *WT Werkstattstechnik online*, 111 (2021) Nr. 6, S. 430-434.

**Denkena, B., Bergmann, B., Rahner, B.-H.:** Neue Werkzeugüberwachung für das mobile Seilschleifen, *MM Maschinenmarkt*, 9 (2021), S. 52-55.

**Denkena, B., Bergmann, B., Rahner, B.-H.:** Mobiles Seilschleifen erstmals mit Werkzeugüberwachung, *MM Maschinenmarkt*, 10 (2021), S. 76-79.

**Denkena, B., Bergmann, B., Blech, H.:** Autonome Klassifikation von Werkzeug- und Prozesszuständen Sichere Prozessüberwachung für die Radsatzbearbeitung, *VDI-Z*, 163 (2021) Nr. 07-08, S. 28-30.

**Denkena, B., Bergmann, B., Rahner, B.-H.:** Mehr Sicherheit beim Seilschleifen dank neuartiger Werkzeugüberwachung, *MM Maschinenmarkt*, (2021), 9 Seiten.

**Denkena, B., Bergmann, B., Reimer, S.:** Führende Maschinen überwachen noch sensibler, *MM Maschinenmarkt*, 9 (2021), S. 56-59.

**Denkena, B., Bergmann, B., Schumacher, T.:** Werkzeugabdrängung kompensieren: Forschungsprojekt des IFW Hannover zeigt Potenziale und Grenzen auf Abdrängungsausgleich mittels elektromagnetischer Führungen, *mav Oktober 2021* (2021), S. 84-87.

**Denkena, B., Krödel, A., Köhler, L.:** Charakterisierung thermischer und mechanischer Eigenschaften von bronzegebundenen CBN-Schleifscheiben, *dihw*, 13 (2021) 2, Seite 12-17.

**Denkena, B., Krödel, A., Lang, R.:** Diamant-anbindung durch Carbiddbildung, *Diamond Business*, Ausgabe 2/2021, S. 38-43.

**Denkena, B., Krödel, A., Dzierzawa, P.:** Einfluss des Pulvers bei der Herstellung sintermetallischer Schleifscheiben – die richtige Wahl entscheidet, *dihw*, 13 (2021) 2, S. 16-21.

**Denkena, B., Bergmann, B., Klemme, H., Beyer, R.-E., Blunk, H.:** Topologieoptimiertes Spannsystem steigert Produktivität bei der Drehbearbeitung, *Unter Span* (2021), S. 39-40.

**Denkena, B., Bergmann, B., Klemme, H., Beyer, R.-E., Blunk, H.:** Additive Fertigung eines topologieoptimierten Werkstücksystems Geringes Gewicht, großer Effekt, *VDI-Z*, 163 (2021) Nr. 11-12, S. 40-43.

**Denkena, B., Krödel, A., Heckemeyer, A.:** Leistungssteigerung von pCBN-Drehwerkzeugen durch angepasste Schneidkantenmikrogeometrie, *Diamond Business 2* (2021), Nr. 77, S. 16-21.

**Denkena, B., Stürenburg, L., Wichmann, M., Lindauer, M.:** Maschinelles Lernen in der Prozessplanung Wie automatisiertes maschinelles Lernen den Verschleiß und die Formabweichungen in der Zerspanung vorhersagt, *VDI-Z*, 163 (2021) Nr. 11-12, S. 26-29.

**Denkena, B., Dittrich, M.-A., Reuter, L.:** Ressourceneffiziente Fertigungssteuerung, Vorgehen zur ganzheitlichen energetischen Optimierung von Prozessketten in der spanenden Fertigung, *Industrie 4.0 Management*, 37 (2021) 4, S. 21-24.

**Breidenstein, B., Vogel, N., Behrens, H., Dietrich, M., Andersson, J. M.:** Locally Resolved Residual Stress Measurements in (Al,Ti)N Coatings Using Raman Spectroscopy, *Tribology in Industry*, DOI: 10.24874/ti.1144.06.21.08, 7 Seiten.

**Denkena, B., Dittrich, M.-A., Vibora Münch, G.:** Systeminharente Puffer für langfristige Ziele nutzen Multikriterielle Personaleinsatzplanung unter Berücksichtigung der Robustheit des Fertigungssystems, *Industrie 4.0 Management*, 37 (2021) 4, S. 59-62.

**Ahlborn, P., Denkena, B., Bergmann, B.:** Mehrkoordinatenantrieb mit linear-rotatorischem Freiheitsgrad, *Innovativer Pinolen-Direktantrieb für Werkzeugmaschinen*, *VDI-Z BD. 163* (2021) NR. 9, S. 40-43.

**Denkena, B., Krödel, A., Müller-Cramm, D.:** Hochproduktives Schleifen von pCBN, *Diamond Business*, 2 (2021) 77, S. 30-36.

**Bobzin, K., Brögelmann, T., Kruppe, N.C., Carlet, M., Hoffmann, D.C., Breidenstein, B., Krödel, A., Beblein, S.:** HPPMS tool coatings: Chip formation and friction, *Planing at various cutting speeds, Vakuum in Forschung und Praxis*, Vol. 33 (2021) Nr. 4, S. 26-33.

**Denkena, B., Krödel, A., Hansen, N.:** Oxygen-free production: Potential of grinding under oxygen-free atmosphere, *hp Tooling*, No. 3, September 2021, S. 24-28.

**Denkena, B., Bergmann, B., Schächinger, M.:** Produktivität erhöhen durch virtuelle Spannplanung – „Vi-Spann“, *NC-Fertigung*, online, 5 Seiten.

**Schmidt, A. (2021):** Wirtschaftliche Zustandsüberwachung von Kugelgewindtrieben, *VDW Branchenreport*, Januar 2021, S. 16-19.

**Murrenhoff, M. (2021):** Laserablation steigert die Leistung von Profileinstechplatten aus Hartmetall, *VDW Branchenreport*, Februar 2021, S. 18-20.

**Settnik, S. (2021):** Bearbeitungs- und Rüstzeiten automatisiert vorhersagen, *phi, Produktionstechnik Hannover informiert*, 05.02.2021, 3 Seiten.

**Denkena, B., Bergmann, B., Böhm, F., Königsberg, J., Ponick, B. (2021):** Auf dem Weg zur autonomen Werkzeugmaschine - mechatronische Dämpfungssysteme als Befähiger - Systemverhalten von Maschinen, *antriebstechnik*, 1-2/2021, S. 38-43.

**Wilmsmeier, S. (2021):** Taktzeitoptimierung mithilfe von künstlicher Intelligenz, *phi, Produktionstechnik Hannover informiert*, 04.03.2021, 4 Seiten.

- Denkena, B., Kaiser, S., Winkler, M. (2021):** Messroboter inklusive - Forschungsprojekt erprobt integrierte Fertigungszelle für Implantate, *Quality Engineering*, 2021, Ausgabe 1, S. 44-46.
- Bonhage, M., Wilkens, R., Denkena, B., Kempf, D. (2021):** Es wird konkret - Der digitale Zwilling als Basis für ein intelligentes und skalierbares Produktionssystem, *SPS Magazin*, Juli 2021, Nr. 6, S. 61-63.
- Klemme, H., Blunk, H. (2021):** Project explores AM of highly-stressed components in hardened martensitic stainless steel, *Metal Additive Manufacturing (Metal AM)*, Vol. 7 (2021) 2, S. 94-96.
- Denkena, B., Bergmann, B., Böhse, M.-F. (2021):** Aktive Ruckentkopplung senkt Maschinenschwingungen, *MM – Maschinenmarkt*, 127 (2021) 8, S. 46-48.
- Denkena, B., Bergmann, B., Buhl, H. (2021):** Sensible Spindel steigert Produktivität - System fühlt Prozesskräfte beim Werkzeugschleifen und kompensiert Abdrängung, *Industrieanzeiger*, (2021) 12, S. 54-55.
- Denkena, B., Krödel, A., Kempf, F. (2021):** Herstellung und Charakterisierung von Schleifbelägen mit Diamantkorn (Teil 2), *dihw - Diamant Hochleistungswerkzeuge*, 12 (2020) 3, S. 12-17.
- Denkena, B., Krödel, A., Murrenhoff, M. (2021):** Laserpräparierte Hartmetallwerkzeuge - Leistungssteigerung durch Spanleitstufen, *VDI-Z*, 163 (2021) Nr. 1-2, S. 38-40.
- Denkena, B., Krödel, A., Raffält, D. (2021):** Produktive Fräserherstellung durch gradierte Schleifwerkzeuge - Simulationsunterstützte Auslegung steigert die Standzeit, *VDI-Z*, 163 (2021) Nr. 3, S. 16-18.
- Schmidt, C., Denkena, B., Groß, L., Weykenat, J. (2021):** Schneidmodul für die adaptive Schnittwinkeleinstellung - Automatisierte Integration von Metalleinsätzen in Faserverbundstrukturen, *VDI-Z*, 163 (2021) Nr. 4, S. 52-55.
- Denkena, B., Bergmann, B., Becker, J., Reimer, S., Stiehl, T. (2021):** Maschinen fehlerlos einfahren - Ausreifsererkennung für Einzelteil- und Kleinserien, *IT&Production online*, Onlineausgabe, 22.04.2021, 4 Seiten.
- Denkena, B., Bergmann, B., Schmidt, A. (2021):** Wirtschaftliche Zustandsüberwachung von Kugelgewindetrieben, *Antriebstechnik*, 5/2021, S. 38-43.
- Denkena, B., Bergmann, B., Reimer, S., Schmidt, A. (2021):** Halbleiter-Dehnungsmessstreifen in Werkzeugmaschinen - Neuartige Sensortechnologien zur Überwachung von Fertigungsprozessen, *VDI-Z*, 163 (2021) Nr. 01-02, S. 24-27.
- Denkena, B., Bergmann, B., Ahlborn, P., Fuchs, J., Litwinski, K. (2021):** Neuartiger Mehrkoordinatenantrieb für Werkzeugmaschinen - Kombinierte Translations- und Rotationsbewegung mit nur einem Sekundärteil, *mav*, 1-2/2021, S. 52-55.
- Teige, C., Fertig, A., Denkena, B., Bergmann, B., Weigold, M. (2021):** Intelligente Vernetzung für die Fräsbearbeitung - Vernetzung zur intelligenten Fräsbearbeitung von Integralbauteilen für die Luftfahrtbranche, *WT Werkstattstechnik*, 111 (2021), Nr. 1-2, S. 14-19.
- Denkena, B., Bergmann, B., Ahlborn, P., Fuchs, J. (2021):** Magnetintegrierte Führung verbessert Antriebe, *MM – Maschinenmarkt*, 127 (2021) 5, S. 54-57.
- Krödel, A., Zender, F. (2021):** Modellierung der Prozesskräfte bei komplexen Drehprozessen, *VDW Branchenreport*, Januar 2021, S. 9-10.
- Denkena, B., Dittrich, M.-A., Noske, H., Kramer, K., Schmidt, M. (2021):** Anwendungen des maschinellen Lernens in der Produktion aus Auftrags- und Produktsicht - Ein Überblick, *ZWF*, 116 (2021) 5, S. 358-362.
- Denkena, B., Bergmann, B., Buhl, H., Claßen, M., Teige, C., Klemme, H. (2021):** Virtuelle Spannplanung minimiert Ausschuss und Vorbearbeitungskosten, *WB - Werkstatt und Betrieb*, Onlineausgabe (Werkstatt-Betrieb.de), 28.05.2021, 10 Seiten (Verweis auf die dazugehörige Printausgabe, 154 (2021) 4, S. 53.)
- Denkena, B., Bergmann, B., Teige, C. (2021):** Die Zukunft der Spanntechnik gestalten - Das IFW Hannover entwickelt im Projekt „Tensor-Mill“ ein cyberphysisches Spannsystem, *mav*, 6/2021, S. 42-45.
- Kaiser, S. (2021):** Teilautonome Fertigungszelle für individuelle Implantate, *NC Fertigung*, online, 15.06.2021, 4 Seiten.
- Denkena, B., Bergmann, B., Klemme, H., Beyrer, R.E., Blunk, H. (2021):** Additive Produktionsmethoden optimieren Maschinen, *MM – Maschinenmarkt*, 127 (2021) 1, S. 50-53.
- Denkena, B., Bergmann, B., Reimer, S., Schmidt, A. (2021):** Integrierte Kraftmessung macht Zerspanung fühlbar, *MM – Maschinenmarkt*, 127 (2021) 1, S. 48-49.
- Wichmann, M. (2021):** Ressourceneffiziente Wiederverwertung verschlissener Fräswerkzeuge, *Forum Schneidwerkzeug- und Schleiftechnik*, 33 (2020) 4, S. 62-63.
- Denkena, B. (2021):** Smarte Maschinen smart konstruiert, *DER KONSTRUKTEUR*, 4/2021, S. 42-45.
- Denkena, B., Krödel, A., Boskovic, A.-L. (2021):** Innovativer Einsatz von Maschinensteuersignalen zur Prozessüberwachung beim Schleifen, *Forum Schneidwerkzeug- und Schleiftechnik*, 34 (2021) 1, S. 48-50.
- Denkena, B., Dittrich, M.-A., Arnold, D. (2021):** Auftragslokalisierung erhöht die Fertigungstransparenz - Hybrides Datenerfassungskonzept berechnet Betriebsdaten und Fertigungskosten, *VDI-Z*, 163 (2021) Nr. 4, S. 59-62.
- Denkena, B., Krödel, A., Kostka, M., Dzierzawa, P., Kempf, F. (2021):** Durchgängige Simulation der Herstellung und des Einsatzverhaltens sintermetallisch gebundener Schleifscheiben, *dihw - Diamant Hochleistungswerkzeuge*, 13 (2021) 1, S. 20-27.
- Denkena, B., Krödel, A., Wilckens, M. (2021):** Schleifen in neuer Dimension - Grobe CBN-Schleifkörner erreichen Materialabtrag wie beim Drehen, *Industrieanzeiger*, 142 (2020) 24/25, S. 50-51.
- Beiträge in Zeitschriften/Aufsätzen (reviewed)**
- Gierschner, F., Kenneweg, R., Ambrosat, T., Böß, V., Geist, M., Hartmann, J., Flügge, W., Denkena, B.: Automatisierte Modellierung als Beitrag für die Qualitätssicherung in der industriellen Produktion, *avn*, 128 (2021) 4, S. 192-202.**
- Denkena, B., Overmeyer, L., Behrens, B.-A., Breidenstein, B., Budde, L., Prasanthan, V., Kruse, J., Faqiri, M. Y., Lammers, M., Hermsdorf, J., Stonis, M.: Investigation of the influence of the forming process and finishing processes on the properties of the surface and subsurface of hybrid components, *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology* (2021), Published online 25 October 2021**
- Denkena, B., Bergmann, B., Schumacher, T.: Anticipatory Online Compensation of Tool Deflection Using a Priori Information from Process Planning, *Journal of Manufacturing and Materials Processing* 5 (2021) 90, DOI: <https://doi.org/10.3390/jmmp5030090>, 16 Seiten.**
- Denkena, B., Bergmann, B., Rahner, B.-H.: A novel tool monitoring approach for diamond wire sawing, *Production Engineering* (2021), Published online 10 November 2021, DOI: <https://doi.org/10.1007/s11740-021-01087-7>, 8 Seiten.**
- Denkena, B., Krödel, A., Lang, R.: Fabrication and use of Cu-Cr-diamond composites for the application in deep feed grinding of tungsten carbide, *Diamond & Related Materials* 120 (2021), 6 Seiten.**
- Denkena, B., Bergmann, B., Stiehl, T. H.: Transfer of Process References between Machine Tools for Online Tool Condition Monitoring, *Machines* 2021, 9 (2021) 282, DOI: <https://doi.org/10.3390/machines9110282>, 13 Seiten.**
- Denkena, B., Dittrich, M.-A., Noske, H., Stopfel, D., Lange, D.: Data-based ensemble approach for semi-supervised anomaly detection in machine tool condition monitoring, *CIRP***

Journal of Manufacturing Science and Technology, 35 (2021), S. 795–802.

**Denkena, B., Bergmann, B., Becker, J., Blech, H.:** Künstliche Intelligenz zur strombasierten Prozessüberwachung komplexer Bauteilgeometrien Sensorlose Überwachung der Einzelteilfertigung, *WT Werkstatttechnik*, 111 (2021), Nr. 5, S. 305-308.

**Denkena, B., Krödel, A., Müller-Cramm, D.:** Einfluss der Prozessstellgrößen auf die Spannungenbearbeitung von PcBN-Schaftwerkzeugen Produktive Schleif-bearbeitung von PcBN, *WT Werkstatttechnik*, 111 (2021), Nr. 10, S. 740-744.

**Denkena, B., Breidenstein, B., Krödel, A., Bergmann, B., Picker, T., Wolters, P.:** Suitability of natural rocks as materials for cutting tools, *SN Applied Sciences* 2021

**Denkena, B., Krödel-Worbes, A., Keitel, M., Wolters, P.:** Influence of dressing strategy on tool wear and performance behavior in grinding of forming tools with toric grinding pins, *Production Engineering Research and Development (WGP)*, published online: 02 December 2021

**Breidenstein, B., Müller-Cramm, D., Vogel, N.:** Cutting inserts made of glass and glass ceramics, *SN Applied Sciences* 2021

**Denkena, B., Breidenstein, B., Ventura, Carlos, E.H., Magalhães, Frederico, Abrão, Alexandre M. (2021):** Performance evaluation of the edge preparation of tungsten carbide inserts applied to hard turning, *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, Published online 19th January 2021, 13 Seiten.

**Denkena, B., Schmidt, C., Kaczemirzk, M., Schwinn, M. (2021):** Influence of a Dynamic Consolidation Force on In Situ Consolidation Quality of Thermoplastic Composite Laminate, *Journal of Composites Science*, Vol. 5 (2021) 3, 12 Seiten.

**Bergmann, B., Reimer, S. (2021):** Online adaptation of milling parameters for a stable and productive process, *CIRP Annals - Manufacturing Technology*, Vol. 70 (2021), S. 341-344.

**Denkena, B., Krödel, A., Wilckens, M. (2021):** High performance peel grinding of steel shafts using coarse electroplated CBN grinding wheels, *Production Engineering Research and Development (WGP)*, published online: 31 March 2021, 8 Seiten.

**Denkena, B., Krödel, A., Relard, A. (2021):** Using tool wear to increase process stability when milling Al7075 and AISI 4140+QT, *Production Engineering Research and Development (WGP)*, published online: 13 May 2021, 11 Seiten.

**Denkena, B., Krödel, A., Mücke, A., Ellersiek, L. (2021):** Prediction of plastic surface defects for 5-axis ball end milling of Ti-6Al-4 V with

rounded cutting edges using a material removal simulation, *CIRP Annals - Manufacturing Technology*, Vol. 70 (2021), S. 91-94.

**Denkena, B., Krödel, A., Pape, O., Mücke, A., Ellersiek, L. (2021):** Identification of rake and flank face engagement parameters using a dexel-based material removal simulation with an oriented sweep volume, *CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology*, Vol. 35 (2021), S. 146-157.

**Denkena, B., Kuhlemann, P., Breidenstein, B., Keitel, M., Vogel, N. (2021):** Influence of Turn-Rolling on the Residual Stresses and Microstructure of C45E and the Effects on Fatigue Life under Cyclic Loading, *HTM, J. Heat Treatm. Mat.*, 76 (2021) 3, S. 195-204.

**Klauer, K., Eifler, M., Kirsch, B., Böß, V., Seewig, J., Aurich, J. C. (2021):** Analysis of dimensional accuracy for micro-milled areal material measures with kinematic simulation, *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, published online: 16 July 2021, 16 Seiten.

**Fricke, L.V., Gerstein, G., Breidenstein, B., Nguyen, H.N., Dittrich, M.-A., Maier, H.J., Zaremba, D. (2021):** Deformation-induced martensitic transformation in AISI304 by cryogenic machining, *Materials Letters*, Vol. 285 (2021), 4 Seiten.

**Denkena, B., Dittrich, M.-A., Stamm, S., Wichmann, M., Wilmsmeier, S. (2021):** Gentle processes in biologically inspired manufacturing, *CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology*, Vol. 32 (2021), S. 1-15.

**Denkena, B., Robak, S., Thiem, S. (2021):** Praxisbericht: Gestaltung einer Online-Lernplattform über die Digitalisierung in der Produktion unter Verwendung von OER-Bildungsmaterialien, *Journal of Technical Education (JOTED)*, 9 (2021) 1, S. 128-154.

**Denkena, B., Krödel, A., Heikebrügge, S., Meyer, K., Pillkahn, P. (2021):** Surface topography after deep rolling with milling kinematics, *Production Engineering Research and Development (WGP)*, Volume 15 (2021), Juni 2021, S. 587-593.

**Denkena, B., Breidenstein, B., Dittrich, M.-A., Nguyen, H. N., Fricke, L. V., Maier, H. J., Zaremba, D. (2021):** Effects on the deformation-induced martensitic transformation in AISI 304 in external longitudinal turning, *Advances in Industrial and Manufacturing Engineering*, Vol. 2 (2021), 8 Seiten.

**Denkena, B., Dittrich, M.-A., Fohlmeister, S. (2021):** Selbstoptimierende Reihenfolgebildung in der Fertigung - Selbstoptimierende Reihenfolgebildung in der Werkstattfertigung durch bestärkendes Lernen, *WT Werkstatttechnik*, 111 (2021), Nr. 4, S. 212-216.

**Denkena, B., Bergmann, B., Schmidt, A. (2021):** Preload monitoring of single nut ball

screws based on sensor fusion, *CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology*, Vol. 33 (2021), S. 63-70.

**Denkena, B., Schinkel, F., Pirnay, J., Wilmsmeier, S. (2021):** Quantum algorithms for process parallel flexible job shop scheduling, *CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology*, Vol. 33 (2021), S. 100-114.

**Denkena, B., Behrens, B.-A., Bergmann, B., Stonis, M., Kruse, J., Witt, M. (2021):** Potential of process information transfer along the process chain of hybrid components for process monitoring of the cutting process, *Production Engineering Research and Development (WGP)*, Volume 15 (2021) Nr. 2, April 2021, S. 199-209.

**Denkena, B., Bergmann, B., Schmidtman, J.-P. (2021):** Magnetführung in der Optikfertigung - Ein magnetgelagerter Linearaktor ermöglicht adaptive Prozesse in der Optikfertigung, *ZWF*, 116 (2021) 5, S. 279-283.

**Denkena, B., Bergmann, B., Witt, M. (2021):** Feeling Machine for Process Monitoring of Components with Stock Allowance, *Machines*, 9 (2021) 3, S. 1-11.

**Denkena, B., Schmidt, C., Werner, S., Schwittay, D. (2021):** Development of a Shape Replicating Draping Unit for Continuous Layup of Unidirectional Non-Crimp Fabrics on Complex Surface Geometries, *Journal of Composites Science*, Vol. 5 (2021) 4, 13 Seiten.

**Böß, V., Denkena, B., Dittrich, M.-A., Malek, T., Friebe, S. (2021):** Dixel-Based Simulation of Directed Energy Deposition Additive Manufacturing, *Journal of Manufacturing and Materials Processing*, Vol. 5 (2021) 1, S. 1-12.

**Denkena, B., Dittrich, M.-A., Nguyen, H. N., Bild, K. (2021):** Self-optimizing process planning of multi-step polishing processes, *Production Engineering Research and Development (WGP)*, Volume 15 (2021), Juni 2021, S. 563-571.

**Dittrich, M.-A., Fohlmeister, S. (2021):** A deep q-learning-based optimization of the inventory control in a linear process chain, *Production Engineering Research and Development (WGP)*, 15 (2021) 1, S. 35-43.

**Denkena, B., Bergmann, B., Kono, K., Ishiguro, R., Klemme, H. (2021):** CHARACTERIZATION OF HEAT CONDUCTIVITY OF EC-CENTRICALLY ROTATING HEAT PIPES USED FOR COOLING OF MOTOR SPINDLES, *MM Science Journal (Special Issue on IC-TIMT 2021)*, July 2021, S. 4698-4705.

#### Vorträge

**Heikebrügge, S. (2021):** Überlagerung von prozessinduzierten Eigenspannungen und mechanischen Lastspannungen, *Tagung vom DGM Fachausschuss Mechanische Oberflächenbehandlung*, online, 21.04.2021, 34 Seiten.

**Denkena, B., Bergmann, B., Kono, K., Ishiguro, R., Klemme, H. (2021):** Characterization of heat conductivity of eccentrically rotating heat pipes used for cooling of motor spindles, 2nd Int. Conference on Thermal Issues in Machine Tools, online, April 20, 2021, Prague, 16 Seiten.

**Graf, W., Wilmsmeier, S. (2021):** Quantum Technology in Flexible Job Shop Scheduling? A Field Report Using Digital Annealer, Bitkom Events: Quantum Summit 2021, online, 26.-27.05.2021, 18 Seiten.

**Klemme, H. (2021):** Topology optimization of highly stressed machine tool components using the SLM process, 21st international conference of the european society for precision engineering and nanotechnology (euspen's), Virtual Conference (online), 08.06.2021, Copenhagen, DK, 1 Seite.

**Dänekas, C., Schaumann, P., Heikebrügge, S., Breidenstein, B. (2021):** Improvement of the fatigue resistance of transverse butt welds by deep rolling, Wind Energy Science Conference, 25-28 May 2021, Hannover, Germany, 16 Seiten.

#### Konferenz (reviewed)

**Reemt, H., Schmidt, A., Koslowski, J., Bergmann, B., Denkena, B., Ostermann, J.:** Analysis of the impact of data compression on condition monitoring algorithms for ball screws, 18th CIRP Conference on Modeling of Machining Operations, Procedia CIRP 102 (2021), S. 270-275.

**Denkena, B., Bergmann, B., Becker, J., Stiehl, T. H.:** Time Series Search and Similarity Identification for Single Item Monitoring, WGP 2021, LNPE, B.-A. Behrens et al. (Eds.), S. 479-487.

**Carlet, M., Hoffmann, D.C., Kruppe, N.C., Brögelmann, T., Bobzin, K., Beblein, S., Krödel, A., Breidenstein, B.:** Qualification of PVD Coatings for Machining Using a Planing Test Setup, WGP 2021, LNPE, -A. Behrens et al. (Eds.), S. 301-309.

**Wolters, P., Picker, T., Breidenstein, B., Krödel, A., Denkena, B.:** Application of Natural Rocks in Cutting Aluminum, WGP 2021, LNPE, Eds. B.-A. Behrens, et al., S. 230-238.

**Denkena, B., Krödel, A., Ellersiek, L.:** Determination of the process damping coefficient using plain cutting tests, 9th CIRP Conference on High Performance Cutting (HPC 2020), Procedia CIRP 101 (2021), S. 302-305.

**Denkena, B., Wichmann, M., Dittrich, M.-A.:** Parametric grinding wheel model for material removal simulation of tool grinding processes, 18th CIRP Conference on Modeling of Machining Operations (2021), Procedia CIRP 102 (2021), S. 381-386.

**Denkena, B., Bergmann, B., Schreiber, P., Schmidt, A., Klaproth, M.:** Sensing linear roller guide carriages for condition monitoring appli-

cations, 21st Machining Innovations Conference for Aerospace Industry 2021 (MIC 2021), December 1st and 2nd 2021, Hannover, Germany, MIC Procedia (2021), S. 78-81.

**Denkena, B., Bergmann, B., Stiehl, T. H.:** Artificial Wear for the Assessment of Monitoring Performance, 54th CIRP Conference on Manufacturing Systems (2021), Procedia CIRP 104 (2021), S. 1023-1028.

**Denkena, B., Krödel, A., Matthies, J., Kettelmann, S., Rackel, M. W., Pyzcek, F.:** Recycled titanium chips as initial product for the atomisation process of powders for additive manufacturing to increase resource efficiency, 21st Machining Innovations Conference for Aerospace Industry 2021 (MIC 2021), December 1-2, 2021, Hannover, Germany, MIC Procedia (2021), S. 89-97.

**Denkena, B., Krödel, A., Ellersiek, L., Zender, F.:** Modelling of Process Forces for Complex Multiaxial Turning Processes, 16th International Conference on High Speed Machining, October 26-27, 2021, Darmstadt, Germany, MM Science Journal (2021), Special Issue | HSM 2021, DOI: 10.17973/MMSJ.2021\_11\_2021147, S. 5023-5029.

**Böb, V., Klauer, K., Altherr, N., Eifler, M., Kirsch, B., Seewig, J., Aurich, J. C.:** Kinematic simulation to investigate the influence of the cutting edge topography when ball end micro milling, 18th CIRP Conference on Modeling of Machining Operations (2021), Procedia CIRP 102 (2021), S. 109-114.

**Denkena, B., Dittrich, M.-A., Heide, K. M.:** Optimised process planning for re-contouring of repair-welded tool moulds by using a specific force model, 9th CIRP Conference on High Performance Cutting (HPC 2020), S. 46-49.

**Denkena, B., Dittrich, M.-A., Vibora Münch, G.:** Ontology based production planning under the consideration of system robustness, 54th CIRP Conference on Manufacturing Systems, Procedia CIRP 104 (2021), S. 547-552.

**Denkena, B., Dittrich, M.-A., Settnik, S. (2021):** Similarity-Based Process and Set-UP Time Estimation, Towards Sustainable Customization: Bridging Smart Products and Manufacturing Systems, Proceedings of the 8th Changeable, Agile, Reconfigurable and Virtual Production Conference (CARV 2021) and the 10th World Mass Customization & Personalization Conference (MCPC2021), October/November 2021, Aalborg, Denmark, S. 603-611.

**Denkena, B., Bergmann, B., Kiesner, J., Buhl, H. (2021):** Sensory zero-point clamping system for condition and process monitoring, 8th CIRP Global Web Conference on Flexible Mass Customisation, CIRPe 2020, Procedia CIRP 96 (2020), S. 359-364.

**Denkena, B., Dittrich, M.-A., Wilmsmeier, S., Settnik, S. J. (2021):** Modular sequence optimization with hybrid genetic algorithm, 8th CIRP Global Web Conference on Flexible Mass Cu-

stomisation, CIRPe 2020, Procedia CIRP 96 (2020), S. 51-56.

**Denkena, B., Krödel, A., Hess, U., Relard, A. (2021):** Performance increase by process parameter variation during turning of AISI 4140, 9th CIRP Conference on High Performance Cutting, Procedia CIRP, published online, 5 Seiten.

**Denkena, B., Bergmann, B., Kono, K., Ishiguro, R., Klemme, H. (2021):** Characterization of heat conductivity of eccentrically rotating heat pipes used for cooling of motor spindles, Proceedings of the 2nd International Conference on Thermal Issues in Machine Tools (ICTIMT 2021), April 20, 2021, Prague, S. 36-43.

**Denkena, B., Dittrich, M.-A., Kettelmann, S., Reuter, L. (2021):** Measures for Energy-Efficient Process Chains, 28th CIRP Conference on Life Cycle Engineering, Procedia CIRP 98 (2021), S. 288-293.

**Denkena, B., Dittrich, M.-A., Huuk, J. (2021):** Simulation-based surface roughness modelling in end milling, 14th CIRP Conference on Intelligent Computation in Manufacturing Engineering, CIRP ICME '20, Procedia CIRP 99 (2021), S. 151-156.

**Denkena, B., Bergmann, B., Klemme, H., Beyer, R.-E., Blunk, H. (2021):** Topology optimization of highly stressed machine tool components using the SLM process, Proceedings of the 21st international conference of the european society for precision engineering and nanotechnology (euspen's), June 7th - 10th June 2021, Virtual Conference, Copenhagen, DK, S. 499-502.

**Denkena, B., Bergmann, B., Ahlborn, P., Fuchs, J. (2021):** Design and optimization of a novel 2-DOF synchronous linear rotary drive, Proceedings of the 21st international conference of the european society for precision engineering and nanotechnology (euspen's), June 7th - 10th June 2021, Virtual Conference, Copenhagen, DK, S. XXX-XXX.

**Duarte, F.J., Magalhães, F.C., Abrão A.M., Denkena B., Breidenstein B., Meyer K., Maib, O. (2021):** OTIMIZAÇÃO DA TENSÃO RESIDUAL E DA RUGOSIDADE SUPERFICIAL DO AÇO AISI 52100 SUBMETIDO AO PROCESSO DE ROLETEAMENTO POR ESFERAS, 11º Congresso Brasileiro de Engenharia de Fabricação, 24 a 26 de maio de 2021, Curitiba, PR, Brasil, 10 Seiten.



Foto: Nico Niemeyer



Professor Hans Jürgen Maier, kommissarischer Institutsleiter



M. Sc. Folke Dencker, Oberingenieur

## Geschichte des Instituts

Seit Anfang der 2000er Jahre befasst sich das IMPT am Standort des PZH mit vielen Fragestellungen hinsichtlich der Anwendung und Fertigung von Mikrosystemen. Durch enge Kooperationen innerhalb der LUH und darüber hinaus konnten in den letzten Jahren drei Arbeitsgruppen etabliert werden. Innerhalb der Produktionstechnik beschäftigt sich die AG Industriennahe Sensorik mit der Integration von applikationsspezifischen Sensorsystemen auf Basis der Dünnschichttechnik zur Überwachung und Datenerfassung von produktionstechnischen Prozessen. Als Schnittstelle zwischen realer und digitaler Welt wird die Weiterentwicklung von Industrie 4.0 und übergeordneten Konzepten wie IoT (Internet of Things) ermöglicht. An zukünftigen Innovationssprüngen in der Biomedizintechnik, insbesondere der Implantologie, arbeitet die AG Magnetische und Biomedizinische Anwendungen. Im Rahmen von langfristigen Kooperationen mit der Medizinischen Hochschule Hannover (MHH) wird die Mikrotechnik für die Funktionalisierung und Miniaturisierung von bspw. Gehörhilfen für das Mittel- und Innenohr eingesetzt. Als weitreichende Schlüsseltechnologie des 21. Jahrhunderts versteht sich zudem die Quantentechnologie. In der gleichnamigen AG werden am IMPT mikro- und nanotechnologisch gefertigte Quantensensoren und optische Systeme, unter anderem für die Bereiche der Quantenmetrologie und der Geodäsie, erforscht und gefertigt. Der rasant wachsende Bedarf an quantenbasierten Systemen beflügelt sowohl die Grundlagenforschung als auch die

Miniaturisierung und Integration hin zu einem kommerziellen Produkt. Seit Januar 2021 ist das IMPT Mitglied des Quantum Valley Lower Saxony, dessen übergeordnetes Ziel in dem Aufbau eines Quantencomputers mit 50 Qubit besteht.

## Aus der Forschung

Das IMPT verfügt mit seiner breiten Technologieplattform über die Möglichkeit, verschiedenste wissenschaftliche Fragestellungen ganzheitlich zu betrachten und mit Hilfe der vorhandenen mikrosystemtechnischen Prozesskette umzusetzen. Die Basis für erfolgreiche Projekte ist die kontinuierliche Verbesserung der Prozessstabilität, kombiniert mit einem gesicherten Prozessverständnis. Zur Strukturherstellung können verschiedene Lithografie- und Ätzverfahren verwendet werden, sodass eine Vielzahl von Metallen, Gläsern, Halbleitern, Keramiken, flexiblen Werkstoffen und auch Kunststoffen für die Mikrosysteme verwendet werden können. Zur visuellen Darstellung der Mikrostrukturen nutzt das IMPT die klassischen Verfahren wie Rasterelektronen- und Rasterkraftmikroskopie, konfokale sowie optische Mikroskopie und Weißlichtinterferometrie. Zur Materialanalyse stehen sowohl FIB, XPS, EDX als auch weitere Analyseverfahren im Umfeld des PZH zur Verfügung, die einen Einblick in die Wechselwirkungen zwischen Herstellung und Nutzungsphase erlauben. Insbesondere für die Ermittlung mechanischer Größen auf der Mikro- und Nanoskala stehen ein Nanoindenter und ein Tribometer zur Verfügung. So werden bei Temperaturen bis zu

1.000 °C in Inert- bzw. Reaktivatmosphären mechanische Kontaktpaarungen untersucht. Die wachsende Bedeutung, Messwerte in unzugänglichen Bereichen oder in widrigen Umgebungen erfassen zu können, erfordert meist applikationsspezifische Integrationstechniken, an deren Umsetzung das IMPT arbeitet. Das Technologie-Know-how des IMPT umfasst daher die Dünnschichttechnik, Präzisions- und Oberflächenbearbeitung, Aufbau- und Verbindungstechnik sowie die Untersuchung der mechanischen Eigenschaften auf der Mikro- und Nanoskala. Rund um Fragestellungen entlang der Prozesskette verfügt das IMPT über die fertigungs- und messtechnische Ausstattung, um sowohl Mikrosystemtechnik für die Produktionstechnik als auch Prozessentwicklung zur Fertigung von Mikrosystemen durchzuführen. Hierfür betreibt das Institut einen ISO-5-Reinraum, der die wesentlichen Prozesse beheimatet.

### Mikro meets Biomedizintechnik

Im Hinblick auf die biomedizinische Forschung unterhält das Institut mehrere enge Kooperationen mit der Medizinischen Hochschule Hannover. Hierbei sind die adressierten Themen rund um das Thema Hören und die sicherheitsintegrierte Herstellung von Implantaten gelagert. Mit dem Verbundinstitut für Audioneurotechnologie und Nanomaterialien (VIANNA) werden so beispielsweise Lösungen zur ansteuerbaren Aktuierung des Cochlea-Implantats erarbeitet. Innerhalb des Sonderforschungsbereichs/Transregio 298 SIIRI wird der mikro-technologische Anlagenpark vielfältig genutzt. Einerseits zur Herstellung von Elektrodenträgern, mit deren Hilfe untersucht wird, inwiefern sich die Lage eines Cochlea-Implantats über Impedanzmessungen definieren lassen kann. Außerdem werden mikrofluidische Ansätze und magnetische Gedächtnismaterialien genutzt, um ein dentales Implantat pharmakologisch zu funktionalisieren. Die verschiedenen Beschichtungstechniken, die im Institut vielfach zur Verfügung stehen, werden darüber hinaus zur Optimierung von Implantatoberflächen genutzt. Das Ziel dieser Untersuchungen ist eine erleichterte Revision von Gelenkimplantaten. In weiteren Arbeiten mit dem VIANNA werden Konzepte für elektromagnetische Mittelohr-Aktoren untersucht, um den Stand der Technik zu erweitern und die funktionelle Spannbreite zu erhöhen. Dabei werden die nötigen Federelemente mikrotechnologisch hergestellt und die Aktoren mit den weiteren Komponenten des Aktors montiert. Die Federelemente bestehen aus einer Membran aus Polyimid und sind auf einen Rahmen aufgespannt, der die Verbindung zum Mantelgehäuse des Aktors gewährleistet. Für den Rahmen wurden zwei Ansätze verfolgt: zunächst eine subtraktive Herstellung aus dem Halbleitermaterial Silizium, die eine komplexe Prozessierung erfordert, und später ein

schichtweiser Aufbau aus einem weiteren fotolithografisch bearbeitbaren Polyimid. Das allgemeine Frequenzverhalten der Federelemente und des Aktors kann dank der vielseitigen Messmethoden grundlegend charakterisiert werden. Weitere Designoptimierungen werden in Iterationsschleifen umgesetzt, um das System bestmöglich auf die Anwendung im Mittelohr zuschneiden zu können.

### Innovative Sensorfertigungstechnologie meets Industrie

In dem von der Forschungsvereinigung für Stahlanwendungen (FOSTA) finanzierten Projekt „Tiefziehen mit integrierter induktiver Flanscheinzugsensorik“ wurde seit 2018 in Kooperation mit dem Institut für Umformtechnik und Umformmaschinen (IFUM) industrienah an der Konzeptionierung und Fertigung von Sensoren zur Verbesserung der Ziehteilqualität geforscht. Das innovative Konzept der Sensoren, die auf Basis einer Induktivitätsänderung arbeiten, soll zukünftig ein entscheidendes Element im Aufbau von serientauglichen In-Prozess-Regelungen bilden, mit Hilfe derer über eine Steuerung des Materialflusses auf variierende Prozessparameter reagiert werden kann. Im Rahmen des Projektes konnten die Sensoreigenschaften unter Nutzung eines breiten Materialspektrums und Variation von verschiedenen Umformparametern ermittelt und die grundsätzliche Serientauglichkeit nachgewiesen werden. Ausschussteile, die durch Variation der Niederhalterkräfte gezielt produziert wurden, ließen sich anhand der Messergebnisse des Sensors zuverlässig vom Gutteil unterscheiden. Um den nächsten Schritt von der Forschung in die Fertigung zu gehen, wird beginnend mit dem ersten Quartal 2022 im Rahmen des „Zentralen Innovationsprogramm Mittelstand (ZIM)“ die weitere Entwicklung der Tiefziehsensorik in einem Folgeprojekt zusammen mit zwei Partnern aus der Industrie fortgeführt. Vor allem die Frage nach der Standzeit der Sensoren sowie der Aufbau des Regelkreises bilden hier das Zentrum der Forschungsfrage. Letzteres beinhaltet ebenso die softwareseitige Implementierung der Signalauswertung wie auch die elektrotechnische Weiterverarbeitung der Daten. Dabei ist beispielsweise zu klären, wie in einem solchen sich selbst steuernden Regelkreis der Datentransfer vom Sensor zum Aktorsystem erfolgen soll.

Im Rahmen des DFG-Projekts „Kraftsensitive Führungssysteme auf Basis direktabgeschiedener bauteilindividueller Sensorik“ wird in Zusammenarbeit mit dem Institut für Fertigungstechnik und Werkzeugmaschinen (IFW) und den Industriepartnern Fooke und Bosch Rexroth an der Entwicklung neuartiger Sensorik für Werkzeugmaschinen geforscht.

In der modernen Produktionstechnik stellen in solchen Anlagen Kräfte eine wichtige Informationsquelle zur Prozess- und Zustandsüberwachung dar. So lassen sich mit einer Überwachung der auftretenden Prozesskräfte Werkzeugbrüche und Prozessfehler erkennen sowie Werkzeugabdrängung und Werkzeugverschleiß abschätzen. Am Beispiel einer Portalfräsmaschine kommen in diesem Projekt aufgrund der hohen Anforderungen an die notwendigen Sensoren neuartige direktabgeschiedene Dehnungsmessstreifen (DMS) zum Einsatz. Die Herstellung geschieht dabei direkt auf den hochsteifen Führungswagen, mit deren Hilfe das Fräswerkzeug in allen drei Raumrichtungen auf Linearprofilsschienen bewegt wird. Dabei entstehen besonders dünne und sensitive Sensoren, die die Kräfte und Momente hochgenau aufnehmen können. Durch unterschiedliche Methoden zur Simulation der optimalen Sensorpositionen und Sensorausrichtungen sowie eine intelligente Sensordatenfusion wird das volle Potenzial der Technologie ausgeschöpft. Der Einsatz der im Vergleich zu kommerziellen Sensoren deutlich dünneren DMS ermöglicht hierbei den Einsatz an bisher unzugänglichen Messstellen. Die Anpassung des Sensorlayouts an den individuellen Anwendungsfall und die von einem Reinraum losgelöste Fertigung sind weitere Vorteile, die diese Technologie attraktiv für Industriefertigungen macht.

In einem von der Deutschen Forschungsgemeinschaft geförderten Projekt wird am IMPT an der Verbesserung des Silberverbindungsinterns zur Montage von leistungselektronischen Bauelementen geforscht. Das zusammen mit dem Institut für Dynamik und Schwingungen (IDS) bearbeitete Projekt hat zum Ziel, das Silberverbindungsintern derart zu optimieren, dass ein flächendeckender industrieller Einsatz des Fügeverfahrens möglich ist. Ansätze des Forschungsprojektes zur Verbesserung der Prozessparameter sind die Verwendung von niedrigschmelzenden Legierungselementen sowie der Einsatz von Ultraschall. Damit soll der Prozess des Ultrasonic Transient Liquid Phase Sintering (ULTPS) etabliert werden. Die Schwerpunkte des IMPT bestehen in der Entwicklung niedrigschmelzender Sinterpasten, der Charakterisierung und Analyse der Sinterverbindungen sowie der Prozessüberwachung mit Hilfe eines am IMPT gefertigten Sensors.

### Startup MIP Technology

Durch den SFB 653 „Gentelligente Bauteile im Lebenszyklus“ ist aus dem IMPT das Startup MIP Technology GmbH hervorgegangen. Mit der „Magnetischen Informationsplattform (MIP)“ werden die Forschungsarbeiten zur magnetischen Datenspeicherung auf Bauteilebene in die industrielle Applikation überführt.

Das MIP-System besteht aus einem magnetischen Schreib-, einem magnetischen Lesekopf und einem Magnetband als Spei-

chermedium – ähnlich dem Magnetstreifen in der Kreditkarte. Genau wie RFID-Chips ist das Magnetband wiederbeschreibbar und maschinenlesbar. Gleichzeitig ist es günstiger herzustellen, schwieriger zu fälschen, besser integrierbar und thermisch bis 200 °C belastbar, ohne dass der ID-Träger seine Funktion einbüßt. Einsetzen lässt sich die MIP ID beispielsweise als Informationsträger in Werkzeugen zur Optimierung der Produktionsplanung und der Produktionsabläufe.

### Exzellenzcluster PhoenixD

In Zusammenarbeit mit dem Exzellenzcluster PhoenixD entwickelt und fertigt das IMPT eine kunststoffbasierte spritzgossene optische Plattform, die als Träger für passive und aktive optische Komponenten dient. Diese Plattform wird am IMPT aus dem laser-direktstrukturierbaren (LDS) Material Polyetheretherketon (PEEK) gefertigt, welches eine hohe chemische und thermische Beständigkeit aufweist, um anschließend Beschichtungsprozesse, Lithografie und Lötprozesse durchführen zu können. Für die Strukturierung der optischen Plattform werden am Institut Formeinsätze mittels Fotolithografie und Galvanik auf Stahlsubstraten gefertigt. Diese Formeinsätze können Lichtwellenleiter, Koppelstrukturen oder ähnliche passive optische Komponenten abbilden. Mittels Elektronenstrahlolithografie können Strukturen bis in den dreistelligen Nanometerbereich auf den Formeinsätzen erzeugt werden.

Die Arbeiten an diesem Projekt konnten auch im Jahr 2021 erfolgreich weitergeführt werden. Auf der Grundlage der ersten realisierten Demonstrator-Aufbauten wurde das Design der Formeinsätze angepasst und optimiert, sodass weitere Demonstrator-Systeme lichtführender Wellenleiter, gefügter ungehauster Bauteile sowie Gitterstrukturen erfolgreich gefertigt werden konnten. Die Ergebnisse dieses Forschungsprojektes wurden 2020 in zwei internationalen Konferenzbeiträgen vorgestellt. Die erfolgreiche Zusammenarbeit mit der Arbeitsgruppe am ITA wird wie auch im Jahr 2022 weitergeführt werden.

### GaN4AP

Das Projekt GaN for Advanced Power (GaN4AP) ist ein internationales Kooperationsprojekt, das durch die EU-Initiative ECSEL gefördert wird und sich mit der Entwicklung von Spannungswandlersystemen auf Basis von Galliumnitridtransistoren befasst. Neben dem IMPT sind weitere Partner aus Deutschland, Italien, Tschechien und Frankreich involviert. Die Motivation der europäischen Forschungsgemeinschaft, gemeinschaftlich tätig zu werden, ist der weltweite Anstieg an Hybrid- und Elektroautos und der damit einhergehende Forschungsbedarf zur Erhöhung der Systemeffizienz. Vor allem in der Ladetechnik wird Hochleistungselektronik benötigt, um trotz hoher Spannungen und Strömen über 100 Ampere kompakte Platinen zu entwickeln.

Aufgrund seiner Eigenschaften ermöglicht das Halbleitermaterial Galliumnitrid den Aufbau von Transistoren, die im Vergleich zu Silizium mit höheren Schaltfrequenzen und deutlich höheren Spannungen betrieben werden können und dabei geringere Verluste aufweisen. Das IMPT ist am Projekt mit der Herstellung von Transformatoren und Induktivitäten in Planartechnik beteiligt, die aufgrund ihrer neuartigen Bauweise dabei helfen, den geringen Platz auf der Platine besser zu nutzen. Diese sind zum Ansteuern der Transistoren durch die galvanische Entkopplung des Steuersignals essenziell. Zum Aufbau der Transformatoren werden zwei Ansätze verfolgt: Ein Ansatz basiert auf der Integration des Bauteils direkt in die Leiterplatte, ein anderer nutzt sogenannte Molded Interconnect Devices (MIDs). Dabei werden die weichmagnetischen Kerne in eine Kunststoffmatrix eingebettet und das so entstandene Gehäuse mit Hilfe von Laser- und Beschichtungstechnologie funktionalisiert.

### Mechanische Mikrobearbeitung und -montage

Zur Herstellung mikroelektronischer mechanischer Systeme (MEMS) ist es erforderlich, typische Materialien wie Silizium, Aluminiumoxid oder Siliziumoxid zu strukturieren. In diesem Bereich verfügt das IMPT über mehr als 20 Jahre Erfahrung, um den hohen geometrischen Anforderungen an mikroskalige Strukturen durch spanende, z. B. Trennschleifen, oder chemisch-mechanische Bearbeitung gerecht zu werden.

Das Trennschleifen ist ein verbreitetes mechanisches Verfahren zur Vereinzelung von im Batch-Prozess gefertigten Silizium-Wafern zu einzelnen Chips, kann darüber hinaus aber auch zur hochpräzisen Strukturierung von Silizium angewendet werden. Am IMPT werden aktuell so pyramidenförmige Feldemissionsquellen mit einer Grundfläche von  $200 \times 200 \mu\text{m}^2$  gefertigt. Die Spitzen gängiger Silizium-Feld-Emitter werden üblicherweise mittels nasschemischem Ätzen hergestellt, sind deutlich kleiner (wenige  $\mu\text{m}$ ) und besitzen einen Spitzenradius von wenigen Nanometern. Eine an diesem kleinen Radius erzeugte Hochspannung führt zu einer großen elektrischen Feldstärke, wodurch wiederum Elektronen aus dem Material freigesetzt werden können. Die am IMPT hergestellten Emitter hingegen besitzen durch die bei der mechanischen Bearbeitung auftretenden Materialabsplitterungen am einkristallinen Silizium eine Vielzahl unendlich scharfer Kanten. Dadurch soll nicht nur eine Verringerung der notwendigen Emissionsspannung, sondern auch eine erhöhte Lebensdauer erreicht werden.

Aktuell wird am IMPT an Mikrowerkzeugen geforscht. Ein Projekt bezieht sich dabei auf die Herstellung von Mikroschleifstiften in Kombination mit der gezielten elektrochemischen Oxidation der Bauteiloberfläche zur Optimierung der mechanischen Präzisionsbearbeitung. Die Mikroschleifstifte

zeigen dabei bereits eine Verbesserung der Oberflächengüte bei einem Einsatz an reinen Kupfer-Werkstücken. Auch an Kupferoxiden, die chemisch und physikalisch hergestellt wurden, ist eine Verbesserung der Oberflächengüte zu erkennen, die über die, die bei reinen Kupferwerkstücken auftritt, hinausgeht. Das elektrochemische Verfahren ermöglicht es zudem, Kupferoxidschichten herzustellen und zu charakterisieren, dieses Verfahren soll nun in die Werkzeugmaschine integriert werden, wodurch die elektrochemische Oxidation des Kupfers und die mechanische Bearbeitung als iterativer Prozess durchgeführt werden können. Dafür wird eine elektrochemische Zelle hergestellt, die die Handhabung der Chemikalien und des Stroms innerhalb der Werkzeugmaschine ermöglicht. Das zweite Projekt beschäftigt sich mit der Entwicklung von Mikrofräswerkzeugen. Die Herstellung erfolgt mittels Trockenätzverfahren und als Fräsermaterial wird Siliziumcarbid verwendet. Dadurch lassen sich mehrere Tausend Fräsköpfe gleichzeitig per Batchprozess fertigen, die anschließend per Fügeprozess auf einen Werkzeugschaft gefügt werden. Für den Fügeprozess werden verschiedene chemische und mechanische Oberflächenvorbehandlungen evaluiert, die zu einer besseren Haftung führen sollen. Hier zeigen sich besonders die mechanischen Bearbeitungen als vielversprechend. Als Fügemedium erweisen sich Klebstoffe als zielführend für eine schnelle und feste Fügung zwischen Fräskopf und Werkzeugschaft. Die Platzierung der Fräsköpfe erfolgt durch eine Pick-and-place-Maschine, mit der höchste Genauigkeiten bei der Ausrichtung im einstelligen Mikrometerbereich erreicht werden. Im Anschluss soll der gesamte Prozess dann mit dem Projektpartner auf einen industriellen Maßstab erweitert werden.

### Mikrotribologie

Im Teilprojekt C03 des SFB 1368 „Sauerstofffreie Produktion“ erforscht das IMPT unter dem Titel „Werkzeugverschleißschutz“, inwiefern sich die Verschleißmechanismen bei sauerstofffreien Produktionsprozessen der Zerspan- und Umformtechnik von denen in Normalatmosphäre unterscheiden, um Verschleißschutzschichten hoher Standzeiten für die sauerstofffreie Produktion zu entwickeln. Die Verwendung von silandotiertem Schutzgas ermöglicht es, durch die Reaktion des Silans mit dem im Schutzgas enthaltenen Restsauerstoff bei Umgebungsdruck Sauerstoffpartialdrücke von weniger als 10–23 bar (XHV-adäquat) zu erreichen. Im Fokus der Untersuchungen steht der Erkenntnisgewinn in Bezug auf die Wirkmechanismen von Schichtsystemen, die bisher aufgrund ihres hohen oxidativen Verschleißes für den Einsatz in Werkzeugen nicht in Betracht kamen. Hierfür werden Mechanismen für Materialsysteme auf Carbid- und Nitridbasis (SiC, DLC u. w.) unter XHV-adäquater Atmosphäre betrachtet. Entfallen z. B. native Oxidschichten durch den Wegfall des Sauerstoffs in der Atmosphäre, ist mit einer Veränderung der maßgeblichen Verschleißursachen zu rechnen. Größere Bedeutung als an Nor-

malatmosphäre wird u. a. den Effekten von Diffusion und Adhäsion zukommen, die üblicherweise durch oberflächliche inerte Oxide unterbunden werden. Ebenfalls werden veränderte lokale Legierungsbildungen erwartet, die durch Ausbleiben der Oxidation andere chemische Reaktionen an den neuen Grenzflächen bewirken. Die Ziele dieses Projektes sind sowohl die Identifikation und Charakterisierung von Verschleißmechanismen in silandotierter Atmosphäre, um ein grundlegendes Verständnis mikrotribologischer Phänomene durch die Untersuchung der tatsächlichen mikro- bzw. nanoskopischen Wechselwirkungen im Kontaktbereich zwischen zwei Oberflächen zu generieren, als auch eine gezielte Erforschung und Auslegung tribologischer Systeme.

### Mikrosysteme aus Glas

Im Rahmen der Zusammenarbeit mit LPKF Vittron hat das IMPT Prototypen von Drucksensoren aus mikrostrukturierten monolithischen Glaswafern entwickelt und hergestellt. Glas ist eine exzellente Alternative zu Silizium, um diverse Mikrosysteme herzustellen. Glas ist transparent, isolierend und hat eine geringe Wärmeleitfähigkeit. Vor der Entwicklung der LIDE-Technologie (Laser Induced Deep Etching) war der Einsatz von Glassubstraten jedoch nur begrenzt möglich. Mit Hilfe dieses Verfahrens können die Substrate geschnitten und gebohrt werden, und es lassen sich empfindliche Strukturen wie Membranen herstellen. Als erstes glasbasiertes Mikrosystem wurden Dehnungsmessstreifen-basierte Drucksensorprototypen hergestellt, die eine Reihe von platinbasierten DMS-Strukturen enthalten, die zu einer Wheatstone-Brücke kombiniert sind. Die Prototypen zeigten ein lineares Verhalten im getesteten Druckbereich und weisen eine hohe Empfindlichkeit auf. Es wurde gezeigt, dass Glas dank der LIDE-Mikrobearbeitungstechnologie eine hervorragende Alternative zu Silizium als Substrat und mechanisches Material für viele Arten von Mikrosystemen darstellt. Darüber hinaus halten die mikrostrukturierten Glaseigenschaften der angewandten mechanischen Belastung in hohem Maße stand, da der Prozess beschädigte Glasbereiche eliminiert und Spannungs-

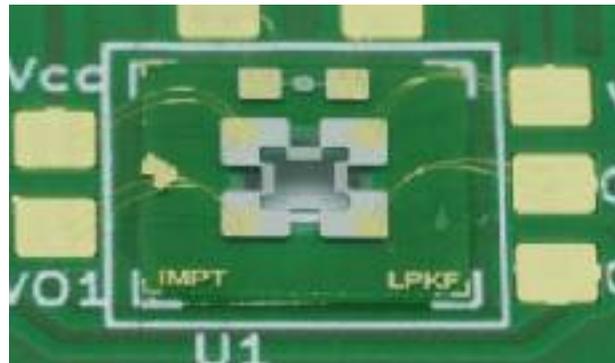


Glasmembran: LIDE-Verfahren, Membrandicke 9µm. Belastbarkeit über 1 bar Druckdifferenz. Foto: IMPT

konzentrationen innerhalb des Mikrosystems reduziert. Die Arbeit wurde auf der IEEE 71th Electronic Components and Technology Conference 2021 als Best Session Paper ausgezeichnet.

### Quantentechnologie

Der Einsatz von mikrotechnologisch realisierten Atomfallen im Bereich der Gravimetrie ermöglicht neben hochpräzisen Messungen auch Quanten-Tests des freien Falles. Die LUH nimmt bei der Entwicklung dieser höchst relevanten Technologie eine führende Stellung ein. In enger Kooperation mit den Projektpartnern ist das IMPT im Rahmen der Projekte „Kompakte Atomchiptechnologie für den Einsatz unter Schwerelosigkeit (KACTUS II)“ und „QCHIP – Quantenchips“ maßgeblich an der Entwicklung und Fertigung von neuartigen Atom-Chips beteiligt. Diese zeichnen sich unter anderem durch einen beidseitig strukturierten Atom-Chip aus, welcher den bisherigen Aufbau aus je einem einzelnen Science- und Base-Chip ersetzt. Durch die Reduzierung auf einen Chip kommt der mechanischen Stabilität aufgrund der geringen Systemhöhe eine besondere Bedeutung zu. In Kombination mit einer magneto-optischen Falle (MOT), welche mittels einer diffraktiven Optik im Sub-Mikrometer-Bereich lediglich eine Laseranordnung zum Betreiben des Systems benötigt, kann die Nutzlast und die Komplexität des Gesamtsystems erheblich reduziert werden. Dies ermöglicht die geplante Anwendung dieser Technologie im Bereich der Weltraumforschung durch den Einsatz in Forschungsraketen und Satelliten. Die Expertise des IMPT ermöglicht die Weiterentwicklung zur Verwendung der Atomchiptechnologie mit anderer atomarer Spezies. Mit der Verminderung der Laserwellenlänge kann die Energiedichte und Effizienz einer solchen Gitter-magneto-optischen Falle erhöht werden. Dies wirkt sich unmittelbar auf die Periodizität des Gitters mit kleineren Strukturen aus, was sich in kleineren Linienbreiten äußert. Als Mitglied des Exzellenzclusters „Quantum Frontiers“, dessen Ziel die Entwicklung von neuen Messkonzepten und Sensortopologien ist, konzentriert sich das IMPT schwer-



Ein Prototyp eines Drucksensors mit Glasmembranen funktioniert im Druckbereich von  $\pm 50$  kPa. Foto: IMPT

punktmäßig auf die Atominterferometrie. Der Fokus liegt hierbei auf der Erweiterung des Funktionsumfangs zur Analyse während des Betriebs und der Miniaturisierung der benötigten Vakuumpumpen auf NEG-Basis.

### Quantum Valley Lower Saxony

Seit 2021 ist das IMPT Teil des exzellenten Forschungsnetzwerks Quantum Valley Lower Saxony mit Zugang zu einzigartiger Infrastruktur des gesamten Konsortiums. Das übergeordnete Ziel des QVLS besteht in dem Aufbau eines Quantencomputers mit 50 Qubit. Das Team ist sowohl national als auch international hervorragend vernetzt und nimmt (neben QVLS-Q1) an wichtigen Kollaborationen, einschließlich des Exzellenzcluster „QuantumFrontiers“, teil. Das IMPT ist Teil mehrerer Teams. In QVLS T2.4 befassen wir uns aufbauend auf unserer Expertise im Bereich der Atomchip-Fertigung mit der Entwicklung und dem Aufbau eines Atomchips mit der Möglichkeit, ein Glasgehäuse auf der Oberfläche des Atomchips aufzubringen und diesen zu kapseln. In diesem Zuge evaluieren wir die Füge-techniken hinsichtlich der Hermetizität. In einer neuartigen Implementierung dieser Atomchips mit einer Gitter-basierten magneto-optischen Falle soll ferner die Integration eines optischen Gitters in die Atomchip-Oberfläche erfolgen. In QVLS T3.1 entwickeln wir Prozesse und Methoden, um einen Ionenfallen-Chip mitsamt den dazugehörigen Quantenkontrollkomponenten (CMOS-Elektronikchip, aktiver photonischer Chip, passiver optischer Interposer) zu verbinden. Das schließt alle Verbindungen zur Außenwelt (Kabel, Fasern) mit ein. Diese Ionenfallen-Packaging-Lösung wird auf Techniken der 3D-Hybridintegration basieren, um das Stapeln und Bonden von Dies aus Keramik-, Glas- und Siliziumsubstraten auf Waferebene zu ermöglichen. In QVLS T3.3 befassen wir uns im Zuge der Miniaturisierung des Vakuumsystems und der für den Betrieb des Quantensensors notwendigen Peripherie mit der Evaluierung des Fügens von Glas auf Titan sowie des Fügens von Komponenten unter UHV-Bedingungen (themo-kompressiv und anodisch). Ferner sind wir an der Entwicklung einer Pump-technik beteiligt, die zunächst auf Basis von nicht verdampfenden Gettermaterialien (NEG) ausgeführt werden soll. Weiterhin entwickeln und charakterisieren wir eine Plattform für chip-basierte Atomquellen für die Nutzung in Quantensensoren.

### QGyro+

In dem Forschungsprojekt QGyro+ sollen hochgenaue Quanteninertialsensoren zur Stützung konventioneller Inertialnavigationssensoren entwickelt und getestet werden, die für eine autonome Navigation eingesetzt werden können. Das zentrale Ziel des Vorhabens ist es, einen Sechsen-Achsen-Quanteninertialnavigationssensor zu entwickeln. Mit diesem Gerät sollen drifffreie und hochgenaue Quanten-

inertialsensoren erstmals für den Einsatz in der autonomen Navigation getestet werden, um den Weg zu neuen Anwendungsfeldern zu eröffnen. Dieser Sensor soll im Projektverlauf als kompakte Experimentalplattform aufgebaut und eingesetzt werden (QINS-Experimentalplattform). Das IMPT ist verantwortlich für den Transfer von Atomchip-technologie und Spiegelreferenzflächen vom Demonstrator hin zum Prototypen, für die Durchführung von Optimierungen und Anpassungen, für die Miniaturisierung des Vakuumsystems hin zur UHV-Mikroammer, für die Miniaturisierung der Vakuumperipherie (Pumpen, Sensoren etc.) sowie für die Entwicklung und Optimierung von Packaging und Fügeverfahren.

### InnoVaQ - Innovative Vakuumtechnologie für Quantensensoren

Bei dem Forschungsvorhaben InnoVaQ werden drei Technologien entwickelt, die es gemeinsam erlauben, einen hochkompakten Ultrahochvakuum-Aufbau für einen auf Strontium-Atomen basierenden Quantensensor zu realisieren. Die zunehmende Miniaturisierung im Bereich der Quantensensorik führt langfristig nicht nur zu einer Verkleinerung des Gehäuses, sondern bedingt auch eine Vakuumperipherie in der entsprechenden Größenordnung. Da Messgeräte mit einer Kapazität bis hinunter zu UHV vergleichbare oder weitaus größere Innenvolumina als die geplanten miniaturisierten UHV-Kammern selbst aufweisen, muss neben einer Pumptechnik auch eine entsprechende Druckmessvorrichtung entwickelt werden. Der in diesem Vorhaben anvisierte Druckbereich liegt im Ultrahochvakuum (UVH) bei 10<sup>-8</sup> bis 10<sup>-11</sup> mbar. Da ein einstufiges Pumpen von Atmosphärendruck bis ins UHV nicht möglich ist, wird eine entsprechende Kombination von Vor-pumpen und Hochvakuumpumpen benötigt. Nach Erreichen des Zieldrucks soll die in diesem Vorhaben entwickelte miniaturisierte Vakuumpumpe in der Lage sein, den Druck aufrechtzuerhalten und zu messen. Geplant ist an dieser Stelle ein kombiniertes Gerät, das von dem Funktionsprinzip her einer Ionengetterpumpe ähnelt. Als Kernkomponente dient ein magnetfreier Feldemitter-Ansatz, der die Messungen des Quantensystems nicht beeinflusst.

20 wissenschaftliche Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter  
 7 nichtwissenschaftliche Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter  
 25 studentische Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter  
 3 Auszubildende  
 1 FWJ-ler/in

# IMPT 2021

Institut für Mikroproduktionstechnik

## Leitung

Prof. Dr.-Ing. Professor Hans Jürgen Maier  
(kommisarisich)  
M. Sc. Folke Dencker (Oberingenieur)

## Lehre

10 Masterarbeiten, 1 Studienarbeiten und  
8 Bachelorarbeiten

## Aktuelle Forschung

### Arbeitsgruppe Biomedizinische und Magnetische Applikationen

Energieersparnis durch Einsatz multipler autarker Regelsensorik (ENDEMAR)  
Verbrauchsreduzierung durch neuartige wartungsfreie Sensoren in Gebäuden und Quartieren durch intelligenten Energiefluss (BMW)

Gallium Nitride for Advanced Power (GaN4AP):

Entwicklung von Hochleistungstransformatoren auf Galliumnitridbasis zur Leistungssteigerung in der Hochleistungselektronik (ECSEL EU)

Magnetic Measurement Advances (MagMA):  
Entwicklung möglicher zerstörungsfreier, prozessintegrierbarer Messmethoden und -einrichtungen zur Bestimmung magnetischen Eigenschaften und der Qualität von abgeschiedenen magnetischen Dünnschichten (Industrieprojekt mit GlobalFoundries)

SFB/TRR 298 Sicherheitsintegrierte und infekti-  
onsreaktive Implantate (SIIRI):

Teilprojekt A06: Herstellung von mikrotechno-  
logisch gefertigten Elektrodrägern zur Un-  
tersuchung des Impedanz Verhaltens von Coch-  
lea Implantaten abhängig von der räumlichen  
Lage (DFG)

Teilprojekt B04: Entwicklung einer mikrofluidi-  
schen, implantatintegrierten, kontaktlos aktu-  
ierbaren Lösung zur Freisetzung von Pharma-  
zeutika an der Grenzfläche eines dentalen  
Implantats (DFG)

### Arbeitsgruppe Industrienahe Sensorik

Ultraschall-Silbersintern:

Untersuchung der Wirkmechanismen beim ul-  
traschallunterstützten einkomponentigen und  
mehrkomponentigen Silberverbindungsintern  
zur Montage von leistungselektronischen Bau-  
elementen (DFG)

SFB 1368 Sauerstofffreie Produktion:

Teilprojekt C03: Untersuchung tribologischer  
Systeme für Werkzeugbeschichtungen in inerter  
Atmosphäre (SFB1368 / DFG)

Transferprojekt T14 SFB 653 Gentelligente Bau-  
teile im Lebenszyklus

Entwicklung und Herstellung von direktabge-  
schiedener Sensorik auf Baugruppen einer  
Bohrlochgarnitur (DFG)

Wedge-Wedge:

Grundlegende Untersuchung der  
Mechanismen des Ultraschall-Wedge-  
Wedge-Bondens durch Änderung der  
Topographie (DFG)

SPP2305 Integrierte Sensorik

für intelligente Großwälzlager (IsiG):  
Sensorintegrierende Maschinenelemente als  
Wegbereiter flächendeckender Digitalisierung  
(DFG)

MicroMill:

Entwicklung eines mehrstufigen Mikrofräasers  
mit bis zu 50 µm Durchmesser aus Silizium-  
karbid für die spanende Präzisionsbearbei-  
tung sowie Entwicklung eines parallelisierten  
Herstellungsverfahrens auf Basis des  
Trockenätzens (ZIM)

Tiefziehsensorik:

Entwicklung eines robusten induktiven Mi-  
krosensors zur präzisen Positionsermittlung  
von Platinen beim Tiefziehen mit dem Ziel  
die Qualität um Komplexität des Bauteils mit-  
tels einer intelligenten Regelung zu erhöhen  
(ZIM)

ForceSense:

Kraftsensitive Führungssysteme auf Basis di-  
rektabgeschiedener bauteilindividueller Sen-  
sorik (Transferprojekt DFG)

### Arbeitsgruppe Quantentechnologie

Exzellenzcluster PhoenixD:

Mikrotechnische Plattform für neuartige  
optische Komponenten (DFG)

QGYro+:

Entwicklung einer kompakten Experimental-  
plattform eines gyro-stabilisierten Quantenna-  
vigationssensors (DLR)

Quantum Valley Lower Saxony (QVLS)

T2.4 Multi-functional chips for atom interfero-  
metry

T3.1 Hybrid integration process development

T3.3 Advanced vacuum technology

(Land Niedersachsen)

Exzellenzcluster QuantumFrontiers

TG 1 Tragbare Quantengeräte

und ihre Anwendungen

TG 2: Quantum- & Nano-Engineering

für die Interferometrie

(DFG)

QChip:

Erweiterung der Atomchiptechnologie mittels  
Oberflächen-Nanostrukturierung zu Quanten  
Chips (Q-Chips) im Rahmen der DLR-Kompo-  
nenteninitiative (DLR)

Kaktus II:

Kompakte Atomchiptechnologie  
für den Einsatz unter Schwerelosigkeit -  
Teilprojekt: Fertigung und Weiterentwicklung  
kompakter und neuartiger Atom-Chips  
(DLR)

## Veröffentlichungen (Auszug)

### Beiträge in Büchern (reviewed)

M. Prediger, M. C. Wurz: Physical Sensors: Ma-  
gnetic Sensors. Reference Modul in Biomedical  
Sciences. Elsevier, DOI: [https://doi.org/10.1016/  
B978-0-12-822548-6.00054-6](https://doi.org/10.1016/B978-0-12-822548-6.00054-6), 2021

### Beiträge in Zeitschriften

M. Rechel: Magnetische Identifikation im  
industriellen Umfeld. Phi – Produktionstechnik  
Hannover informiert. Februar 2021

A. Kassner: Forscher aus Hannover entwickeln  
miniaturisierte Quantengravimeter. Phi – Pro-  
duktionstechnik Hannover informiert. Februar  
2021

L. Steinhoff: Entwicklung eines piezoelektroni-  
schen Aluminiumnitrid-Dünnsfilms. Phi – Pro-  
duktionstechnik Hannover informiert, Juli 2021

S. Raugel, R. Ottermann: Zeigt euren MuT:  
Mädchen und Technik ist wieder da! Phi –  
Produktionstechnik Hannover informiert,  
August 2021

B. Denkena, B. Bergmann, M. Klaproth, R.  
Ottermann, F. Dencker, M. C. Wurz:  
Direktabgeschiedene DMS-Sensorik – Neuarti-  
ger Ansatz zur Kraftmessung an Führungswa-  
gen. Werkzeugmaschinen werden intelligent,  
VDI – Z, 2021

### Journal reviewed

S. Raugel, K. Barianti, F. Dencker, F.  
Nürnberg, M. C. Wurz: Einfluss von Silan-  
dotierten Umgebungsatmosphären auf die  
tribologischen Eigenschaften von Titan.  
Tribologie und Schmierungstechnik, 68.  
Jahrgang, 1/2021, S. 5–13, 2021

J. Twiefel, A. Glukhovskoy, S. de Wall, M. C.  
Wurz, M. Sehlmeier, M. Hitzemann, S.  
Zimmermann: Towards a Highly Sensitive  
Piezoelectric Nano-Mass detection – A Model-  
Based Concept Study. MDPI Sensors, [https://  
doi.org/10.3390/s21072533](https://doi.org/10.3390/s21072533), 2021

### Konferenz (reviewed)

A. Glukhovskoy, M. Prediger, J. Schäfer, N.  
Ambrosius, A. Vogt, R. Santos, R. Ostholt, M.  
C. Wurz: Proof of Concept: Glass-Membrane  
Based Differential Pressure Sensor. IEEE 71st  
Electronic Components and Technology Confe-  
rence (ECTC), DOI: 10.1109.ECT-  
C32696.2021.00248, pp. 1563-1570, 2021

R. Ottermann, D. Klaas, F. Dencker, D. Hohei-  
sel, S. Jung, A. Wienke, J. F. Düsing, J. Koch,  
M. C. Wurz: Directly Deposited Thin-Film  
Strain Gauges on Curved Metallic Surfaces. IE-  
EE Sensors 2021

S. de Wall, S. Bengsch, E. C. Fischer, F.  
Dencker, M. C. Wurz: Anisotropic Magneto-  
Resistive Effect based Sensor using Daisy Chain

on Polymer Ether Ketone Substrate. IEEE Sensors 2021

**Konferenz**

**R. Ottermann, D. Klaas, F. Dencker, M. C. Wurz:** Direktabgeschiedene Dünnsensoren mithilfe einer neuartigen Beschichtungsanlage. 27. NDVaK-Kolloquium, Dresden, Deutschland, 2021

**S. de Wall, A. Kassner, F. Dencker, C. Künzler, L. Diekmann, M. C. Wurz:** Mikrotechnologische Fertigung von integrierten Gittern mittels Lift-Off-Prozess für den Einsatz von Atominterferometern. MikroSystemTechnik Kongress 2021, (MST2021), Stuttgart-Ludwigsburg, Deutschland, 2021

**R. Ottermann, D. Klaas, F. Dencker, D. Hoheisel, P. Rottengatter, T. Kruspe, S. Jung, M. C. Wurz:** Direktabgeschiedene Dünnsensoren für erhöhte Temperaturen. MikroSystemTechnik Kongress 2021, (MST2021), Stuttgart-Ludwigsburg, Deutschland, 2021

**M. Arndt, Y. Long, F. Dencker, J. Twiefel, M. C. Wurz:** Simulationsgestützte Auslegung und Fertigung von piezoelektrischen Kraftsensoren zur Untersuchung des Ultraschall-Drahtbondprozesses. MikroSystemTechnik Kongress 2021, (MST2021), Stuttgart-Ludwigsburg, Deutschland, 2021

**R. G. Basten, A. M. Zawacka, S. Bengsch, M. S. Prediger, M. C. Wurz:** Folienübertragung von Dünnsensoren auf Metalloberflächen mithilfe von Sol-Gelen, Self-Assembling Monolayers und Wasserglas. Film transfer from thin-films to metal surfaces using sol-gels, self-assembling monolayers and water glass. MikroSystemTechnik Kongress 2021, (MST2021), Stuttgart-Ludwigsburg, Deutschland, VDE Verlag GmbH, ISBN 978-3-8007-5656-8, S. 27–30, 2021

**A. Glukhovskoy, E. Müller, M. S. Prediger, H. Maier, M. C. Wurz:** Entwicklung einer Polyimidmembran für elektromagnetische Innenrohr-Aktoren. Development of a Polyimid Membrane for Electromagnetic Middle-Ear Actuators. MikroSystemTechnik Kongress 2021, (MST2021), Stuttgart-Ludwigsburg, Deutschland, VDE Verlag GmbH, ISBN 978-3-8007-5656-8, S. 186–189, 2021

**E. C. Fischer, T. N. Bierwirth, F. Dencker, M. C. Wurz:** Herstellung eines planaren Transformators mit niedrigem Profil mittels Doppel-Leiterplatten-Ansatz. Fabrication of a Low Profile Planar Transformer Using a Dual PCB Approach. MikroSystemTechnik Kongress 2021, (MST2021), Stuttgart-Ludwigsburg, Deutschland, VDE Verlag GmbH, ISBN 978-3-8007-5656-8, S. 483–486, 2021

**M. S. Prediger, E. Müller, S. Bengsch, M. C. Wurz:** Kombination von additiver und dünnfilm-technischer Fertigung zur Herstellung ei-

nes Drucksensors für biomedizinische Anwendungen. Combination of Additive and Thin-Film Technological Manufacturing for the Realization of a Pressure Sensor for Biomedical Applications. MikroSystemTechnik Kongress 2021, (MST2021), Stuttgart-Ludwigsburg, Deutschland, VDE Verlag GmbH, ISBN 978-3-8007-5656-8, S. 578–581, 2021

**S. Raugel, F. Dencker, M. C. Wurz:** Investigation of tribologically relevant surface layers formed on non-ferrous metals in oxygen-free conditions. European Symposium on Friction, Wear and Wear Protection, Friction 21, 2021

**S. Haderl, H. Seefisch, R. Ottermann, Y. Long, F. Dencker, M. C. Wurz, J. Twiefel:** Investigations on Silver Sintering using an Ultrasonic Transient Liquid Phase Sintering Process. IEEE 23rd Electronics Packaging Technology Conference (EPTC), pp. 288-291, 2021

**Wesentliche Neuanschaffungen**

**Focused Ion Beam System**  
(Zeiss, Neon 40 EsB)  
Laserlithografieanlage (Heidelberg, DWL 66+)  
3D-Metalldrucker (OCM, BOLDSERIES)



Oben: Neues Heidelberg DWL 66+ Laser Lithografiesystem ausgestattet mit Hochauflösungsmo-  
dul zur Herstellung von z.B. optischen Gittern  
mit Submikrometer-Strukturgrößen als zukünftige  
Bestandteile quantenoptischer Mikrosysteme.  
Links: Makro- und Mikroskopische Aufnahme ei-  
nes solchen Gitters.



Professor Hans-Josef Endres, Institutsleiter

## Geschichte des Instituts

Beim IKK - Institut für Kunststoff- und Kreislauftechnik handelt es sich um das jüngste PZH-Institut am Campus Maschinenbau. Das IKK hat als völlig neu gegründetes Institut seine Aufbauphase im September 2019 aufgenommen. Nach mittlerweile gut zwei Jahren sind die zugehörigen baulichen Maßnahmen überwiegend abgeschlossen und das IKK ist in allen vier Bereichen in das operative Geschäft gestartet:

1. Kunststofftechnik und Recycling
2. Kunststoffanalyse
3. Materialprüfung
4. Nachhaltigkeitsbewertung

Am IKK beschäftigen sich die WissenschaftlerInnen mit der Entwicklung von nachhaltigen und kreislauffähigen Polymerwerkstoffen sowie der zugehörigen Prozesstechnologie, der Kunststoffherstellung und -verarbeitung, der Materialprüfung und Kunststoffanalytik sowie der Nachhaltigkeitsbewertung von Werkstoffen, Bauteilen, Prozessen und End-of-Life-Szenarien. Das IKK ergänzt mit seiner Kunststoffkompetenz das fachliche Profil des PZH.

Im zurückliegenden Kalenderjahr wurden 8 Drittmittelanträge und 4 Industrieprojekte des IKK bewilligt.

## Aus der Forschung

Kunststoffe prägen unseren Alltag und sind maßgeblich für den technischen Fortschritt der letzten Jahrzehnte verantwortlich. Ihre Erfolgsgeschichte begann vor mehr als 100 Jahren damit, dass es gelungen war, aus kurzlebigen natürlichen Roh-

stoffen langlebige Werkstoffe zu machen. Seitdem hat die Kunststoffbranche einen unglaublich fantastischen Job gemacht. Heute sind alle Bereiche des alltäglichen Lebens wie medizinische Versorgung, Hausbau, Sport und Mobilität ohne Kunststoffe ebenso undenkbar wie zukünftige Megatrends, beispielsweise der Leichtbau, die E-Mobilität, die Digitalisierung, die additive Fertigung oder die Bioökonomie. Kunststoffe ermöglichen unseren heutigen Wohlstand.

Die sehr erfolgreiche Kunststoffindustrie basiert jedoch bisher in vielen Bereichen auf einem Modell der Linearwirtschaft. Vielfach werden die hochwertigen und langlebigen Polymerwerkstoffe auch für kurzlebige, minderwertige, ökologisch unsinnige Produkte eingesetzt, ohne dass es dabei werterhaltende Kreislaufkonzepte gibt. Dabei wurden und werden vorrangig die Gebrauchs- und Verarbeitungseigenschaften der Polymerwerkstoffe oder der daraus hergestellten Produkte optimiert, ungeachtet der „End-of-Life Situation“.

Uns wird zunehmend bewusst, dass die vielen vorteilhaften Eigenschaften in der Verarbeitungs- und Gebrauchsphase gleichzeitig mit einigen Herausforderungen bei der Wiederverwertung von Kunststoffen verbunden sind. Parallel zur Erfolgsgeschichte der Kunststoffe werden der Einsatz petrobasierter Rohstoffe als Polymerfeedstock und die Persistenz der Kunststoffe bei nicht sachgemäßer Entsorgung zunehmend zu einem ökologischen Problem, was sich beispielsweise auch an der stetig wachsenden Marine-Litter-Problematik zeigt. So, wie für Glas, Metall oder Papier ist auch im Kunststoffbereich die konsequentere Einführung einer Kreislaufwirtschaft notwendig. Die Recyclingfähigkeit von kurz- und langlebigen Pro-

dukten muss zukünftig genauso zur Material- und Produktperformance gehören, wie die Verarbeitungs- und Gebrauchseigenschaften. Die gewinnmaximierte Produktvariante ist in den seltensten Fällen deckungsgleich mit der nachhaltigsten Lösung, da wir die Herstellung von Kunststoffbauteilen von der Verantwortlichkeit für deren Wiederverwertung entkoppelt haben. Wenn die Kreislauffähigkeit als weiteres Qualitätsmerkmal beim Produktdesign konsequent mit einfließt, werden wir zukünftig andere Materialkonzepte und Produktlösungen entwickeln.

Dieser Ansatz stellt in Analogie zu organischen Kreisläufen der natürlichen Polymere wie Cellulose, Chitin oder Naturlatex ein technisch regeneratives System dar, bei dem die Kunststoffabfälle, oder genauer gesagt, der darin enthaltene petrobasierte Kohlenstoff, welche nach der Produktion (Post-Production) sowie nach der Nutzungsdauer der Produkte (Post-Consumer) entstehen, möglichst effektiv wiederverwertet und weiter genutzt werden können. Die wirtschaftliche und ökologische Basis für ein kreislauffähiges Design (Design for Circularity) sind Produkte und Materialien, bei denen bereits bei der Entwicklung und dem Design auch die spätere Recyclingfähigkeit konsequent mitberücksichtigt wird (Design for Recycling) und gleichzeitig ebenso ein Material- und Produktdesign erfolgt, das den Wiedereinsatz der erzeugten Rezyklate erlaubt (Design for Recyclates). Dies erfordert auf technischer Seite die zuverlässige Bereitstellung hochwertiger und standardisierter Rezyklatqualitäten sowie die Weiterentwicklung der Kunststoff-Recyclingtechnologien. Dazu müssen

- ▶ die Strategien zur effektiveren Verwertung von Kunststoffen und Verbundwerkstoffen insbesondere im Hinblick auf deren chemische Zusammensetzung,
- ▶ die mechanischen, thermischen, rheologischen, optischen und olfaktorischen Eigenschaften der Rezyklate sowie
- ▶ ökologische und sozioökonomische Faktoren der zugehörigen Prozesse weiterentwickelt werden.

Hier setzen die Forschungsarbeiten des IKK an.

Als besonderes Weihnachtsgeschenk ging noch vor dem Fest 2021 am IKK der Bewilligungsbescheid für das Vorhaben „Mehrskalige Analyse aquatischer Abbaumechanismen von Polymerwerkstoffen“ ein. Die finanzielle Unterstützung wird durch Mittel des Europäischen Fonds für regionale Entwicklung (EFRE) als Teil der Reaktion der Union auf die COVID-19-Pandemie finanziert. Mit dieser Förderung wurden Mittel für Investitionen zur technischen Ausstattung genehmigt, die für die Untersuchungen der marinen Abbaubarkeit von Kunststoffen maßgeblich sind.

Im Rahmen des Projektes soll ein mehrskaliges, flexibles Prüflabor zur Untersuchung



der aquatischen Abbaubarkeit von Polymerwerkstoffen ent-

stehen. Dazu werden neben klassischen Laborversuchen Mikro- und Mesokosmen aufgebaut, die in der Lage sind, kontrolliert die natürlichen Bedingungen aquatischer Ökosysteme nachzubilden. Durch diesen mehrskaligen Aufbau kann der Einfluss von Probeneigenschaften (u. a. Kunststoffart, Additiv, Produktart) und Umgebungsbedingungen (u. a. Temperatur, Lichteinstrahlung, pH-Wert, Sedimentbewegung, Mikrobiologie) auf das Abbauverhalten und die zugrundeliegenden Abbaumechanismen untersucht werden. Die detaillierte Analyse der Abbauvorgänge wird auf chemischer und morphologischer Ebene erfolgen und auch die Abbauprodukte im wässrigen System erfassen.

Mit den flexiblen Möglichkeiten zur kontrollierten, realitätsnahen Nachbildung von Umgebungsbedingungen aquatischer Systeme, verbunden mit fortschrittlichen Analyse-Methoden, wird erstmalig die Basis für eine umfassende systematische Erforschung der Abbaumechanismen von Polymerwerkstoffen gelegt. Die Ergebnisse dienen u. a. dazu, angepasste bzw. neuartige Polymerwerkstoffe zu entwickeln, die für Anwendungen mit nicht zu vermeidendem Eintrag in die Umwelt vorteilhafte Abbaueigenschaften aufweisen.

Ein weiteres Projekt, das am IKK durchgeführt wird, unterstützt die Wirtschaftsförderung der Region Hannover. Das Ziel ist die Entwicklung eines Konzeptes für den möglichen Aufbau eines „Norddeutschen Kunststoffkompetenz-Centers (NKC)“. Dabei werden bestehende deutsche Kunststoffzentren im Hinblick auf deren Geschäftsstruktur und die im Norden bereits vorhandenen Strukturen und Einrichtungen ausgewertet. Zudem werden aktuelle Fragestellungen, Forschungs-, Ausbildungsaktivitäten, Zukunftsthemen und insbesondere Erwartungen seitens Industrie, Hochschulen, außeruniversitären Forschung, Aus- und Weiterbildungseinrichtungen, Verbänden usw. an das geplante Kunststoffkompetenz-Center ermittelt. Darauf aufbauend werden mögliche Standort- sowie Geschäfts- bzw. Finanzierungsmodelle für ein Norddeutsches Kunststoffkompetenz-Center entwickelt. Im Frühjahr 2022 wurde das Konzept fertiggestellt.

Im April 2021 startete das vom BMEL geförderte Vorhaben „Analyse zum Rohstoff-, Technologie- und Nachhaltigkeitspotenzial biobasierter Kunststoffe 2020 und 2030 für Deutschland“ mit einer dreijährigen Laufzeit. In dem Vorhaben mit dem Akronym „BK-Markt“ untersucht das IKK den deutschen Markt biobasierter Kunststoffe, um auszuloten, welche nachwachsenden Rohstoffe und biobasierten Zwischenprodukte zukünftig verfügbar sein werden und wie geschlossene Stoffströme für nachwachsende Rohstoffe maximiert und auf nationaler Ebene nachhaltig realisierbar sind.

Seit Oktober läuft die neunmonatige Konzeptphase zu KuRT - "Ressourceneffiziente Kreislaufwirtschaft – Kunststoffrecyclingtechnologien" im Rahmen des Projektes ReWerk - Ganz-

heitliche Recycling-Wertschöpfungsketten. Das Projekt wird durch das BMBF gefördert und hat zum Ziel, trotz der konsequenten Weiterentwicklung der Recyclingbranche niedrige Niveau beim Kunststoffrecycling im Hinblick auf Quoten und Qualitäten zu verbessern.

Im Rahmen der Richtlinie „Zentrales Innovationsprogramm Mittelstand“, kurz ZIM-Richtlinie, arbeiten die Konstruktionsbüro Hein GmbH, das IfW – Institut für Fertigungstechnik und Werkzeugmaschinen und das IKK gemeinsam an der Entwicklung einer Kühlkanalstruktur, die zukünftig für effizientere Werkzeuge und für eine genauere sowie schnellere Prozessführung im Spritzgießbereich sorgen soll. Das zweijährige Projekt trägt den Titel „Strukturierung der Temperierkanäle von Spritzgießwerkzeugen zur Erzeugung beständig wirkender, turbulenter Strömungen mit verbessertem Wärmeübergang“ (TurbuStruk).

Ein weiterer Schwerpunkt des IKK im Bereich des Kunststoffrecyclings stellt die Normierungsarbeit dar. Unter der Konsortialführung des Instituts wurde in den vergangenen zwölf Monaten der Entwurf zur DIN SPEC 91446, Klassifizierung von Kunststoff-Rezyklaten durch Datenqualitätslevels für die Verwendung und den (internetbasierten) Handel erarbeitet. Initiiert wurde die DIN SPEC von der cirplus GmbH. Der Status Quo der Normung im Bereich der Circular Economy weist Lücken auf, die geschlossen werden sollen. So sind in Normen und Standards bislang keine Anforderungen an Kunststoffrezyklate zur Herstellung neuer Produkte definiert. Ist diese Definition gelungen, könnte das zu einer stärkeren Nutzung von Rezyklaten führen, für die auf der einen Seite zunehmend politische Vorgaben für Rezyklatquoten im Kunststoffbereich erlassen werden, ohne dass jedoch auf der anderen Seite der Begriff „Rezyklat“, die zulässigen Inputströme und Recyclingtechnologien, die Qualitätsangaben für Rezyklate oder auch die Berechnung der Quote geregelt sind.

Das IKK leitet zudem im Rahmen des Normierungsprozesses ein großes Teilvorhaben zur Erstellung einer Normungsroadmap im Bereich der Circular Economy von Kunststoffen sowie verschiedene DIN-Arbeitskreise und lädt interessierte Fachleute zur Mitarbeit ein. Anmeldungen sind möglich unter: <https://din.one/site/cieco>

Bei der Analyse im Rahmen des Projekts „Kriechverhaltens von Kunststoffen“ prüfte das IKK in Kooperation mit einem Unternehmen der kunststoffverarbeitenden Industrie das Kriechverhalten der eingesetzten Werkstoffe unter thermischer Belastung. Die Herausforderung bestand dabei darin, das Prüfverfahren an die spezifische Bauteilgeometrie des Kunden und die für die Einsatzbedingungen typischen Belastungsarten anzupassen. Laufzeit des Vorhabens war von Januar bis Juli 2021. Ergebnisse können beim Projektkoordinator Dr. Florian Bittner erfragt werden: [bittner@ikk.uni-hannover.de](mailto:bittner@ikk.uni-hannover.de)

In 2021 ging das IKK gemeinsam mit der Region Hannover und dem Schaumstoffverarbeiter Firma Kretschmar der Fragestellung nach, wie sich bisher nicht recycelbare Kunststoffschäumstoffreste effektiv in die Kreislaufwirtschaft integrieren lassen, um die Industrieproduktion effizient und weiterhin ökologischer zu gestalten. Rückfragen an Dr. Madina Shamsuyeva: [shamsuyeva@ikk.uni-hannover.de](mailto:shamsuyeva@ikk.uni-hannover.de)

Im September 2021 startete ein zweijähriges Projekt mit der Sartorius AG, in dem das IKK untersucht, inwieweit es möglich ist, die in den verschiedensten biopharmazeutischen Applikationen eingesetzten Filtersysteme des Industriepartners wieder aufzubereiten. Die Herausforderung des Projektes liegt darin, herauszufinden, ob und wie die unterschiedlichen Konstruktionsmaterialien und -polymere der Filtersysteme voneinander zu trennen sind, um sie in den Produktionskreislauf zurückzuführen.

In dem Industrieprojekt „Recycling von Multilayer-Kunststofffolien“ werden Verfahren erforscht, die eine neue und effektive Technologie zur Wiederverwertung eben solcher Werkstoffe ermöglichen. Dazu werden die Multilayer-Folien in mehreren Schritten gewaschen, zerkleinert und mittels einer umfangreichen materiellen und polymerchemischen Analytik untersucht. Zusätzlich kommen die Verfahrenstechniken der Kaltvermahlung und Extrusion zum Einsatz, um einer neuen Recyclingmethode zur Erzeugung hochwertiger Rezyklate einen Schritt näher zu kommen. In den nächsten Schritten werden die werkstofflich recycelten Mischkunststoffe für den zukünftigen Einsatz in diversen technischen Anwendungen anforderungsspezifisch optimiert.

Im Rahmen von angelaufenen Industriekooperationen werden mit der KraussMaffei GmbH, ARBURG GmbH + Co KG, EREMA GesmbH, der Maag Gruppe, Linde AG und Zwick-Roell GmbH & Co. KG sowie weiteren Industriepartnern gemeinsame Forschungsaktivitäten im Bereich der produkt- und kunststoffspezifischen Vorbehandlungs- und Aufreinigungsprozesse und Optimierung der Rezyklatperformance durchgeführt. Dem IKK werden dazu auch industrieseitig neueste Recyclingtechnologien als Dauerleihgabe zur Verfügung gestellt. Diese sind mit umfassenden Modulen zur Online- und Inline-Analytik ausgerüstet. Dadurch ist eine Überwachung, Steuerung und Optimierung der resultierenden Rezyklatqualität, wie beispielsweise Viskosität, Feuchtegehalt, chemische Zusammensetzung oder Kontaminationen der Kunststoffschmelzen sowie Geruchsemissionen und Farbsteuerung, bereits direkt während des Recyclingverfahrens möglich.

- 12 *wissenschaftliche Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter*
- 4 *nichtwissenschaftliche Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter*
- 5 *studentische Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter*

## IKK 2021 Institut für Kunststoff- und Kreislauftechnik

### Leitung

Prof. Dr.-Ing. Hans-Josef Endres

### Lehre

14 Masterarbeiten, 6 Studienarbeiten  
1 Bachelorarbeit

### Aktuelle Forschung

Mehrskalige Analyse aquatischer Abbaumechanismen von Polymerwerkstoffen, Europäischer Fonds für regionale Entwicklung (EFRE) als Teil der Reaktion der Union auf die COVID-19-Pandemie finanziert

Norddeutsches Kunststoffkompetenz-Center, WfG Region Hannover

Analyse zum Rohstoff-, Technologie- und Nachhaltigkeitspotenzial biobasierter Kunststoffe 2020 und 2030 für Deutschland, BMEL

Ganzheitliche Recycling-Wertschöpfungsketten, BMBF

Strukturierung der Temperierkanäle von Spritzgießwerkzeugen zur Erzeugung beständig wirkender, turbulenter Strömungen mit verbessertem Wärmeübergang, ZIM

Normierungsarbeit im Bereich des Kunststoffrecyclings, BMUV

Kriechverhalten von Kunststoffen, Industrie

Kunststoffschaumstoffreste für die Kreislaufwirtschaft, Region Hannover u. Industrie

Recyclingfähigkeit von Hochleistungs-Flüssigkeitsfiltern aus Kunststoff, Industrie

Recycling von Multilayer-Kunststofffolien, Industrie

### Veröffentlichungen (Auszug)

#### Zeitschriften/Aufsätze reviewed:

**B. Kötter, J. Endres, J. Körbelin, F. Bittner, H.-J. Endres, B. Fiedler (2021):** Fatigue and fatigue after impact behaviour of Thin- and Thick-Ply composites observed by computed tomography, Composites Part C: Open Access, 5, 100139  
DOI: 10.1016/j.jcomc.2021.100139

**E. Blikra Ve, S. Fabri, S. Spierling, M. Owsianiak (2021):** Inclusion of multiple climate tipping as a new impact category in life cycle assessment of polyhydroxyalkanoate (PHA)-based plastics, Science of The Total Environment  
DOI: 10.1016/j.scitotenv.2021.147544

**J. Körbelin, P. Goralski, B. Kötter, F. Bittner, H.-J. Endres, B. Fiedler (2021):** Damage tolerance and notch sensitivity of bio-inspired thin-ply Bouligand structures, Composites Part C: Open Access, 5, 100146  
DOI: 10.1016/j.jcomc.2021.100146

**L. Pollok, S. Spierling, H.-J. Endres, U. Grote (2021):** Social Life Cycle Assessments: A Review on Past Development, Advances and Methodological Challenges, Sustainability, 13(18):10286  
DOI: 10.3390/su131810286

**L. Veltmaat, H.-J. Endres, F. Bittner (2021):** Bewertungsmethodik kommerziell erhältlicher Homogenisierungs-Software für die optimierte

Simulation des mechanischen Verhaltens kurzfaserverstärkter Kunststoffe, Zeitschrift Kunststofftechnik / Journal of Plastics Technology 17, 3, 129–151 Weitere Informationen  
DOI: 10.3139/O999.0103201

**M. Shamsuyeva, H.-J. Endres (2021):** Plastics in the context of the circular economy and sustainable plastics recycling: Comprehensive review on research development, standardization and market, Composites Part C: open access, Vol. 6

#### Beiträge in Büchern (reviewed)

**H.-J. Endres (2021):** Biodegradable Plastics: End of Life Scenarios, Plastics in the Aquatic Environment - Part I. The Handbook of Environmental Chemistry, vol 111. Springer, Cham., 66-109  
DOI: 10.1007/978-3-030-84117-1  
ISBN: 978-3-030-84117-1

#### Beiträge in Zeitschriften/Aufsätze

**F. Bittner, H.-J. Endres (2021):** Determining fiber orientation with computed tomography, phi-Magazin Weitere Informationen

**F. Bittner, H.-J. Endres (2021):** Faserorientierungen verlässlich mittels CT bestimmen, phi-Magazin Weitere Informationen

**F. Bittner, H.-J. Endres (2021):** Schonen biobasierte Kunststoffe das Ökosystem Meer?, Technologie-Informationen 1+2 | 2021

**L. Veltmaat, H.-J. Endres, F. Bittner (2021):** Einfluss von Abweichungen der zugrundeliegenden Faserorientierungen auf die Struktursimulation von kurzfaserverstärkten Kunststoffen, NAFEMS Magazin 2021, 3/2021, S. 56-63



Inbetriebnahme der neuen INTAREMA 906TE Regranulieranlage . Foto: IKK

**Endres, H.-J.; Spierling, S.; Venkatachalam, V.:** Kunststoffe und Nachhaltigkeit: Ein Widerspruch? In: Unimagazin 1/2 (2021), S. 40-41  
DOI: 10.15488/11484

### Vorträge

**H.-J. Endres, M. Shamsuyeva (15.03.2021):** Definitionen, Standards und Verfahren für das Kunststoffrecycling, Berliner Recycling- und Sekundärrohstoff Konferenz

**H.-J. Endres (05. Mai. 2021):** Kunststoffkreisläufe mit anerkannten Standards schließen, DIN-Ausschuss Normenpraxis, ANP

**H.-J. Endres (10.05.2021):** SDG, Ökobilanzierung und CO<sub>2</sub>-Fußabdruck – Instrumente zur Nachhaltigkeitsbewertung, VDMA Arbeitsgruppe Hybride Leichtbau Technologie

**H.-J. Endres (18.05.2021):** SDG, Ökobilanzierung und CO<sub>2</sub>-Fußabdruck – Instrumente zur Nachhaltigkeitsbewertung, ZWT Diepholz

**H.-J. Endres (25.05.2021):** Standards für das Kunststoff-Recycling, IG KURIS

**H.-J. Endres (17.-18.06.2021):** Nachhaltigkeitskonzepte für zukunftsweisende Polymerwerkstoffe, 24. Internationales Dresdner Leichtbausymposium

**H.-J. Endres (09.-10.09.2021):** Die Ökobilanzierung zur Bewertung von Nachhaltigkeit, GKV/TecPart Jahrestagung

**H.-J. Endres (06.10.2021):** Kreislaufführung von Kunststoffen, PIUS Tagung Umwelt Campus Birkenfeld

**H.-J. Endres (11.11.2021):** Kunststoffe - Fluch oder Segen? Bewertung von Nachhaltigkeit, November der Wissenschaft, Leibniz-Fachhochschule Hannover

**J. Lecinski, H.-J. Endres (19.11.2021):** Overview of materials tested for degradation in marine environment, SFI Dsolve Workshop on Degradation of plastics used for marine applications

**H.-J. Endres (30.11.2021):** Das Plastikdilemma: Kunststoffe und Nachhaltigkeit – ein Widerspruch?, Veranstaltungsreihe „Herrenhausen Late“ der VolkswagenStiftung,

### Konferenz (reviewed)

**R. Andini, M. I. Sulaiman, Martunis, A. H. Umam, M. Olivia, H.-J. Endres (2021):** Biopolymer nanocomposites: their mechanical, thermal, and gas barrier properties for food packaging. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, Volume 667  
DOI: 10.1088/1755-1315/667/1/012067

### Wesentliche Neuanschaffungen

EdelWeiss-Compound Technology der KraussMaffei Extrusion GmbH zur Entwicklung und Adaptierung von hochwertigen Recyclingprozessen bei komplexeren Input-Strömen, Produktspezifische Rezepturenentwicklung und Prozessoptimierung.

Cryo-Rasterelektronenmikroskop JSM-IT510-LA der JEOL (Germany) GmbH zur hochauflösenden mikroskopischen Darstellung von Proben bei Raumtemperatur und für temperatur-sensitive Proben im Tieftemperaturbereich.

Cryo Cross-Section Polisher (IB-19520CCP) der JEOL (Germany) GmbH zur artefaktarmen Herstellung von Probenquerschnitten für mikroskopische Untersuchungen.

Sputter Coater JFC-1300 der JEOL (Germany) GmbH zur leitfähigen Beschichtung von Proben für rasterelektronenmikroskopische Untersuchungen

Oxitop-System der Xylem Analytics Germany Sales GmbH & Co. KG zur Analyse der Bioabbaubarkeit von Kunststoffen unter aeroben/anaeroben Bedingungen

Siebanalysemaschine des Herstellers Retsch GmbH zur Separation von Feststoffen nach ihrer Korngröße mittels Nass- oder Trockensiebung

INTAREMA 906TE Regranulieranlage der EREMA Engineering Recycling Maschinen und Anlagen GmbH zur Entwicklung neuer Kreislaufösungen für Kunststoffe. (Bild Erema\_Inbetriebn., zu sehen sind von links nach rechts: S. Baranowski, D. Iliev (beide vom IKK) und M. Henzl (Erema)

DCIM (Direct Compounding Injection Molding) der KraussMaffei Group GmbH zur optimalen Entwicklung von Rezyklat-Rezepturen. (Bilder DCIM-Inbetriebnahme oder/und Lieferung DCIM)



DCIM (Direct Compounding Injection Molding) der KraussMaffei Group GmbH zur optimalen Entwicklung von Rezyklat-Rezepturen. Foto: IKK



Professor Ludger Overmeyer, Institutsleiter

## Geschichte des Instituts

Mit der Neubesetzung der Professur im Jahr 2001 ist aus dem Institut für Fördertechnik das Institut für Transport- und Automatisierungstechnik hervorgegangen. Das Institut für Fördertechnik hatte zuvor nahezu ein Jahrhundert lang das Bewegen, Fördern und Transportieren von Gütern erforscht.

## Aus der Forschung

**TRANSPORTTECHNIK** / Wer Gurtförderanlagen betreibt und sichergehen will, dass die Fördergurte auch über viele Kilometer und im ununterbrochenen Einsatz halten, wird nur geprüfte und zertifizierte Fördergurte verwenden. Und mit einiger Wahrscheinlichkeit sind deren Fördergurtverbindungen am ITA geprüft worden. Denn die entsprechende DIN-Norm 22110-3, die weltweit anerkannt ist, wurde am ITA mitentwickelt, und das ITA ist die einzige universitäre und damit unabhängige Einrichtung weltweit, die nach dieser Norm prüft. Fördergurtmuster aus aller Welt, beispielsweise für Erzminen in Südamerika oder für Bergbaugebiete in Asien, werden hier auf ihre Zeitfestigkeit geprüft. Mit großen Umlaufprüfständen haben die Mitarbeiter in den vergangenen 35 Jahren auch Fördergurte mit höchster Festigkeit geprüft. Gurtverbindungen stellen die Schwachstelle aller Fördergurte dar. Aus diesem Grund sind zwei Entwicklungsziele für Stahlseilgurtverbindungen erkennbar: Zum einen soll die Verbindungsfestigkeit der Stahlseilfördergurte gesteigert werden. Zum anderen soll der Aufwand für die Herstellung der Verbindungen ohne Einbußen bei der Verbindungsfestigkeit gesenkt werden. In jedem Fall

ist die genaue Auslegung der Gurtverbindungen Voraussetzung für den sicheren Betrieb der gesamten Förderanlage. Seit Dezember 2009 steht der weltweit größte Umlaufprüfstand nun hier an der Leibniz Universität Hannover. Die Gesamtkraft, die er für die Tests aufwenden kann, ist mehr als dreimal so groß wie bisher: 3.500.000 Newton. Neben dem Betrieb der Umlaufprüfstände arbeiten die Mitarbeiter dieses Bereichs unter anderem auch daran, Fördergurtverbindungen simulativ abbilden zu können oder diese im automatisierten Prozess mittels Wasserstrahlschneiden vorzubereiten. Darüber hinaus werden fördertechnische Anlagen in höherem Maße automatisiert und neue Kommunikationstechniken integriert. Weitere aktuelle Themen sind die Entwicklung neuer Berechnungsansätze für die Dimensionierung von Schlauchgurtanlagen, eine Machbarkeitsanalyse für das Recycling von Fördergurten im Pyrolyseprozess und das Integrieren von Zwischenantrieben in immer längeren Förderbandanlagen mittels antreibenden Tragrollen.

**AUTOMATISIERUNGSTECHNIK** / Die Mitarbeiter dieses Bereichs beschäftigen sich mit der anwendungsspezifischen Auslegung, prototypischen Umsetzung und Integration einer Vielzahl an Sensor- und Identifikationstechnologien wie etwa drahtloser Sensoren auf Basis der RFID-Technologie und (3D-) Bildverarbeitung für die Anwendung in produktions-, abbautechnischen sowie logistischen Abläufen. In Verbindung mit angepasster Software zur Messdatenauswertung und Visualisierung entwickeln sie neue Steuerungskonzepte und Komponenten für wandlungsfähige fördertechnische Systeme als wichtiger Bestandteil der Industrie 4.0. Das ITA erforscht, welche steuerungstechnischen Konzepte zum

Betrieb und der gezielten Optimierung von neuartigen Gurtförder-systemen auf Basis von direkt angetriebenen Tragrollen geeignet sind. Hierbei stehen neben der antriebstechnischen Betrachtung auch die Auswirkungen auf eine Gesamtanlage im Fokus.

Im Rahmen des Projekts Elastomer 3D soll ein neuartiges Verfahren zur additiven Fertigung von Kautschukbauteilen mittels einer formgebenden Kontur aus Thermoplast entwickelt werden.

Im Projekt Ultrabest wird derzeit am Institut für Transport- und Automatisierungstechnik (ITA) eine neuartige Bestückungstechnologie für das Übertragen von ungehäuten elektronischen Komponenten in Zusammenarbeit mit einem Forschungskonsortium erforscht. Dieses besteht aus der Mühlbauer GmbH & Co. KG, dem Laser Zentrum Hannover e.V. (LZH), der Precitec Optronik GmbH und der Vision Components GmbH. Mit der Bestückungstechnologie soll der Schritt zur optisch induzierten Bestückung erfolgen.

Im Rahmen des Programms „mit uns digital!“ werden interessierten Unternehmen aus dem norddeutschen Raum Methoden und Technologien für eine Logistik der Industrie 4.0 und die Einsatzmöglichkeiten von RFID in Materialflussketten vermittelt.

**OPTRONIK** / Im dritten Arbeitsfeld untersuchen die ITA--Wissenschaftler Verfahren zur Produktion und Integration optoelektronischer Technologien in Produkte und Bauteile. Im Fokus der Anwendungen stehen Sensorik sowie Kommunikations- und Sicherheitstechnik. Eine zentrale Idee ist das intelligente Bauteil, das Strukturen enthält, welche als Sensor oder Datenspeicher wirken.

Im Jahr 2019 startete der neu geschaffene Exzellenzcluster PhoenixD. Das ITA wird als eines der drei Sprecherinstitute die Forschung zu der additiven Fertigung optischer Systeme koordinieren. Am Institut werden hierzu optische Strukturen drucktechnisch erzeugt und in Zusammenarbeit mit den anderen Partnern zu komplexen optischen Systemen kombiniert. Ein gemeinsames Ziel ist beispielsweise ein System zu Untersuchung der menschlichen Gesundheit, welches zuhause eingesetzt werden kann und den behandelnden Mediziner\*innen automatisch Informationen übermittelt.

In der Forschergruppe Optaver wird eine optische Aufbau- und Verbindungstechnik für optische Bussysteme entwickelt. Am ITA erfolgt hierzu die drucktechnische Konditionierung von Kunststofffolien, um im anschließenden Sprühauftrag von Lichtwellenleitern eine höhere Qualität und Auflösung zu erreichen.

Im Verbund mit sechs Industriepartnern wird am ITA im BMBF-Projekt OptiK-Net die Integration von gedruckten op-

tischen Kurzstreckennetzwerken in konventionelle Leiterplatten erforscht. Das ITA übernimmt hierbei die Erzeugung von thermoresistenten und gemantelten Wellenleitern sowie die Auslegung von Wellenleiternetzwerkstrukturen.

Innerhalb des Niedersächsischen Promotionsprogramms Tailored Light „Räumlich, zeitlich und spektral maßgeschneidertes Licht für Anwendungen“ erforscht das ITA intelligente photoelektrische Oberflächen mit lichtemittierenden Modulen. Diese werden als Sensorknoten im großen Maßstab auf den Oberflächen von alltäglichen Gegenständen verteilt und erlauben einen drahtlosen Informationsaustausch im Sinne des „Internets der Dinge“.

Im 3D-Mehrlagendruck (3D-MLD) Projekt wird der Einsatz der additiven Fertigung zur generativen Erzeugung mehrlageriger Schaltungen auf räumlichen Schaltungsträgern untersucht. Der Ansatz basiert auf einer alternierenden Beschichtung der Bauteiloberfläche mit funktionalen Tinten und einer lokalen Laserbearbeitung. Neben der Lasersinterung von Leiterbahnpfaden ermöglicht der Laserabtrag von isolierenden Schichten auch die Fertigung von Durchkontaktierungen zwischen den Lagen.

16 wissenschaftliche Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter  
7 nichtwissenschaftliche Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter  
46 studentische Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter

## ITA 2021

### Institut für Transport- und Automatisierungstechnik

#### Leitung

Prof. Dr.-Ing. Ludger Overmeyer

#### Lehre

21 Masterarbeiten, 9 Studienarbeiten,  
19 Bachelorarbeiten

#### Aktuelle Forschung

##### Simulation des Eindrückrollwiderstandes

In der Schüttgutfördertechnik werden Stetigförderer zum Materialtransport genutzt. Diese Anlagen bestehen meist aus einem Kopfantrieb, einem Transportgurt und Tragrollen, die den Gurt abstützen. An den Tragrollen entsteht, durch das Eigengewicht und das Gewicht des Schüttgutes hervorgerufen, der Eindrückrollwiderstand (ERW).

Im Forschungsvorhaben soll ein Modell entwickelt werden, welches die simulative Untersuchung des Eindrückrollwiderstandes von Fördergurten ermöglicht. Ziel ist es, eine energieoptimierte Auslegung der Fördergurte zu erreichen, wobei die Simulation nicht nur qualitative Aussagen bezüglich des Eindrückrollwiderstandes ergeben soll, sondern eine quantitative Aussage erreicht werden soll. Die Simulation erfolgt hierbei auf Materialparameterebene, wodurch zukünftig auf die Anfertigung von kostenintensiven Gurtproben verzichtet werden kann. Um die Simulation des Eindrückrollwiderstandes auf Materialparameterebene realisieren zu können, gilt es im Rahmen des geplanten Forschungsvorhabens geeignete Prüfverfahren anzuwenden und ggf. zu entwickeln, welche basierend auf kleinskaligen Probekörpern die Ermittlung der relevanten Materialeigenschaften der untersuchten Elastomere in den verschiedenen Belastungsrichtungen anwendungsnah ermöglichen. Diese Prüfverfahren gilt es anschließend in einer Simulationsumgebung nachzubilden, um die notwendigen Simulationsparameter zu erhalten. Die Materialmodelle von Elastomeren zeichnen sich durch ihre Nichtlinearität aus, die sich durch die Hyper- und Viskoelastizität des Materials begründet. Die Parameter werden im Anschluss in ein Simulationsmodell überführt, welches den kompletten realen Fördergurtaufbau beinhaltet. Des Weiteren lassen sich somit verschiedene Gurtbauten hinsichtlich des resultierenden Eindrückrollwiderstandes untersuchen, um somit verbesserte energieoptimierte Fördergurte zu entwickeln.

Förderung durch: AIF, IFL

##### Mittelstand 4.0-Kompetenzzentrum Hannover

Das „Mit uns digital! Das Zentrum für Niedersachsen und Bremen“ ist das erste von elf Zentren, die derzeit in ganz Deutschland entstehen, um mittelständische Unternehmen und Handwerksbetriebe durch gut aufbereitete Informationen, Anschauungsbeispiele und Qualifizierung bei der digitalen Transformation zu unterstützen. Förderung durch: Bundesministerium für Wirtschaft und Energie

##### ViSIER

Eine der größten Herausforderungen bei der Bedienung eines Gabelstaplers ist die eingeschränkte Sicht des Fahrers auf seine Umgebung, insbesondere bei der Ein- und Auslagerung von Ladungsträgern oder dem Transport sperriger Lasten.

Ziel dieses Forschungsvorhabens ist es, ein auf AR (Augmented Reality bzw. Erweiterter Realität) basierendes Bedienerassistenzsystem für Gabelstapler zu realisieren, mit dessen Unterstützung Sichteinschränkungen des Fahrers durch Fahrzeugkomponenten und Ladung ausgeglichen und Fahrzeug- sowie Auftragsdaten situationsabhängig mit dem Fahrer vernetzt werden. Dabei soll die Interaktion mit dem Assistenzsystem mittels Gesten und virtuellen Elementen erfolgen.

Um das Projektziel zu erreichen, sind drei wesentliche Teilziele umzusetzen: Die räumliche Erfassung der Fahrzeugumgebung mit Transformation der Aufnahmen für eine Anzeige in der AR-Brille, die echtzeitfähige Erfassung der Bedienerblickrichtung und die Realisierung eines Interaktionssystems basierend auf Gesten und virtuellen Anzeige- und Bedienelementen. Für die Umsetzung der räumlichen Aufnahme der Umgebung des Flurförderzeugs werden mehrere Kameras am Fahrzeug montiert. Der relevante und aus Sicht des Bedieners versperrte Bereich wird auf diese Weise vollständig räumlich erfasst. Anhand der Blickrichtungsdaten werden gezielt die Kameras und Kameraausschnitte abgerufen, die für das aktuelle Sichtfeld erforderlich sind und über das virtuelle Display der AR-Brille mit den Sichteinschränkungen überlagert. Über die AR-Brille können zusätzliche Informationen zu Fahrwegen oder prozessbedingte Warnungen eingeblendet werden.

Das entstehende Gesamtsystem bildet die Grundlage für eine intensivere Vernetzung von Fahrer, Fahrzeug und Umgebung durch die Schaffung eines kognitiven technischen Systems, welches die Sicherheit und Entscheidungsfähigkeit des Fahrers maßgeblich verbessert.

Förderung durch: AIF, IFL

##### Elastomer-3D

Die Additive Fertigung für Kunststoffe, Keramiken und Metalle findet eine zunehmende industrielle Bedeutung, da sie sich im Besonderen für die Herstellung von technisch anspruchsvollen Produkten eignet. Durch die Additive Fertigung können Geometrien erzeugt werden, die mit bisherigen Fertigungsverfahren nicht oder nur sehr schwer zu fertigen waren.

Allerdings fehlen bisher Verfahren zur Additiven Fertigung von Elastomeren. Hier setzt das Projekt Elastomer-3D an, das gemeinsam vom Deutschen Institut für Kautschuktechnologie und dem Institut für Transport- und Automatisierungstechnik bearbeitet wird. Dieses hat sich zum Ziel gesetzt ein Additives Fertigungsverfahren für hochviskose, zu vernetzende Kautschuke zu entwickeln. Als besondere Herausforderung gilt dabei die Fließfähigkeit von Kautschuken, da diese erst im weiteren Verlauf durch eine notwendige Vulkanisation formstabil werden.

Das neu zu entwickelnde AME-Verfahren (Additive Manufacturing of Elastomers) basiert auf dem, besonders für Kunststoffe, bewährten FFF-Verfahren (Fused Filament Fabrication). Dabei wird der Kautschuk schichtweise innerhalb einer zeitgleich

additiv gefertigten thermoplastischen Form gedruckt. Herauszufinden ist zum einen eine Materialkombination aus Thermoplast für eine prozessstabile und ablösbare Form sowie eine präzise zu dosierende Kautschukkomponente. Ebenso ist ein funktionsfähiger Demonstrator zur Durchführung der Druckversuche zu entwickeln. Darüber hinaus soll eine einfache Generierung der notwendigen Druckform auf Basis der Bauteilgeometrie sichergestellt werden.

Das Spektrum der potentiellen Einsatzmöglichkeiten ist weitgefächert. So können zukünftig individualisierte Produkte für den Endverbraucher gefertigt werden. Ebenso kommt ein Einsatz in der Prototypenfertigung in Frage. Da es insbesondere bei Elastomerbauteilen zu Alterungserscheinungen bei längerfristiger Einlagerung kommt, bietet sich das AME-Verfahren auch an, um Lagerhaltungskosten durch die bedarfsgerechte additive Fertigung zu reduzieren.

Förderung durch: AIF, IFL

##### PhoenixD - Flexografischer Druck von optischen Netzwerken

Optische Präzisionssysteme schnell und kostengünstig mittels additiver Fertigung realisieren: Dies ist die Vision von PhoenixD. In diesem Teilprojekt wird an der Fertigung von planaren optischen Netzwerkstrukturen geforscht. Hierzu soll ein klassischer Druckprozess, der Flexodruck, verwendet werden, um eine kostengünstige Produktion zu ermöglichen.

Förderung durch: DFG im Rahmen der Exzellenzstrategie des Bundes und der Länder innerhalb des Exzellenzclusters PhoenixD

##### DIGITRUBER – Data Mining und KI zur optimierten prozessübergreifenden Steuerung

Im Rahmen des Verbundprojektes „Digitale Kautschukverarbeitung – Am Beispiel Extrusion“ (DIGITRUBBER) wird durch die Kombination von neuen Messtechnikansätzen, klassischer Modellbildung und maschinellem Lernen eine Online-Charakterisierung der verarbeiteten Kautschukmischung entwickelt. Dadurch soll eine Produktion am Qualitätsoptimum bei gleichzeitiger Verringerung des Ausschusses sichergestellt werden.

Förderung durch: BMBF

##### OptiK-Net

Das Projekt OptiK-Net umfasst die Möglichkeit, flexible optische Leiterstrukturen anwendungs- und industriennah in den Herstellungsprozess konventioneller Leiterplatten zu integrieren. Optische Wellenleiter in elektronischen Strukturen gelten in der Industrie als schwer umsetzbar, jedoch weisen sie erhebliche Vorteile und Gestaltungsspielräume gegenüber Leiterplatten mit rein elektrischen Leiterbahnen auf. Insbesondere ihre hohe Bandbreite und geringe Störanfälligkeit ermöglichen neue Lösungen in Kommunikationsnetzwerken. Im Projekt OptiK-Net werden Herausforderungen, die die derzeitige industrielle Anwendung hemmen, adressiert, indem eine exemplarische Prozesskette zur Herstellung einer optoelektronischen Starr-Flex-Leiterplatte realisiert wird. Innerhalb dieser Prozesskette werden zwei neuartige Ansätze verfolgt; der Direktdruck der optischen Wellenleiter und die direkte Integration dieser in elektrische Leiterplatten. Für den

Direktdruck der optischen Wellenleiter werden der Flexodruck, Tiefdruck und Siebdruck als konventionelle Druckverfahren betrachtet. Diese Verfahren ermöglichen einen hohen Durchsatz gleichartiger Wellenleiterstrukturen, sodass sie bezüglich ihrer Qualität und Eignung als industrieller Prozess bewertet werden können. Durch die Integration in einen Starr-Flex-Verbund kann die Kommunikation entkoppelter elektrischer Schaltungen realisiert werden. Förderung durch: BMBF

### 3D-Mehrlagendruck von Mechatronik Integrated Devices

Im 3D-Mehrlagendruck (3D-MLD) Projekt wird der Einsatz der additiven Fertigung zur generativen Erzeugung mehrlagiger Schaltungen auf räumlichen Schaltungsträgern untersucht. Der Ansatz basiert auf einer alternierenden Beschichtung der Bauteiloberfläche mit funktionalen Tinten und einer lokalen Laserbearbeitung. Neben der Lasersinterung von Leiterbahnspfaden ermöglicht die Laserabtrag von isolierenden Schichten auch die Fertigung von Durchkontaktierungen zwischen den Lagen. FÖRDERUNG durch: BMWi

### ULTRABEST

Derzeit wird am Institut für Transport- und Automatisierungstechnik (ITA) eine neuartige Bestückungstechnologie für das Übertragen von ungehäuerten elektronischen Komponenten in Zusammenarbeit mit einem Forschungskonsortium erforscht. Dieses besteht aus der Mühlbauer GmbH & Co. KG, dem Laser Zentrum Hannover e.V. (LZH), der Precitec Optronik GmbH und der Vision Components GmbH. Mit der Bestückungstechnologie soll der Schritt zur optisch induzierten Bestückung erfolgen. Förderung durch: BMBF

### OPTAVER - Forschergruppe optische Aufbau- und Verbindungstechnik für optische Bussysteme

In diesem durch die Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG) geförderten Forschungsprojekt soll das Prinzip sowie das Herstellungsverfahren für einen neuartigen transversalmodenselektiven Faserschmelzkoppler erforscht werden. Durch eine selektive Modenkopplung können verschiedene Moden als individuelle Übertragungskanäle genutzt werden, wodurch die Übertragungsbandbreite proportional zur Anzahl genutzter Moden erhöht wird. Wesentliches Merkmal des neuen Kopplers ist die selektive Transversalmodenkopplung mittels optischen Gitters. Förderung durch: DFG

### 3D-CopperPrint

In 3D-CopperPrint wird der Einsatz der Additiven Fertigung (3D-Druck) zur generativen Erzeugung von Kupferleiterbahnen auf adaptiven räumlichen Schaltungsträgern untersucht. Dieser Prozess kann für die Herstellung von elektrisch-mechanischen Hybridbauteilen als Alternative zu bestehenden Verfahren verwendet werden. Der Ansatz basiert auf dem Auftrag von kupfergefüllten Lacken auf die Oberfläche von dreidimensionalen Objekten und das anschließende photothermische Lasersintern der Pfade. Förderung durch: BMWi, AiF (IGF)

### Aufbau eines aktiven Fallturms

Im Rahmen des Aufbaus der Forschungseinrichtung Hannover Institute of Technology (HITec) wird vom Institut für Transport- und Automatisierungstechnik (ITA) ein aktiver Fallturm, der Einstein-Elevator, aufgebaut. Die Auslegung, die Konstruktion und der Aufbau der Anlage werden in Zusammenarbeit mit dem Centre for Quantum Engineering and Space-Time Research (QUEST) durchgeführt. Ziel ist es, Experimente unter Schwerelosigkeit, aber auch unter Schwerkraftbedingungen durchführen zu können, wie sie beispielsweise auf Mond oder Mars vorherrschen. Der Einstein-Elevator - made in Hannover - ist das weltweit erste Forschungsgerät für physikalische und produktionstechnische Experimente unter einstellbaren Schwerkraftbedingungen im Bereich von 0g bis 5g. Ein hoher Grad der Automatisierung ermöglicht eine hohe Wiederholrate von bis zu 300 Experimenten pro Tag. Förderung durch: DFG und Land Niedersachsen (Projekträger)

Technische Daten:

- Flugdauer bei 0 g: 4 s
  - Freifallhöhe: 20 m
  - Experimentnutzlast: 1.000 kg
  - Wiederholrate: 300 Experiment/Tag
  - Beschleunigungen:  $0 g < a < 5 g$
  - Restbeschleunigung: max. 10-6 g
  - Vakuumqualität: 10-2 mbar
  - Elektrische Antriebsleistung: 4,8 MW
- DFG und Land Niedersachsen (Projekträger)

### Experimentträger für den Einstein-Elevator

Ein wichtiger Bestandteil des Einstein-Elevators am Hannover Institute of Technology (HITec) ist ein Experimentträger, der in der Gondel des Einstein-Elevators verwendet wird. In Zusammenarbeit mit dem Institut für Satellitengeodäsie und Inertialsensoren des Deutschen Zentrums für Luft- und Raumfahrt (DLR-SI) wird vom Institut für Transport- und Automatisierungstechnik (ITA) ein schwingungsarmer Träger aufgebaut. Ziel ist es mithilfe des Trägersystems verschiedenste Experimente unter Mikrogravitation durchzuführen. Förderung durch: DLR-SI

### Laserbasierte additive Fertigung von Metallteilen aus Pulver in Mikrogravitation

Das Ziel dieses Forschungsprojektes ist die Entwicklung eines laserbasierten additiven Fertigungsverfahrens zur Herstellung von Metallteilen aus Pulver in Mikrogravitation. Der Ansatz basiert dabei auf dem für Erdgravitation bekannten Verfahren „Laser Metal Deposition“ (LMD). FÖRDERUNG durch: DFG

### Veröffentlichungen (Auszug)

#### Aufsätze (reviewed)

**Aurich, P.; Stonis M.; Overmeyer, L. (2021):** Layoutoptimierung für kleinskalige modulare Förderanlagen, Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb  
DOI: 10.1515/zwf-2021-0048

**Bluemel, S.; Wippo, V.; Hirt, S.; Staehr, R.; Jaeschke, P.; Kaierle, S.; L. Overmeyer, L. (2021):** Joining of thermoplastic carbon fiber

reinforced plastic laminates by selective heat input during laser cutting, Journal of Laser Applications 33, 022011  
DOI: 10.2351/7.0000062

**Dittmar, H.; Weiland, J.; Wippo, V.; Schiebahn, A.; Jaeschke, P.; Kaierle, S.; Reisinger, U.; Overmeyer, L. (2021):** Individualized and controlled laser beam pretreatment process for adhesive bonding of fiber-reinforced plastics. II. Automatic laser process control by spectrometry, Journal of Laser Applications 33, 012004  
DOI: 10.2351/7.0000301

**Evertz, A.; Schrein, D.; Olsen, E.; Hoffmann, G.-A.; Overmeyer, L. (2021):** Dip coating of thin polymer optical fibers, Optical Fiber Technology, Volume 66, 102638  
DOI: 10.1016/j.yofte.2021.102638

**Felix Wellmann, Nina Bode, Peter Wessels, Ludger Overmeyer, Jörg Neumann, Benno Willke, and Dietmar Kracht (2021):** Low noise 400 W coherently combined single frequency laser beam for next generation gravitational wave detectors, Optics Express Vol. 29, Issue 7, pp. 10140-10149  
DOI: 10.1364/OE.420350

**Gerdas, N.; Hoff, C.; Hermsdorf, J.; Kaierle S.; Overmeyer L. (2021):** Hyperspectral imaging for prediction of surface roughness in laser powder bed fusion, Int J Adv Manuf Technol 115, 1249–1258  
DOI: 10.1007/s00170-021-07274-1

**Griemsmann, T.; Hoff, C.; Hermsdorf, J.; Kaierle S.; Overmeyer, L. (2021):** Eddy current detection of laser-dispersed markers as a new approach to determining the position of laser supporting means, Journal of Laser Applications 33, 042004  
DOI: 10.2351/7.0000486

**J. Fottner1, D. Clauer1, F. Hormes1, M. Freitag2, T. Beinke2, L. Overmeyer3, S. N. Gottwald3, R. Elbert4, T. Sarnow4, T. Schmidt5, K.-B. Reith5, H. Zadek6, F. Thomas (2021):** Autonomous Systems in Intralogistics – State of the Art and Future Research Challenges, Logistics Research 14:2  
DOI: 0.23773/2021\_2

**Julmi, S.; Abel, A.; Gerdas, N.; Hoff, C.; Hermsdorf, J.; Overmeyer, L.; Klose, C.; Maier, H. J. (2021):** Development of a Laser Powder Bed Fusion Process Tailored for the Additive Manufacturing of High-Quality Components Made of the Commercial Magnesium Alloy WE43, Materials, 14(4), 887  
DOI: 10.3390/ma14040887

**Linke, S.; Voß, A.; Ernst, M.; Taschner, P. A.; Baasch, J.; Stapperfeld, S.; Gerdas, N.; Koch, J.; Weßels, P.; Neumann, J.; Overmeyer, L.; Stoll E. (2021):** Two-Dimensional Laser Melting of Lunar Regolith Simulant Using the MOONRISE Payload on a Mobile Manipulator, 3D Printing and Additive Manufacturing, ahead of print  
DOI: doi.org/10.1089/3dp.2020.0323

**Oleff, A.; Küster, B.; Stonis, M.; Overmeyer, L. (2021):** Process monitoring for material extrusion additive manufacturing: a state-of-the-art review, *Prog Addit Manuf*  
DOI: 10.1007/s40964-021-00192-4

**Olsen, E.; Overmeyer, L. (2021):** Laser sintering of copper conductive traces on primer pre-treated additive manufactured 3D surfaces, *Flex. Print. Electron.* 6 015006  
DOI: 10.1088/2058-8585/abdbfd  
ISSN: 2058-8585

**Overmeyer, L.; Olsen, E.; Hoffmann, G.-A. (2021):** Additive manufacturing of copper vertical interconnect accesses by laser processing  
DOI: 10.1016/j.cirp.2021.03.006

**Reitz, B.; Lotz, C.; Gerdes, N.; Linke, S.; Olsen, E.; Pflieger, K.; Sohr, S.; Ernst, M.; Taschner, P.; Neumann, J.; Stoll, E.; Overmeyer, L. (2021):** Additive Manufacturing Under Lunar Gravity and Microgravity, *Microgravity Science and Technology*, 33:25  
DOI: 10.1007/s12217-021-09878-4

**Zheng, L.; Zywiets, U.; Birr, T.; Duderstadt, M.; Overmeyer, L.; Roth, B.; Reinhardt, C. (2021):** UV-LED projection photolithography for high-resolution functional photonic components, *Microsyst Nanoeng* 7, 64  
DOI: 10.1038/s41378-021-00286-7

#### Konferenz (reviewed)

**Backhaus, C.; Förner, J.; Wienke, A.; Hoffmann, G.-A.; Eiche, Y.; Lorenz, L.; Kaierle, S.; Overmeyer, L.; Franke, J.; Bock, K.; Lindlein, N. (2021):** Influence on the optical performance of droplets and enclosures in printed polymer optical waveguides, *Proceedings Volume 11680, Physics and Simulation of Optoelectronic Devices XXIX*; 1168009  
DOI: 10.1117/12.2577179

**Behrens, B.-A.; Maier, H. J.; Poll, G.; Overmeyer, L.; Wester, H.; Uhe, J.; Hassel, T.; Pape, F.; Lammers, M.; Hermsdorf, J.; Kaierle, S.; Budde, L.; Saure, F.; Mildebrath, M.; Coors, T.; Faqiri, M. Y.; Büdenbender C. (2021):** Influence of degree of deformation on welding pore reduction in high-carbon steels, *Prod. Eng. Res. Devel.* 15, 161–168  
DOI: 10.1007/s11740-020-01009-z

**Hamjah, M.-K.; Zeitler, J.; Eiche, Y.; Lorenz, L.; Backhaus, C.; Hoffmann, G.-A.; Wienke, A.; Kaierle, S.; Overmeyer, L.; Lindlein, N.; Karlheinz Bock, K.; Franke, J. (2021):** Manufacturing of Polymer Optical Waveguides for 3D-Opto-MID: Review of the OPTAVER Process, 14th International Congress Molded Interconnect Devices (MID), 2021, pp. 1-11  
DOI: 10.1109/MID50463.2021.9361620

**Hoffmann, A.; Kanus, M.; Overmeyer, L.; Ponick, B. (2021):** Integrated Linear Flux Modulating Motor for a Direct-drive Belt Conveyor, 13th International Symposium on Linear Drives for Industry Applications (LDIA), 2021, pp. 1-6  
DOI: 10.1109/LDIA49489.2021.9505789

**Hoffmann, A.; Kanus, M.; Overmeyer, L.; Ponick, B. (2021):** Operation Analysis of an Integrated Linear Flux Modulating Motor for a Direct-Driven Belt Conveyor, Bertoldi P. (eds) *Energy Efficiency in Motor Systems*. Springer Proceedings in Energy. Springer, Cham.  
DOI: 10.1007/978-3-030-69799-0\_31

**Jörg Neumann, Mathias Ernst, Patrick Taschner, Niklas Gerdes, Simon Stapperfend, Stefan Linke, Christoph Lotz, Jürgen Koch, Peter Wessels, Enrico Stoll, Ludger Overmeyer (2021):** The MOONRISE: payload for mobile selective laser melting of lunar regolith, *Proceedings Volume 11852, International Conference on Space Optics — ICSO 2020*; 118526T  
DOI: 10.1117/12.2600322

**Leffers, L.; Locmelis, J.; Bremer, K.; Roth, B.; Overmeyer, L. (2021):** Eccentric Bragg gratings in multimode polymer optical fibres for the 3D detection of bending, *Proceedings Volume 11773, Micro-structured and Specialty Optical Fibres VII*; 117730R  
DOI: 10.1117/12.2592575

**Lennart Leffers, Julia Locmelis, Kort Bremer, Bernhard Roth, and Ludger Overmeyer (2021):** Polymer Optical Fibre Bend Sensor based on Eccentric Bragg Gratings, *OSA Technical Digest (Optical Society of America, 2021)*  
DOI: 10.1364/CLEO\_SI.2021.STu2F8  
ISBN: 978-1-943580-91-0

**Lorenz, L.; Hanesch, F.; Niewegłowski, K.; Hamjah, M.-K.; Franke, J.; Hoffmann, G.-A.; Overmeyer, L.; Bock, K. (2021):** Reliability of 3D-Opto-MID Packages for Asymmetric Optical Bus Couplers, *IEEE 71st Electronic Components and Technology Conference (ECTC)*, 2021, pp. 14-21  
DOI: 10.1109/ECTC32696

**Nagli, M.; Koch, J.; Hazan, Y.; Volodarsky, O.; Kumar, R. R.; Levi, A.; Hahamovich, E.; Overmeyer, L.; Rosenthal, A. (2021):** All-optical focused ultrasound detector for intravascular applications, *Proc. SPIE 11642, Photons Plus Ultrasound: Imaging and Sensing 2021*, 116421U  
DOI: 10.1117/12.2577228

**Nagli, M.; Koch, J.; Hazan, Y.; Volodarsky, O.; Kumar, R. R.; Levi, A.; Hahamovich, E.; Overmeyer, L.; Rosenthal, A. (2021):** A Novel All-Optical Focused Ultrasound Detector for Intravascular Lipid Imaging, *OSA Technical Digest (Optical Society of America, 2021)*, paper ETu5B.5

**Neumann J., Ernst M., Taschner P., Gerdes N., Stapperfens S., Linke S., Lotz C., Koch J., Wessels P., Stoll E., Overmeyer L. (2021):** The MOONRISE: payload for mobile selective laser melting of lunar regolith, *Proc. SPIE 11852, International Conference on Space Optics — ICSO 2020*, 118526T  
DOI: 10.1117/12.2600322

**Olsen, E.; und Overmeyer, L. (2021):** Printing of laser-generated conductive copper tracks on 3D components, 14th International Congress Molded Interconnect Devices (MID), Amberg, Germany, 2021, pp. 1-6  
DOI: 10.1109/MID50463.2021.9361618

**Wellmann, F.; Bode, N.; Steinke, M.; Meylahn, F.; Willke, B.; Overmeyer, L.; Weßels, P.; Neumann, J.; Kracht, D. (2021):** Coherent beam combining of two single-frequency 200W fiber amplifiers for gravitational wave detectors, *Proc. SPIE 11665, Fiber Lasers XVIII: Technology and Systems*, 116651J  
DOI: 10.1117/12.2578085

**Wellmann, F.; Steinke, M.; Wyszolek, M.; Weßels, P.; Overmeyer, L.; Neumann, J.; Kracht, D. (2021):** CO<sub>2</sub>-laser based micro-machining for fiber component manufacturing, *Proceedings Volume 11667, Components and Packaging for Laser Systems VII*; 116670E  
DOI: 10.1117/12.2578491

#### Konferenz

**Malte Kanus, Carsten Schmidt, Ludger Overmeyer (2021):** Statistical analysis of the indentation rolling resistance measurement according to DIN EN 16 974 for the validation of simulation models, *Tagungsband 17. Fachkolloquium Wissenschaftliche Gesellschaft für Technische Logistik e.V. (WGTL 2021)*, S. 238 - 245, Chemnitz  
ISBN: 978-3-00-069994-8

**Schmidt, C.; Kanus, M.; Overmeyer, L. (2021):** Aufbau von FEM-Gurtmodellen zur Ermittlung des Eindrückrollwiderstandes, *Tagungsband 25. Fachtagung Schüttgutförderertechnik*, S. 217 - 230, Magdeburg  
DOI: 10.25673/36794  
ISBN: 978-3-948749-04-0

#### Wesentliche Neuanschaffungen

Rasterlektronenmikroskop HT-FlexSEM 1000II von der Firma Quantum Design

Multimaterial 3D Farbdrucker „OBJET260 CONNEX3TM“ von der Firma Stratasys



Multimaterial 3D Farbdrucker „OBJET260 CONNEX3TM“ von der Firma Stratasys. Foto: ITA

## Geschichte des Instituts

Das Institut für Montagetechnik (match) wurde 2013 zeitgleich mit der Berufung von Annika Raatz an der Leibniz Universität gegründet und ist eins der acht Institute im Produktionstechnischen Zentrum Hannover (PZH). Am match werden zukunftsweisende Ideen für die automatisierte und robotergestützte Montage und Handhabung in der Produktion verfolgt. Als essenzieller Bestandteil der Wertschöpfungskette komplettiert die durch das match repräsentierte Montagetechnik die am PZH abgebildete Prozesskette der Produktionstechnik. Die wissenschaftlichen Arbeiten des Instituts lassen sich unter den vier Forschungsschwerpunkten zusammenfassen:

- ▶ Robotergestützte Montage- und Handhabungsvorgänge
- ▶ Maschinenkonzepte und Systemintegration
- ▶ Entwicklung und Optimierung von Handhabungs- und Montageprozessen
- ▶ Intelligente Maschinenkomponenten auf Basis von Smart Materials

In einer Vielzahl von Kooperationen wird von mittlerweile 17 wissenschaftlichen Mitarbeiter\*innen an Lösungen für Fragestellungen der modernen Industrie geforscht. Neben der Forschung setzt sich das Team des match in der Lehre für den Einsatz moderner Konzepte und Methoden ein, um die Studierenden mit vielen praktischen Projekten und Modulen für die Anwendung der theoretischen Inhalte zu begeistern.

## Aus der Forschung

**Soft Material Robotics** / Im Forschungsbereich Soft Material Robotic Systems arbeitet das match an Roboterstrukturen aus weichen und nachgiebigen Materialien, die im Gegensatz zu ihren Pendanten aus harten Materialien wie Stahl oder Aluminium eine inhärente Sicherheit im Kontakt mit dem Menschen



Professorin Annika Raatz, Institutleiterin

aufweisen. Der Paradigmenwechsel von Robotern aus harten Materialien hin zu nachgiebigen Strukturen verspricht eine Erhöhung der Flexibilität robotergestützter Systeme. Dabei macht sich die Soft Material Robotics die Nachgiebigkeit des verwendeten Materials zunutze. Silikone und Elastomere führen zu einer erhöhten Anpassungsfähigkeit der Roboterstrukturen, die klassische Robotersysteme nicht aufweisen können. Entsprechend entwickelte Roboter können sich ihrer Umgebung anschmiegen, ohne dass es zu einer Beschädigung am Roboter oder der Umgebung kommt. Anwendungsgebiete für Soft Robotics finden sich unter anderem in der Medizin, der Landwirtschaft, der Industrie, der Meeresforschung und bei Haushaltsrobotern.

Das match widmet sich in seiner Forschung der Frage, wie diese Vorteile in Zukunft nutzbar gemacht werden können. Mit der erhöhten Flexibilität gehen auch neue Herausforderungen für das Design, die Modellierung und die Regelung softer Robotersysteme einher. Auch wenn die Forschung im Feld der Soft Robotics seit ihrer Einführung bereits große Fortschritte vorweisen kann, so fehlt es bis heute dennoch an Beispielen, die es aus den Laboren heraus in die reale Anwendung geschafft haben. Die Erforschung und Entwicklung standardisierter Entwicklertools für das Systemdesign, Modellierung und Regelung sowie darüber hinaus die Erarbeitung unterstützender Technologien aus den Bereichen Sensorik und funktionaler Materialien sind die Ziele des DFG Schwerpunktprogramms „Soft Material Robotic Systems“. Seit 2019 wird dieses Programm vom match koordiniert, in dem deutschlandweit 13 Einrichtungen in unterschiedlichen Projekten die Erforschung softer Roboter vorantreiben. Nachdem die Grundlagen in der ersten Förderphase gelegt wurden, liegt der Schwerpunkt der im nächsten Jahr beginnenden zweiten Förderphase darauf, konkretere Anwendungen auf den Weg zu

bringen und den Vorteil soft robotischer Systeme gegenüber klassischen Robotersystemen zu verdeutlichen.

Das match behandelt im Rahmen des Schwerpunktprogramms zusammen mit dem Institut für mechatronische Systeme (imes) und dem Institut für Dynamik und Schwingungen (IDS) Design-, Modellierungs- und Regelungsmethoden für soft pneumatische Manipulatoren. Ziel ist die Erstellung einer generalisierten Toolbox, mit der Anwender verschiedenste Designs modellieren, testen und weiterentwickeln können.

**Mobile Robotik** / Das match widmet sich im Bereich der mobilen Robotik der Erforschung von Multirobotersystemen beim Transport und der Handhabung von Großbauteilen. In einem mobilen Multirobotersystem kollaborieren zu diesem Zweck mehrere kleine mobile Roboter, indem diese an verschiedenen Stellen das Bauteil greifen. Durch die Auswahl und Anzahl der mobilen Roboter sowie ihre Anordnung um das Bauteil entsteht ein hoch flexibles Handhabungs- und Montagesystem. Ohne ein solches System müssten immer größere und komplexere Handhabungsgeräte konstruiert werden, um den steigenden Bauteildimensionen und Montageanforderungen gerecht zu werden. Zur Optimierung von Handhabungs-, Transport- und Montageprozessen werden komplexe Aufgabenstellungen in einfachere Teilaufgaben zerlegt und an ein Multirobotersystem übergeben. Ein positiver Nebeneffekt ist, dass die reduzierten Anforderungen an einzelne Roboterplattformen eine Wiederverwendung bestehender Roboter für neue Aufgaben ermöglichen, was besonders unter dem Aspekt der Nachhaltigkeit zunehmend an Relevanz gewinnt. Die Herausforderung bei Multirobotersystemen besteht darin, die

voneinander unabhängigen mobilen Roboterplattformen miteinander interagieren zu lassen. Die Kooperation der mobilen Roboter ist in allen Prozessschritten zwingend erforderlich und reicht von dem gemeinsamen Aufnehmen eines Gegenstands über die Bewegung der einzelnen mobilen Roboter in einer Formation bis zum Ablegen des Gegenstands an der Zielposition. Zur Lösung dieser Problemstellungen werden am match Algorithmen und Verfahren in den Bereichen skalens-unabhängige Aufgabenabstimmung und Aufgabenverteilung, Greifpunktbestimmung und -verteilung, Formationsbestimmung und -optimierung, Modellierung und Regelung, Sensorik und Messtechnik sowie Steuerung und Kommunikation entwickelt.

**Kryotechnische Automatisierung** / Im Rahmen des von der DFG geförderten Projektes: „Methoden zur Automatisierung von Handhabungsprozessen unter kryogenen Umgebungsbedingungen“ werden am match in Kooperation mit dem Fraunhofer-Institut für Biomedizinische Technik (IBMT, Sulzbach/Saar) Ansätze zur Automatisierung der Handhabungsprozesse in Biobanken für die Kryokonservierung im Temperaturbereich unterhalb von  $-130^{\circ}\text{C}$  erforscht. Die Herausforderung besteht darin, die Funktionalität der Maschinenkomponenten (Gelenke, Sensorik, Energieversorgung etc.) in diesem Temperaturbereich zu gewährleisten, um die Biobank bei einem konstant niedrigen Temperaturniveau betreiben zu können. Dies soll die Beschädigung der Proben durch Temperaturschwankungen verhindern und gleichzeitig die Effizienz und Reproduzierbarkeit der Handhabungsprozesse steigern. Die Basis des Automatisierungssystems bildet ein Parallelroboter. Dessen Struktur erlaubt es, die Antriebstechnik vom Tieftemperaturbereich zu entkoppeln und außerhalb, d. h. im Warm-

bereich, zu platzieren. Um die Antriebsbewegung an die Endeffektor-Plattform zu übertragen, werden am match Methoden zur Gestaltung passiver Festkörpergelenke erforscht, sodass diese bei den geforderten Temperaturen eingesetzt werden können – zum Beispiel unter Verwendung eines geeigneten Temperierungskonzepts. Nach der erfolgreichen Erforschung der grundlegenden Technologien in der ersten Förderphase ist das Ziel der zweiten Förderphase die Erforschung und Realisierung eines Pick-and-Place Work-



Mobiles Multirobotersystem. Foto: match

flows bei tiefen Temperaturen zur Handhabung von kryokonservierten Proben, die sowohl in Kryoröhrchen als auch in speziellen Mikrotiterplatten eingefroren sind. Dafür wird ein Demonstrator konzipiert und realisiert, mit dem das Zusammenspiel der einzelnen in der ersten Förderphase realisierten Komponenten getestet und der automatisierte Handhabungsprozess in einer kryogenen Arbeitsumgebung validiert werden kann.



Handhabungsprozesse unterhalb von  $-130^{\circ}\text{C}$ . Foto: match

### Präzisionsmontage / Seit gut

drei Jahren forscht das match im Exzellenzcluster PhoenixD an Handhabungs- und Fügetechniken für hybride optische Mikrosysteme. Die Vision von PhoenixD besteht darin, zukünftig optische Präzisionssysteme schnell und kostengünstig mittels additiver Fertigung zu realisieren. Daran arbeiten Ingenieure, Physiker und Chemiker in enger Kooperation. Die Entwicklung von intelligenten, kompakten und adaptiven optischen Systemen stellt dabei einen Paradigmenwechsel in der Optik dar. Zur Umsetzung dieser neuen Prozesse ist auch eine hohe Präzision im Montageprozess erforderlich. Geringe Toleranzen sind ein Schlüssel für effizient arbeitende optische Systeme, aber geringe Fehler lassen sich nicht vermeiden. Schrumpfende Klebstoffe und geringe Abweichungen in den Maschinenparametern führen zu minimalen Fehlpositionierungen. Das match forscht an Methoden, um auch diese geringen Abweichungen vorhersagen zu können. Die Maschinenteknik hat mit der Vernetzung und Digitalisierung große Fortschritte gemacht, sodass sich zahlreiche Daten einer Maschine erfassen und auswerten lassen. In diesem Bereich hat das match sein Team verstärkt und Kompetenzen aufgebaut. Im Rahmen von PhoenixD wird ein Simulationsmodell erarbeitet, das die zu erwartende Montagequalität durch die Interpretation von Maschinen- und Prozessdaten ermöglicht. In einem übergeordneten Netzwerk werden diese Informationen in ein virtuelles Modell eingespeist. Das Modell wird bei der Prozessauslegung nachfolgender Arbeitsschritte berücksichtigt, woraus eine bessere Maßhaltigkeit in der Fertigung und somit eine höhere Produktqualität und Performance resultiert. Als Grundlage der Prozessoptimierung werden verschiedene Konzepte wie die adaptive oder die selektive Montage betrachtet, welche vom match weiterentwickelt und auf optische Systeme im Speziellen angepasst werden.

Um den Anforderungen einer wirtschaftlichen Produktion von optischen Systemen gerecht zu werden, verfolgt PhoenixD den Ansatz der Rolle-zu-Rolle-Fertigung, bei dem die Kom-

ponenten sowohl zueinander präzise ausgerichtet als auch übereinandergeschichtet werden. Zur Feinpositionierung entwickelt das match die Technik der elektrostatischen Self-Assembly. Dafür werden die Bauteile mit leitfähigen Strukturen beschichtet, welche als integrierte Mikroaktoren dienen. In einem Schichtaufbau gegenüberliegende Strukturen werden positiv und negativ geladen, wodurch die zur Ausrichtung notwendigen Anziehungskräfte entstehen. Die Bauteile

positionieren sich dann ohne externe Handhabung selbst auf der zuvor definierten Montageposition. Im Jahr 2021 ist dem match der Nachweis gelungen, dass eine Positionierung von unter  $2\ \mu\text{m}$  reproduzierbar erreicht werden kann. Die Technik der elektrostatischen Self-Assembly ist ein batchfähiges Verfahren und kann zur Ausrichtung kompletter Wafer genutzt werden. Somit ist der Prozess für planare Baugruppen deutlich wirtschaftlicher als konventionelle Montage durch Pick&Place. Weiterführende Forschungen laufen aktuell in der Simulation der Systeme, sodass ein Design der integrierten Mikroaktoren künftig effizienter erfolgen kann.

### Adaptive Pfadplanung im Bauwesen / Im Zuge aktueller

Forderungen nach einem nachhaltigen Umgang mit Ressourcen und umweltfreundlichen Fertigungsprozessen ist die Zukunftsfähigkeit konventioneller Herstellungsverfahren der Baubranche begrenzt. Insbesondere die Fertigung von Betonbauteilen für größere Bau- oder auch Infrastrukturprojekte erfordert derzeit noch aufwändige Schalungskonstruktionen und begrenzt damit die Optimierung des Materialeinsatzes. Der DFG geförderte Transregio 277 „Additive Manufacturing in Construction – The Challenge of Large Scale“ befasst sich diesbezüglich mit den Grundlagen der Einführung additiver Fertigungsverfahren in die Baubranche. Ziel ist es, Produktionsprozesse mit deutlich höheren Gestaltungsfreiheiten zu entwickeln, um somit ressourceneffizientere Konstruktionen zu ermöglichen. Die Baubranche bietet dabei zwei grundlegend neue Herausforderungen für die Entwicklung spezifischer Fertigungsverfahren. Dies ist zum einen der erforderliche Maßstab: Bauteilgrößen, Fertigungsgeschwindigkeiten und -genauigkeiten sowie Benutzeranforderungen unterscheiden sich erheblich von denen anderer Industriezweige. Zum anderen ist die Materialvielfalt innerhalb einer Komponente, bedingt durch die erforderliche Bewehrung von Betonbauteilen und die Integration von Versorgungstechnik, prinzipiell unumgänglich. Vor diesem Hintergrund bedarf es zur Entwick-

lung großskaliger additiver Produktionsanlagen zunächst umfangreicher Grundlagenforschung bezüglich der Material-Prozess-Interaktion. Insbesondere frische Betone, welche als Hauptwerkstoffe im Bauwesen zum Einsatz kommen, sind aufgrund ihrer Fließeigenschaften und der langen Aushärte-dauern mit herkömmlichen 3D-Druckprozessen nicht handhabbar. Als Lösungsansatz wird daher innerhalb des Transregios eine enge Kopplung zwischen den zeitabhängigen Materialeigenschaften und der gesamten Prozesskette angestrebt.

Im Teilprojekt B04 des TRR 277 beschäftigen sich die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler am match mit neuen Ansätzen für Slicing- und Pfadplanungsmethoden. Hierbei dienen iterative Optimierungsverfahren dazu, die Ergebnisse aus Materialmodellen zur Korrektur des Druckpfades einzusetzen. Weiterführend kommen Industrieroboter mit erweitertem Freiheitsgrad als Fertigungsanlage zum Einsatz, um kostengünstig einen maximalen Bauraum zu erzielen. Diesbezüglich stellen besonders die erforderlichen konstanten Bahngeschwindigkeiten, zur Sicherung eines gleichmäßigen Materialauftrages, einen Forschungsschwerpunkt dar. Darüber hinaus werden zusätzliche Lösungen zur Überwachung und Regelung des Materialauftrags entwickelt und validiert. Als Versuchsanlage für die Materialapplikation steht dem Institut dabei das Digital Building Fabrication Laboratory des Instituts für Tragwerksentwurf an der Technischen Universität Braunschweig zur Verfügung, an dem Untersuchungen auf Basis von Spritzbeton durchgeführt werden.

**Sauerstofffreie Produktion** / Der Sonderforschungsbereich 1368 befasst sich mit der Durchführung produktionstechnischer Verfahren in sauerstofffreier Atmosphäre. Die Reduzierung des Sauerstoffgehalts auf bisher nicht erreichbar niedrige Werte bietet das Potenzial bereits etablierte Prozesse um neue Möglichkeiten zu erweitern, die Leistungsfähigkeit der erzeugten Produkte signifikant zu steigern und zudem völlig neuartige Prozesse zu ermöglichen.

In konventionellen Schutzgas- und Vakuumatmosphären ist immer Restsauerstoff vorhanden, welcher zur unerwünschten Oxidation von Metalloberflächen führt. Die Idee hinter der sauerstofffreien Produktion beruht auf der Zugabe von einem sehr geringen Anteil an Monosilan. Dieses reagiert mit dem Restsauerstoff und -wasser der Umgebung zu Silandioxid bzw. Wasserstoff und führt hierdurch zu einer Atmosphäre, die in Bezug auf den Sauerstoffgehalt einem extrem hohen Vakuum (XHV) entspricht. Das match befasst sich im Teilprojekt B04 mit dem Einfluss der XHV-adäquaten Atmosphäre auf das Reaktionsverhalten von Klebstoffen. Zum einen werden neue Prozesse mit Potenzial zur Produktivitäts- und Qualitätssteigerung durch gezielte Zugabe der Aushärte-Komponente ermöglicht. Zum anderen werden Klebverbindungen ohne zwi-

schenliegende Oxidschichten hergestellt und charakterisiert. Diese direkte Verbindung bietet im Vergleich zu konventionellen Klebverbindungen das Potenzial für mechanische, thermische, elektrische und chemische Eigenschaften höherer Funktionalität, neue Fügepartner-Klebstoff-Kombinationen und dünnere Schichtdicken.

**Lehre** / Seit dem Bestehen des Instituts arbeitet das match daran, neue Konzepte und Methoden in die Lehre einzubringen. Auch im Jahr 2021 war dies ein wichtiges Bestreben, um die Herausforderungen zu meistern, die die Corona-Situation für die Lehre mit sich brachte. Praxisorientierte Veranstaltungen wie das Bachelorprojekt sind ein wichtiger Bestandteil des Lehrplans, denn im Mittelpunkt stehen nicht nur die rein technischen Studieninhalte, sondern Motivationsförderung und die Vermittlung von Problemlösungskompetenz im gemeinsamen Miteinander.

Sehr positive Resonanz findet die Mastervorlesung „Roboter-gestützte Montageprozesse“. Am Beispiel einer realitätsnahen Problemstellung können die Teilnehmenden in Kleingruppen selbst Lösungsansätze zur Realisierung eines Montageprozesses erarbeiten. Die Praxiseinheiten stellen dabei die Teilaspekte Simulation, Sensorintegration und Programmierung in den Fokus.

Im Rahmen der Vorlesung „Handhabungs- und Montagetechnik“ erlernen die Studierenden die Grundlagen der Montageplanung, der Montagegerechten Produktgestaltung sowie wichtige Grundlagen aus dem Bereich der Handhabungstechnik. Im Rahmen eines freiwilligen studentischen Projektes übernehmen die Studierenden selbst die Planung und Auslegung der Montage für ein selbstgewähltes Produkt. Einem ähnlichen Weg folgt die Vorlesung Industrieroboter für die Montagetechnik. Die Studierenden erwerben Kenntnisse über Arbeitsräume, Anwendungskriterien und Bauformen industriell eingesetzter Roboter. Die im letzten Jahr als reine Onlinereveranstaltung angebotenen Vorlesungen werden nun wieder in Präsenz stattfinden und durch Videoaufzeichnungen, ein aktives Forum und Onlinesprechstunden unterstützt.

Seit Mitte des Jahres besitzt das match den Explorationsroboter „Spot“ von Boston Dynamics. Der auf den Namen EMMA (kurz für Exploration of Maneuvers during Match's Autonomous missions) getaufte vierbeiniger Laufroboter, der bezüglich seiner Struktur und Fortbewegung deutliche Ähnlichkeit zu einem Hund aufweist, soll u.a. eingesetzt werden, um autonom Müll auf dem Campus aufzusammeln und zur Sortierung an einem zentralen Sammelpunkt abzuliefern. Im Gegensatz zu rad- oder kettengebundenen mobilen Robotern ist EMMA dabei extrem flexibel hinsichtlich Bodenbegebenheit und Einsatzort. Gleichzeitig ist es ihr möglich, in Gebäude oder Räu-

me zu gelangen, selbstständig Türen zu öffnen und Treppen zu steigen. Zur Durchführung dieser Aufgaben erstellt EMMA mithilfe ihrer fünf Tiefenbildkameras sowie zwei LiDAR-Sensoren eine 3D-Karte der Umgebung, um sich auf dem Campus zu orientieren. Damit EMMA mit ihrer näheren Umgebung interagieren kann, besitzt sie einen Roboterarm auf ihrem Rücken, der ihr mittels eines Greifers das Festhalten und Heben von Gegenständen ermöglicht. Unmittelbar neben dem Greifer befindet sich eine weitere Kamera, mit der EMMA Nahaufnahmen von Objekten auf dem Boden machen kann. Bei der Suche nach Müll wird EMMA von Studierenden unterstützt. Im Rahmen einer Lehrveranstaltung wird die Klassifizierung der vom Laufroboter erkannten Objekte mittels neuronaler Netze realisiert. Diese Netze bestimmen den optimalen Greifpunkt eines Objektes für den Transport und bestimmen die Art des Mülls zur Sortierung am Sammelpunkt.

Ebenfalls mit neuronalen Netzen befasst sich das Masterlabor „Machine Learning in der Produktionstechnik“. Im Wintersemester 2021/22 wurde erstmals diese anwendungsnahe Veranstaltung zur Methodik künstlicher Intelligenz im Maschinenbau angeboten. Im Labor wird den Studierenden die praktische und anwendungsnahe Implementierung von künstlichen neuronalen Netzen in der Produktionstechnik vermittelt. Die Studierenden haben die Aufgabe, einen Recyclingprozess für Getränkeverschlüsse zu entwickeln. Hierbei durchlaufen die Studierenden den gesamten Lösungsprozess - von der Erstellung eines Datensatzes, über die Programmierung und dem Training von Neuronalen Netzen in Python, bis hin zur Validierung der Methoden im Versuch.

Das match beschäftigt sich auch mit dem Forschenden-Nachwuchs, ganz besonders unter dem Gesichtspunkt der Inklusion: Im Rahmen des Sonderforschungsbereichs 871 „Regeneration komplexer Investitionsgüter“ besuchten Schülerinnen und Schüler der Otfried-Preußler-Grundschule am 14.07.2021 auch das match. Zusammen mit Forschenden des SFB und Lehramtsstudierenden entwickelten sie eine Lern-App, welche die Themen des SFB „Reparieren statt wegwerfen. Nachhaltiger Umgang mit Ressourcen“ vermittelt. Die beteiligten Schülerinnen und Schülern hatten die Möglichkeit, Interviews auch mit Prof. Raatz zu führen, in denen die unterschiedlichsten Fragen rund um den Forschungs- und Universitätsalltag sowie projektspezifische Herausforderungen gestellt wurden. Im Anschluss fand eine Führung durch das Versuchsfeld des match statt, bei der die Schülerinnen und Schüler einmal selbst in die Forschungsthemen hineinschnuppern konnten. Die Otfried-Preußler-Grundschule ist im vergangenen Jahr als beste Schule Deutschlands ausgezeichnet worden, weil sie sehr konsequent den Anspruch von Inklusion umzusetzen sucht. Die Schülerinnen und Schüler im Projekt besuchten die dritte Klasse und kamen mit ganz unterschiedlichen Voraussetzungen: Manche benötigten einen Rollstuhl, manche nutzten technische Hilfsmittel in der Kommunikation und waren insgesamt eine sehr lebendige Gruppe von Kindern mit je unterschiedlichen Interessen, Temperament und Neugier.

17 wissenschaftliche Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter  
4 nichtwissenschaftliche Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter  
38 studentische Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter

## match 2021 Institut für Montagetechnik

### Leitung

Prof. Dr.-Ing. Annika Raatz

### Lehre

23 Masterarbeiten, 11 Studienarbeiten,  
10 Bachelorarbeiten

### Aktuelle Forschung

SPP 2100, Soft Material Robotic Systems; Koordinationsprojekt (DFG)

SPP 2100, Kohärente Methodologie zur Modellierung und zum Entwurf weicher Roboter - Die Soft Material Robotics Toolbox (SMaRT) (DFG)

SFB 1153, Prozesskette zur Herstellung hybrider Hochleistungsbauteile durch Tailored Forming TP C07 Flexible Handhabung schmiedewarmer Hybridbauteile (DFG)

Exzellenzcluster PhoenixD (Photonics, Optics, and Engineering – Innovation Across Disciplines): Präzisionsmontage und Self Assembly (Design, Herstellung und Montage von Präzisionsoptik) (DFG)

Forschungsbau SCALE – Skalierbare Produktionssysteme der Zukunft: Kooperative Handhabung von Bauteilen mit mobilen Montageplattformen (Land und Bund)

SFB 871, Regeneration komplexer Investitionsgüter: TP A05 Anpassungsfähige bauteilschonende Demontage im Regenerationspfad (DFG)

Methoden zur Automatisierung von Handhabungsprozessen unter kryogenen Umgebungsbedingungen (DFG)

Modellbasierte Erhöhung der Flexibilität und Robustheit einer aerodynamischen Zuführanlage für die Hochleistungsmontage (DFG)

SFB/Transregio 277 Additive Fertigung im Bauwesen – Die Herausforderung des großen Maßstabs (DFG) TP B04 Process Control and Adaptive Path Planning for Additive Manufacturing Processes Based on Industrial Robots with an Extended Degree of Freedom

SFB 1368 Sauerstofffreie Produktion - Prozesse und Wirkzonen in sauerstofffreier Atmosphäre zur Entwicklung zukunftsfähiger Produktionstechniken und Fertigungsverfahren; TPB04 Klebstoffbasierte Montageprozesse in XHV-adäquater Atmosphäre mit desoxidierten und oxidierten Fügepartnern

Präzisionsmontage: Konzepte und Strategien für hochpräzise Montagesysteme und -Prozesse; Prozessentwicklung für die Montage von Sensoren in der Medizintechnik

**Veröffentlichungen (Auszug)**

**Aufsätze (reviewed)**

**Banerjee, S. S.; Arief, I.; Berthold, R.; Wiese, M.; Bartholdt, M.; Ganguli, D.; Mitra, S.; Mandal, S.; Wallaschek, J.; Raatz, A.; Heinrich, G.; Das, A. (2021):** Super-elastic ultrasoft natural rubber-based piezoresistive sensors for active sensing interface embedded on soft robotic actuator. In: Applied Materials Today 25, Article 101219, DOI: <https://doi.org/10.1016/j.apmt.2021.101219>

**Blankemeyer, S.; Kolditz, T.; Busch, J.; Seitz, M.; Nyhuis, P.; Raatz, A. (2021):** Adaptive aerodynamic part feeding enabled by genetic algorithm. In: Production Engineering res. Devel., 8 Seiten, open access, DOI: [10.1007/s11740-021-01076-w](https://doi.org/10.1007/s11740-021-01076-w)

**Ince C.-V.; Chugreeva, A.; Böhm, C.; Aldakheel, F.; Uhe, J.; Wriggers, P.; Behrens, B.-A.; Raatz, A. (2021):** A Design Concept of Active Cooling for Tailored Forming Workpieces During Induction Heating. Production Engineering, Vol. 15, S. 177-186, <https://doi.org/10.1007/s11740-021-01027-5>

**Kloft, H.; Gehlen, C.; Dörfler, K.; Hack, N.; Henke, K.; Lowke, D.; Mainka, J.; Raatz, A. (2021):** TRR 277: Additive Fertigung im Bauwesen. In: Bautechnik 98, H. 3; S. 222-231; DOI: <https://doi.org/10.1002/bate.202000113>

**Kloft H, Gehlen C, Dörfler K, Hack N; Henke, Lowke D, Mainka J, Raatz A (2021):** TRR 277: Additive manufacturing in construction. Civil Engineering Design 2021; S. 1–10. DOI: <https://doi.org/10.1002/cend.202100026>

**Ibrahim, S.; Krause, J. C.; Olbrich, A.; Raatz, A. (2021):** Modeling and Reconstruction of State Variables for Low-Level Control of Soft Pneumatic Actuators. In: Frontiers in Robotics and AI, Vol. 8, 32 Seiten, DOI: <https://doi.org/10.3389/frobt.2021.557830>

**Konferenz (reviewed)**

**Bartholdt, M.; Wiese, M.; Schappler, M.; Spindeldreier, S.; Raatz, A. (2021):** A Parameter Identification Method for Static Cosserat Rod Models: Application to Soft Material Actuators with Exteroceptive Sensors. In: 2021 IEEE/RSJ Int. Conf. on Intelligent Robots and Systems (IROS), S. 624-631, DOI: <https://doi.org/10.1109/IROS51168.2021.9636447>

**Berthold, R.; Bartholdt, M. N.; Wiese, M.; Kahms, S. Spindeldreier, S. Raatz, A. (2021):** A Preliminary Study of Soft Material Robotic Modelling: Finite Element Method and Cosserat Rod Model. In: 9th International Conference on Control, Mechatronics and Automation (ICCA), S. 7-13, DOI: [10.1109/ICCA54375.2021.9646194](https://doi.org/10.1109/ICCA54375.2021.9646194)

**Blankemeyer, S.; Wiens, D.; Wiese, T.; Raatz, A.; Kara, S. (2021):** Investigation of the potential for an automated disassembly process of BEV

batteries, Procedia CIRP 98, S. 559-564, DOI: [10.1016/j.procir.2021.01.151](https://doi.org/10.1016/j.procir.2021.01.151)

**Blumel, R.; Raatz, A. (2021):** Experimental Validation Of A Solidification Model For Automated Disassembly. In: Herberger, D.; Hübner, M. (Eds.): Proc. of the 2nd Conf. on Production Systems and Logistics (CPSL 2021). Hannover: Institutionelles Repositorium der Leibniz Universität Hannover, S. 339-348, DOI: <https://doi.org/10.15488/11250>

**Ihmig, F.; Koch, T.; Biehl, M.; Jahn, P.; Raatz, A. (2021):** Robotergestützte Handhabung im kryogenen Arbeitsumfeld. In: Tagungsband der Digital-Fachtagung VDI Mechatronik 2021, S. 164-169

**Ince, C.-V.; Geggier, J.; Bruns, C.; Raatz, A. (2021):** Development of a Form-Flexible Handling Technology with Active Cooling for Hybrid Components in Forging. In: Procedia CIRP Vol. 97, (8th CIRP Conference on Assembly Technologies and Systems, S. 27-32, DOI: <https://doi.org/10.1016/j.procir.2020.05.200>

**Jahn, P.; Ihmig, F.; Raatz, A. (2021):** Design of a parallel robot with additively manufactured flexure hinges for a cryogenic work environment. In: Procedia CIRP 103, 9th CIRP Global Web Conference (CIRPe2021), S. 280-285, DOI: <https://doi.org/10.1016/j.procir.2021.10.045>

**Kolditz, T.; Raatz, A. (2021):** Aerodynamische Zuführtechnik – Fortschritte und Perspektiven. In: ZWF, 116, S. 1-5, DOI: [10.1515/zwf-2021-0198](https://doi.org/10.1515/zwf-2021-0198)

**Kolditz, T.; Hentschel, J.; Katz, F.; Raatz, A. (2021):** Extended Simulation Model For An Aerodynamic Feeding System. In: Herberger, D.; Hübner, M. (Eds.): Proc. of the 2nd Conf. on Production Systems and Logistics (CPSL 2021), Institutionelles Repositorium der Leibniz Universität Hannover, S. 244-253. DOI: <https://doi.org/10.15488/11252>

**Kolditz, T.; Ince, C.; Raatz, A. (2021):** Investigation on the Convergence of the Genetic Algorithm of an Aerodynamic Feeding System due to the Enlargement of the Solution Space. In: 9th International Precision Assembly Seminar (IPAS), DOI: [https://doi.org/10.1007/978-3-030-72632-4\\_5](https://doi.org/10.1007/978-3-030-72632-4_5)

**Kolditz, T.; Rochow, N.; Nyhuis, P.; Raatz, A. (2021):** Batch Time Optimization for an Aerodynamic Feeding System under changing ambient conditions. In: Procedia CIRP Vol. 97, (8th CIRP Conference on Assembly Technologies and Systems (CATS), S. 278-283, DOI: <https://doi.org/10.1016/j.procir.2020.05.238>

**Lachmayer, L.; Dörrie, Kloft, H.; Raatz, A. (2021):** Automated shotcrete 3D printing - Printing interruption for extended component complexity. In: Proc. of the 38th ISARC (The 38th Int. Symposium on Automation and Robotics in Construction), S. 725-732, DOI: <https://doi.org/10.22260/ISARC2021/0098>

**Lachmayer, L.; Ekanayaka, V.; Hürkamp, A.; Raatz, A. (2021):** Approach to an optimized printing path for additive manufacturing in construction utilizing FEM modelling. In: Procedia CIRP 104, S. 600-605, DOI: <https://doi.org/10.1016/j.procir.2021.11.101>

**Recker, T.; Matour, M.E.; Raatz, A. (2021):** A Simple And Modular Approach To Path Planning For Tractor-Trailer Robots Based On Modification Of Pre-Existing Trajectories. In: Herberger, D.; Hübner, M. (Eds.): Proc. of the 2nd Conf. on Production Systems and Logistics (CPSL). Institutionelles Repositorium der Leibniz Universität Hannover, S. 136-145, DOI: <https://doi.org/10.15488/11241>

**Recker, T.; Heinrich, M.; Raatz, A. (2021):** A Comparison of Different Approaches for Formulation Control of Nonholonomic Mobile Robots regarding Object Transport. In: Procedia CIRP Vol. 96, 8th CIRP Global Web Conference – Flexible Mass Customisation, S. 248-253, DOI: <https://doi.org/10.1016/j.procir.2021.01.082>

**Recker, T.; Heilemann, F.; Raatz, A. (2021):** Handling of Large and Heavy Objects using a Single Mobile Manipulator in Combination with a Roller Board. In: Procedia CIRP Vol. 97, 8th CIRP Conference on Assembly Technologies and Systems, S. 21-26, DOI: <https://doi.org/10.1016/j.procir.2020.05.199>

**Stucki, M.; Schumann, C.; Raatz, A. (2021):** Electrostatic Self-Assembly Technique for Parallel Precision Alignment of Optical Devices. In: Herberger, D.; Hübner, M. (Eds.): Proc. of the 2nd Conf. on Production Systems and Logistics (CPSL) Institutionelles Repositorium der Leibniz Universität Hannover, S. 468-477, DOI: <https://doi.org/10.15488/11255>

**Wiese, M.; Runge-Borchert, G.; Cao, B.-H.; Raatz, A. (2021):** Transfer learning for accurate modeling and control of soft actuators. 2021 IEEE/RSJ 4th Int. Conf. on Soft Robotics (RoboSoft), New Haven, CT, USA (virtual), S. 51-75, DOI: [10.1109/RoboSoft51838.2021.9479300](https://doi.org/10.1109/RoboSoft51838.2021.9479300)

**Wesentliche Neuanschaffungen**

Boston Dynamics Spot Explorer mit Arm: mobiler quadruped Roboter für die Lehre und Anwendungsentwicklung

Universal Robots UR16e: Cobot mit 16 kg Tragkraft in kompakter Bauweise für Aufgaben mit schweren Lasten

2 Agile X Scouts: Autonome mobile Roboterplattform, schnell, wendig, kompakt und ROS-kompatibel.

IGUS Robolink RL-DP: Roboterarm Kompletmodul mit 5 Freiheiten und bis zu 30N Nutzlast

Keyence RB1200: Kamera, Beleuchtung und Bilderfassungscontroller für die Multidimensionale Bildverarbeitung und Hochpräzise multispektrale Streifenprojektion



Foto: Christian Wyrwa

Professor Hans Jürgen Maier, Institutsleiter

## Geschichte des Instituts

An der Technischen Hochschule, dem Vorgänger der heutigen Leibniz Universität Hannover, wurde 1905 mit Prof. Nachtweh der erste etatmäßige Professor für spezielle mechanische Technologien, Maschinenzeichnen und landwirtschaftlichen Maschinenbau ernannt – die „speziellen mechanischen Technologien“ entsprechen heute den Gebieten Werkstofftechnik und Materialwissenschaften. Schon damals beschäftigten sich die Mitarbeiter mit Themen wie der Materialprüfung und der Metallurgie. Es dauerte allerdings noch einige Jahrzehnte, bis sich das Institut auf die heutigen Schwerpunkte ausrichtete. Das IW kann somit auf eine gut einhundertjährige Tradition zurückblicken. In diesem Zeitraum wurde das Institut von sechs Direktoren geleitet. Der letzte Wechsel hat im Oktober 2012 stattgefunden, als der inzwischen verstorbene Institutsdirektor Prof. Friedrich-Wilhelm Bach auf eine Niedersachsenprofessur für Werkstofftechnik & Rückbautechnologie berufen wurde. Seit diesem Zeitpunkt führt sein Nachfolger Prof. Hans Jürgen Maier, der von der Universität Paderborn an die Leibniz Universität Hannover gewechselt ist, das Institut.

## Aus der Forschung

**Biomedizintechnik und Leichtbau** / Leichtmetalle wie Magnesium, Aluminium und Titan stehen im Mittelpunkt der Forschung dieses Bereiches. Am Beispiel unterschiedlicher Gießverfahren sowie der Umformverfahren Walzen und Strangpressen wird die Verarbeitung dieser Werkstoffe untersucht. Die Gießtechnik umfasst die Legierungsentwicklung von Aluminium- und Magnesiumlegierungen, die Prozessentwick-

lung sowie die Herstellung von Halbzeugen für die strangpress-technische Weiterverarbeitung. Neben der Anpassung der mechanischen Kennwerte an die Anforderungen des Einsatzgebietes liegt ein weiterer Schwerpunkt auf der Entwicklung neuer Implantatwerkstoffe, z. B. biokompatibler Magnesium- sowie Niob-Zirkonium-Legierungen. Der Einfluss einer Umformung auf die Eigenschaften der Legierungen wird mittels Strangpressen oder Walzen untersucht. In diesem Zusammenhang sind vor allem die mechanischen Eigenschaften sowie die Mikrostruktur und Textur vor und nach der Umformung von Interesse. Die Erzeugung maßgeschneiderter Verbundstrukturen und hybrider Werkstoffe, bei denen die positiven Eigenschaften verschiedener Materialien kombiniert werden, gewinnt kontinuierlich an Bedeutung. Die Herstellung von Werkstoffverbunden wie Aluminium-Kupfer, Aluminium-Titan und Aluminium-Stahl wird sowohl mittels gießtechnischer Verfahren, zum Beispiel im Druckguss, als auch durch das Verbundstrangpressen untersucht. Neben der Grundlagenforschung werden Themen aus der industrienahen Forschung bearbeitet. Hier sind unter anderem die Entwicklung von Implantaten aus resorbierbaren Magnesiumlegierungen, die Prozessentwicklung für das Magnesium- und Aluminiumstrangpressen sowie die werkstoffkundliche Charakterisierung von stranggepressten und gegossenen Bauteilen zu nennen.

**Füge- und Oberflächentechnik** / In diesem Bereich liegen die Forschungsschwerpunkte in der werkstoff- und prozesstechnischen Entwicklung neuer Löt- und Sinterverfahren für metallische und metall-keramische Werkstoffverbunde sowie neuer Beschichtungsverfahren zur Herstellung metallischer und keramischer Korrosions- und Verschleißschutzschichten. Mit diesen Verfahren werden Oberflächen, Randzonen und Werkstoffver-

bunde (mit definiert eingestellten Grenzflächenübergängen) für unterschiedlichste Anwendungen und Anforderungsprofile hergestellt. Die Lötprozesse werden in Vakuumöfen (mit Schnellkühlung zum Härten und Vergüten), in Schutzgasöfen (Kammer- und Durchlauföfen) sowie in Induktions- und Flammlötanlagen durchgeführt. Dabei liegen die Forschungsschwerpunkte in der flussmittelfreien Benetzung der Fügeflächen durch das schmelzflüssige Lot. Als Beschichtungsprozesse werden neben den Verfahren des Auftraglötens und des Auftragsinterns insbesondere Verfahren des Thermischen Spritzens (Atmosphärisches Plasma-, Lichtbogen-, Hochgeschwindigkeitsflam- und Kaltgasspritzen) eingesetzt. Neben der langjährigen Forschung zum flussmittelfreien Verbindungs- und Auftragslötens wird als neuer Forschungsschwerpunkt beim atmosphärischen Plasma- und Lichtbogenspritzen die Entwicklung von Prozessen verfolgt, die in sauerstofffreien Inertgasatmosphären passivierungsfreie (oxidfreie) und somit stoffschlüssige Grenzflächenübergänge zur Bauteiloberfläche sowie im Schichtgefüge ermöglichen, mit dem Ziel, deutlich höhere Festigkeiten zu erreichen. Im Gegensatz dazu werden in einem weiteren Forschungsschwerpunkt Haftfestigkeiten thermisch gespritzter Schichten gezielt gering eingestellt, so dass in Urformwerkzeuge applizierte Beschichtungen auf das Bauteil (zum Beispiel Gussbauteil) transplantiert werden können, wobei eine Mikrostrukturierung als Positiv-/Negativ-Abformung mit übertragen werden kann. Des Weiteren werden Verfahren der physikalischen Gasphasenabscheidung (engl.: physical vapour deposition, kurz PVD) eingesetzt. Forschungsschwerpunkt ist hier die Entwicklung von im RF-Magnetronsputtering-Prozess erzeugten Molybdänoxidschichten für die Trockenschmierung von Wälzkontakten. Die experimentellen Untersuchungen in den unterschiedlichen Themengebieten werden durch For-

schungsbeiträge zur physikalischen Modellierung und Simulation der genannten Prozesse unterstützt.

**Technologie der Werkstoffe** / Zu den Arbeitsschwerpunkten dieses Bereichs zählen die Stahlmetallurgie, Wärmebehandlung und Simulation, Mikrostrukturanalysen sowie Fragestellungen zur Materialprüfung und Materialermüdung. Im Fokus der Forschungsaktivitäten stehen neben der Mikrostrukturcharakterisierung und Legierungsentwicklung die gesteuerte Wärmebehandlung von metallischen Werkstoffen wie Vergütungsstählen mittels umweltfreundlicher Luft-Wasser-Spraykühlung und deren numerische Abbildung mittels der Finite-Elemente-Methode. Die Spraykühlung lässt sich sehr flexibel und vielfältig einsetzen und stellt sicher, dass die Werkstoffe schnell und gleichmäßig abgekühlt werden. Neben industriell weit verbreiteten Werkstoffen stehen zunehmend Sonderwerkstoffe wie Hochtemperatur-, Formgedächtnis- und Hochentropielegierungen im Mittelpunkt aktueller Untersuchungen. Das Team der Materialprüfung ermittelt statische, zyklische und dynamische Materialkennwerte metallischer Werkstoffe und arbeitet als Dienstleister für Prüfaufträge intensiv mit Industrieunternehmen zusammen.

**Unterwassertechnikum** / Elektronenstrahl- und Wasserstrahltechnik, Schweißen und Schneiden sind Stichworte aus dem Unterwassertechnikum Hannover (UWTH). Viele dieser Techniken werden dort insbesondere für Einsätze unter Wasser aber auch unter atmosphärischen Bedingungen erforscht. Ein Teil der Verfahren ist ursprünglich für den Rückbau kerntechnischer Anlagen entwickelt worden, heute liegen die Schwerpunkte zusätzlich auf der Entwicklung von Unterwasserschweiß- und schneidprozessen, die zunehmend auch für Reparaturen an Off-

Shore-Windparks notwendig sind. Die Zusatzwerkstoffe für das Unterwasserschweißen werden am UWTH entwickelt und getestet. Auch im Bereich der Lichtbogenschweißtechnik werden im UWTH Forschungs- und Entwicklungsaufgaben durchgeführt. So wird beispielsweise das magnetisch bewegte Lichtbogenschweißen für die Bohrtechnik etabliert und im Bereich des Additive Manufacturing gearbeitet. Hierbei erfolgen die Schweißprozessentwicklung sowie der Prototypenbau des Schweißequipments im UWTH. Auch Wasserstrahltechniken werden am UWTH erforscht und genutzt – unter anderem für den Einsatz in der Biomedizintechnik. Dabei wird untersucht, wie sich Gewebe untersuchungsspezifisch präparieren lässt oder wie Fördergurte unter Einsatz dieser Technologie repariert werden können. Im Bereich der Elektronenstrahlbearbeitung wurde in den letzten Jahren das Schneiden mit dem atmosphärischen Elektronenstrahl entwickelt und untersucht. Vermehrt wird hier die 3D-Fertigung von Bauteilen fokussiert. Ferner ist der Bereich Korrosionsprüfung am UWTH angesiedelt. In diesem werden sowohl F & E-Aufgaben bearbeitet als auch Dienstleistungen auf dem Gebiet der Korrosion metallischer Werkstoffe durchgeführt.

**Zerstörungsfreie Prüfverfahren** / Im Bereich Zerstörungsfreie Prüfverfahren (ZfP) liegen die Schwerpunkte der Forschungsarbeiten in der Entwicklung und Weiterentwicklung zerstörungsfreier Prüftechniken zur Fehlerprüfung, Materialcharakterisierung und zerstörungsfreier Bestimmung von Materialkennwerten (Festigkeit, Härte, Gefüge, etc.) sowie der Anlagen- und Prozessüberwachung. Die Forschungsarbeiten umfassen dabei Prüftechniken aus den Bereichen Radiografie, Thermografie, Ultraschalltechnik, elektromagnetischer Prüftechniken und Schallemissionstechnik. Ein Fokus liegt in der Entwicklung von Sensorik, welche auch unter widrigsten Umgebungseinflüssen eingesetzt werden kann. Diese Sensorik ermöglicht innerhalb von Prozessketten Daten zu generieren, welche zur Anpassung von Fertigungsprozessen verwendet werden können. So kann bspw. mittels einer neu entwickelten Hochtemperatur-Sensortechnik die Mikrostrukturevolution und damit die resultierenden Bauteileigenschaften von Schmiedeteilen in situ in der Abkühlphase bestimmt werden, um eine Echtzeit-Prozessregelung zu realisieren. So kann ein gewünschtes Zielgefüge kontrolliert eingestellt werden und eine Qualitätssicherung während des Prozessschrittes der Wärmebehandlung erfolgen. Auch die prozesssichere Einstellung von Randzoneigenschaften gedrehter Bauteile konnte durch die Integration von zerstörungsfreier Prüftechnik in einer Werkzeugmaschine umgesetzt werden. Ein weiterer Fokus liegt auf der Zustandsbewertung von Schweißnähten an Offshore-Strukturen. Ziel ist hierbei die Detektion und Bewertung von Fehlern wie Rissen im gesamten Schweißnahtvolumen unterhalb der Wasserlinie sowie die Bewertung der Härte in der Wärmeeinflusszone. Auch Prüftechniken zur zerstörungsfreien Bewertung des Zustandes von hochbelasteten Bauteilen wie Turbinenschaufeln werden im

Bereich ZfP entwickelt. Durch eine Kombination von elektromagnetischen und thermografischen Prüftechniken kann das Schichtsystem dieser Bauteile in Hinblick auf den mikrostrukturellen Zustand und potentielle Fehler bewertet werden. Neben den Entwicklungstätigkeiten besteht eine intensive Zusammenarbeit mit der Industrie hinsichtlich der Integration zerstörungsfreier Prüftechniken in modernen Fertigungsanlagen zur Inline-Prüfung bei der Herstellung von Werkstoffen, Halbzeugen und Bauteilen. Zielsetzung ist dabei die Entwicklung einer an die individuellen Anforderungen angepassten Prüftechnik, welche im Rahmen der Prozessregelung oder der Qualitätssicherung eingesetzt werden kann.

**Analysentechnik** / In dieser übergeordneten Einrichtung erfolgt die Schadensforschung für Kunden aus der Industrie und die Erstellung von Gerichtsgutachten. Die Einsätze der Werkstoff-Kriminalisten sind extrem vielfältig: von der Untersuchung einer klassischen Bruchfläche – unter welcher Belastung brach das Bauteil, wie lange hat der Vorgang gedauert, wo hat der Bruch angefangen – bis hin zur Echtheitsprüfung vermeintlich vorchristlicher Antiquitäten ist den Mitarbeitenden fast keine Frage fremd.

46	wissenschaftliche Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter
28	nichtwissenschaftliche Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter
46	studentische Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter
5	Auszubildende

# IW 2021

## Institut für Werkstoffkunde

### Leitung

Prof. Dr.-Ing. Hans Jürgen Maier

### Lehre

29 Masterarbeiten, 29 Studienarbeiten,  
30 Bachelorarbeiten

### Aktuelle Forschung

#### BML – Biomedizintechnik und Leichtbau

Aluminiumlegierungen mit angepasstem Schmelzintervall für das prozessintegrierte Ausschäumen beim Strangpressen (DFG)

Entwicklung langzeitstabiler Implantate: In vivo- und In-vitro-Untersuchungen zu den Wechselwirkungen cochleärer Zellen mit Platin-korrosionsprodukten im Rahmen der Cochlea-Implantat-Stimulation (DFG)

Grenzflächeneffekte und Einwachsverhalten von Magnesiumschwämmen als bioresorbierbares Knochenersatzmaterial (DFG)

HyFunk - Experimentelle und numerische Untersuchungen zu lokal aufschäumbaren Strangpressprofilen für die additive Fertigung von hybriden Funktionsstrukturen (DFG)

MOBILISE – Mobility in Engineering and Science (MWK)

School for Additive Manufacturing  
Teilprojekt 10: Degradation behaviour of additively manufactured components with local functional properties (MWK)

SFB 1153: Prozesskette zur Herstellung hybrider Hochleistungsbauteile durch Tailored Forming  
Teilprojekt A01: Einfluss der lokalen Mikrostruktur auf die Umformbarkeit stranggepresster Werkstoffverbunde (DFG)

SFB 1368: Sauerstofffreie Produktion  
Teilprojekt A01: Eigenschaften und lokale Mikrostruktur oxidischichtfrei erzeugter Verbundgussbauteile (DFG)

SFB 1368: Sauerstofffreie Produktion  
Vorprojekt 03: Erzeugung hybrider Halbzeuge in XHV-adäquater Atmosphäre und deren Verarbeitung an Normalatmosphäre mittels Verfahren der Massivumformung am Beispiel des Strangpressens

SFB/TRR 298 :Sicherheitsintegrierte und infektionsreaktive Implantate  
Teilprojekt A05: Sensorische Cochlea-Elektrode: Reizsicherheit durch Detektion kritischer Prozesse an der Elektroden-Nerven-Grenzfläche (DFG)

Teilprojekt B04: Aktive Stimulus-responsive Implantate (DFG)

Wirkmechanismen von Nanopartikeln als neuartige Kornfeiner für thermomechanisch hoch beanspruchte Aluminiumgussbauteile (DFG)

SPP 2122: Tailor made magnesium alloys for selective laser melting - Material development and process modelling (DFG)

#### Fortis - Füge- und Oberflächentechnik

Dynamische Magnet-Datenspeicherung auf thermisch gespritzten Schichten (DFG)

Entwicklung einer optischen Inspektionsmethode (spektroskopische Ellipsometrie) zur Bewertung des Oberflächenzustands von zu lötenden Metalloberflächen (AiF)

Entwicklung einer Yttriumoxidbeschichtung als Verschleißschutz in der Halbleiterindustrie (AiF/ZIM)

Exzellenzcluster PhoenixD:  
Netzwerk „optics integration“  
Teilprojekt: Metal-thermoplast composites (DFG)

Lotapplikationsverfahren für Bipolarplatten (AiF/ZIM)

Schmierstoffeinsparung bei Mehrstufenwerkzeugen durch thermisch oxidierte Werkzeugoberflächen aus  $\alpha$ -Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> und amorphem SiO<sub>2</sub> (AiF)

SFB 1368: Sauerstofffreie Produktion  
Teilprojekt A04: Prozessintegrierte metallische Sinterbeschichtungen für das Formhärten mit konduktiver Erwärmung (DFG)

Teilprojekt B02: Stoffschlüssige Grenzflächenübergänge beim thermischen Beschichten mit Lichtbogen- und Plasmaspritzprozessen (DFG)

SFB 871: Regeneration komplexer Investitionsgüter  
Teilprojekt B01: Endkonturnahe Turbinenschaufelreparatur durch füge- und beschichtungstechnische Hybridprozesse (DFG)

SPP 2074: Fluidfreie Schmiersysteme mit hoher mechanischer Belastung  
Teilprojekt: Trockenschmierung von Wälzkontakten durch selbstregenerative Molybdänoxid-schichtsysteme (DFG)

Technologieinitiative Triebwerksinstandsetzung (LuFo- TinTin)  
Teilprojekt: Entwicklung und Testing von Lötstrategien für rheniumarme Superlegierungen (NBank)

#### TW – Technologie der Werkstoffe

Charakterisierung des Kriechverhaltens einer Nickelbasis-Superlegierung unter nicht-isothermen Bedingungen und Modifikation der Kriechlebensdauer mittels Stromimpulsbehandlung (DFG)

Einstellung von Mikrostruktur und Degradationsverhalten oxidpartikelmodifizierter Fe-Legierungen durch selektives Elektronenstrahl-schmelzen (DFG)

Entwicklung einer Spraykühlung für Schmiedebauteile bis 5 kg zur lokalen Anpassung mechanischer Werkstoffeigenschaften und Prozessintegration der Wärmebehandlung in den Schmiedeprozess mit Reduktion der Prozesswärme um 50 % und der Nettoenergie um 25 % (AiF/ZIM)

Entwicklung eines 3D-Modells zur Beschreibung der Mikrostrukturentwicklung in Nickelbasis-Superlegierungen bei starker thermo-mechanischer und thermo-chemischer Kopplung (DFG)

Entwicklung polykristalliner zweiphasiger Co-NiAl-Formgedächtnislegierungen mit hoher funktioneller Stabilität (DFG)

Erhöhung der Verschleißbeständigkeit von Schmiedewerkzeugen durch Einsatz eines intelligenten Warmarbeitsstahls in Kombination mit einer werkstoffspezifisch angepassten Nitrierbehandlung (AiF/ FOSTA)

Partikelmodifizierung von Niob-MASC-Legierungen mittels Prozessierung unter Semi-Levitation im Kaltwand-Induktionstiegel (DFG)

Präzisionsschmieden gegossener Vorformen (DFG)

SFB1153: Prozesskette zur Herstellung hybrider Hochleistungsbauteile durch Tailored Forming  
Teilprojekt A02: Wärmebehandlung für belastungsangepasste Werkstoffeigenschaften von Tailored-Forming-Komponenten (DFG)

SFB/TR 73: Blechmassivumformung  
Transferprojekt T12: Entwicklung einer akustischen Messmethodik zum Nachweis mikrostruktureller Schädigung (DFG)

SFB1368: Sauerstofffreie Produktion  
Teilprojekt A05: Untersuchung des Kaltpressschweißens unter XHV-adäquater Atmosphäre im Prozess des Walzplattierens (DFG)

SFB/TRR 298: Sicherheitsintegrierte und infektionsreaktive Implantate  
Teilprojekt A08: Gewebeschonende Entfernung von Hüft- und Knieendoprothesen (DFG)

SPP 2006: Legierungen mit komplexer Zusammensetzung – Hochentropielegierungen (CCA – HEA)  
Teilprojekt 05: Untersuchungen des Zusammenhangs zwischen Mikrostruktur und funktionaler Ermüdung in Hochentropie-Formgedächtnislegierungen (DFG)

SPP 1959: Manipulation of matter controlled by electric and magnetic fields: Towards novel synthesis and processing routes of inorganic materials  
Teilprojekt: Micromechanisms of the electroplastic effect in magnesium alloys investigated by means of electron microscopy (DFG)

Steigerung technologischer Eigenschaften durch Kryobehandlung von Werkzeugstählen (Nanocarbid) (AiF/FOSTA)

## UWTH

Auswirkungen der schweißtechnischen Verarbeitung auf die Pseudoelastizität bei der Herstellung von Dämpfungselementen aus Formgedächtnislegierungen auf Eisenbasis (DFG)

Entwicklung eines Schneidventils zum Schalten von Suspensionen für das Wasserstrahl-schneiden (BMW-WIPANO)

Entwicklung neuer Scheibenelektrodenwerkstoffe für das Kontaktlichtbogentrennschleifen (CAMG) durch additive Fertigung und prototypische Umsetzung der Schneidtechnologie als robuste Variante für automatisierte Unterwasserschneidaufgaben beim Rückbau kerntechnischer Anlagen - Teilvorhaben: CAMG-Prozess (BMBF)

Entwicklung und Erprobung eines Schneidkopfwechselsystems zum Wasserabrasivstrahl-schneiden (BMW + LNDs)

Entwicklung von Halbzeugen mit optimierten Dämpfungseigenschaften auf Basis von pseudoelastischen eisenbasierten Formgedächtnislegierungen (DFG)

Implementierung eines Monitoringsystems zur Evaluierung der Korrosionsvorgänge an Behältermaterialien in Bentonit-basierten Endlagerkonzepten IMKORB (BMW)

SFB 871: Regeneration komplexer Investitionsgüter  
Teilprojekt B6: Lichtbogenprozesse für Reparaturschweißverfahren an Hochleistungsbauteilen aus Ti-Legierungen (DFG)

SFB 1153: Prozesskette zur Herstellung hybrider Hochleistungsbauteile durch Tailored Forming  
Teilprojekt A4: Lokale Anpassung von Werkstoffeigenschaften an Umformrohlingen durch Auftragschweißen zur Erzeugung gradierter hybrider Bauteile (DFG)  
Teilprojekt T1: Ressourceneffiziente Produktionstechnik für Großwälzlager durch hybride Werkstoffsysteme (DFG)

SFB 1368: Sauerstofffreie Produktion  
Teilprojekt B05: Kontrolle des Sauerstoffgehaltes

im thermischen Lichtbogen und die Wirkung auf den Werkstoffübergang zur Herstellung von sauerstofffreien Fügeverbindungen (DFG)

School for Additive Manufacturing:  
Subproject 11 - Process-integrated self-regulation of the Wire and Arc Additive Manufacturing (WAAM) process to produce graded designed materials (MWK)

Simul-oxycut: Erforschung und Simulation des Strömungsverhaltens der Massenstromgeregelten Brenngas-Sauerstoffmischung im Bereich des Mischrohres und in der Brenngasdüse zur Verhinderung von Flammenrückschlägen (ZIM/AiF)

Steigerung der Wirtschaftlichkeit der Wasserstrahltechnik durch die Entwicklung eines Systems zum automatisierten Schneidkopfwechsel (BMW-WIPANO)

TRANSENS - Transdisziplinäre Forschung zur Entsorgung hochradioaktiver Abfälle in Deutschland; Forschung zur Verbesserung von Qualität und Robustheit der soziotechnischen Gestaltung des Entsorgungspfades (BMW)

Untersuchung eines neuartigen additiven Fertigungsverfahrens für Kupferlegierungen auf Basis der atmosphärischen Elektronenstrahltechnologie (DFG)

Untersuchungen der Elektrodengeometrie und des Elektrodenmaterials zur Erzielung einer höheren Elektrodenstandzeit beim manuellen Elektrokontakttrennen unter Wasser (DVS/AiF)

Untersuchung und Optimierung der Prozessparameter und Werkzeuge zum Unterwasserkleben von Halterungssystemen (DVS/AiF)

Untersuchung zum Korrosionsrisiko beim Einsatz von austenitischem Schweißgut zur Vermeidung wasserstoffinduzierter Rissbildung beim nassen Unterwasserschweißen (DVS/AiF)

Untersuchungen zur Ermüdungsfestigkeit von nass geschweißten Offshore-Stählen (DVS/AiF)

## ZFP - Zerstörungsfreie Prüfverfahren

Elektromagnetische Härteprüfung für die Wärmeeinflusszone von Unterwasser-Schweißnähten (AiF/ DVS)

Prüfkonzept zur Detektion von rissbehafteten Schweißnähten an Offshore-Strukturen unterhalb der Wasserlinie (AiF/FSM)

Schleifbrandprüfung mittels ZFP-Mikromagnetik unter Verwendung eines robusten Sensorsystems (FVA Eigenmittelvorhaben)

SFB 871: Regeneration komplexer Investitionsgüter  
Teilprojekt A01: Zerstörungsfreie Charakterisierung von Beschichtungen und Werkstoffzuständen hochbeanspruchter Triebwerksbauteile (DFG)

SFB 1153: Prozesskette zur Herstellung hybrider Hochleistungsbauteile durch Tailored Forming  
Vorprojekt: Zerstörungsfreies Monitoring von hybriden Massivbauteilen zur Bereitstellung steuerung relevanter Bauteilinformationen (DFG)

SPP 2086: Prozesssichere Einstellung von Randzoneneigenschaften bei der spanenden Bearbeitung hochfester und duktiler Stähle mit einem lernfähigen Fertigungssystem (DFG)

## Veröffentlichungen (Auszug)

### Beiträge in Büchern (reviewed)

**Besserer, H.-B.; Nürnberger, F.; Maier, H. J.:** Fatigue Behavior of Sheet-Bulk Metal Formed Components. In: Merklein, M.; Tekkaya, A. E.; Behrens, B.-A. (Hrsg.): Sheet Bulk Metal Forming. Research Results of the TCRC73 2020. Springer, Cham, 2021, S. 412-433

**Gutknecht, F.; Gerstein, G.; Isik, K.; Tekkaya, A. E.; Maier, H. J.; Clausmeyer, T.; Nürnberger, F.:** Analysis of Path-Dependent Damage and Microstructure Evolution for Numerical Analysis of Sheet-Bulk Metal Forming Processes. In: Merklein, M.; Tekkaya, A. E.; Behrens, B.-A. (Hrsg.): Sheet Bulk Metal Forming. Research Results of the TCRC73 2020. Springer, Cham, 2021, S. 378-411



Foto: IW

**Wackenrohr, S.; Nürnberger, F.; Maier, H. J.:** Fatigue Life Compliant Process Design for the Manufacturing of Cold Die Rolled Components. In: Merklein, M.; Tekkaya, A. E.; Behrens, B.-A. (Hrsg.): Sheet Bulk Metal Forming. Research Results of the TCRC73 2020. Springer, Cham, 2021, S. 568-585

### Aufsätze (reviewed)

**Astafurova, E. G.; Panchenko, M.Y.; Reunova, K. A.; Mikhno, A. S.; Moskvina, V. A.; Melnikov, E. V.; Astafurov, S. V.; Maier, H. J.:** The effect of nitrogen alloying on hydrogen-assisted plastic deformation and fracture in FeMnNiCo-Cr high-entropy alloys. *Scripta Materialia* 194, 2021, 113642

**Barton, S.; Zaremba, D.; Maier, H. J.:** Microstructural degradation in the subsurface layer of the nickel base alloy 718 upon high-temperature oxidation. *Materials at High Temperatures* 33, 2021 (4), 1-11

**Behrens, B.-A.; Uhe, J.; Petersen, T.; Klose, C.; Thürer, S. E.; Diefenbach, J.; Chugreeva, A.:** Challenges in the Forging of Steel-Aluminum Bearing Bushings. *Materials (Basel, Switzerland)* 14, 2021 (4)

**Behrens, B.-A.; Uhe, J.; Petersen, T.; Nürnberger, F.; Kahra, C.; Ross, I.; Laeger, R.:** Contact Geometry Modification of Friction-Welded Semi-Finished Products to Improve the Bonding of Hybrid Components. *Metals* 11, 2021 (1), 115

**Bobzin, K.; Brögelmann, T.; Maier, H. J.; Heidenblut, T.; Kahra, C.; Carlet, M.:** Influence of residual stresses in hard tool coatings on the cutting performance. *Journal of Manufacturing Processes* 69, 2021, 340-350

**Cui, C.; Dong, J.; Epp, J.; Schulz, A.; Steinbacher, M.; Acar, S.; Herbst, S.; Maier, H. J.:** In Situ X-Ray Diffraction Analysis of Microstructure Evolution during Deep Cryogenic Treatment and Tempering of Tool Steels. *Steel research int* 409, 2021, 2100076

**Demler, E.; Diedrich, A.; Dalinger, A.; Gerstein, G.; Herbst, S.; Zaefferer, S.; Maier, H. J.:** Changes in Mechanical and Microstructural Properties of Magnesium Alloys Resulting from Superimposed High Current Density Pulses. *Materials Science Forum (THERMEC 2021)* 1016, 2021, 385-391

**Denkena, B.; Breidenstein, B.; Dittrich, M.-A.; Nguyen, H. N.; Fricke, L. V.; Maier, H. J.; Zaremba, D.:** Effects on the deformation-induced martensitic transformation in AISI 304 in external longitudinal turning. *Advances in Industrial and Manufacturing Engineering* 2, 2021 (1), 100044

**Fricke, L. V.; Barton, S.; Maier, H. J.; Zaremba, D.:** Control of Heat Treatment of Case-Hardening Steel 18CrNiMo7-6 by Determining the Penetration Depth of Eddy Currents. *Met Sci Heat Treat* 321, 2021 (23), 3878

**Gansel, R.; Zimmermann, C.; Fricke, L. V.; Lüdtkke, M.; Klümper-Westkamp, H.; Fichte-Heinen, R.; Maier, H. J.; Zaremba, D.:** Characterization of Graded Subsurface Zones in Industrial Case-Hardening Using a Non-Destructive Testing System. *HTM* 76, 2021 (3), 237-245

**Gerstein, G.; Kahra, C.; Golovko, O.; Schäfke, F.; Klose, C.; Herbst, S.; Nürnberger, F.; Maier, H. J.:** Hot forming of shape memory alloys in steel shells. *Prod. Eng. Res. Devel.* 481-482, 2021 (3), 266

**Görzen, D.; Schäfke, F. P.; Blinn, B.; Klose, C.; Maier, H. J.; Beck, T.:** Investigating the Influence of Process Parameters on the Mechanical Properties of Extruded Aluminum Tubes by Cyclic Indentation Tests. *Metals* 11, 2021 (5), 744

**Gurel, S.; Yagci, M. B.; Canadinc, D.; Gerstein, G.; Bal, B.; Maier, H. J.:** Fracture behavior of novel biomedical Ti-based high entropy alloys under impact loading. *Materials Science and Engineering: A* 803, 2021, 140456

**Hetzel, A.; Schulte, R.; Vogel, M.; Lechner, M.; Besserer, H.-B.; Maier, H. J.; Sauer, C.; Schleich, B.; Wartzack, S.; Merklein, M.:** Functional Analysis of Components Manufactured by a Sheet-Bulk Metal Forming Process. *JMMP* 5, 2021 (2), 49

**Hinz, L.; Metzner, S.; Müller, P.; Schulte, R.; Besserer, H.-B.; Wackenrohr, S.; Sauer, C.; Kästner, M.; Hausotte, T.; Hübner, S.; Nürnberger, F.; Schleich, B.; Behrens, B.-A.; Wartzack, S.; Merklein, M.; Reithmeier, E.:** Fringe Projection Profilometry in Production Metrology. *Sensors* 21, 2021 (7), 2389

**Hordych, I.; Barenti, K.; Herbst, S.; Maier, H. J.; Nürnberger, F.:** Cold Roll Bonding of Tin-Coated Steel Sheets with Subsequent Heat Treatment. *Metals* 11, 2021 (6), 917

**Julmi, S.; Abel, A.; Gerdes, N.; Hoff, C.; Hermsdorf, J.; Overmeyer, L.; Klose, C.; Maier, H. J.:** Development of a Laser Powder Bed Fusion Process Tailored for the Additive Manufacturing of High-Quality Components Made of the Commercial Magnesium Alloy WE43. *Materials* 14, 2021 (4), 887

**Kahra, C.; Nürnberger, F.; Maier, H. J.; Herbst, S.:** Heat Transfers Coefficients of Directly and Indirectly Cooled Component Areas during Air-Water Spray Cooling. *HTM* 76, 2021 (1), 64-75

**Kelly, C. N.; Kahra, C.; Maier, H. J.; Gall, K.:** Processing, Structure, and Properties of Additively Manufactured Titanium Scaffolds with Gyroid-Sheet Architecture. *Additive Manufacturing* 19, 2021 (12), 101916

**Melchert, N.; Weiss, M. K.-B.; Betker, T.; Frackowiak, W.; Gansel, R.; Keunecke, L.; Reithmeier, E.; Maier, H. J.; Kästner, M.; Zaremba, D.:** Combination of optical metrology and non-destructive testing technology for the

regeneration of aero engine components. *tm - Technisches Messen* 0, 2021 (0)

**Mohammadi, A.; Koyama, M.; Gerstein, G.; Maier, H. J.; Noguchi, H.:** Hydrogen-assisted Crack Propagation in Pre-strained Twinning-induced Plasticity Steel. *ISIJ Int.* 61, 2021 (4), 1278-1286

**Nicolaus, M.; Möhwald, K.; Maier, H. J.:** Thermally Sprayed Nickel-Based Repair Coatings for High-Pressure Turbine Blades. *Coatings* 11, 2021 (6), 725

**Piorunek, D.; Oluwabi, O.; Frenzel, J.; Kostka, A.; Maier, H. J.; Somsen, C.; Eggeler, G.:** Effect of off-stoichiometric compositions on microstructures and phase transformation behavior in Ni-Cu-Pd-Ti-Zr-Hf high entropy shape memory alloys. *Journal of Alloys and Compounds* 857, 2021, 157467

**Raumel, S.; Barenti, K.; Dencker, F.; Nürnberger, F.; Wurz, M. C.:** Einfluss von Silan-dotierten Umgebungsatmosphären auf tribologischen Eigenschaften von Titan. *T+S*, 2021

**Schäfke, F. P.; Thürer, S. E.; Maier, H. J.; Klose, C.:** Development of an Aluminum-Based Hybrid Billet Material for the Process-Integrated Foaming of Hollow Co-Extrusions. *Metals* 11, 2021 (9), 1382

**Schöler, S.; Langohr, A.; Özkaya, F.; Möhwald, K.; Behrens, B.-A.; Maier, H. J.:** Investigations of hot-dip galvanized dual-phase steel (DP600+Z) sheet metal on selectively oxidized tool steel surfaces under dry deep-drawing conditions. *Wear* XII, 2021, 203742

**Schwarzenböck, E.; Wiehler, L.; Heidenblut, T.; Hack, T.; Engel, C.; Maier, H. J.:** Crack initiation of an industrial 7XXX aluminum alloy in humid air analyzed via slow strain rate testing and constant displacement testing. *Materials Science and Engineering: A* 804, 2021 (10), 140776

**Thürer, S. E.; Chugreeva, A.; Heimes, N.; Uhe, J.; Behrens, B.-A.; Maier, H. J.; Klose, C.:** Process chain for the manufacture of hybrid bearing bushings. *Prod. Eng. Res. Devel.*, 2021

**Torrent, C. J. J.; Wackenrohr, S.; Richter, J.; Sobrero, C. E.; Degener, S.; Krooß, P.; Maier, H. J.; Niendorf, T.:** On the Microstructural and Cyclic Mechanical Properties of Pure Iron Processed by Electron Beam Melting. *Adv. Eng. Mater.* 327, 2021, 2100018

### Aufsätze

**Klett, J.; Brätz, O.; Henkel, K.-M.; Hassel, T.:** Induction heating as practical preheating and post weld heat treatment to improve the quality in underwater wet welding of fine grain structural steels with high carbon equivalents. *Welding and Cutting* 20, 2021 (3), 228-234

**Klett, J.; Brätz, O.; Henkel, K.-M.; Hassel, T.:** Induktionswärmetechnik als praxisrelevantes

Vor- und Nachbehandlungsverfahren zur Verbesserung der Schweißnahtqualität beim Unterwasserschweißen von Feinkornstählen mit erhöhtem Kohlenstoffäquivalent. *Schweißen und Schneiden* 73, 2021 (10), 718-725

**Lorenz, U.; Behrens, B.-A.; Acar, S.; Herbst, S.:** Nitrierbehandlung eines zyklisch selbsthärten den Warmarbeitsstahls. *massivUMFORMUNG*, 2021 (1), 68-73

**Senger, A.; Klimov, G.; Beniyash, A.; Reisgen, U.; Hassel, T.; Olschok, S.:** Elektronenstrahlschweißen und -löten an Atmosphäre mit reduzierter Beschleunigungsspannung an heißbrisanfälligen Aluminiumlegierungen. *Schweißen und Schneiden* 73, 2021 (8), 516-526

#### Konferenz (reviewed)

**Hassel, T.; Mintzclaff, V.; Stahlmann, J.; Röhlig, K.-J.; Eckhardt, A.:** Workshop Safety and Uncertainty. *Saf. Nucl. Waste Disposal* 1, 2021, 309-310

**Heimes, N.; Uhe, J.; Thüerer, S. E.; Wester, H.; Maier, H.J.; Klose, C.; Behrens, B.-A.:** Numerical Development of a Tooling System for the Co-extrusion of Asymmetric Compound Profiles on a Laboratory Scale. In: Behrens, B.-A. et al. (Hrsg.): *Production at the leading edge of technology. Proceedings of the 10th Congress of the German Academic Association for Production Technology (WGP)*, Dresden, 23-24 September 2020. Springer, Berlin, 2021, S. 66-75

#### Konferenz

**Hassel, T.:** Ein Jahr DIPRO – Lessons learned aus ingenieurwissenschaftlicher Perspektive zur inter- und transdisziplinären Arbeit. In: Smeddinck, U. (Hrsg.): *Transdisziplinäre Entorgungsforschung am Start – Basis-Texte zum transdisziplinären Arbeitspaket „DIPRO – Dialoge und Prozessgestaltung in Wechselwirkung von Recht, Gerechtigkeit und Governance*, Karlsruhe, 2021, S. 26-30

**Heimes, N.; Uhe, J.; Thüerer, S. E.; Wester, H.; Maier, H.J.; Klose, C.; Behrens, B.-A.:** Numerical Development of a Tooling System for the Co-extrusion of Asymmetric Compound Profiles on a Laboratory Scale. In: Behrens, B.-A. et al. (Hrsg.): *Production at the leading edge of technology. Proceedings of the 10th Congress of the German Academic Association for Production Technology (WGP)*, Dresden, 23-24 September 2020. Springer, Berlin, 2021, S. 66-75

**Fricke, L. V.; Nguyen, H. N.; Breidenstein, B.; Maier, H. J.; Zaremba, D.:** Detektion der deformationsinduzierten martensitischen Umwandlung von metastabilem Austenit in 1.4301 beim kryogenen Drehen mittels Wirbelstromprüfung. In: *DGZfP-Jahrestagung 2021 Zerstörungsfreie Materialprüfung „ZfP in Forschung, Entwicklung und Anwendung“*. Virtuelle Konferenz. 10.05.2021 - 11.05.2021, 2021

**Lendiel I.; Klett, J.; Wolf, T.; Schmidt, E.; Hassel, T.:** Doppelmantelfülldraht – Eine Entwicklung zum kontinuierlichen nassen Schweißen unter Wasser. 8. Fachtagung Unterwassertechnik 2021, Hamburg, 2021, 24-29

**Rodriguez Diaz, M.; Nicolaus, M.; Hassel, T.; Möhwald, K.:** Stoffschlüssige Grenzflächenübergänge beim thermischen Beschichten mit Lichtbogen- und Plasmaspritzprozessen. In: *Clausthaler Zentrum für Materialtechnik (Hrsg.): Tagungsband 4. Symposium Materialtechnik. Clausthal-Zellerfeld (virtuell)*. 25.02.-26.02.2021. Shaker, Aachen, 2021, S. 258-268

**Hassel, T.; Klett, J.; Lendiel, I.; Wolf, T.:** Wasserstoff beim nassen Schweißen – Warum ist das eigentlich ein Problem und ist das lösbar? 8. Fachtagung Unterwassertechnik 2021, Hamburg, 2021, 30-35

#### Wesentliche Neuanschaffungen

CNC-Fräsmaschine U5-630 Compact, Fa. Spinner Werkzeugmaschinen GmbH

Flachschleifmaschine HFS 3063B C, Fa. Knuth

Galvanostat/Potentiostat Autolab PGSTAT204, Fa. Metrohm

ICP-OES PlasmaQuant 9100, Fa. Analytik Jena

LACE-Werkzeug für 10 MN-Strangpresse (Querlenker); Entwicklung von IW&IFUM in Kooperation mit Fa. WEFA

Laserbearbeitungskopf ProFocus 1000, Fa. Oscar PLT

Modernisierung der Rezipientenbeheizung für 2,5 MN-Strangpresse, Erneuerung der Beheizung Al-, Mg- und Stahlcontainer

Planeten-Kugelmühle Pulverisette 5 classic line, Fa. Fritsch

Stickstofffreier EDX-Detektor, Fa. Bruker

Thermografie Kamera, FLIR A400 Science Kit, Fa. FLIR

Wasserstoff-Hydrolysator Dyoflam Industry, Bulane SAS



Neuanschaffungen: Flachschleifmaschine HFS 3063B C, ICP-OES PlasmaQuant 9100, Wasserstoff-Hydrolysator Dyoflam. Fotos: IW



Foto: Nico Niemeyer

## **TEWISS - Technik und Wissen GmbH Ein Unternehmen der Leibniz Universität Hannover**

Transfer von Technik und Wissen  
aus der Wissenschaft in die Wirtschaft

Die TEWISS – Technik und Wissen GmbH ist ein im Jahr 2001 gegründetes Tochterunternehmen der Leibniz Universität Hannover mit Sitz im PZH in Garbsen. Insgesamt 16 Beschäftigte arbeiten dort in einem Umfeld, das durch hochrangige Forschung und innovative Technologien geprägt ist. Die TEWISS GmbH stellt damit eine Schnittstelle zwischen Wissenschaft und Anwendung dar. Das Unternehmensziel – der Transfer neuer Erkenntnisse, Technologien und Maschinen in die Industrie und das Handwerk – wird in mehreren Geschäftsfeldern (siehe Kasten) auf jeweils unterschiedliche Art und Weise verfolgt. Dabei macht sich die TEWISS GmbH die Perspektive ihrer Kunden zu eigen. Je nach Aufgabenstellung werden Aufträge durch die TEWISS GmbH allein, in Kooperation mit Forschungseinrichtungen oder auch im Verbund mit Unternehmen und Forschungseinrichtungen bearbeitet. Projekte werden zum Beispiel als Kundenauftrag oder in Form von geförderten Kooperationsprojekten durchgeführt.

### **Sondermaschinen und Ingenieurleistungen für Industrie, Handwerk und Wissenschaft**

Im Geschäftsfeld Sondermaschinen und Ingenieurleistungen entwickeln und bauen die TEWISS-Ingenieure Maschinen und Anlagen wie zum Beispiel Prüfmaschinen, Prototypen, Produktionsmaschinen sowie Roboterzellen und Vorrichtungen für die Industrie, für Handwerksbetriebe und für wissenschaftliche Einrichtungen. Zum Leistungsumfang gehören die Konzepterstellung gemeinsam mit dem Kunden, die Konstruktion (Mechanik und Elektrik), der Anlagenbau (Steuerung und Mechanik), die Programmierung der Steuerung und der Benutzeroberfläche, die Inbetriebnahme beim Kunden sowie die Schulung der zukünftigen Bediener. Neben dem Bau von schlüsselfertigen Anlagen bietet die TEWISS GmbH Ingenieurleistungen als Einzelleistungen an. Typische Beispiele sind die Entwicklung von Mess- und Regelungstechnik im Kundenauftrag, die Erbringung von Konstruktionsleistungen oder die Programmierung von Steuerungen und Mikrocontrollern. Da-

bei spielt keine Rolle, wie hoch oder niedrig der bestehende Technisierungsgrad ist. Die TEWISS GmbH entwickelt Lösungen für jedes Level und ist im gesamten Bundesgebiet sowie im angrenzenden Ausland tätig.

### **Forschungs- und Entwicklungsschwerpunkte: 3D-Druck, Intelligente Systeme und Automatisierungstechnik**

Im Bereich Sondermaschinen und Ingenieurleistungen betreibt die TEWISS GmbH auch eine Reihe eigener Forschungs- und Entwicklungsprojekte: Einen Schwerpunkt bildet die additive Fertigung, wo sie in unterschiedlichen Projekten aktiv ist. In dem vom Bundeswirtschaftsministerium geförderten Kooperationsvorhaben XXL3D-Druck übernimmt die TEWISS GmbH die Entwicklung eines Steuerungssystems für einen XXL-3D Drucker. Mit Hilfe des Druckers und auf Basis eines laserunterstützten Lichtbogen-Drahtauftragsschweißprozesses soll es möglich werden, XXL-Bauteile wie z.B. Schiffsgetriebegehäuse künftig additiv zu fertigen. Im Fokus liegt dabei die Einsparung von Energie gegenüber existierenden Prozessketten. Das Projekt wird in Kooperation mit den Firmen Reintjes GmbH, Eilhauer Maschinenbau GmbH sowie den Forschungsstellen IPH Hannover gGmbH und Laserzentrum Hannover e. V. bearbeitet.

Einen weiteren Schwerpunkt bilden intelligente Systeme wie zum Beispiel Mikroelektronik zur Überwachung von Maschinen, Werkzeugen und Sensoren sowie allgemeine Lösungen für die automatisierte Produktion. Anspruchsvolle Konzepte für Maschinensteuerungen und Roboterzellen ermöglichen einen zunehmend autonomen Anlagenbetrieb und tragen wesentlich zur Realisierung von sogenannten „Smart Factories“ bei, in welchen Produkte mit hohem Automatisierungsgrad prozesssicher hergestellt werden. Im Zeichen der Industrie 4.0 nutzen die TEWISS-Ingenieure ein breites Spektrum an Technologien, um diese zu hochproduktiven, flexiblen und automatisch gesteuerten Anlagen zusammenzusetzen.



## Cobots - Potential für die Automatisierung flexibler Produktionsabläufe

Zum Technologietransfer zählt auch das von der TEWISS GmbH zusammen mit drei weiteren Partnern betriebene und mit öffentlichen Mitteln geförderte RoboHub Niedersachsen. Im Hub werden Schulungen und Workshops sowie Netzwerkaktivitäten rund um das Thema Cobot und Roboterautomatation durchgeführt (Siehe ausführlicher Artikel auf Seite 6).

## Technologietransfer und Innovationsberatung

Als Tochterunternehmen der Leibniz Universität Hannover und dank des Firmensitzes im PZH ist das Arbeitsumfeld der TEWISS GmbH durch eine Vielzahl neuer Technologien sowie den Kontakt zu Unternehmen aus ganz verschiedenen Branchen geprägt. Das ist der ideale Hintergrund für den Geschäftsbe- reich Technologietransfer und Innovationsberatungen. Themenfelder sind die Produktionstechnik, der allgemeine Maschinenbau, die Mikroelektronik sowie die Entwicklung von Produkten. In Kooperation mit Wirtschaftsförderern und Netzwerken besuchen die TEWISS-Ingenieure Betriebe, die nach Ideen für ihre eigene Weiterentwicklung suchen oder Hilfe bei der Realisierung von vorhandenen Ideen oder konkreten technischen Problemen im Unternehmen benötigen.

Die Leistungen der TEWISS GmbH umfassen Unterstützung bei der Strukturierung und Priorisierung von Zielen, praktische und theoretische Machbarkeitsstudien, die Recherche von existierenden technischen Lösungen, die Vermittlung von Partnern, die eigenständige Erbringung von Ingenieurleistungen sowie den Bau von Sondermaschinen. Die Möglichkeiten zur Inanspruchnahme von Fördermitteln werden dabei berücksichtigt. Die Beratungen sind immer individuell: Es geht darum, konkrete und für den Kunden umsetzbare Lösungen zu finden.

## Der TEWISS Verlag - Publikationen aus den Bereichen Technik und Wissen

Der TEWISS Verlag publiziert Dissertationen und Habilitationen, Tagungsbände und Projektberichte sowie vorle-

sungsbegleitende Materialien aus dem PZH sowie aus anderen Instituten und Einrichtungen. Über 1.100 Bücher zu ingenieur-, natur- und sozialwissenschaftlichen Themen sind mittlerweile im TEWISS Verlag erschienen. Der Verlag fördert dabei insbesondere die Erstellung von Schriftenreihen von Instituten und unterstützt auf diese Weise die Verbreitung wissenschaftlicher Erkenntnisse wie auch das Marketing der wissenschaftlichen Einrichtungen. Derzeit werden etwa 25 Schriftenreihen aus den Bereichen Maschinenbau und Elektrotechnik betreut. Im vergangenen Jahr sind 140 neue Titel im TEWISS Verlag erschienen, davon etwa jeweils zur Hälfte gedruckte Bücher beziehungsweise E-Books.

Der TEWISS Verlag hat in den letzten Jahren sein Angebot an E-Books kontinuierlich ausgebaut, so dass mittlerweile mehr als 230 Titel auch in diesem Format erhältlich sind. Die E-Books können entweder auf der Homepage des Verlags [www.tewiss-verlag.de](http://www.tewiss-verlag.de) bestellt werden oder nach vorheriger Registrierung über das Web-Portal „tib.eu“ der Technischen Informationsbibliothek (TIB) Hannover, der weltweit größten Fachbibliothek für Technik und Naturwissenschaften, bezogen werden.

Hat unser Leistungsangebot Ihr Interesse geweckt? Sprechen Sie uns gerne an!

### Die TEWISS GmbH in Zahlen und Fakten

Gesellschafter:	Leibniz Universität Hannover
Geschäftsführer:	Dr.-Ing. Jan Jocker
Mitarbeiter:	16
Gesamtleistung in 2020:	2,2 Mio Euro
Geschäftsfelder:	Sondermaschinenbau und Ingenieurleistungen
	Technologietransfer und Innovationsberatungen
	TEWISS Verlag
	Gebäudevermietung und Gebäudemanagement (PZH)
	Servicedienstleistungen für Institute und Mieter des PZH

# Unternehmen im PZH



## FAUSER AG

Die FAUSER AG ist bereits seit 1994 ein international tätiger Softwarehersteller und Lösungsanbieter für mittelständische Industrieunternehmen. An sechs Standorten in Deutschland entwickelt, vertreibt und wartet die FAUSER AG Softwarelösungen für die Produktion.

Der Umfang der kompletten Softwarelösung FAUSER Suite besteht aus vier Grundmodulen. Während FAUSER ERP Ihre Auftragsabwicklung organisiert, erleichtert FAUSER MES es Ihnen, Ihre Fertigungsfeinplanung im Auge zu behalten. Das Programmmodul FAUSER MDC wiederum gewährleistet die reibungslose Betriebs- bzw. Maschinendatenerfassung. Viertes Modul ist FAUSER EAI, welches für eine problemlose Softwareintegration von bereits bestehenden Softwaresystemen sorgt.

Ergänzt werden diese Produkte durch zusätzliche Add-ons. Mittels dieses modularen Aufbaus ist es Ihnen möglich, auf Ihren Betrieb zugeschnitten, erfolgsbestimmende Faktoren wie Flexibilität, Schnelligkeit, Effizienz und Sicherheit einfach und schnell Ihrem Unternehmen bereitzustellen.

### Kontakt Garbsen

FAUSER AG  
Dr.-Ing. Florian Winter  
Tel.: 08105 77 98 0  
Fax: 08105 77 98 77  
Mail: [anfrage@fauser.ag](mailto:anfrage@fauser.ag)  
Web: [www.fauser.ag](http://www.fauser.ag)

### Kontakt Zentrale

FAUSER AG  
Talhofstraße 30  
82205 Gilching



## GREAN GmbH

Die GREAN GmbH unterstützt produzierende Unternehmen bei der Gestaltung schlanker und nachhaltiger Wertschöpfungsprozesse. Damit verknüpfen wir die Prinzipien „Lean“ und „Green“ zu einem schlüssigen Gesamtangebot für Produktionsunternehmen.

Als Berater planen wir Fabriken und entwickeln Strategien, zum Beispiel für eine optimierte Produktionsgestaltung und Energieeffizienz.

Die Ideen und Strategien setzen wir mit unseren Partnern in die Produktionswirklichkeit um und sorgen dafür, dass Mitarbeiter den Veränderungsprozess mittragen. Kurzum: Wir steigern die Wertschöpfung, etablieren operative Exzellenz und machen eine Fabrik gleichzeitig ökologischer. Der Nutzen unserer Kunden liegt auf der Hand – sie können einfach effizienter produzieren.

### Kontakt GREAN GmbH

Dr.-Ing. Serjoshia Wulf  
Tel.: 0511 762 182 90  
Mobil: 0176 100 809 23  
Mail: [info@grean.de](mailto:info@grean.de)  
Web: [www.grean.de](http://www.grean.de)



## trimetric 3D Service GmbH

Die trimetric 3D Service GmbH bietet Dienstleistungen in der optischen 3D Messtechnik, Flächenrückführung und Qualitätskontrolle an. Die Einbindung von 3D Qualitätsuntersuchungen dient einer frühen Fehlererkennung in der Fertigung. Der schnelle Abgleich von Soll- und Ist-Daten beschleunigt den Entwicklungsprozess. Trimetric erstellt flächenrückgeführte CAD Daten (Catia V4-5, ProE, Creo etc.), die bei Prototypen, Designmustern und Werkzeugänderungen oftmals nicht vorliegen.

### Leistungen:

- ▶ 3D Messen: Digitalisierung (optisch), digitale Photogrammetrie
- ▶ CAD Konstruktion:  
Reverse Engineering/Flächenrückführung
- ▶ Qualitätskontrolle:  
Computer Aided Verification, 3D Inspektion

### Kontakt trimetric 3D Service GmbH

Alexander Thiele  
Tel.: 0511 762 182 20  
Fax: 0511 762 182 22  
Mail: [info@trimetric.com](mailto:info@trimetric.com)  
Web: [www.trimetric.com](http://www.trimetric.com)

## Materialprüfanstalt für das Bauwesen und Produktionstechnik (MPA HANNOVER) Betriebsstätte Garbsen

Die MPA HANNOVER ist für Industrie, Handel und Gewerbe tätig. Aufgabe der MPA ist es, die Wirtschaft in der Qualitätssicherung zu unterstützen und Verbraucher vorbeugend gegen Gefahren zu schützen. Zum Leistungsspektrum gehören alle Formen der Konformitätsbewertung wie Inspektions-, Prüf- und Zertifizierungstätigkeiten.

Im Rahmen verschiedener Verordnungen werden in der Betriebsstätte Garbsen technische Abnahmen von Rohrleitungen und technischen Anlagen durchgeführt sowie die damit in Verbindung stehende Schweißtechnik und Schweißer, auch mit Hilfe von zerstörungsfreien Prüfungen (ZfP), überprüft. Ebenfalls werden in der Betriebsstätte verschiedenste Produkte (bspw.

Schleifscheiben, Kfz-Kennzeichen, Halbzeuge und Bauteile aus Metall und Kunststoff) geprüft. Darüber hinaus bietet die MPA ZfP-Kontrollkörper nach EN ISO 3452-3 sowie Muster- und Chargenprüfungen für ZfP-Eindringmittel nach EN ISO 3452-2 an.

Für die Durchführung der Prüfungen ist das Labor der MPA nach DIN EN ISO/IEC 17025 durch die Deutsche Akkreditierungsstelle DAkkS akkreditiert, ebenso gibt es eine Akkreditierung nach DIN EN ISO/IEC 17020 für Inspektionstätigkeiten bei den o.g. technischen Abnahmen und Geokunststoffen. Die MPA ist ein kompetenter Partner der Industrie für Qualitätssicherung und arbeitet als Landesbetrieb konsequent kundenorientiert.

**Kontakt** Materialprüfanstalt für das Bauwesen und Produktionstechnik  
MPA HANNOVER

Betriebsstätte Garbsen  
Dipl.-Ing. Karsten Klünder  
Tel.: 0511 762 43 62  
Fax: 0511 762 30 02  
Mail: [office.garbsen@mpa-hannover.de](mailto:office.garbsen@mpa-hannover.de)  
Web: [www.mpa-hannover.de](http://www.mpa-hannover.de)





## ProIng Produktionsberatung

Die ProIng Produktionsberatung ist ein innovativer Beratungs- und Engineering-Dienstleister für anspruchsvolle Planungs-, Realisierungs- und Optimierungsprojekte. Unsere Kunden kommen aus der Luftfahrt- und Fahrzeugindustrie, dem Maschinen- und Anlagenbau, der Energiewirtschaft sowie der Medizintechnik und dem Pharmabereich.

- ▶ Strategie- und Prozessberatung: Strategieentwicklung, Prozess- und Organisationsoptimierung, Produktionsoptimierung / Lean Production, Projektmanagement, Workshopmoderation
- ▶ Fabrikplanung: Struktur- und Layoutplanung, Prozess- / Kapazitätsplanung, Wirtschaftlichkeitsbewertung, Standortanalyse, Investitionsplanung, Verlagerungs- / Anlaufmanagement, 3D-Visualisierung / VR-Technologie, Umsetzungsunterstützung / Projektmanagement
- ▶ Logistikplanung: Innovative Logistikkonzepte, Supply Chain Management (SCM), Produktionsplanung und -steuerung (PPS), Logistisches Controlling
- ▶ Technologie- / Anlagenplanung: Automatisierungs- und Industrialisierungskonzepte, Wirtschaftlichkeitsbewertung, Lastenhefte und Ausschreibungsunterlagen

### Ausgewählte Referenzprojekte aus dem Jahr 2021:

- ▶ Unterstützung bei Optimierungsprojekten in Produktion und Logistik bei einem Baumaschinenhersteller.
- ▶ Planung und Bewertung einer Produktionsverlagerung an ein BCC-Partnerunternehmen.
- ▶ Fabrikplanung (Realisierungsplanung) für eine Galvanikproduktion bei einem Werkzeughersteller.
- ▶ Planung und -steuerung des Rückbaus kerntechnischer Anlagen - Konzeption der strategischen Steuerung und Verknüpfung zur operativen Steuerung.
- ▶ Forschungsprojekt zur CO<sub>2</sub>-Bilanzierung in der Produktion

Gerne unterstützen wir auch Sie mit unserer Erfahrung und Fachkompetenz bei Ihren Herausforderungen.

**Kontakt** ProIng Produktionsberatung  
 Dr.-Ing. Gregor Drabow  
 Tel.: 0511 762 18201  
 Mail: info@pro-ing.de  
 Web: www.pro-ing.de



## ProWerk GmbH

Hauptaktivität der ProWerk GmbH ist die Reduzierung von Produktherstellkosten von neu zu entwickelnden oder bereits bestehenden Produkten.

### Im Rahmen von Entwicklungsprojekten wird die Methode Design-to-Cost eingesetzt:

Die Entwicklungsprojekte werden von der Marktanalyse bis hin zum Aufbau eines Prototyps unter ständiger Überwachung von Herstellkosten und Terminen begleitet. Hierbei analysiert ProWerk alle an der Wertschöpfung beteiligten Prozesse und Vorgänge und liefert konkrete technische Lösungen, mit denen Bauteile, Baugruppen und Prozesse kostengünstiger und effizienter gestaltet werden können. Durch die enge Kooperation mit Forschungseinrichtungen werden dabei auch neuste Erkenntnisse in die Produktentwicklung transferiert. Zudem gewährleistet ProWerk die unternehmensübergreifende Transparenz der Produktherstellkosten zu jedem Zeitpunkt der Entwicklung. Hierfür setzen wir den eigens entwickelten ProWerk-Kostennavigator ein, eine Methode zur Prognose der Gesamtherstellkosten der Entwicklungsobjekte. Eine konsequente Weiterentwicklung der Methoden ist die entwicklungsbegleitende Hochrechnung und Minimierung der Lebenszykluskosten (LCC), die ein wesentliches Maß zur Beurteilung des Kundennutzens und somit zunehmend ausschlaggebend für Kaufentscheidungen sind. Aus diesem Grund analysiert und optimiert ProWerk Entwicklungsprojekte nach der erweiterten Design-to-LCC Methode – getreu dem Motto der ProWerk-Ingenieure: Answer while Engineering.

### Bei bereits bestehenden Produkten wird die ProWerk-Produktklinik eingesetzt:

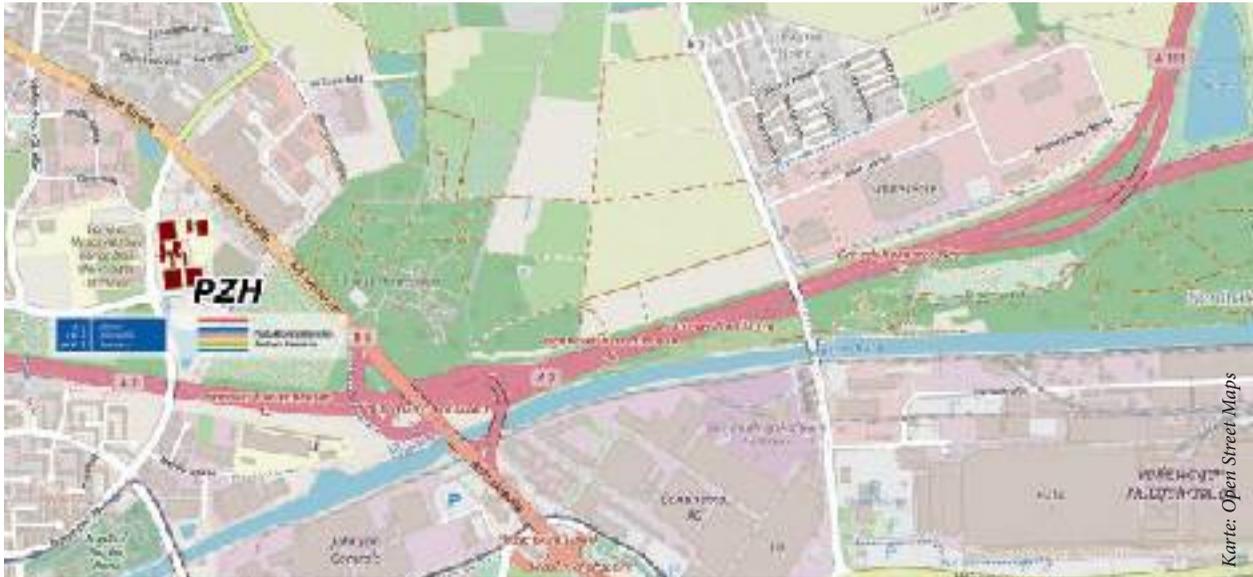
In der Produktklinik wird eine bestehende Anlage, Maschine oder Maschinenkomponente in einer 360°-Analyse entlang des Wertstroms bis hin zur Inbetriebnahme beim Kunden hinsichtlich der Kostentreiber analysiert. Zusätzlich wird häufig auch ein Wettbewerbsvergleich durchgeführt. Im Ergebnis erhalten unsere Auftraggeber eine fundierte Aussage zu Einsparpotenzialen und einen detaillierten Maßnahmenkatalog. ProWerk begleitet anschließend die Umsetzung der Maßnahmen zur Kostenreduzierung – gern auch erfolgsabhängig.

**Kontakt** ProWerk GmbH  
 Dr.-Ing. Marc-André Dittrich  
 Tel.: 0151-15880995  
 Mail: info@prowerk.eu  
 Web: www.prowerk.eu



foto: Nico Niemeyer

# Anreise



## ... mit der Bahn

Am Hauptbahnhof den Ausgang „Ernst-August-Platz“ nehmen, weitergehen zur Stadtmitte, zum „Kröpcke“. Dort die Linie 4, Richtung Garbsen bis Haltestelle „Schönebecker Allee“ (gut 25 Minuten), nehmen.

Der Fußweg über die Autobahnbrücke dauert etwa 10 Minuten. Alternativ steht ein Shuttle zur Verfügung: Die Linie 404 verbindet, getaktet auf die

Linie 4, das PZH mit der Haltestelle „Garbsen-Mitte, An der Universität“.

## ... mit dem Auto

Auf der A2 bis Ausfahrt Hannover-Herrenhausen, auf die B6 Richtung Nienburg/Garbsen-Ost; an der dritten Ampel links abbiegen in die Straße „An der Universität“. Folgen Sie der Straße bis zum zweiten Kreisel. Dort finden Sie links die Besucherparkplätze.

## ... mit dem Flugzeug

Vom Flughafen Hannover-Langenhagen mit der S-Bahn S5 bis Hannover Hauptbahnhof (ca. 16 Minuten). Dann weiter wie „... mit der Bahn“.

## Adresse:

Produktionstechnisches  
Zentrum Hannover  
An der Universität 2  
30823 Hannover

# Impressum

## Herausgeber:

Produktionstechnisches Zentrum der Leibniz  
Universität Hannover (PZH)  
Prof. Dr.-Ing. Bernd-Arno Behrens  
Prof. Dr.-Ing. Hans-Josef Endres  
(Vorstandssprecher 2021 / 2022)

An der Universität 2  
30823 Garbsen  
www.pzh.uni-hannover.de

## Redaktion und Text:

Redaktionsbüro Dr. Wolfgang Krischke

## Grafik:

PZH Öffentlichkeitsarbeit und Kommunikation  
Martin Türk

## Fotografie:

Nico Niemeyer, Leo Menzel, Christian Wyrwa,  
Dorota Sliwonik

## Illustrationen:

Sylwia Kubus, www.sylwiakubus.com

## Druck:

Druckteam Hannover

Erschienen im TEWISS Verlag

TEWISS – Technik und Wissen GmbH  
An der Universität 2 | 30823 Garbsen  
www.tewiss.uni-hannover.de  
info@tewiss.uni-hannover.de  
ISBN 978-3-95900-694-1

Das PZH Magazin 2022 ist auf Recyclingpapier  
„EnviroNature“ gedruckt.

## Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek:

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet  
diese Publikation in der Deutschen Nationalbi-  
bliografie; detaillierte bibliografische  
Daten sind im Internet über <http://dnb.d-nb.de>  
abrufbar.

Dieses Werk ist urheberrechtlich geschützt.  
Alle Rechte, auch das des Nachdruckes, der  
Wiedergabe, der Speicherung in Datenverarbei-  
tungsanlagen und der Übersetzung des  
vollständigen Werkes oder von Teilen davon,  
sind vorbehalten.



**HAN  
NOV  
ER** 

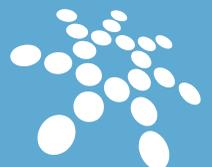


10.000 Euro für  
mehr Nachhaltigkeit!

Wir fördern Ihr Nachhaltigkeitsprojekt.

## HANNOVER REGION **GREEN ECONOMY.**

Jetzt beantragen: [www.wirtschaftsfoerderung-hannover.de/hrge](http://www.wirtschaftsfoerderung-hannover.de/hrge)



**WIRTSCHAFTSFÖRDERUNG**

**Region Hannover**

# 100% KLIMANEUTRAL JETZT

ALLE MASCHINEN KLIMANEUTRAL HERGESTELLT

BIS ZU  
30% ENERGIEEINSPARUNG

1. CELOS APPS FÜR TRANSPARENZ UND OPTIMIERUNG DES ENERGIEVERBRAUCHS
2. RÜCKGEWINNUNG VON ENERGIE BEI BREMSVORGÄNGEN
3. VERBRAUCHSOPTIMIERTE KOMPONENTEN
4. INTELLIGENTE REGELUNG VON AGGREGATEN



100% KLIMANEUTRALE MASCHINEN-HERSTELLUNG  
LIEFERANTEN + **DMG MORI**



NEUTRALER CO<sub>2</sub> FOOTPRINT ALLER DMG MORI MASCHINEN – VOM ROHSTOFF BIS ZUR AUSLIEFERUNG<sup>2</sup>

1. NEUTRALER PRODUCT CARBON FOOTPRINT ✓

2. NEUTRALER COMPANY CARBON FOOTPRINT ✓

MASCHINEN-NUTZUNG  
KUNDE



ENERGIE- UND EMISSIONSEFFIZIENTER MASCHINENBETRIEB ✓



TECHNOLOGY EXCELLENCE FÜR GRÜNE TECHNOLOGIE ✓

