# 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**

# 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.

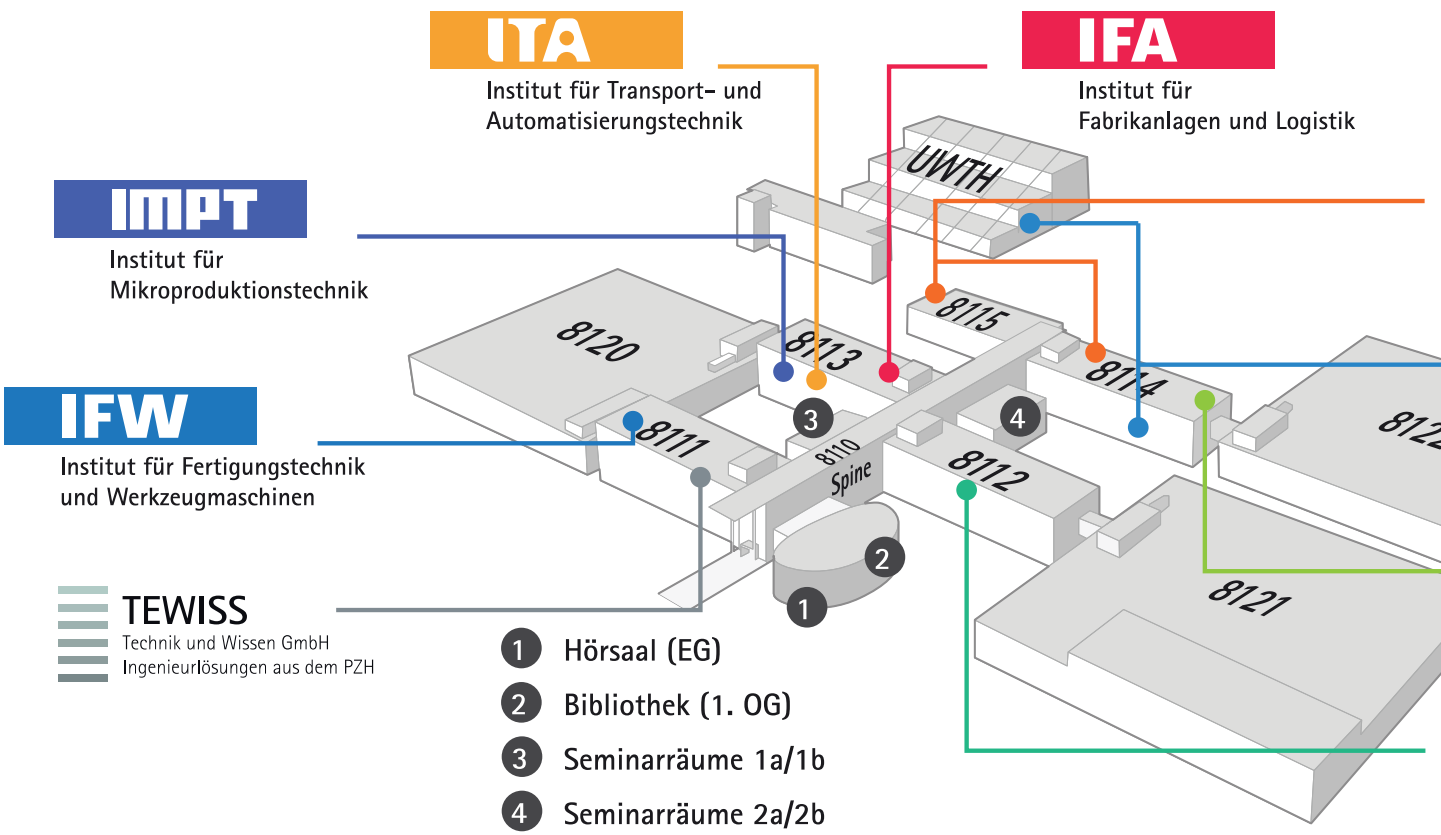
Fünf Labor- und Bürotrakte gehen von dort ab, drei große Hallen für die Versuchsfelder schließen sich an. Nutzfläche gesamt: etwa 22.000 Quadratmeter. Das PZH liegt in Garbsen, nahe der A2-Ausfahrt Hannover-Herrenhausen.

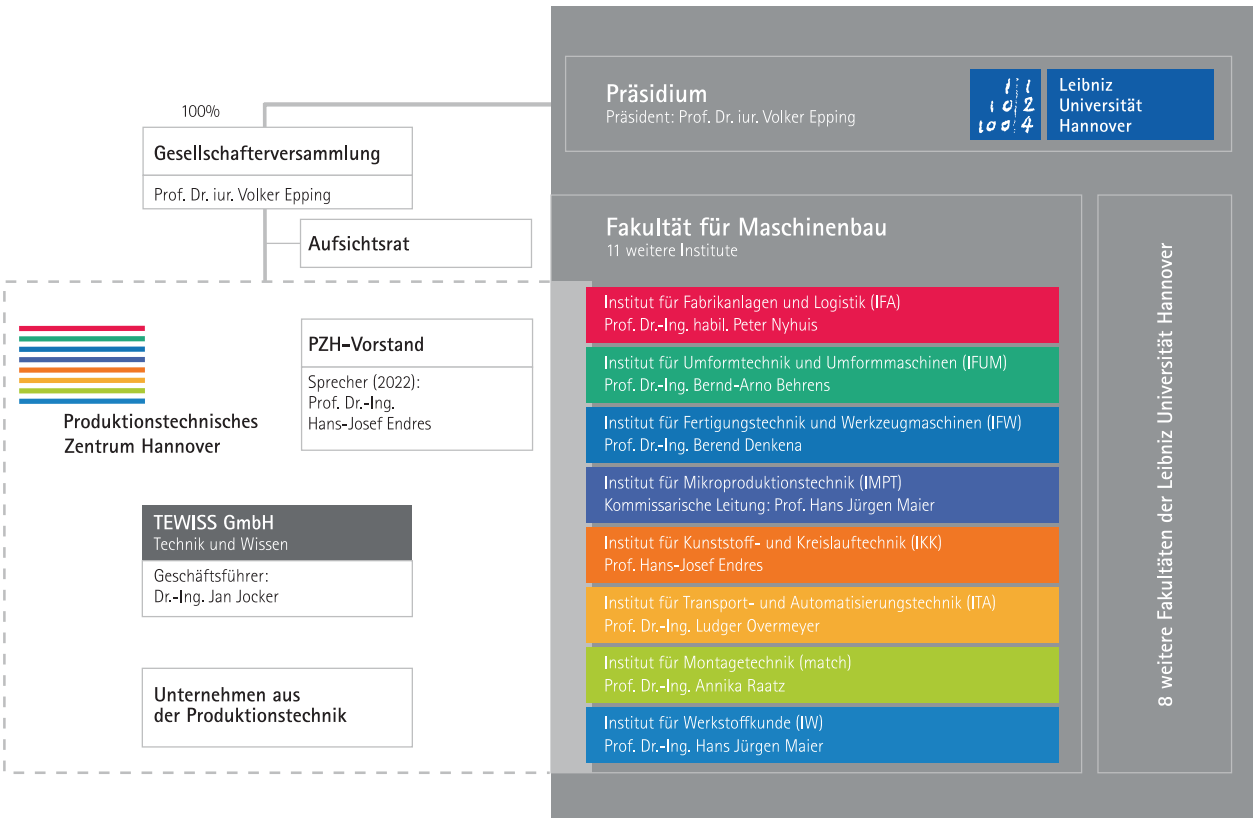
Seit 2019 sind mit dem Campus Maschinenbau, der gegenüber dem PZH liegt, alle 19 Maschinenbauinstitute der LUH in Garbsen vereinigt.

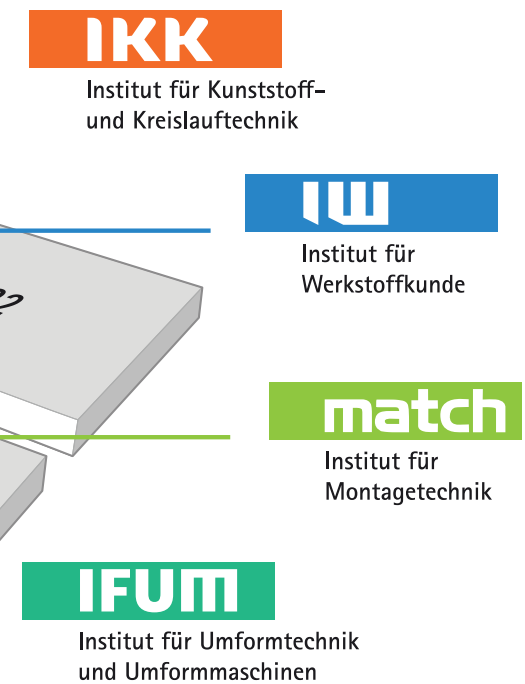
## Geschichte

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 beschäftigen 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.






## 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 Abbauversuche 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 Raumfahrzentrum 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 Rotationsreibschweißprozessen, 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 Sprühauftragsverfahren, 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-Frequenca 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**
intrinsify.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 Anforderungen 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 rotationssymetrischer 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-, Rauhigkeits- 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 Wasserstrahlabrasivsuspensionsschneiden

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.

*Professor Peter Nyhuis, 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 Fabrikplayouts. 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. Aufgrund 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 zukunftsgerechte 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 unternehmensinternen 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 Fabriksystemen. 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 Fabriksystemen 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 Fabriksystemen 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.

**Excellenzcluster PhoenixD - Photnics, 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 Optikhersteller 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 Optiksysteme 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. -einhaltung, 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 Regenerationsdienstleistern. 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 außergewöhnlichen 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 Robotik 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 Handhabungsprozessen 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 Werkstattstechnik 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 Werkstattstechnik 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., Klausing 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, Institutsleiter*

## 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 prozesssichere 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 Fügezonenqualität 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 aufzutragen, welche den Ansprüchen des Formhärtens 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 Schmiertaschen 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 $CO_2$-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 $CO_2$-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 verzunderte 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 Gewichtsdifferenz 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 Mikrozerspanung 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 Mikrozerspanung 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 Stufenpressen 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 umfänglichen 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 beantragen Forschungsprojekt zugrundeliegende Arbeitshypothese besagt, dass mittels optimierter und variabel einstellbarer Dämpfungseigenschaften in der Maschinengründung 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 vorzerspanten Halbzeugen. Durch die Zerspanung im ebenen Zustand und das anschließende Umformen können die sonst aufwendigen Zerspanungen an dreidimensionalen Bauteilen entfallen. Im Rahmen des Projektes soll die Technologie zur Herstellung komplexerer Geometrien wie spährisch 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 Messsensorik 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 glasmattenverstärkten 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 Crashs 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* |

# IFUM 2021

**Institut für Umformtechnik und Umformmaschinen**

## 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 Magnesiumknetlegierungen 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 Verschleißschutzschichten aus α-Fe2O3 und amorphem SiO2 (AiF/EFB)

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

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

Umweltschonende Blecherwärmung für das Formhärten von Karosseriestrukturbauteilen (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
Gesenkschmieden 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 behandelter Schmiedewerkzeuge (DFG)

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

Präzisionsschmieden 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 Kugellagerringen (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 nitriergerechte Auswahl von Warmarbeitsstählen (AiF/FOSTA)

Standmengen- und schmiermitteloptimierte Gesenkoberflächen 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 Mikrostanztechnik (DFG)

Mikroprägen funktionaler Oberflächen (Exzellenzcluster PhoenixD) (DFG)

Linear angetriebene Hybridaktorik zur umformtechnischen Fertigung komplexer Bauteile (DFG)

Prozessbegleitende Ausschusserkennung mittels umfänglicher 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 Krafteinleitung II (DFG)

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

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

Grundlegende Untersuchungen von gradientenabhängigen nitrierten 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 einachsig 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-Aluminium 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, Veröffentlich 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

**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 115-7, DOI: doi: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, Materials Today, 2021, Veröffentlich 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, Veröffentlich 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

**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, Veröffentlich 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

**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, Veröffentlich 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

### 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.; Yilkiran, D.; Vogt, H.; Pfeffer, C.; Pung-Sauer, F.; Kaempf, 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 Anlasseffekte 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, Fachtzeitschrift 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, Fachtzeitschrift 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 Rotationsreibschweißprozessen, 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

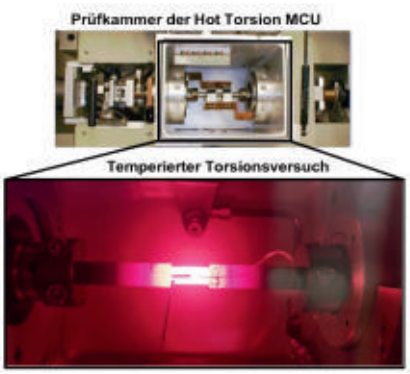
**Schrödter, J. (2021):** Methodenentwicklung zur Charakterisierung und Modellierung temperatur- und gefügeabhängiger Fließeigenschaften, Berichte aus dem IFUM, Band 2/2021, 17. März 2021, TEWISS-Verlag, ISBN: 978-3-95900-553-1

**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 Umformsimulator 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, prozessrelavanten Umformbedingungen. Zum anderen können auch Effekte wie das Rekristallisationsverhalten unter hohen Formänderungen gezielt analysiert werden. Die konduktive Erwärmung ermöglich 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*

*Professor Berend Denkena, Institutsleiter*

## 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 spanenden 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 Ressourcenrückführung 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 zerspant, 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 Spanleistufe 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 Einfluss auf den Schleifprozess untersucht. Die Charakterisierung der Schleifwerkzeuge durch neu entwickelte Methoden ermöglicht dabei eine Verknüpfung der Schleifbelagseigenschaften 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 Stäbchenkorundschleifscheiben") 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 Fräsers 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 Sekundärkontaminierung 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 adaptronischer und intelligenter Komponenten. Die Abteilung Maschinenkomponenten beschäftigt sich mit der Erforschung und Entwicklung solcher Systeme. Schwerpunktthemen sind Spanntechnik, Motorspindeln und Konzepte zur passiven und aktiven Dämpfung von Werkzeugmaschinenkomponenten und Werkzeugmaschinen: Eine neuartige, gedämpfte Spindel reduziert Werkzeugschwingungen 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 Profilschienenführungen 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 Maschinenverbünde 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 Ultrapräzisionsbearbeitung 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 niedrigschwelligen 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 imn 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 Fertigungsplanung 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 rüstoptimierten 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 gegenwärtig 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 Konsoliereinheit. 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 Flugzeugrumpfbauweisen 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-Leichtbauchassis 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 Themenspektrum 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.

| | |
|---|---|
| *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 modellbasierte 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 Stumpfnahtstößen 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 Gewindetrieben 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 (BMWi)

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 „fühlenden" Spindel (DFG)

GTB: Geregeltes Tiefbohren (AiF-IGF)

Hybride Spindel: Prozessabhängige Einstellung der Spindeldynamik zur Produktitivitätssteigerung in der spanenenden Bearbeitung (AiF-IGF)

IIP-Ecosphere - Next Level Ecosphere for Intelligent Industrial Production (BMWi)

Intelligente Werkzeugmaschine zur autonomen Prozessoptimierung (DFG)

Mobile Technologieplattform für hybride Prozessketten (NBank)

Pionolenmotor: Hydrostatisch gelagerter Pinolendirektantrieb 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 (BMWi)

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 (BMWK)

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 (BMWi)

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 zerspanenden 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 (BMWi)

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., Dittrich, 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., Dittrich, 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, 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. 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, ti! (2021), Nr. 1+2, S. 15.

**Denkena, B., Bergmann, B., Klaproth, M., Ottermann, R., Dencker, F., Wurz, M.:** Direktabgeschiedene 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.:** Fühlende 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.:** Diamantanbindung durch Carbidbildung, 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 Kugelgewindetrieben, 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., Böhse, 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., Kemp, 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., Raffalt, 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 - Ausreißererkennung 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 Luftfahrbranche, 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 Vorbereitungskosten, 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., Beyer, 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., Stoppel, 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 Werkstattstechnik, 111 (2021), Nr. 5, S. 305-308.

**Denkena, B., Krödel, A., Müller-Cramm, D.:** Einfluss der Prozessstellgrößen auf die Spannutenbearbeitung von PcBN-Schaftwerkzeugen Produktive Schleif -bearbeitung von PcBN, WT Werkstattstechnik, 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.:** Infuence 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 adaption 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):** Gentelligent 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 Werkstattstechnik, 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., Schmidtmann, 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):** Dexel-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 ECCENTRICALLY ROTATING HEAT PIPES USED FOR COOLING OF MOTOR SPINDLES, MM Science Journal (Special Issue on ICTIMT 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 MachiningUsing 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 applications, 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.:** Arrificial Wear fort he 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., Pyzcak, 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.

**Böß, 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 Customisation, 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., Maiß, 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 Industrienahe Sensorik mit der Integration von applikationsspezifischen Sensorsystemen auf Basis der Dünnfilmtechnik 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 Strukturerzeugung 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 Dünnfilmtechnik, 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 mikrotechnologische 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 Flanscheinzugssensorik“ 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 Linearprofilschienen 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 Industrieanwendungen macht.

In einem von der Deutschen Forschungsgemeinschaft gefördertem Projekt wird am IMPT an der Verbesserung des Silberverbindungssinterns zur Montage von leistungselektronischen Bauelementen geforscht. Das zusammen mit dem Institut für Dynamik und Schwingungen (IDS) bearbeitete Projekt hat zum Ziel, das Silberverbindungssintern 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 Speichermedium – 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 spritzgegossene 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 Elektronenstrahllithografie 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 Galiumnitridtransistoren 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 Galiumnitrid 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 x 200 $\mu m^2$ gefertigt. Die Spitzen gängiger Silizium-Feld-Emitter werden üblicherweise mittels nasschemischem Ätzen hergestellt, sind deutlich kleiner (wenige µm) 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-

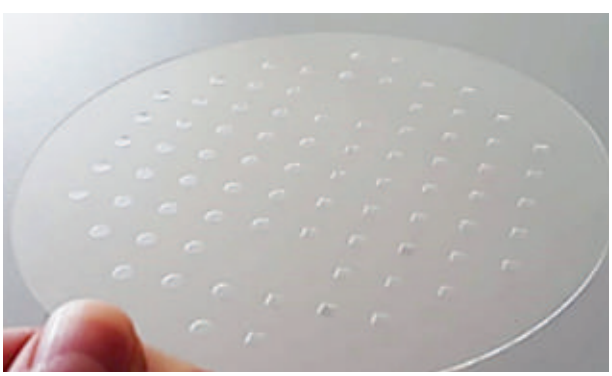
malatmosphäre wird u. a. den Effekten von Diffusion und Adhäsion zukommen, die üblicherweise durch oberflächliche inerte Oxide unterbunden werden. Ebenfalls werden veränderte lokale Legierungsbildungen erwartet, die durch Ausbleiben der Oxidation andere chemische Reaktionen an den neuen Grenzflächen 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

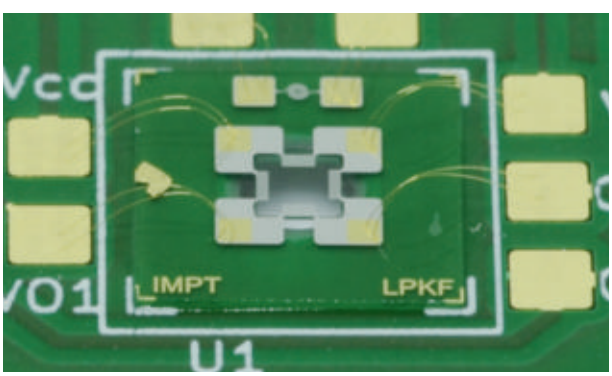
Im Rahmen der Zusammenarbeit mit LPKF Vitrion hat das IMPT Prototypen von Drucksensoren aus mikrostrukturierten monolithischen Glaswafern entwickelt und hergestellt. Glas ist eine exzellente Alternative zu Silizium, um diverse Mikrosysteme herzustellen. Glas ist transparent, isolierend und hat eine geringe 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 Spannungskonzentrationen 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-



*Glasmembran: LIDE-Verfahren, Membrandicke 9um. Belastbarkeit über 1 bar Druckdifferenz. Foto: IMPT*




*Ein Prototyp eines Drucksensors mit Glasmembranen funktioniert im Druckbereich von ±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 Fügetechniken 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 befasssen 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 Pumptechnik beteiligt, die zunächst auf Basis von nicht verdampfbaren 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 Sechs-Achsen-Quanteninertialnavigationssensor zu entwickeln. Mit diesem Gerät sollen driftfreie und hochgenaue Quanteninertialsensoren 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 Atomchiptechnologie und Spiegelreferenzflächen vom Demonstrator hin zum Prototypen, für die Durchführung von Optimierungen und Anpassungen, für die Miniaturisierung des Vakuumsystems hin zur UHV-Mikrokammer, 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 10–8 bis 10– 11 mbar. Da ein einstufiges Pumpen von Atmosphärendruck bis ins UHV nicht möglich ist, wird eine entsprechende Kombination von Vorpumpen 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 (kommissarisch)
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)
Vebrauchsreduzierung durch neuartige wartungsfreie Sensoren in Gebäuden und Quartieren durch intelligenten Energiefluss (BMWi)

Gallium Nitride for Advanced Power (GaN4AP):
Entwicklung von Hochleistungstransformatoren auf Galiumnitridbasis zur Leistungssteigerung in der Hochleistungselektronig (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 infektionsreaktive Implantate (SIIRI):
Teilprojekt A06: Herstellung von mikrotechnologisch gefertigten Elektrodenträgern zur Untersuchung des Impedanz Verhaltens von Cochlea Implantaten abhängig von der räumlichen Lage (DFG)
Teilprojekt B04: Entwicklung einer mikrofluidischen, implantatintegrierten, kontaktlos aktuierbaren Lösung zur Freisetzung von Pharmazeutika an der Grenzfläche eines dentalen Implantats (DFG)

**Arbeitsgruppe Industrienahe Sensorik**

Ultraschall-Silbersintern:
Untersuchung der Wirkmechanismen beim ultraschallunter-stützten einkomponentigen und mehrkomponentigen Silberverbindungssintern zur Montage von leistungselektronischen Bauelementen (DFG)

SFB 1368 Sauerstofffreie Produktion:
Teilprojekt C03: Untersuchung tribologischer Systeme für Werkzeugbeschichtungen in inerter Atmosphäre (SFB1368 / DFG)

Transferprojekt T14 SFB 653 Gentelligente Bauteile im Lebenszyklus
Entwicklung und Herstellung von direktabgeschiedener 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 Mikrofräsers mit bis zu 50 µm Durchmesser aus Siliziumkarbid für die spanende Präzisionsbearbeitung sowie Entwicklung eines parallelisierten Herstellungsverfahrens auf Basis des Trockenätzens (ZIM)

Tiefenziehsensorik:
Entwicklung eines robusten induktiven Mikrosensors zur präzisen Positionsermittlung von Platinen beim Tiefziehen mit dem Ziel die Qualität um Komplexität des Bauteils mittels einer intelligenten Regelung zu erhöhen (ZIM)

ForceSense:
Kraftsensitive Führungssysteme auf Basis direktabgeschiedener bauteilindividueller Sensorik (Transferprojekt DFG)

**Arbeitsgruppe Quantentechnologie**

Exzellenzcluster PhoenixD:
Mikrotechnische Plattform für neuartige optische Komponenten (DFG)

QGyro+:
Entwicklung einer kompakten Experimentalplattform eines gyro-stabilisierten Quantennavigationssensors (DLR)

Quantum Valley Lower Saxony (QVLS)
T2.4 Multi-functional chips for atom interferometry
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-Komponenteninitiative (DLR)

Kactus 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: Magnetic Sensors. Reference Modul in Biomedical Sciences. Elsevier, DOI: 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 – Produktionstechnik Hannover informiert. Februar 2021

**L. Steinhoff:** Entwicklung eines piezoelektronischen Aluminiumnitrid-Dünnfilms. Phi – Produktionstechnik Hannover informiert, Juli 2021

**S. Raumel, 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 – Neuartiger Ansatz zur Kraftmessung an Führungswagen. Werkzeugmaschinen werden intelligent, VDI – Z, 2021

### Journal reviewed

**S. Raumel, K. Barienti, F. Dencker, F. Nürnberger, M. C. Wurz:** Einfluss von Silandotierten Umgebungsatmosphären auf die tribologieschen 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. Sehlmeyer, M. Hitzemann, S. Zimmermann:** Towards a Highly Sensitive Piezielectric Nano-Mass detection – A Model-Based Concept Study. MDPI Sensors, 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 Conference (ECTC), DOI: 10.1109.ECTC32696.2021.00248, pp. 1563-1570, 2021

**R. Ottermann, D. Klaas, F. Dencker, D. Hoheisel, S. Jung, A. Wienke, J. F. Düsing, J. Koch, M. C. Wurz:** Directly Deposited Thin-Film Strain Gauges on Curved Metallic Surfaces. IEEE 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 Dünnfilmsensorik 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 Dünnfilm-Dehnungsmessstreifen 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 Kraftsensor-Arrays 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 Dünnfilmen 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 Innenohr-Aktoren. Development of a Polyimid Membrane for Electromagnetic Middel-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

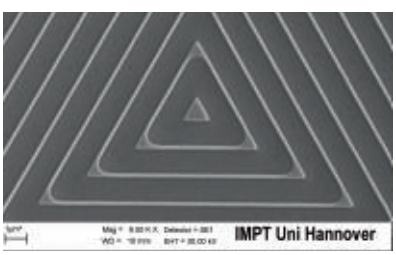
**M. S. Prediger, E. Müller, S. Bengsch, M. C. Wurz:** Kombination von additiver und dünnfilm-technischer Fertigung zur Herstellung eines Drucksensors für biomedizinische Anwendungen. Combination of Additive and Thin-Film Technological Manufacturing for the Realization of a Pressure Sensor for Biomedical Applications. MikroSystemTechnik Kongress 2021, (MST2021), Stuttgart-Ludwigsburg, Deutschland, VDE Verlag GmbH, ISBN 978-3-8007-5656-8, S. 578–581, 2021

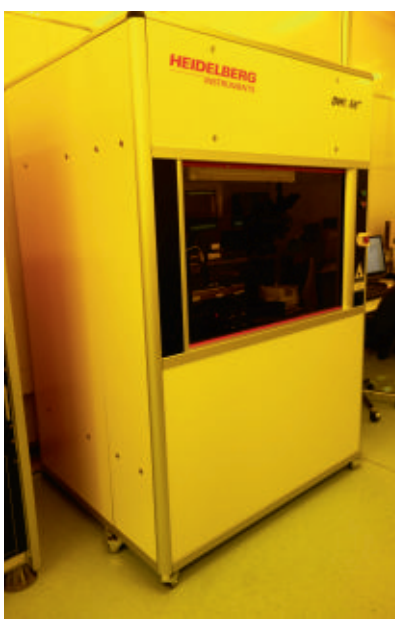
**S. Raumel, F. Dencker, M. C. Wurz:** Investigation of tribologically relevant surface layers formed on non-ferrous metals in oxygen-free conditions. European Symposium on Friction, Wear and Wear Protection, Friction 21, 2021

**S. Hadeler, 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 Hochauflösungsmodul zur Herstellung von z.B. optischen Gittern mit Submikrometer-Strukturgrößen als zukünftige Bestandteile quantenoptischer Mikrosysteme. Links: Makro- und Mikroskopische Aufnahme eines 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 WissenschaflterInnen 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 Rohstoffen 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 entstehen. 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

In 2021 ging das IKK gemeinsamen mit der Region Hannover und dem Schaumstoffverarbeiter Firma Kretschmar der Fragestellung nach, wie sich bisher nicht recycelbare Kunststoffschaumstoffreste 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

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 Rohstof f-, 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 Vea, S. Fabbri, 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/O999.01032021

**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: 10.1007/698_2021_745
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 CO2-Fußabdruck – Instrumente zur Nachhaltigkeitsbewertung, VDMA Arbeitsgruppe Hybride Leichtbau Technologie

**H.-J. Endres (18.05.2021):** SDG, Ökobilanzierung und CO2-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 Rezepturentwicklung und Prozessoptimierung.

Cryo-Rasterelektronenmikroskop JSM-IT510-LA der JEOL (Germany) GmbH zur hochauflösenden mikroskopischen Darstellung von Proben bei Raumtemperatur und für temperatursensitive 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 Kreislauflösungen für Kunststoffe. (Bild Erema_Inbetriebn., zu sehen sind von links nach rechts: S. Baranowski, D. Iliew (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*

ITA
Institut für Transport- und Automatisierungstechnik

*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, beispielweise 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 Gurtfördersystemen 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 ungehäusten 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 Medizinern automatisiert 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 optischen 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 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 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 Gurtaufbauten 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 funktionsfähigerer 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 Verbundsprojektes „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 industrienah in den Herstellungsprozess konventioneller Leiterplatinen 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 Mechatronic 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 Leiterbahnpfaden ermöglicht der 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 ungehäusten 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) gefördertem 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 Schwerebedingungen durchführen zu können, wie sie beispielsweise auf Mond oder Mars vorherrschen.
Der Einstein-Elevator - made in Hannover - ist das weltweit erste Forschungsgroßgerät für physikalische und produktionstechnische Experimente unter einstellbaren Schwerebedingungen 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 (Projektträger)

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 (Projektträger)

**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 Inertialsensorik 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.; Reisgen, 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

**Gerdes, 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 load 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.; Gerdes, 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.; Stapperfend, S.; Gerdes, 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.; Sohrt, 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.; Zywietz, 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):** Eccentrical 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 Eccentrical Bragg Gratings, OSA Technical Digest (Optical Society of America, 2021)
DOI: 10.1364/CLEO_SI.2021.STu2F.8
ISBN: 978-1-943580-91-0

**Lorenz, L.; Hanesch, F.; Nieweglowski, 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.; Wysmolek, M.; Weßels, P.; Overmeyer, L.; Neumann, J.; Kracht, D. (2021):** CO2-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. Fachkolloqium 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 Schüttgutfördertechnik, 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*

match
Institut für
Montagetechnik

*Professorin Annika Raatz, Institutsleiterin*

## 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 Pendants aus harten Materialien wie Stahl oder Aluminium eine inhärente Sicherheit im Kontakt mit dem Menschen 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.

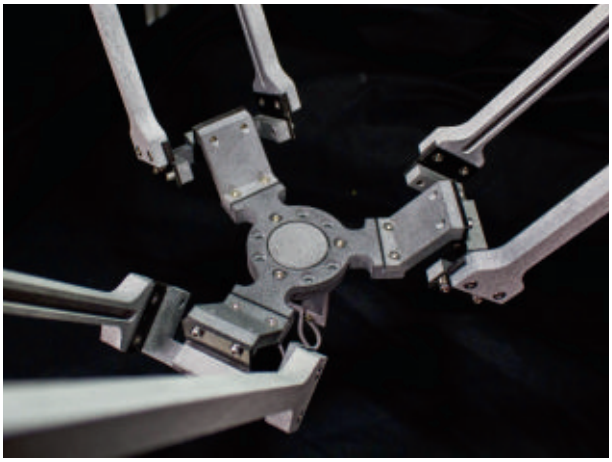
**Mobile Robotik /** Das match widmet sich im Bereich der mobilen Robotik der Erforschung von Multirobotersystemen beim Transport und der Handhabung von Großbauteilen. In einem mobilen Multirobotersystem kollaborieren zu diesem Zweck mehrere kleine mobile Roboter, indem diese an verschiedenen Stellen 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 skalenunabhängige 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°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 Warmbereich, 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°C. Foto: match*

**Präzisionsmontage /** Seit gut drei Jahren forscht das match im Exzellenzcluster PhoenixD an Handhabungs- und Fügetech-niken 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 Maschinentechnik 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, dass 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 Komponenten 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 µm 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 Fertigungsprozesse. 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 Aushärtedauern 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 biett 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 zwischenliegende 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 „Robotergestützte 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 Onlineveranstaltung 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 Hilfsgeräte 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

**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 (ICCMA), S. 7-13, DOI: 10.1109/ICCMA54375.2021.9646194

**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

**Bluemel, 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

**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

**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 Formation 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

### 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 Komplettmodul mit 5 Freiheiten und bis zu 30N Nutzlast

Keyence RB1200: Kamera, Beleuchtung und Bilderfassungscontroller für die Multidimensionale Bildverarbeitung und Hochpräzise multispektrale Streifenprojektion

Institut für
Werkstoffkunde

*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“ entsprächen 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 Prozessentwicklung sowie die Herstellung von Halbzeugen für die strangpresstechnische 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-, Hochgeschwindigkeitsflamm- und Kaltgasspritzen) eingesetzt. Neben der langjährigen Forschung zum flussmittelfreien Verbindungs- und Auftraglöten 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 Forschungsbeiträge 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 zerstörungsfreien 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 Randzoneneigenschaften 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 Platinkorrosionsprodukten 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 oxidschichtfrei 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 $\alpha$-$Fe_2O_3$ und amorphem $SiO_2$ (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 Molybdänoxidschichtsysteme (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 Elektronenstrahlschmelzen (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 CoNiAl-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 (Nanocarbide) (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 Wasserstrahlschneiden (BMWi-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 Wasserabrasivstrahlschneiden (BMWi + 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 (BMWi)

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 (BMWi-WIPANO)

TRANSENS - Transdisziplinäre Forschung zur Entsorgung hochradioaktiver Abfalle in Deutschland; Forschung zur Verbesserung von Qualität und Robustheit der soziotechnischen Gestaltung des Entsorgungspfades (BMWi)

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 steuerungsrelevanter 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

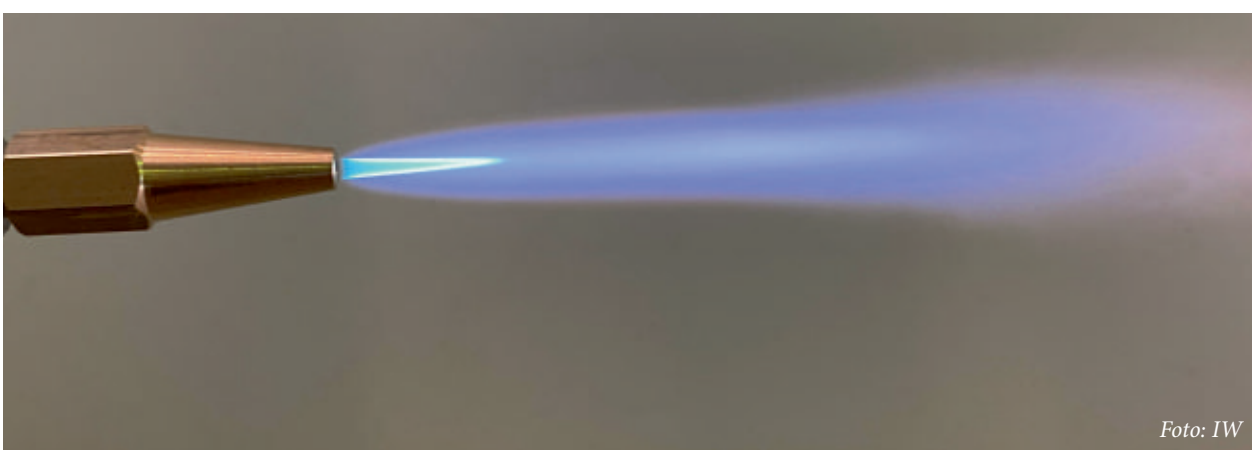


*Foto: IW*

**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 FeMnNiCoCr 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.; Lüdtke, M.; Klümper-Westkamp, H.; Fechte-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.; Barienti, 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.; Barienti, 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 selbsthärtenden 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 heißrissanfälligen Aluminiumlegierungen. Schweissen und Schneiden 73, 2021 (8), 516-526

### Konferenz (reviewed)

**Hassel, T.; Mintzlaff, V.; Stahlmann, J.; Röhlig, K.-J.; Eckhardt, A.:** Workshop Safety and Uncertainty. Saf. Nucl. Waste Disposal 1, 2021, 309-310

**Heimes, N.; Uhe, J.; Thürer, 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 ingenieurswissenschaftlicher Perspektive zur inter- und transdisziplinären Arbeit. In: Smeddinck, U. (Hrsg.): Transdisziplinäre Entsorgungsforschung 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.; Thürer, 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

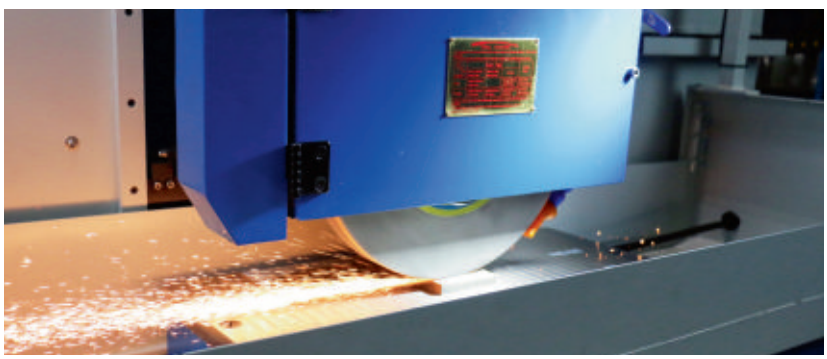
Modernisierung der Rezipientenbeheizung für 2,5 MN-Strangpresse, Erneuerung der Beheizung Al-, Mg- und Stahlcontainer

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. Dabei 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 angenzenden 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 Roboterautomation 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 Geschäftsbereich 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 vorlesungsbegleitende 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 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
Web: 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. Serjosha Wulf
Tel.: 0511 762 182 90
Mobil: 0176 100 809 23
Mail: info@grean.de
Web: 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
Web: 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
Web: 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 $CO_2$-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: Answers 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 Nationalbibliografie; 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 Datenverarbeitungsanlagen und der Übersetzung des vollständigen Werkes oder von Teilen davon, sind vorbehalten.

TEWISS Verlag

Wir fördern Ihr Nachhaltigkeitsprojekt.

# HANNOVER REGION
# **GREEN ECONOMY.**

Jetzt beantragen: www.wirtschaftsfoerderung-hannover.de/hrge

**WIRTSCHAFTSFÖRDERUNG**

**Region Hannover**

# 100 % KLIMANEUTRAL JETZT
## ALLE MASCHINEN KLIMANEUTRAL HERGESTELLT

DMG MORI GREEN MODE

DMG MORI $CO_2$ neutral

### 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

DMG MORI GREEN MACHINE

NEUTRALER $CO_2$ FOOTPRINT ALLER DMG MORI MASCHINEN – VOM ROHSTOFF BIS ZUR AUSLIEFERUNG

1. NEUTRALER PRODUCT CARBON FOOTPRINT ✓
2. NEUTRALER COMPANY CARBON FOOTPRINT ✓

MASCHINEN-NUTZUNG

KUNDE

DMG MORI GREEN MODE

ENERGIE- UND EMISSIONSEFFIZIENTER MASCHINENBETRIEB ✓

DMG MORI GREEN TECH

TECHNOLOGY EXCELLENCE FÜR GRÜNE TECHNOLOGIE ✓