

Jahresbericht 2023



46	PZH - Fakten und Zahlen
48	PZH - Schwerpunkte für Industriekooperationen
50	Promotionen
50	Auszeichnungen
51	Gäste
51	Seminare, Workshops, Konferenzen
106	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
90	ITA – Institut für Transport- und Automatisierungstechnik
96	match – Institut für Montagetechnik und Industrierobotik
104	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 mehr als 270 wissenschaftliche und rund 120 nichtwissenschaftliche Mitarbeiter. Letztere sind vorwiegend als Angestellte in Technik und Verwaltung tätig. Dazu kommen rund 450 studentische Mitarbeiter, die „HiWis“, außerdem 13 Auszubildende und acht junge Mitarbeiter im FWJ, dem Freiwilligen Wissenschaftlichen Jahr.

Bei der TEWISS GmbH und den angeschlossenen 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.

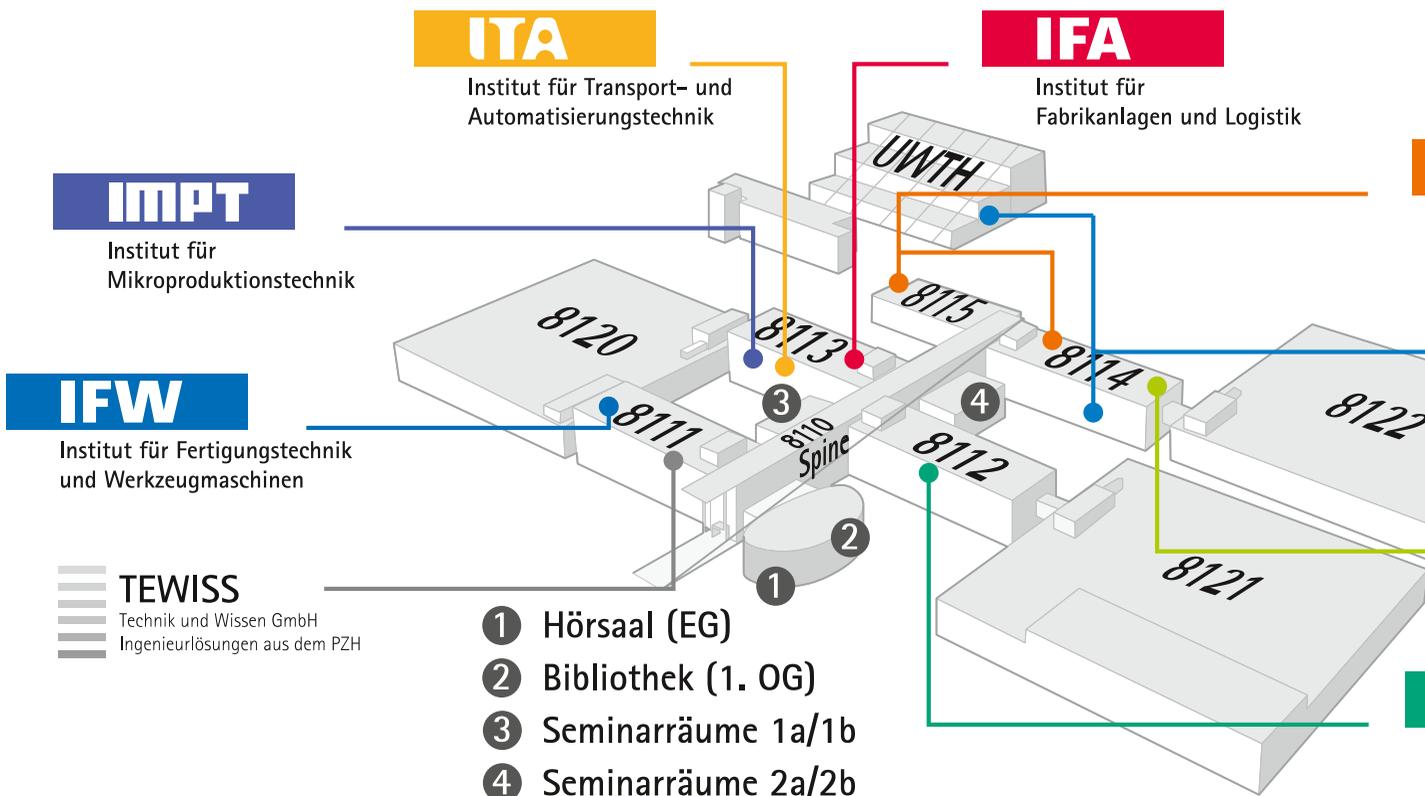
Fünf Labor- und Bürotrakte gehen von dort ab, drei große Hallen für die Versuchsfelder schließen sich an. Nutzfläche gesamt: etwa 22.000 Quadratmeter. Das PZH liegt in Garbsen, nahe der A2-Ausfahrt Hannover-Herrenhausen.

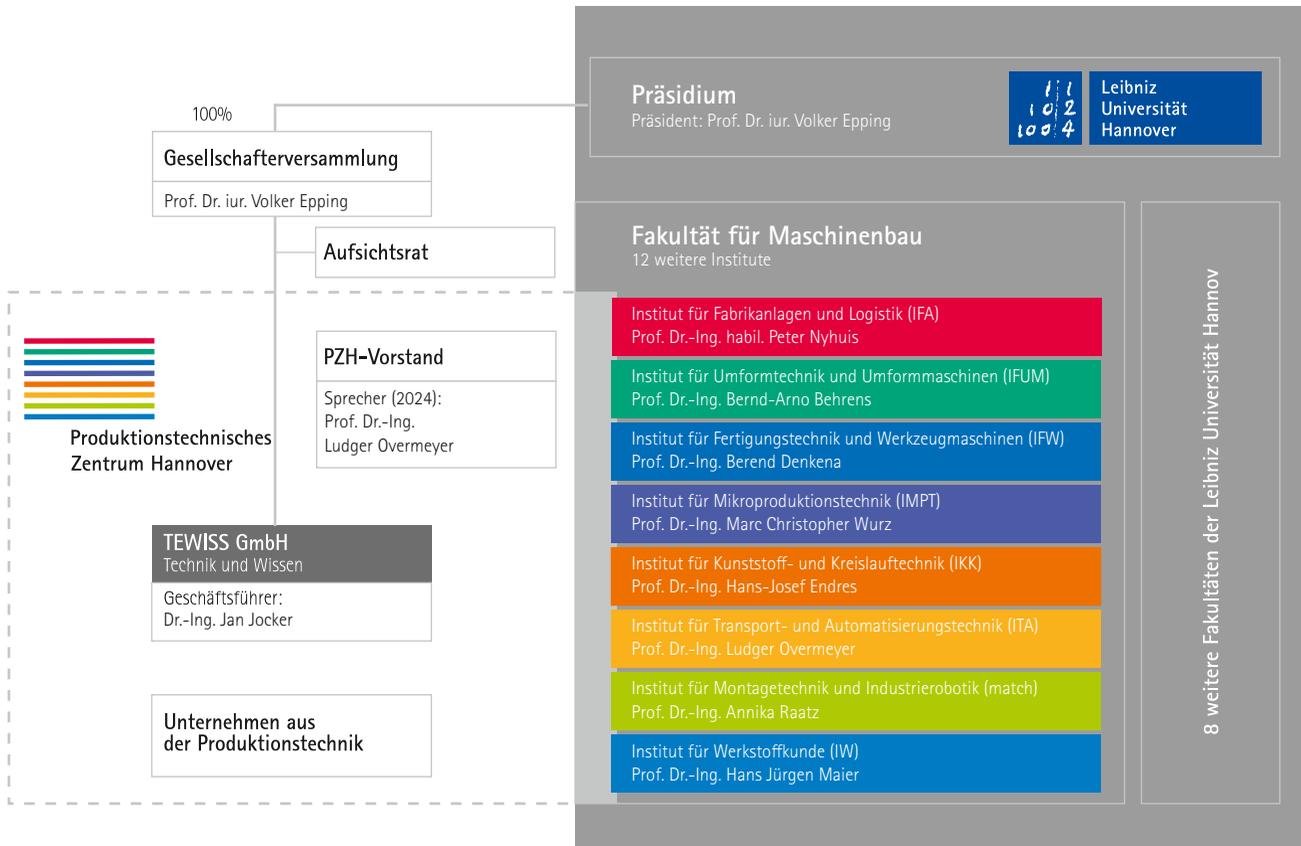
Seit 2019 sind mit dem Campus Maschinenbau, der gegenüber dem PZH liegt, alle 20 Maschinenbauinstitute der LUH in Garbsen vereinigt.

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.





IKK

Institut für Kunststoff- und Kreislauftechnik

IW

Institut für Werkstoffkunde

match

Institut für Montagetechnik und Industrierobotik

IFUM

Institut für Umformtechnik und Umformmaschinen

Drittmittel

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

2023 hat das PZH mehr als 32 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 20 Institute angehören.

Die acht Institutsleiter und der Geschäftsführer der TEWISS-GmbH bilden den Vorstand des PZH; die Aufgabe des Vorstandssprechers wechselt jährlich. Im Jahr 2023 sprach Professor Marc Christopher Wurz für den Vorstand. Er wurde im Januar 2024 von Professor Ludger Overmeyer 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
- ▶ Thermomechanische 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

Prof. Dr.-Ing. Marc Christopher Wurz

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

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
- ▶ Recycling - Optimierung der Recyclingprozesse und Rezyklatqualitäten
von Polymerwerkstoffen
- ▶ Ermittlung von Materialeigenschaften unter statischer, dynamischer
und Dauerbelastung
- ▶ Synthese aquatischer Umgebungsbedingungen, Bewitterungs-
und Abbauntersuchungen 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
und Industrierobotik**

Prof. Dr.-Ing. Annika Raatz

- ▶ Konzipierung von robotergestützten Handhabungsvorgängen (Robotertechnik,
Kollaborierende Montage, Mobile Roboter, Sensorunterstützung, Greiftechnik)
- ▶ Entwicklung und Optimierung von Montageprozessen (Präzisionsmontage,
High-Speed Pick&Place, Handhabung formlabiler Bauteile, Klebprozesse)
- ▶ 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
- ▶ Herstellung hochreiner Metallpulver für die additive Fertigung
- ▶ Korrosionsuntersuchungen
- ▶ Lötten, thermisches Spritzen
- ▶ Prozessentwicklung für das Strangpressen
von Leichtmetallen und Werkstoffverbunden
- ▶ Schneid- und Schweißprozesse in Sonderumgebungen und 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

Promotionen

Dr.-Ing. Jonas Ast

Risikoabhängige Bestimmung der funktionellen Personalflexibilität in Montagesystemen, IFA

Dr.-Ing. Robert Bernhard

Prozessentwicklung zur Additiven Fertigung von Multimaterialverbindungen, LZH

Dr.-Ing. Cihan Cevirgen

Methodik zur Durchführung typen-orientierter Vorstudien in der Fabrik-planung, IFA

Dr.-Ing. Lars Ellersiek

Prozessdämpfende Effekte in der Zerspaltung mit Kühlschmierstoff, IFW

Dr.-Ing. Eike Christian Fischer

Development of a Device for the Determination of Local Magnetic Properties of Thin Films on Whole Wafers, IMPT

Dr.-Ing. Wojciech Frackowiak

Zerstörungsfreie Prüfung mittels Hochfrequenz-Induktionsthermografie am Beispiel der Triebwerksbeschaufelung, IW

Dr.-Ing. Lara Fricke

Bestimmung der Oberflächenhärtung bei der spanenden Bearbeitung mittels Wirbelstromtechnik, IW

Dr.-Ing. Markus Hein

Schneidkantenpräparation von Hartmetallwerkzeugen mit nachgiebigen Diamantpolierwerkzeugen, IFW

Dr.-Ing. Lennar Hingst

Lebenszyklusorientierte Planung der Veränderungsfähigkeit in Fabriken, IFA

Dr.-Ing. Tammo Heuer

Modellbasierte Berechnung der Termintreue bei unterschiedlichen Plan-Durchlaufzeitklassen, IFA

Dr.-Ing. Robert Kenneweg

Automatisierte Generierung eines funktions- und prozessangepassten CAD-Modells, IFW

Dr.-Ing. Jens Kruse

Werkzeugintegrierte Prozessgrößenüberwachung beim Querkeilwalzen hybrider Halbzeuge im Rahmen von Tailored-Forming-Prozessketten, IPH

Dr.-Ing. Henning Lucas

Modifikation von Randzoneeigenschaften durch Schleifen mit torischen Werkzeugen, IFW

Dr.-Ing. Markus Mlinaric

Mechanismen der Schädigung von Düsen für das Wasserstrahlschneiden, IW

Dr.-Ing. Dominik Müller-Cramm

Wirkmechanismen beim Schleifen von PcBN mit Mehrachskinematiken, IFW

Dr.-Ing. Alexander Oleff

Selbstlernendes Bildverarbeitungssystem zur Ermittlung von Qualitätskennzahlen bei der additiven Materialextension, IPH

Dr.-Ing. Patrick Riemer

Modellierung von Textil-Fördergurtverbindungen, ITA

Dr.-Ing. Johann Sebastian Rinne

Untersuchung der Parametereinflüsse von Laserstrahl-tiefschweißprozessen auf die Qualität und Heißrissneigung in Stahl-Kupfer-Mischverbindungen, LZH

Dr.-Ing. Jonathan Ross

Virtuelle Prozessauslegung hinter-schnittener Schmiedebauteile, IPH

Dr.-Ing. Sebastian Strobrawa

Einführung eines personalintegrierten Digitalen Zwillings zur Optimierung arbeitsintensiver Produktionssysteme, IFW

Dr. rer. nat. Natalie Vellguth

Oberflächenmodifizierung von Fasermaterialien und textilen Halbzeugen zur Verwendung in Faserverbundkunststoffen, IKK in Kooperation mit dem Fraunhofer-Anwendungszentrum HOFZET

Dr.-Ing. Lennart Veltmaat

Abbildung von Fertigungseinflüssen auf

das Verhalten kurzfaserverstärkter Kunststoffe über die Verwendung einer netzfreien Simulationsmethode, IKK in Kooperation mit der Volkswagen AG.

Dr.-Ing. Michael Wilckens

Schruppschleifen von Stahl mit grobkörnigen CBN-Werkzeugen, IFW

Dr.-Ing. Philipp Wolters

Werkzeuge aus Gestein, IFW

Auszeichnungen

Marco Bleckmann, IFA

Lehrpreis 2022 der Kategorie „Professionalisierung und Lehrkultur“, Tag der Lehre, 02.03.2023, Hannover

Celina Dettmering, IFA

Hans Peter Wiendahl Studienpreis, Forum Logistik, 27.10.2023, Hannover

Berend Denkena, Heinrich Klemme, Sebastian Kaiser, Maruan Shanib, IFW

Outstanding Paper Award, International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management (IEEM), 07.-10.12.2022, Kuala Lumpur, Malaysia

Marcel Wichman, IFW

Hans Kurt Tönshoff-Preis, 27.10.2023, Hannover

Johannes Franke, Heiko Blech, IFW

Kooperationspreis für die beste Zusammenarbeit im Bereich sensorischer Schwenkspannsysteme, 13.12.2023, Hannover

Kristin Hartmann M. A., IKK, WAK-

Preis für innovativste Abschlussarbeit „Untersuchung der ökologischen Nachhaltigkeit zur Produktion von Bio-Polyethylen aus verschiedenen Rohstoffgenerationen in Deutschland“

Sebastian Leineweber, ITA

Best-Paper-Award für "3D-Druck mit Kautschuk"

Dr.-Ing. Christoph Lotz, ITA

Manfred Hirschvogel Preis

Kira Schlockermann, Jan Peters (match): Special Mention Best Student Paper Award, 8th International Workshop on New Trends in Medical and Service Robots (MESROB 2023), 07.07.2023, Craiova, Rumänien

Dr.-Ing. Sebastian Barton, IW
Wissenschaftspreis der DGZfP 2023

Dr.-Ing. Sebastian Barton, IW
Dr. Jürgen und Irmgard Ulderup Preis 2023

Gäste

Ina-Maria Becker, Der Grüne Punkt – Duales System Deutschland GmbH

Julia Heise-Šuklev, MOCOM Compounds GmbH & Co. KG)

Mike Herbig, AUDI AG

Simon Hoebel, Mercedes-Benz AG

Michael Jahr, APK AG

Dominik Jonscher, MOCOM Compounds GmbH & Co. KG

Andreas Kappel, Der Grüne Punkt – Duales System Deutschland GmbH

Jan-Kevin Pein, MOCOM Compounds GmbH & Co. KG

Gerhard Scheel, KraussMaffei Extrusion GmbH

Thorsten Weber, Der Grüne Punkt – Duales System Deutschland GmbH

Dr.-Ing. Julian Becker und Maxim Schewzow, Continental AG, Hannover: „Produktionsmanagement und -logistik“

Dr.-Ing. Tobias Heinen, Grean GmbH, Garbsen: „Nachhaltige Produktion“

Dr.-Ing. David Herberger, Roland Berger, Köln: „Fabrikplanung“

Dr.-Ing. Rouven Nickel, Volkswagen Nutzfahrzeuge, Hannover: „Anlagenmanagement“

Dr.-Ing. Stefan Rief, Fraunhofer-Institut für Arbeitswirtschaft und Organisation, Stuttgart: „Arbeitsgestaltung im Büro“

Dr.-Ing. Philipp Schäfer und Dr.-Ing. Lasse Härtel, SYANOS GmbH, Hannover: „Produktionsmanagement und -logistik“

Hon. Prof. Dr.-Ing. Lars Vollmer, Unternehmer, Redner, Bestsellerautor: „Denken und Handeln in Komplexität“

Dr.-Ing. Dirk Bormann, GF Casting Solutions: „Nichteisenmetallurgie“

Honorarprof. Dr. jur. Clemens Stewing, Mannesmann Precision Tubes GmbH, Zeithain: „Stahlwerkstoffe“

Dr. rer. nat. Peter Wilk, MAN Energy Solutions SE, Augsburg: „Korrosion“

Prof. Dr.-Ing. Matthias Niemeyer Uhlmann Pac-Systeme GmbH & Co. KG, Laupheim: „Konstruktionswerkstoffe“

Priv. Doz. Dr.-Ing. habil. Marc-André Dittrich, DMG Mori AG, Bielefeld: „Fertigungsmanagement“

Hon.-Prof. Dr.-Ing. Benedikt Meier Helmes Apparatebau GmbH & Co. KG, Warendorf: „Angewandte Aggregatmontage“

Seminare, Workshops, Konferenzen

Lean für Führungskräfte, IFA, 11.01.2023-12.01.2023 | 02.02.2023-03.03.2023 | 15.03.2023-16.03.2023 | 03.07.2023-04.07.2023 | 25.09.2023-26.09.2023 | 05.10.2023-06.10.2023

Grundlagen Produktionsplanung, -steuerung und -controlling, IFA, 25.01.2023-26.01.2023 | 27.09.2023-28.09.2023

Praxisseminar Fabrikplanung, IFA, 25.04.2023-26.04.2023 | 17.11.2023-18.11.2023

Grundlagen der Lean Production, IFA, 28.04.2023 | 12.05.2023 | 13.06.2023 | 24.11.2023

ProKI-Hannover, IFA, 28.06.2023 | 23.11.2023

Sitzung des Arbeitskreises Wasserstrahltechnologie (AWT), IW, 62. Sitzung bei der MicroStep Europa GmbH in Bad Wörishofen, 06.03.2023 und 63. Sitzung Unterwassertechnikum Garbsen, 09.10.2023

AWT-Härtereikreis Hannover, IW, PZH-Garbsen, 17. Januar, 21. März und 16. Mai 2023 (online)

Promotionskolloquium Bereich: Maschinen und Steuerungen, IFW, 10.03.2023

Bereich: Maschinen und Steuerungen - Bereichsfahrt, IFW, Harlingen (NL), 30.06.-02.07.2023

PIN-Konferenz: Innovation in der Fertigung, IFW, 10.05.2023

Bereich: Produktionssysteme – Strategietage, IFW, Braunlage, 14.-16.11.2023

Machining Innovations Conference, IFW, 29.-30.11.2023

14. Mädchen und Technik Kongress, IMPT (PZH) 20.11.23

Assistententreffen der WGP, Garbsen, 26.09.2023

WGP-Netzwerkveranstaltung für wissenschaftliche Mitarbeitende, Hannover, 27.09. und 28.09.2023

IKK-Nachhaltigkeitsschulung: Nachhaltigkeitsbewertung von Kunststoffen, 05.07.2023



Foto: Leo Merz

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 Produktionsbe-

reiche: 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, Liefer-

treue oder Lieferzeit betrifft, wird durch das genannte Konzept aufgelöst. Auch im Bereich der Fabrikplanung ermöglicht die Digitalisierung eine deutliche Verbesserung von Handlungs- und Reaktionsfähigkeit während des Fabrikplanungsprozesses z. B. durch digitale Fabriklayouts. Sie ermöglichen sowohl in der Neuplanung als auch der Reorganisation von Fabriken die Planungsdauer und -kosten zu reduzieren sowie die Transparenz und Übersichtlichkeit zu erhöhen. Die zielgerichtete Digitalisierung der Produktion befähigt Mitarbeiter und Systeme neben der anforderungsgerechten operativen Planung und Steuerung folglich auch zur langfristigen, strategischen Fertigungs- und Montageplanung.

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

Produktionsplanung, -steuerung und -controlling

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

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

Lean Production

Die maximale Kundenorientierung bringt eine stetig wachsende Varianz von Produkten und die Reduzierung von Lieferzeiten mit sich. Um hier langfristig erfolgreich zu sein, unterstützt das IFA Unternehmen dabei, ihre Produktion durch kontinuierliche Verbesserung und Vermeidung von Verschwendung im Sinne der Lean Production stetig weiterzuentwickeln. Nur so kann die Wertschöpfung gesteigert und eine hohe Produkt- sowie Prozessqualität bei niedrigen Kosten erreicht werden. Methoden wie 5S zur Schaffung von Ordnung und Sauberkeit, Kanban zur Steue-

rung 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, Grundlagentermittlung, 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.

- 15 *wissenschaftliche Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter*
- 7 *nichtwissenschaftliche Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter*
- 30 *studentische Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter*

IFA 2023

Institut für Fabrikanlagen und Logistik

Leitung

Prof. Dr.-Ing. habil. Peter Nyhuis

Lehre

34 Masterarbeiten, 33 Studienarbeiten und 5 Bachelorarbeiten

Aktuelle Forschung

Deep.Control – Entwicklung einer datenbasierten, automatisierten Controlling-Methodik zur Verbesserung der Fabrikperformance (NBANK)

Das Forschungsvorhaben deep.Control verfolgt das Ziel, eine Produktionscontrolling-Methodik zu entwickeln und in eine Softwareumgebung zu überführen, die Unternehmen systematisch bei der Identifikation von Primärsachen einer unzureichenden logistischen Performance im Fabrikbetrieb und der Ableitung notwendiger Kompensationsmaßnahmen unterstützen. Die Verknüpfung bewährter logistischer Modelle mit Methoden der Data Analytics birgt das Potenzial einer datenbasierten und automatisierten Analyse von Primärsachen sowie der Auswirkungen konkreter Kompensationsmaßnahmen auf die logistischen Zielgrößen. Durch die Einbettung der Controlling Methodik in eine einfach zu bedienende Software sollen industrielle Anwender*innen automatisiert eine zielgerichtete Handlungsempfehlung zur Performancesteigerung erhalten, ohne dass es tiefgreifendes spezifisches Methodenwissen bedarf.

Förderung: Die Zuwendung besteht aus Mitteln des Europäischen Fonds für Regionale Entwicklung (EFRE) und des Landes Niedersachsen. Kofinanziert von der Europäischen Union.

Sonderforschungsbereich 871 – Regeneration komplexer Investitionsgüter – Logistikorientiertes Ersatzteilmanagement für die Regeneration von Flugzeugtriebwerken (DFG)

Im Rahmen dieses Transferprojektes werden die Erkenntnisse des Teilprojektes D1 des Sonderforschungsbereiches 871 („Regeneration komplexer Investitionsgüter“) zur Prognose von Kapazitätsbedarfen (erste Förderperiode) sowie die entwickelte Logik zur Bestandsdimensionierung (zweite Förderperiode) auf das Ersatzteilmanagement der MTU Maintenance Hannover GmbH übertragen. Dazu wird eine Methode zur Prognose von Ersatzteilbedarfen entwickelt, die auf Vergangenheitsdaten zurückliegender Regenerationsaufträge basiert. Die Prognosemethodik berücksichtigt branchentypische Restriktionen wie bspw. die Austauschbarkeit oder Laufleistungen der Materialien. Die prognostizierten Materialbedarfe werden anschließend mit einem modellbasierten Bestandsmanagement verzahnt. Hierzu werden bestehende Ansätze zur Poolbestandsdimensionierung um die Beschreibung zweistufiger Pool-Strukturen (reparabel und einsatzfähig) erweitert. Darauf aufbauend wird eine Methodik zur strukturierten Bewertung von Beschaffungspotentialitäten hinsichtlich ihres logistischen Potenzials und des finanziellen Risikos entwickelt.

Sonderforschungsbereich 1153 – Prozesskette zur Herstellung hybrider Hochleistungsbauteile durch Tailored Forming – Wertorientiertes Produktionsmanagement zur ressourceneffizienten Herstellung hybrider Hochleistungsbauteile (DFG)

Um den Transfer der im Sonderforschungsbereich 1153 (Tailored Forming) entwickelten Innovationen in die Praxis zu unterstützen, bedarf es sowohl wirtschaftlicher Bewertungsmöglichkeiten zur Beurteilung der generellen Vorteilhaftigkeit als auch eine Überprüfung des logistischen und ökologischen Mehrwerts. Das übergeordnete Ziel dieses Forschungsvorhabens ist die Bewertung und der Transfer der Tailored Forming Technologie in die Wirtschaft. Dabei soll der Transfer durch Maßnahmen des wertorientierten Produktionsmanagements gefördert werden. Um dieses Ziel zu erreichen, sollen im ersten Schritt auf Basis einer ökonomischen, ökologischen und logistischen Bewertung des Tailored Formings Maßnahmen abgeleitet werden, die den Wert einer Investition steigern. Im zweiten Schritt gilt es, auf Basis der identifizierten Maßnahmen unter Berücksichtigung der Auftragsabwicklung ein integriertes Verfahren für die Produktionsplanung und -steuerung (PPS) zu entwickeln, das den Wert einer Investition in Tailored Forming und folglich die Wirtschaftlichkeit erhöht. Im Rahmen der Entwicklung werden fortschrittliche Verfahren aus dem Bereich des maschinellen Lernens, insbesondere des Reinforcement Learning, angewendet. Dieser Ansatz wird verfolgt, um den steigenden Herausforderungen in Bezug auf Dynamik und Komplexität angemessen zu begegnen. Die Leistungsfähigkeit des Verfahrens wird abschließend mithilfe einer Simulation validiert.

ReKriWahl – Bewertungsmaß für die Resilienz als Kriterium für die Zuliefererauswahl (AiF/BVL)

Die Entwicklung eines Bewertungsmaßes für die Resilienz im Kontext der Zuliefererauswahl ist das Ziel des Forschungsprojektes "ReKriWahl". Unter der Supply-Chain-Resilienz versteht man die Anpassungsfähigkeit der Lieferkette und die Reaktionsfähigkeit auf unvorhergesehene Störungen.

Im Projekt wird ein Softwaredemonstrator entwickelt, mit dem sich die Resilienz bewerten lässt – sowohl aus der Sichtweise des Zuliefererunternehmens, in Form der vorhandenen Resilienz, als auch aus der Sichtweise des auswählenden Unternehmens, in Form der benötigten Resilienz. Anschließend wird die benötigte Resilienz des auswählenden Unternehmens mit der vorhandenen Resilienz des Zuliefererunternehmens abgeglichen. Gibt es dort ein Ungleichgewicht, schlägt der Softwaredemonstrator Maßnahmen vor, mit denen sich die Resilienz des Zuliefererunternehmens verbessern lässt.

RohstoffShare – Befähigung von KMU zum branchenübergreifenden Sharing von Rohstoffen mittels einer digitalen Plattform (AiF/GBO)

Die verstärkte Lagerhaltung führt zusammen mit dem durch die gestörten Lieferketten volatilen und intransparenten Marktumfeld zu einer Ungleichverteilung von Rohstoffen. Ein temporärer Tausch bzw. ein Verleihen der Rohstoffe mit der

Sicherheit des Rücktauschs zu einem definierten Zeitpunkt wäre für Unternehmen mit hohen Lagerkapazitäten risikoarm möglich und würde die Ungleichverteilung vermindern. Eine nach dem Prinzip der Sharing Economy aufgebaute Digitale Plattform kann diesen Tausch aufwandsarm für KMU ermöglichen. Dieser plattformbasierte Austausch von Rohstoffen sorgt für eine Umverteilung von bereits gelieferten oder in Kürze erwarteten Rohstoffen zu anderen Unternehmen, um die Ungleichverteilung temporär auszugleichen.

Ziel des Forschungsprojekts ist es einerseits KMU zu einem plattformbasierten Rohstoff-Sharing zu befähigen und somit einen Beitrag zu einer effizienteren Rohstoffversorgung zu leisten und damit zukünftig eine Vermeidung von Produktionsausfällen, eine Reduzierung der Kapitalbindungskosten für lagernde Rohstoffe sowie eine Vermeidung von teuren und unökologischen Eiltransporten zu erreichen. Andererseits sollen Plattformanbieter auf Basis des Forschungsvorhabens befähigt werden, den Ansatz des Rohstoff-Sharing aufwandsarm umzusetzen, um KMU eine entsprechende Nutzung zu ermöglichen.

Inhomogenes Walzen – Steuerung des Umformverhaltens durch eine inhomogene Halbzeuergewärmung beim Querkeilwalzen (DFG)

Das Querkeilwalzen ist ein Umformverfahren der Massivumformung, das insbesondere für die Vorformung im Rahmen von Stadienplanung geeignet ist. Während des Querkeilwalzprozesses können diverse Walzfehler auftreten, die die Qualität der Bauteile entlang der gesamten Herstellungsprozesskette beeinflussen. Eine der Hauptursachen liegt in der unzureichenden Prozessstabilität, die zu Verrutschen oder ungleichmäßiger Torsion des Halbzeugs führt. Um die Fließigenschaften des Werkstoffs an das Querkeilwalzwerkzeug anzupassen, eignet sich eine inhomogene Erwärmung. Dies ermöglicht es, die Prozessstabilität zu steigern und Walzfehler zu minimieren. Das Forschungsziel ist es, den Einfluss dieser inhomogenen Halbzeuergewärmung auf den Querkeilwalzprozess zu ermitteln, um die Walzqualität und Prozessstabilität signifikant zu steigern. Durch gezielte Erwärmungstechniken werden unterschiedliche Fließspannungen in den Halbzeugen erzeugt, um das Umformverhalten gezielt zu beeinflussen und den Walzprozess zu verbessern. Das Projekt gliedert sich in zwei Hauptziele: Zunächst erfolgt die simulative Identifikation der Parameterauswirkungen auf die Walzqualität und Prozessstabilität. Im zweiten Schritt erfolgt die experimentelle Verifizierung dieser Einflüsse, da die Simulation von Umformprozessen mit inhomogen erwärmten Halbzeugen noch nicht ausreichend erforscht ist.

AIMS5.0 – Artificial Intelligence in Manufacturing leading to Sustainability and Industry 5.0 (EU/Chips JU)

Mit Künstlicher Intelligenz zur Industrie 5.0 – das Forschungsprojekt AIMS5.0 legt die Grundlagen für die nächste industrielle Revolution in Europa und soll zu mehr Nachhaltigkeit und Wettbewerbsfähigkeit führen. Mit Hilfe von Hardware und Software-basierter Künstlicher Intelligenz (KI) soll der Ressourcenverbrauch in der europäi-

schon Fertigung verbessert und gleichzeitig die Produktqualität erhöht werden. Ziel ist es darüber hinaus, die Resilienz zu steigern, Lieferketten zu optimieren sowie Time-to-Market zu verbessern.

An diesem Ziel arbeitet ein Projektkonsortium mit 53 Forschungs- und Industriepartnern aus zwölf Ländern. Die Leitung und Koordination übernimmt die Infineon Technologies AG. In unterschiedlichen Arbeitsgruppen widmen sich die Projektpartner 20 konkreten Anwendungsfällen für KI und KI-basierte Hardware über die verschiedensten Branchen hinweg. Das IPH erforscht im Projekt den autonomen Drohnen-Indoorflug in einer Fabrikumgebung zum Zweck der Erstellung eines digitalen Zwillings (digital twin).

Viper – Veränderungsfähigkeit der IT-Systeme produzierender Unternehmen (AiF/FIR)

Ziel des Forschungsvorhabens ist es, produzierende Unternehmen zu befähigen, die Veränderungsfähigkeit ihrer IT-Systemen eigenständig zu bewerten und zu gestalten. Produzierende Unternehmen stehen vor der Herausforderung, effizient zu arbeiten und sich an veränderte Umweltbedingungen anzupassen.

Informationssysteme spielen dabei eine wichtige Rolle – aber häufig stoßen Unternehmen auf Probleme bei der Leistung und Anpassungsfähigkeit dieser Systeme.

Das Forschungsprojekt zielt darauf ab, die Veränderungsfähigkeit von IT-Systemen zu verbessern, indem es eine ganzheitliche Betrachtung des soziotechnischen Informationssystems ermöglicht. Das Ziel ist es, Unternehmen in die Lage zu versetzen, ihre IT-Systeme eigenständig an veränderte Anforderungen anzupassen. Dazu werden im Forschungsprojekt ein Leitfadens sowie ein webbasiertes Self-Assessment entwickelt. Dies bietet Unternehmen in Zukunft eine benutzerfreundliche und frei zugängliche Anwendung zur kontinuierlichen Bewertung und Gestaltung der Veränderungsfähigkeit von IT-Systemen in der Auftragsabwicklung.

Minimalmengenschmierung – Entwicklung eines Modells zur automatisierten Ermittlung der idealen Schmiermittelschichtdicke bei der Warmmassivumformung (DFG)

Aus dem Bereich der Zerspanung ist der Einsatz der Minimalmengenschmierung weitläufig bekannt. Im Bereich der Warmmassivumformung wird diese jedoch noch nicht eingesetzt – trotz ihrer Kosten- und Umweltschutzpotenziale. Dies liegt insbesondere an fehlendem Grundlagenwissen, welches im Rahmen dieses Projekts erarbeitet wird. Hierzu werden experimentelle Untersuchungen und begleitende Simulationen durchgeführt und zu einem Gesamtmodell zusammengefügt.

Das Modell ermöglicht in Zukunft eine Aussage zur idealen Schmiermitteldicke und berücksichtigt dabei insbesondere die spezielle Problematik lokal unterschiedlicher Werkzeugbelastungen und die damit einhergehenden Effekte wie Schmierfilmbriß und Werkzeugverschleiß.

MulTraSys – Konzeption und Simulation eines multimodalen Transportsystems bestehend aus FTF und UAV für einen quasi-steti-

gen Milkrun in einer KMU-Produktionsumgebung (AiF/GBO)

Der Materialfluss in einem Unternehmen verursacht bis zu 80 % der Produktionsselbstkosten. Eine wirksame Möglichkeit, die Effizienz von Materialflüssen zu steigern, ist der Einsatz von automatisierten Fahrerlosen Transportfahrzeugen (FTF) in einem Milkrun. Typisch für kleine und mittlere Unternehmen (KMU) sind gewachsene Layouts, die ungeeignet für die Einführung von FTF-Milkruns sind. Ein vielversprechender Ansatz, um der beschriebenen wirtschaftlichen Benachteiligung von KMU zu begegnen, sind Multimodale Transportsystemen aus FTF und unbemannten Luftfahrzeugen (engl. Unmanned Aerial Vehicles, UAV). Die Quellen und Senken, die durch den FTF-Milkrun nicht bedient werden können, werden hierbei von UAV angefliegen. Das Forschungsvorhaben MulTraSys untersucht dieses innovative Konzept.

Modimo – Modifikationsfreie Drehwinkel- und Drehmomentenerfassung (AiF/ZVEI)

Ziel des Projekts Modimo ist die Erforschung der berührungslosen Drehmomentenerfassung an einer nicht-modifizierten Welle. Die Kenntnis über das angreifende Drehmoment an einer Welle ist elementar für den Betrieb einer Vielzahl von technischen Anwendungen, wie beispielsweise Generatoren in Wind- oder Wasserkraftanlagen oder Antrieben in Schiffen oder Flugzeugen. Berührungslose Sensoren haben den Vorteil des geringeren Verschleißes und ermöglichen damit einen wartungsärmeren Betrieb der Anlagen. Voraussetzung für den Einsatz von berührungslosen Sensoren ist allerdings eine vorherige Präparation der Welle, beispielsweise indem Anbauteile oder Markierungen auf der Welle angebracht werden. Im Projekt Modimo wird erstmals die Möglichkeit zur kontaktlosen Drehmomentenerfassung an einer Welle erforscht, die nicht modifiziert wurde.

Veröffentlichungen (Auszug)

Beiträge in Büchern (reviewed)

Wenzel, A.; Lucht, T.; Nyhuis, P. (2023): Hybrid Production Principles: A Framework for the Integration in Aircraft Manufacturing, Smart, Sustainable Manufacturing in an Ever-Changing World. von Leipzig, K., Sacks, N. & Mc Clelland, M. (Hrsg.). Cham: Springer International Publishing AG, S. 957-967; DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-031-15602-1_67

Beiträge in Zeitschriften

Dér, A.; Hingst, L.; Nyhuis, P.; Herrmann, C. (2023): Concept for modeling and quantitative evaluation of life cycle dynamics in factory systems, *Production Engineering*; DOI: [10.1007/s11740-023-01189-4](https://doi.org/10.1007/s11740-023-01189-4)

Ast, J.; Nyhuis, P. (2023): A theoretical approach for considering practice effects when determining deployment schedules, *Manufacturing Letters*, 36 (2023), p. 26-29; DOI: [10.1016/j.mfglet.2022.12.005](https://doi.org/10.1016/j.mfglet.2022.12.005)

Mütze, A.; Lebbing, S. (2023): Setup-optimised Dispatching At Work Systems With Pallet Chan-

gers, *Journal of Production Systems and Logistics* (3), 2; DOI: <https://doi.org/10.15488/13250>

Jahangirkhani, T.; vom Stein, N.; Nyhuis, P.; Löwer, M. (2023): Introduction of an approach for the identification of interfaces between the factory planning process and quality management for an optimized planning result, In: Alfnès, E.; Romsdal, A.; Strandhagen, J. O.; von Cieminski, G.; Romero, D. (Eds.): *Advances in Production Management Systems. Production Management Systems for Responsible Manufacturing, Service, and Logistics Futures. IFIP WG 5.7 International Conference, APMS 2023 Trondheim, Norway, September 17–21, 2023 Proceedings, Part III*; DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-031-43670-3_58

Hook, J.; Kik, D.; Nyhuis, P.; Spengler, T. (2023): A Tool For Economic Development Agencies For The Model-Based Business Consultation In Location Planning, *Journal of Production Systems and Logistics* 3 (2023); DOI: <https://doi.org/10.15488/13576>

Hingst, L.; Dér, A.; Herrmann, C.; Nyhuis, P. (2023): Towards a Holistic Life Cycle Costing and Assessment of Factories: Qualitative Modeling of Interdependencies in Factory Systems, *Sustainability*; DOI: <https://doi.org/10.3390/su15054478>

Ströhlein, K.; Kandler, M.; Ast, J.; Nyhuis, P.; Lanza, G.; Nieken, P. (2023): Führung 2030: Herausforderungen meistern und Chancen nutzen, *Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb* (118) 6, S. 417-423 Weitere Informationen; DOI: <https://doi.org/10.1515/zwf-2023-1081>

Cevirgen, C.; Efreimov, D.; Kerstgens, J.; Riecke, L.; Dersch, S.; Nyhuis, P. (2023): Zielorientierte und kontextbasierte Baukostenabschätzung in der frühen Fabrikplanung, *ZWF* 118 (2023) 3 S. 100-105; DOI: [10.1515/zwf-2023-1018](https://doi.org/10.1515/zwf-2023-1018)

vom Stein, N.; Jahangirkhani, T.; Löwer, M.; Nyhuis, P. (2023): Die Notwendigkeit iterativer Kommunikation in der Fabrikreorganisation, *ZWF* 118 (2023) 3 S. 115-121; DOI: [10.1515/zwf-2023-1010](https://doi.org/10.1515/zwf-2023-1010)

Demke, T. M.; Emminghaus, N.; Overmeyer, L.; Kaierle, S.; Klose, C.; Thürer, S. E.; Denkena, B.; Bergmann, B.; Schaper, F.; Nyhuis, P.; Kuprat, V. K. (2023): Approach for the monetary evaluation of process innovations in early innovation phases focusing on manufacturing and material costs, *Production Engineering*; DOI: <https://doi.org/10.1007/s11740-023-01223-5>

Aufsätze

Fulterer, J.; Maetschke, J.; Kuhn, C.; Kalchschmid, V.; Karg, F.; Luber, M.; Demke, T. M.; Hiller, T.; Kämpfer, T.; Steffens, C.; Mundt, C.; Aliksieiev, V.; Schuh, G. (Hrsg.) (2023): PPS-Report 2023 - Ergebnisse der gemeinsamen Umfrage der produktionstechnischen Institute Werkzeugmaschinenlabor WZL der RWTH Aachen (Aachen), Fraunhofer IGCV (Augsburg), Institut für Fabrikanlagen und Logistik IFA (Hannover),

Institut für Produktionsmanagement und -technik IPMT (Hamburg); DOI: <https://doi.org/10.18154/RWTH-2023-09909>

Demke, T. M.; Stephan, M. (2023): Materialbedarfsprognose für die Regeneration von Triebwerken, phi – Produktionstechnik Hannover informiert, Newsletter Nr. 39 / Juni; DOI: <https://doi.org/10.48811/phi-23-008>

Schneider, J. (2023): Künstliche Intelligenz (KI) unterstützt bei der Eigenfertigungssteuerung, phi – Produktionstechnik Hannover informiert, Newsletter Nr. 41 / Dezember; DOI: <https://doi.org/10.48811/phi-23-015>

Hiller, T.; Schneider, J.; Demke, T. M. (2023): KI in der Produktionsplanung und -steuerung, EMO Hannover. Future Insight.

Vorträge

Nyhuis, P.; Wenzel, A.; Schneider, J.; Schumann, D. (2023): Transparente Prozesse als Grundlage für eine robuste Auftragsabwicklung, Expertenforum PPS 2023

Konferenz (reviewed)

Rieke, L.; Heinen, T.; Cevirgen, C.; Laßmann, F.; Nyhuis, P. (2023): Development Of A Digital Planning Tool For Dimensioning And Investment Cost Calculation In An Early Factory Planning Phase, In: Herberger, D.; Hübner, M.; Stich, V. (Eds.): Proceedings of the Conference on Production Systems and Logistics: CPSL 2023 - 1. Hannover : publish-Ing., 2023, S. 229-238; DOI: <https://doi.org/10.15488/12156>

Hook, J.; Nielsen, L.; Nyhuis, P. (2023): Planning And Controlling Multi-Project Environments In Factories, Proceedings of the Conference on Production Systems and Logistics; DOI: <https://doi.org/10.15488/15246>

Hook, J.; Macdonald, C.; Nyhuis, P. (2023): Towards Factory Location Planning Using GIS, Proceedings of the Conference on Production Systems and Logistics; DOI: <https://doi.org/10.15488/13441>

Schneider, Jonas; Hiller, Tobias; Nyhuis, Peter (2023): Backlog control in optoelectronic production using a digital twin, Proceedings of the Conference on Production Systems and Logistics; DOI: <https://doi.org/10.15488/15298>

Wecken, Lena; Heinen, Tobias; Nyhuis, Peter (2023): An Approach Towards Securing Future Viability Of SMEs In A VUCA World Using Artificial Intelligence To Increase Resilience, Herberger, D.; Hübner, M.; Stich, V. (Eds.): Proceedings of the Conference on Production Systems and Logistics: CPSL 2023 - 1; DOI: <https://doi.org/10.15488/13467>

Rieke, L.; Philipp, L.; Nyhuis, P. (2023): Towards A Holistic Cost Estimate Of Factory Planning Projects, In: Herberger, D.; Hübner, M. (Eds.): Proceedings of the Conference on Production Systems and Logistics: CPSL 2023 - 2. Han-

nover : publish-Ing., 2023, S. 459-793; DOI: <https://doi.org/10.15488/15249>

Hingst, L.; Nyhuis, P. (2023): Analysis Of Uncertainty Over The Factory Life Cycle, Proceedings of the Conference on Production Systems and Logistics: CPSL 2023 - 1. Hannover : publish-Ing., 2023; DOI: <https://doi.org/10.15488/13497>

Wenzel, A.; Hingst, L.; Nyhuis, P. (2023): Anticipatory Inventory Management For Realizing Robust Production Processes In Engineer-To-Order Manufacturing: A Modeling Approach, Proceedings of the Conference on Production Systems and Logistics: CPSL 2023 - 1. Hannover : publish-Ing., 2023; DOI: <https://doi.org/10.15488/13487>

Demke, T. M.; Kämpfer, T.; Lucht, T.; Wachsmann, J.; Nyhuis, P. (2023): Forecast-Based Dimensioning of Spare Parts Inventory Levels in the MRO Industry, In: Alfnes, E.; Romsdal, A.; Strandhagen, J. O.; von Cieminski, G.; Romero, D. (Eds.): Advances in Production Management Systems. Production Management Systems for Responsible Manufacturing, Service, and Logistics Futures. IFIP WG 5.7 International Conference, APMS 2023 Trondheim, Norway, September 17–21, 2023 Proceedings, Part II; DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-031-43666-6_7

Hiller, T.; Osterkamp, L.; Vinke, L.; Holtsch, P.; Mütze, A.; Nyhuis, P. (2023): Simple Analysis of Planning Quality in Production Logistics. In: Alfnes, E.; Romsdal, A.; Strandhagen, J.O.; von Cieminski, G.; Romero, D. (Eds.) Advances in Production Management Systems. Production Management Systems for Responsible Manufacturing, Service, and Logistics Futures. APMS 2023. IFIP Advances in Information and Communication Technology, vol 691. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-031-43670-3_50

Konferenz

Mütze, A.; Lebbing, S.; Hillnhagen, S.; Schmidt, M.; Nyhuis, P. (2023): Modeling Interactions and Dependencies in Production Planning and Control, von Leipzig, K., Sacks, N., McClelland, M. (eds) Smart, Sustainable Manufacturing in an Ever-Changing World. Lecture Notes in Production Engineering. Springer, Cham; DOI: [10.1007/978-3-031-15602-1_3](https://doi.org/10.1007/978-3-031-15602-1_3)

Ast, J.; Nyhuis, P. (2023): Prognose von Lernkurven manueller Montageaufgaben auf Basis einer Selbsteinschätzung, Gesellschaft für Arbeitswissenschaft e.V. (Hrsg.), Bericht zum 69. Arbeitswissenschaftlichen Kongress der Gesellschaft für Arbeitswissenschaft e.V. vom 01. – 03. März 2023, Hannover, GfA-Press, Dortmund; ISBN: 978-3-936804-32-4

Möhle, J., Nörenberg, L., Shabanaj, F., Motz, M., Nyhuis, P., Schmitt, R. (2023): Sustainable Personnel Development Based on Production Plans, Liewald, M., Verl, A., Bauernhansl, T., Möhring, HC. (eds) Production at the Leading Edge of Technology. WGP 2022. Lecture Notes in Production Engineering. Springer, pp. 677-685; DOI: [10.1007/978-3-031-18318-8_67](https://doi.org/10.1007/978-3-031-18318-8_67)

Motz, M.; Möhle, J.; Hiddessen, L.; Schmitt, R. H.; Nyhuis, P. (2023): Intelligente und kompetenzbasierte Personaleinsatzplanung in der Produktion, Gesellschaft für Arbeitswissenschaft e.V. (Hrsg.), Bericht zum 69. Arbeitswissenschaftlichen Kongress der Gesellschaft für Arbeitswissenschaft e.V. vom 01. – 03. März 2023 in Hannover, GfA-Press, Dortmund; ISBN: 978-3-936804-32-4

Möhle, J.; Potthoff, L.; Klaas, D. (2023): Sozio-technisches Assistenzsystem für eine energieeffiziente und nachhaltige Nutzung von Reinraumfertigungsanlagen im diskontinuierlichen Betrieb, Gesellschaft für Arbeitswissenschaft e.V. (Hrsg.), Bericht zum 69. Arbeitswissenschaftlichen Kongress der Gesellschaft für Arbeitswissenschaft e.V. vom 01. – 03. März 2023 in Hannover, GfA-Press, Dortmund; ISBN: 978-3-936804-32-4

Dettmering, C.; Bleckmann, M.; Nyhuis, P. (2023): Beschreibung der Veränderungsfähigkeit von Montagesystemen für das Gestaltungselement Information, Gesellschaft für Arbeitswissenschaft e.V. (Hrsg.), Bericht zum 69. Arbeitswissenschaftlichen Kongress der Gesellschaft für Arbeitswissenschaft e.V. vom 01. – 03. März 2023 in Hannover, GfA-Press, Dortmund; ISBN: 978-3-936804-32-4



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 Monowerkstoffen. 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 Fügezonqualität erzielt werden. Der innovative Ansatz des SFB 1153 beinhaltet eine ganzheitliche Betrachtung des Fertigungs- und Entwicklungsprozesses vom Halbzeug bis zum einsatzfähigen Bauteil unter Erstellung von hierfür notwendigen Verfahrensrichtlinien und der Ableitung spezifischer Gesetzmäßigkeiten.

In der aktuellen dritten Förderperiode des SFB soll der Technologiereifegrad des Tailored-Forming-Ansatzes weiter gesteigert werden. Hierfür soll u. a. die Robustheit der Einzelprozesse sowie der Gesamtprozesskette erhöht und die Charakterisierungsmöglichkeiten und Modellierungsansätze erweitert werden. Die in den Teilprojekten dezentral entwickelten Lösungen werden im Rahmen des Serviceprojektes S01 physisch und digital zusammengeführt. Die Integration zusätzlicher Messtechnik sowie die konsequente Erfassung und Bereitstellung relevanter Prozessdaten soll Steuer- und Regelalgorithmen über die einzelnen Prozessschritte hinaus ermöglichen, wodurch der Prozessparameterraum zur Herstellung hybrider Hochleistungsbauteile reproduzierbar vergrößert werden kann und das Potential für eine industrielle Umsetzung der Tailored-Forming-Technologie aufgezeigt wird. Da industrielle Umformprozesse oftmals mehrstufig aufgebaut sind, um auch kompliziertere Bauteile umformtechnisch herstellen zu können, wird in der 3. Förderperiode der Fokus vor allem auf die Wechselwirkungen mehrstufiger Prozessketten gelegt. Um die entwickelten Innovationen in die industrielle Praxis transferieren zu können, bedarf es Bewertungsmöglichkeiten zur Beurteilung des wirtschaftlichen und ökologischen Mehrwerts. Hierfür werden ökonomische Bewertungsansätze um ökologische Einflussgrößen erweitert und so das Gesamtpotential der neuen Technologie aufgezeigt. Zudem werden im Rahmen eines Transferprojektes Möglichkeiten zur Bauteilreparatur durch Tailored Forming erschlossen.

Die Bedeutung von Hybridbauteilen auf Basis von Metallen und faserverstärkten Kunststoffen (FVK) zur Substitution monolithischer Metallbauteile ist in den letzten Jahren stetig gestiegen und

wird z. B. in der Automobilbranche ein unumgänglicher Weg für zukünftige Bestrebungen im Leichtbau sein. Ein Anwendungsbeispiel wird durch den zunehmenden Wandel in der Automobilindustrie hin zur Elektromobilität deutlich. Aufgrund des fehlenden Motorblocks sind neue Crashstrukturen im Frontbereich notwendig. Hier bieten hybride Bauteile die Möglichkeit, diese Strukturen leichtbautechnisch umzusetzen.

Die Herausforderung bei der Herstellung von FVK-Metall Hybridbauteilen besteht im Aufbau neuer wirtschaftlicher Prozessrouten, in denen die Eigenschaften der erstellten Hybridbauteile genutzt werden, um die Kosten zu senken. Gerade umformtechnische Prozesse haben sich aufgrund der Materialeffizienz und der kurzen Taktzeiten in den letzten Jahrzehnten etabliert. Daher ist es zielführend, Umformverfahren zur Herstellung von FVK-Metall zu verwenden und weiterzuentwickeln.

Im Forschungsprojekt „Leichtbaupotenzial kombiniert geformter FVK-Metall Hybridbauteile“ der Europäischen Forschungsgesellschaft für Blechverarbeitung e.V. wird das Fügen ohne die Verwendung jeglicher Haftvermittler oder Klebstoffe adressiert. Die Kombination aus Umformen und Fügen beider Materialien hat den Vorteil, dass Prozessschritte eingespart werden können. Aufgrund der unterschiedlichen Umformeigenschaften beider Materialien müssen bestimmte Bedingungen geschaffen werden, unter denen beide Werkstoffe optimal genutzt werden können. So kann z.B. eine blockierte Nachführung der FVK-Komponente bei einem kombinierten Prozess zu Faserreißen führen. Ein unkontrollierter Prozess ohne Niederhalter hingegen kann eine Faltenbildung in der Stahlkomponente zur Folge haben. Für eine gute Anbindung zwischen Metall und FVK wird eine raue Oberfläche bevorzugt, welche wiederum zu erhöhter Reibung führt und die Prozessführung erschwert. Hinzu kommen Prozesstemperaturen von rund 330 °C, wodurch nicht auf klassische Schmierungskonzepte bei der Umformung zurückgegriffen werden kann. Somit besteht die Hauptherausforderung des Forschungsvorhabens darin, eine Oberflächenvorbehandlung von Stahlblechen durchzuführen, so dass eine Oberfläche realisiert wird, welche sich einerseits positiv auf das Fügeverhalten beider Fügepartner auswirkt, und andererseits keinen zu hohen Werkzeugverschleiß birgt. Das Nachdresieren verzinkter Stähle wird als Möglichkeit gesehen, gezielte Umformbedingungen zu schaffen. Dabei wird die Oberfläche eines Blechs bereits beim Stahlerzeuger durch profilierte Walzen strukturiert. Unterschiedliche Vorbehandlungsstrategien werden durch die Ergebnisse unterschiedlicher Versuche (z.B. Zugscherprüfungen sowie 3-Punkt-Biegeversuche) untereinander verglichen und so optimale Prozessparameter für das sog. Umformthermofügen erforscht. Bisher stand bei der Entwicklung verschiedener Verfahrensvarianten primär die grundsätzliche Machbarkeit im Fokus. Doch mit diesem Forschungsprojekt wird zudem das Ziel einer möglichst wirtschaftlichen Herstellungsmethode hybrider Bauteile verfolgt, denn nur so kann eine industrielle Umsetzung gelingen.

Im Rahmen des Forschungsprojektes „Formhärteverfahren zur Beeinflussung der Schwingfestigkeit von Blechen dickerer Wandstärke“ der Forschungsvereinigung Stahlanwendung e. V. erforscht das IFUM in Kooperation mit der TU Clausthal die Schwingfestigkeit formgehärteter Bleche. Untersucht werden Bleche mit Dicken von 5 - 8 mm. Diese sogenannten Grobbleche finden zum Beispiel in Strukturteilen im Bereich schwerer Nutzfahrzeuge Anwendung. Das Verfahren des Formhärtens ermöglicht durch eine Wärmebehandlung mit anschließendem Abschrecken des Materials während der Umformung die Herstellung besonders robuster Bleche mit Zugfestigkeiten von bis zu 1600 MPa. Aufgrund der besonderen Anforderungen im Nutzfahrzeugesektor spielt neben der Zugfestigkeit aber auch die Schwingfestigkeit eine entscheidende Rolle. Mit diesem Projekt soll die Schwingfestigkeit der hergestellten Bauteile untersucht und durch eine Veränderung der Prozessroute optimiert werden. Untersucht wird unter anderem der Einfluss verschiedener Erwärmungsstrategien. Hier wird neben der konventionellen Erwärmung in einem Ofen außerdem die Widerstandserwärmung untersucht. Weiterhin wird untersucht, inwiefern sich das Reinigungsstrahlen nach der Umformung auf die Schwingfestigkeit auswirkt. Ein weiterer Forschungsschwerpunkt ist die Erzeugung gradierter Bauteileigenschaften, die durch Variation von Erwärmungs- und Abkühlrouten erzeugt werden sollen. Ziel des Forschungsprojektes ist es, im Sinne des Leichtbaus möglichst dünne Bleche herzustellen, die den hohen Anforderungen im Bereich der schweren Nutzfahrzeuge gerecht werden.

Titanlegierungen werden auf Grund ihrer guten mechanischen Eigenschaften und der geringen Dichte für Anwendungen in der Medizintechnik und der Luft- und Raumfahrt verwendet. Die Herstellung dieser Bauteile erfolgt vor allem spanend, dies führt jedoch zu relativ großen Materialverlusten. Die hinsichtlich der Werkstoffeigenschaften und Materialausnutzung vorteilhafte umformtechnische Verarbeitung ist insbesondere für Titanlegierungen sehr herausfordernd. Meist ist das Isothermschmieden unter Schutzgas notwendig, was den anlagen- und prozesstechnischen Aufwand gegenüber einem konventionellen Gesenkschmiedeprozess erheblich steigert. Dieses Verfahren findet daher trotz der ausgezeichneten technologischen Eigenschaften von geschmiedetem Titan nur selten Anwendung.

Ziel dieses Projektes „Stahlummantelte Titanhalbzeuge“ ist die Vereinfachung des Prozesses des Titangesenkschmiedens, um eine breitere Anwendung zu ermöglichen. Dazu soll eine Stahlhülle die Titanlegierung ummanteln, damit das Gesenkschmieden ohne Isothermschmieden und ohne Schutzgasatmosphäre bei geringem Zerspanungsanteil durchgeführt werden kann. Durch die Verwendung der Einkapselung wird der Kontakt der Titanlegierung mit reaktiven Gasen wie Sauerstoff auch ohne Schutzgasatmosphäre verhindert. Zudem wirkt die Stahlhülle als Isolations-schicht, wodurch eine konstante Temperatur des Titankerns während der Umformung ohne eine Temperierung der Werkzeug-

ge sichergestellt wird. Weitere Vorteile liegen in der Werkzeugtechnik, die erheblich einfacher gestaltet werden kann und geringer belastet wird. Die eingesetzte Stahlwandstärke bestimmt sowohl den Wärmeverlust der innenliegenden Titanlegierung als auch den Werkstofffluss und damit die Geometrie des gewünschten Titanbauteils im Kern. Die Prozessauslegung und -analyse erfolgt daher in enger Verknüpfung mit der numerischen Simulation. Die Prozessauswertung erfolgt durch zerstörungsfreie und zerstörende Charakterisierung der geschmiedeten Bauteile und dient zusätzlich zur Validierung der numerischen Simulationsmodelle, um ein Tool abzuleiten, welches die Übertragung der Prozessstrategie auf beliebige Titanschmiedebauteile unterstützt. Auf Grundlage des Projektes wird eine optimale Prozessstrategie für die wirtschaftlich und ökologisch effiziente sowie skalierbare Umformung von Titanlegierungen entwickelt.

Im Rahmen des Teilprojekts A03 „Pulverformgebungsverfahren“ im Sonderforschungsbereich (SFB) 1368 wird eine XHV-adäquate (sauerstofffreie) Verarbeitungsrouten zur skalierbaren Herstellung von Bauteilen aus sauerstoffaffinen Pulverwerkstoffen, insbesondere Titanaluminiden, entwickelt. Diese Werkstoffgruppe zeichnet sich durch ausgezeichnete Warmfestigkeitseigenschaften bei gleichzeitig sehr geringer Dichte aus und bietet daher ein hohes Einsatzpotential in vielen Bereichen der Technik, wie der Automobil-, Luft- und Raumfahrtindustrie. Aufgrund ihrer mangelnden Duktilität lassen sich diese Materialien allerdings nur schwer verarbeiten, so dass vorrangig die prozess- und anlagentechnisch aufwendigen Verfahren des Isothermschmiedens oder des heißisostatischen Pressens (HIP) zum Einsatz kommen. Daher finden diese Werkstoffe bislang nur in wenigen Anwendungen und in geringem Umfang Verwendung. Durch die Nutzung einer XHV-adäquaten Schutzgasatmosphäre sollen pulvermetallurgische Prozesse wie Pulverschmieden und das Pressen und Sintern für diese Werkstoffklasse untersucht werden. Das Mahlen der Pulver unter einer sauerstofffreien Atmosphäre ermöglicht die Erzeugung oxidfreier Oberflächen der Pulverpartikel, was das Konsolidierungsverhalten erheblich steigert.

In der zweiten Förderperiode des SFB 1368, ab Jahresbeginn 2024, konzentriert sich dieses Teilprojekt auf die Wechselwirkungen der einzelnen Prozessschritte sowie auf die Aufklärung und Modellierung der auftretenden Mechanismen. Weiterhin soll erforscht werden, inwiefern die Prozessroute bestehend aus Mahlen, Pressen und Sintern auch für das Recycling sauerstoffaffiner Werkstoffe wie Titanlegierungen ohne schmelzmetallurgische Prozesse geeignet ist. Dies kann potentiell erhebliche Materialeinsparungen und Emissionsreduktionen ermöglichen.

In Transferpressen werden die Werkstücke mittels Greifer- und Transfereinrichtungen zwischen den Umformprozessen von einer Stufe in die nächste transportiert. Die Herstellung komplexer Umformteile mit mehreren funktionsgebenden Formelementen und teilweise hohem Umformgrad auf mehrstufigen Werkzeug-

sätzen und entsprechend ausgerüsteten Pressen ist seit vielen Jahren Forschungsgegenstand am IFUM. In einem laufenden Forschungsprojekt wird in einer entsprechenden Presse nach den Umformstufen eine Kontrollstufe integriert, mit deren Hilfe die Geometrie eines jeden hergestellten Werkstücks, insbesondere der Funktionsflächen, nachgemessen wird. Auf diese Weise wird prozessbegleitend eine hundertprozentige Kontrolle der oft sicherheitsrelevanten Produkte realisiert.

Die Erst- und auch Wiedereinrichtung von mehrstufigen Werkzeugen ist eine erhebliche Herausforderung für Einrichtende und je nach Komplexität des Werkzeugsatzes ein langwieriger Vorgang. Treten in einer Stufe Änderungen der Prozessparameter auf, welche etwa zu veränderten Prozesskräften führen, beeinflusst dies den Prozessablauf in anderen Stufen. Zur Wiedererlangung der Gutteilproduktion nutzt das geschulte Personal implizites Wissen, welches insbesondere auch Eigenschaften der verwendeten Maschine beinhaltet, zur Herstellung stabiler Prozessbedingungen. Änderungen der Prozessbedingungen während der Produktion, etwa aufgrund von Verschleiß oder Temperaturänderungen während des Produktionsanlaufs, führen zu erfahrungsbasierten Nachjustierungen, ohne dass in jedem Fall die Ursache bekannt ist oder behoben werden kann.

Im Rahmen eines neuen Forschungsprojektes innerhalb des SPP2422 am IFUM wird die Frage beantwortet, ob Prozessdaten kombiniert mit domänenspezifischem Wissen derart aufbereitet und genutzt werden können, dass mit einer messdatengetriebenen Modellierung impliziter Prozesszusammenhänge unter Einsatz KI-basierter Methoden die Lücke zwischen bestehenden Modellierungsansätzen und der Realität geschlossen werden kann.

In der Luftfahrtindustrie besteht großer Bedarf an alternativen Fertigungsmethoden, die günstiger, schneller und umweltfreundlicher als der derzeitige Technologiestand sind. Mit dem Deharde Polygon Forming® (DPF) existiert eine solche Alternative zur Herstellung von Flugzeugrumpfschalen, die bis-her durch Walzrunden oder Streckziehen umgeformt wurden. Beim DPF werden Bleche und Platten aus kaltverformbaren Materialien, wie Aluminium, Stahl oder Titan, hochgenau in gewünschte, große Radien inkrementell freiebogen. Im Gegensatz zum Streckziehen oder Walzrunden können in diesem Verfahren auch bereits geometrisch modifizierte Halbzeuge umgeformt werden. Somit können notwendige Aussparungen, Taschen oder Bohrungen im ebenen Zustand spanend eingebracht werden und somit eine aufwändige Bearbeitung der umgeformten Bauteile im dreidimensionalen Raum substituiert werden. Der Einsatz des DPF ist allerdings bisher auf klare Biegelinien und verhältnismäßig einfache zylindrische Geometrien limitiert. Im Rahmen des von der NBANK geförderten Forschungs-Vorhabens AgaPolCo soll daher die Herstellung komplexerer Strukturen mit einem sphärischen Anteil untersucht werden, um das Anwendungspotential zu erhöhen. Dabei liegt die Herausforderung in einer weiteren Formän-

derung des Bleches außerhalb der Biegelinie, was zu komplexen Formänderungen und Wechselwirkungen innerhalb des inkrementellen Prozesses führt. Für eine effiziente Prozessentwicklung wurden daher numerische Methoden auf Basis der Finite-Elemente-Methode eingesetzt. Die hierfür benötigten Materialdaten, um beispielsweise die beim Biegen relevante kinematische Verfestigung realitätsnah abbilden zu können, wurden in einer umfangreichen Materialcharakterisierung aufgenommen. Anschließend wurden erfolgsversprechende Konzepte mittels Methoden des Rapid-Prototyping umgesetzt und hinsichtlich ihres Potentials bewertet. Eine erfolgversprechende Variante wurde abschließend im Demonstratormaßstab realisiert, so dass erfolgreich zylindrische Bauteile mit sphärischen Anteilen hergestellt werden konnten. Anhand der geometrischen Abmessungen der hergestellten Bauteile sowie experimenteller Kraft-Weg-Verläufe wurden die numerischen Modelle final validiert.

Ein weiterer Schwerpunkt des Forschungsvorhabens lag auf der Digitalisierung der DPF Prozesskette, um eine effiziente Prozessauslegung sowie Prozessüberwachung und -regelung zu ermöglichen. Da FE-Simulationen aufgrund ihrer Rechenzeiten nicht für eine inline Prozessbetrachtung geeignet sind wurden digitale Ersatzmodelle basierend auf Methoden der künstlichen neuronalen Netze eingesetzt. Für das Training der neuronalen Netze wurde mittels numerischer Sensitivitätsstudien unter Variation von Prozesseingangsparametern wie der Blechdicke oder des Verfestigungsverhaltens sowie von Prozessstellgrößen wie der Eintauchtiefe des Biegeschwertes und der Bettweite ein digitaler Datenraum erschaffen. Da es sich um einen inkrementellen Umformprozess handelt, besteht der Herstellprozess aus einer Vielzahl einzelner Biegeoperationen. Im Rahmen der numerischen Simulation besteht eine einzelne Biegeoperation aus den Prozessschritten Umformen, Rückfederung sowie Positionierung für die nächste Stufe. Für eine effiziente Erstellung des Datenraumes wurde daher die numerische Simulation über ein Pythonskript automatisiert. Dieses übernimmt zum einen den automatisierten Aufbau bzw. die Verkettung der einzelnen Simulationsschritte der Biegeoperationen und zum anderen die automatisierte Variation der Prozessparameter sowie die Auswertung relevanter Ergebnisgrößen wie Kraft-Weg-Verläufe und Bauteilradien. Ebenfalls eingebunden wurden experimentell messbare Prozessgrößen wie Kraft- und Wegverläufe, die später für eine inline Prozessanalyse bzw. -überwachung als Eingangsdaten in das Modell eingebracht werden können.

34 wissenschaftliche Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter
 20 nichtwissenschaftliche Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter
 85 studentische Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter
 5 Auszubildende
 1 FWJ-ler/innen

Leitung

Prof. Dr.-Ing. Bernd-Arno Behrens

Lehre

26 Masterarbeiten, 15 Studienarbeiten und
26 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 Hüftendoprothesen (DFG)

Methode zur modellgetriebenen Konstruktion von Tiefziehwerkzeugen (DFG)

Verbesserung der Versagenscharakterisierung von hochfesten Stahlblechwerkstoffen durch Kopplung von Messsystemen zur optischen Formänderungsanalyse mit der Schallemissionstechnik Erweiterung der Formgebungsgrenzen beim Tiefziehen durch zusätzliche Krafterleitung (DFG)

Lokale Wärmebehandlung beim Gleitziehbiegen zur anforderungsgerechten Herstellung von Profilbauteilen (DFG)

Leichtbaupotenzial kombiniert geformter FVK-Metall Hybridbauteile (AiF/EFB)

Verstärkung von FVK-Bauteilen mittels Metalleinleger (AiF/EFB)

Erzeugung und Charakterisierung von reibungsreduzierenden Werkzeugbeschichtungen für die trockene Aluminiumblechumformung (AiF/EFB)

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 % Energieinsparpotenzial (AiF/ZIM)

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

Kragenziehen mit integriertem Gewindeformen (AiF/EFB)

Prozessintegrierte Schmierung im Folgezug (AiF/EFB)

Schmierstoffeinsparung bei Mehrstufenwerkzeugen durch kombinierte oxidische Verschleiß-

schutzschichten aus α -Fe₂O₃ und amorphem SiO₂ (AiF/EFB)

Formhärteverfahren zur Beeinflussung der Schwingfestigkeit von Blechen dickerer Wandstärke (AiF/FOSTA)

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

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
Gesensschmieden 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 T03
Hochwärmefeste Werkzeuggrandschichten durch Erweiterung der Tailored Forming Technologie auf Werkzeuge der Warmmassivumformung (DFG)

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

Substitution der konventionellen Gesensschmiedung durch Einsatz von selbstschmierenden Rohmaterialien im Sinterschmieden II (DFG)

Transparente KI-gestützte Prozessmodellierung im Gesensschmieden (DFG)

Schmieden von stahlummantelten Titanhalbzeugen (DFG)

Effiziente Anwendung von Hartverbundwerkstoffen für Umformwerkzeuge (AiF/FGW)

Umformmaschinen

Linear angetriebene Hybridaktorik zur umformtechnischen Fertigung komplexer Bauteile Einrichtassistenzsystem für Transferpressen auf KI-Basis (SPP2422) (DFG)

Prozessbegleitende Ausschusserkennung mittels umfangreicher Erfassung der Werkstückgeometrie in Stufenpressen (AiF)

Modellgestützte Diagnose auf Basis von Betriebsgrößen in Umformmaschinen (AiF/EFB)

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

Materialcharakterisierung und Simulation

SFB 1153, Teilprojekt A1:
Einfluss der lokalen Mikrostruktur auf die Umformbarkeit 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 dehnratensabhängige Erweiterung des MMC-Modells (DFG)

Tiefziehen mit zusätzlicher Krafterleitung II (DFG)

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

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

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

Bestimmung des Wärmeübergangskoeffizienten für die numerische Auslegung von Verbundschmiedeprozessen (DFG)

Characterisation and modelling of medium Mn steel for hot press forming simulation (DFG)

Experimentelle und numerische Untersuchungen zur morphologischen Entwicklung von nicht-metallischen Einschlüssen in der Stahlmatrix während der Warmmassivumformung (DFG)

Lokale Wärmebehandlung beim Gleitziehbiegen zur anforderungsgerechten Herstellung von Profilbauteilen (DFG)

Modellierung des Materialversagens von formgehärtetem Stahl für das Scherschneiden unter Berücksichtigung einer Vorschädigung im austenitischen Zustand (DFG)

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)

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)

Beiträge in Zeitschriften (reviewed)

Behrens, B.-A.; Stockburger, E.; Wester, H.; Poll, G.; Pape, F.; Konopka, D. et al.: Investigation of the Hardness Development of Molybdenum Coatings under Thermal and Tribological Loading. *Lubricants*. 2023 Jun 30;11(7):283. doi: 10.3390/lubricants11070283

Behrens, B.-A.; Bräuer, G.; Brunotte, K.; Peddinghaus, J.; Rothgänger, M.; Uhe, J. et al.: Metal-Containing Diamond-Like Carbon Coatings with Increased Temperature Stability for Wear Protection of Nitrided Hot Forging Dies. *Materials Science Forum*. 2023 Sep 27;1097:51-60. doi: 10.4028/p-Y9OzjD

Behrens, B.-A.; Brunotte, K.; Peddinghaus, J.; Ursinus, J.; Döring, S.; Maus-Friedrichs, W. et al.: Pressing and Sintering of Titanium Aluminide Powder after Ball Milling in Silane-Doped Atmosphere. *Journal of Manufacturing and Materials Processing*. 2023 Sep 19;7(5):171. doi: 10.3390/jmmp7050171

Fricke, L.-V.; Thüner, S.-E.; Kahra, C.; Bährisch, S.; Herbst, S.; Nürnberger, F. et al.: Non-destructive Evaluation of Workpiece Properties along the Hybrid Bearing Bushing Process Chain. *Journal of Materials Engineering and Performance*. 2023 Aug;32(15):7004-7015. Epub 2022 Nov 9. doi: 10.1007/s11665-022-07598-3

Hedicke-Claus, Y.; Kriwall, M.; Stonis, M.; Behrens, B.-A.: Automated design of multi-stage forging sequences for die forging. *Production Engineering*. 2023 Okt;17(5):689-701. Epub 2023 Mär 1. doi: 10.1007/s11740-023-01190-x

Jepkens, J.; Müller, P.; Wester, H.; Hübner, S.; Wehrmann, S.; Behrens, B.-A.: Simulation and Validation of an Incremental Bending Process for Cylindrical Fuselage Components. *Aerospace*. 2023 Dez 24;11(1):14. doi: 10.3390/aerospace11010014

Kern, P.; Hinz, L.; Kästner, M.; Reithmeier, E.; Blankemeyer, S.; Ince, C.-V. et al.: Prozessoptimierung mittels Inline-Geometriemessung. *wt Werkstattstechnik online*. 2023 Dez 7;113(10):413-418. doi: 10.37544/1436-4980-2023-10-35

Merkel, P.; Kruse, J.; Kriwall, M.; Behrens, B.-A.; Stonis, M.: Contact Temperature Measurements on Hybrid Aluminum-Steel Workpieces in a Cross-Wedge Rolling Process. *Journal of Manufacturing and Materials Processing*. 2023 Jul 13;7(4):130. doi: 10.3390/jmmp7040130

Merkel, P.; Budde, L.; Grajczak, J.; Nowroth, C.; Prasanthan, V.; Kriwall, M. et al.: Feasibility study for the manufacturing of hybrid pinion shafts with the cross-wedge rolling process. *International Journal of Material Forming*. 2023 Jul 7;16(5):45. doi: 10.1007/s12289-023-01761-4

Müller, P.; Hübner, S.; Wester, H.; Jepkens, J.; Wehrmann, S.; Behrens, B.-A.: Sphärisches Polygon-Formen. *wt Werkstattstechnik online*. 2023;113(10):444-449. doi: 10.37544/1436-4980-2023-10-66

Ortlieb, E.; Müller, F.; Peddinghaus, S.; Peddinghaus, J.; Wester, H.; Rothgänger, M. et al.: Carbon Footprint Tool zur Messung und Erfassung von Halbzeug- und Werkzeugtemperaturen: Big Data in der Massivumformung. *WT Werkstattstechnik*. 2023;113(10):419-424. doi: 10.37544/1436-4980-2023-10-41

Peddinghaus, J.; Paschke, H.; Brunotte, K.; Behrens, B.-A.: Tool Surface Degradation and Adhesion in Aluminium Forging. *Materials Science Forum*. 2023 Sep 27;1097:41-49. doi: 10.4028/p-qEX2fE

Roe, C.-P.; Viertel, L.; Kriwall, M.; Hedicke-Claus, Y.; Stonis, M.; Behrens, B.-A.: Kornfeinung mittels Flachbackenwalzen. *ZWF Zeitschrift fuer Wirtschaftlichen Fabrikbetrieb*. 2023 Aug 30;118(7-8):471-475. Epub 2023 Aug 14. doi: 10.1515/zwf-2023-1092

Ramirez, D.-V.; Wester, H.; Uhe, J.; Behrens, B.-A.: KNN-Entwicklung in der Halbwarmumformung. *WT Werkstattstechnik*. 2023;113(10):407-412. doi: 10.37544/1436-4980-2023-10-29

Schellenberg, D.; Kriwall, M.; Stonis, M.; Behrens, B.-A.: Investigation of the altered influence of physical stress by the use of ergonomically optimized forging tongs. *Production Engineering*. 2023 Dez;17(6):883-892. Epub 2023 Mai 10. doi: 10.1007/s11740-023-01203-9

Stockburger, E.; Wester, H.; Behrens, B.-A.: Failure Modelling of CP800 Using Acoustic Emission Analysis. *Applied Sciences (Switzerland)*. 2023 Mär 22;13(6):4067. doi: 10.3390/app13064067

Stockburger, E.; Wester, H.; Behrens, B.-A.: Fracture Characterisation and Modelling of AHSS Using Acoustic Emission Analysis for Deep Drawing. *Journal of Manufacturing and Materials Processing*. 2023 Jul 5;7(4):127. doi: 10.3390/jmmp7040127

Stockburger, E.; Zhang, W.; Wester, H.; Rosenbusch, D.; Behrens, B.-A.: Process analyses of friction drilling using the Smoothed Particle Galerkin method. *International Journal of Material Forming*. 2023 Jan;16(1):14. Epub 2023 Jan 9. doi: 10.1007/s12289-022-01733-0

Vorträge

Schmiele, D.; Behrens, B.-A.; Krimm, R.; Rothgänger, M.: Inline-Detektion von Ausschuss in mehrstufigen Pressen und Werkzeugen. in *Blechverarbeitung MORGEN unter den Aspekten Nachhaltigkeit + Digitalisierung*. 2023

Konferenz (reviewed)

Abdennadher, M.; Bouguecha, A.; Behrens, B.-A.; Stockburger, E.; Elleuch, R.: Experimental Characterization of Coated Aluminum Sheets for Deep Drawing Applications. in *Walha L, Hadjar M, Jarraya A, Djemal F, Chouchane M, Aifaoui N, Benamara A, Chaari F, Abdennadher M, Hrsg.; Design and Modeling of Mechanical Systems - V - Proceedings of the 9th Conference on Design and Modeling of Mechanical Systems, CMSM 2021*. Cham: Springer Science and Business Media Deutschland GmbH. 2023. S. 842-850. (Lecture Notes in Mechanical Engineering). Epub 2022 Aug 20. doi: 10.1007/978-3-031-14615-2_94

Althaus, P.; Weichenhain, J.; Hübner, S.; Wester, H.; Rosenbusch, D.; Behrens, B.-A.: Numerical and Experimental Failure Analysis of Deep Drawing with Additional Force Transmission. in *Lecture Notes in Production Engineering*. Springer Nature. 2023. S. 142-151. (Lecture Notes in Production Engineering). doi: 10.1007/978-3-031-18318-8_15

Behrens, B.-A.; Müller, F.; Lorenz, U.: Design of a forging process to individually examine thermal, mechanical and tribological stress in the tool surface zone. in *Madej L, Sitko M, Perzynski K, Hrsg.; Material Forming - The 26th International ESAFORM Conference on Material Forming - ESAFORM 2023*. Association of American Publishers. 2023. S. 573-582. (Materials Research Proceedings). doi: 10.21741/9781644902479-62

Behrens, B.-A.; Uhe, J.; Wester, H.; Kock, C.; Heimes, N.: Experimental and numerical investigation of dynamic transformation induced plasticity during hot forming. in *METAL Conference Proceedings*. 2023. S. 164-169 doi: 10.37904/metal.2023.4639

Behrens, B.-A.; Rosenbusch, D.; Wester, H.; Weichenhain, J.; Althaus, P.: Numerical analyses of the influence of a counter punch during deep drawing. in *Merklein M, Hagenah H, Duflou JR, Fratini L, Micari F, Martins P, Meschut G, Hrsg.; Sheet Metal 2023 - 20th International Conference on Sheet Metal*. Association of American Publishers. 2023. S. 329-336. (Materials Research Proceedings). doi: 10.21741/9781644902417-41

Behrens, B.-A.; Hübner, S.; Holländer, U.; Langohr, A.; Albracht, L.; Faramand, E. et al.: Oxygen-free resistance heating with nitrogen and silane as an energy-efficient heating process for hot stamping. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2023;1284:012007. doi: 10.1088/1757-899X/1284/1/012007

Droß, M.; Ossowski, T.; Dröder, K.; Stockburger, E.; Wester, H.; Behrens, B.-A.: Experimental Investigation of Friction-Drilled Bushings for

Metal-Plastic In-Mold Assembly. in Lecture Notes in Production Engineering. Springer Nature. 2023. S. 199-208. (Lecture Notes in Production Engineering). doi: 10.1007/978-3-031-18318-8_21

Fries, S.; Friesen, D.; Krimm, R.; Behrens, B.-A.: Adaptable Press Foundation Using Magnetorheological Dampers. in Lecture Notes in Production Engineering. Springer Nature. 2023. S. 346-354. (Lecture Notes in Production Engineering). doi: 10.1007/978-3-031-18318-8_36

Fünfkirchler, T.; Jensen, M.; Hübner, S.; Masendorf, R.; Esderts, A.; Behrens, B.-A.: Effects of Modifying a Hot Stamping Process of 22MnB5 Thick Sheets in Terms of Fatigue Strength. in Production at the Leading Edge of Technology: Proceedings of the 13th Congress of the German Academic Association for Production Technology (WGP). Springer Nature. 2023. S. 599-608. (Lecture Notes in Production Engineering). Epub 2023 Nov 18. doi: 10.1007/978-3-031-47394-4_58

Fünfkirchler, T.; Arndt, M.; Hübner, S.; Dencker, F.; Wurz, M. C.; Behrens, B.-A.: Monitoring of the Flange Draw-In During Deep Drawing Processes Using a Thin-Film Inductive Sensor. in Lecture Notes in Production Engineering. Springer Nature. 2023. S. 111-121. (Lecture Notes in Production Engineering). doi: 10.1007/978-3-031-18318-8_12

Ganter, N.-V.; Ehlers, T.; Oel, M.; Behrens, B.-A.; Müller, P.; Hübner, S. et al.: Do Additive Manufacturing Processes Enable More Sustainable Products? Circulation of Metallic Components Through Repair and Refurbishment by the Example of a Deep-Drawing Tool. in Innovative Product Development by Additive Manufacturing 2022. Springer, Cham. 2023 doi: 10.1007/978-3-031-27261-5_1

Heimes, N.; Wester, H.; Golovko, O.; Klose, C.; Maier, H. J.; Uhe, J.: Characterisation and Modelling of Intermetallic Phase Growth of Aluminium and Titanium in a Tailored Forming Process

Chain. in Lecture Notes in Production Engineering. Springer Nature. 2023. S. 32-41. (Lecture Notes in Production Engineering). doi: 10.1007/978-3-031-18318-8_4

Heymann, A.; Peddinghaus, J.; Brunotte, K.; Behrens, B.-A.: Study on the Compressibility of TiAl48-2-2 Powder Mixed with Elemental Powders. in Lecture Notes in Production Engineering. Springer Nature. 2023. S. 13-23. (Lecture Notes in Production Engineering). doi: 10.1007/978-3-031-18318-8_2

Jepkens, J.; Heimes, N.; Wester, H.; Müller, P.; Hübner, S.; Wehrmann, S. et al.: Influence of Deformation on the Coating Properties of aircraft fuselage shells. in METAL Conference Proceedings. 2023. S. 380-385 doi: 10.37904/metal.2023.4659

Koß, J.; Höber, A.; Krimm, R.; Behrens, B.-A.: Early Detection of Rejects in Presses. in Lecture Notes in Production Engineering. Springer Nature. 2023. S. 737-746. (Lecture Notes in Production Engineering). doi: 10.1007/978-3-031-18318-8_73

Lorenz, U.; Brunotte, K.; Peddinghaus, J.; Behrens, B.-A.: Investigation on Adhesion-Promoting Process Parameters in Steel Bulk Metal Forming. in Lecture Notes in Production Engineering. Springer Nature. 2023. S. 91-99. (Lecture Notes in Production Engineering). doi: 10.1007/978-3-031-18318-8_10

Mohnfeld, N.; Muller, L.; Wawer, M.-L.; Uhe, J.; Koepler, O.; Auer, S. et al.: Data quality assurance in the research process using the example of tensile tests. in DS 125: Proceedings of the 34th Symposium Design for X (DFX2023). 2023. S. 143-152 doi: 10.35199/dfx2023.15

Müller, P.; Behrens, B.-A.; Hübner, S.; Jepkens, J.; Wester, H.; Lautenbach, S.: Development of polygon forming processes for aerospace engineering. in Merklein M, Hagenah H, Duflou JR, Fratini L, Micari F, Martins P, Meschut G, Hrsg.; Sheet Metal 2023 - 20th International Conference on Sheet Metal. Association of American Publishers. 2023. S. 69-76. (Materials Research Proceedings). doi: 10.21741/9781644902417-9

Müller, P.; Farahmand, E.; Behrens, B.-A.; Hübner, S.; Herbst, S.; Albracht, L. et al.: Partial resistance tempering of hot-stamped components made of 22MnB5 for subsequent bending. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2023;1284:012039. doi: 10.1088/1757-899X/1284/1/012039

Peddinghaus, J.; Faqiri, Y.; Hassel, T.; Uhe, J.; Behrens, B.-A.: Development of a Temperature-Graded Tailored Forming Process for Hybrid Axial Bearing Washers. in Lecture Notes in Production Engineering. Springer Nature. 2023. S. 3-12. (Lecture Notes in Production Engineering). doi: 10.1007/978-3-031-18318-8_1

Piwek, A.; Peddinghaus, J.; Uhe, J.; Brunotte, K.; Behrens, B.-A.: Investigation of the joining zone formation of impact extruded hybrid components by varied forming sequence and partial cooling. in Madej L, Sitko M, Perzynsk K, Hrsg.; Material Forming: The 26th International ESAFORM Conference on Material Forming - ESAFORM 2023. Association of American Publishers. 2023. S. 591-600. (Materials Research Proceedings). doi: 10.21741/9781644902479-64

Schmiele, D.; Krimm, R.; Behrens, B.-A.: Embossing Nanostructures. in Lecture Notes in Production Engineering. Springer Nature. 2023. S. 307-313. (Lecture Notes in Production Engineering). doi: 10.1007/978-3-031-18318-8_32

Siegmund, M.; Kipp, C.; Peddinghaus, J.; Brunotte, K.; Bräuer, G.; Behrens, B.-A.: Hot die forging with nitrided and thermally stabilized DLC coated tools. in Madej L, Sitko M, Perzynsk K, Hrsg.; Material Forming: The 26th International ESAFORM Conference on Material Forming - ESAFORM 2023. Association of American Publishers. 2023. S. 583-590. (Materials Research Proceedings). doi: 10.21741/9781644902479-63

Siring, J.; Till, M.; Wester, H.; Uhe, J.; Brunotte, K.: Characterisation and Qualification of Hot Working Tool Steels and Inconel for the Production of a Hybrid Forging Die. in Lecture Notes in Production Engineering. 2023. S. 638-647. (Lecture Notes in Production Engineering). doi: 10.1007/978-3-031-47394-4_62

Siring, J.; Schlayer, M.; Wester, H.; Seifert, T.; Rosenbusch, D.; Behrens, B.-A.: Simulation of Hot-Forging Processes with a Temperature-Dependent Viscoplasticity Model. in Lecture Notes in Production Engineering. Springer, Cham. 2023. S. 81-90. (Lecture Notes in Production Engineering). doi: 10.1007/978-3-031-18318-8_9

Stockburger, E.; Vogt, H.; Wester, H.; Hübner, S.; Behrens, B.-A.: Evaluating material failure of AHSS using acoustic emission analysis. in Merklein M, Hagenah H, Duflou JR, Fratini L, Micari F, Martins P, Meschut G, Hrsg.; Sheet Metal 2023 - 20th International Conference on Sheet Metal. Association of American Publishers. 2023. S. 379-386. (Materials Research Proceedings). doi: 10.21741/9781644902417-47

Stockburger, E.; Wester, H.; Rosenbusch, D.; Behrens, B.-A.: Finite Element Analysis of a



„Türen auf mit der Maus“ hiess es am 26.09. 2023. Das IFUM öffnete seine Türen für einen Blick hinter die Kulissen. Foto: IFUM

Combined Collar Drawing and Thread Forming Process. in Lecture Notes in Production Engineering. Springer Nature. 2023. S. 100-110. (Lecture Notes in Production Engineering). doi: 10.1007/978-3-031-18318-8_11

Stockburger, E.; Wester, H.; Jegatheeswaran, V.; Dykiert, M.; Behrens, B.-A.: Improved failure characterisation of high-strength steel using a butterfly test rig with rotation control. in Madej L, Sitko M, Perzynsk K, Hrsg.; Material Forming: The 26th International ESAFORM Conference on Material Forming – ESAFORM 2023. Association of American Publishers. 2023. S. 737-746. (Materials Research Proceedings). doi: 10.21741/9781644902479-80

Ursinus, J.; Koch, A.; Brunotte, K.; Walther, F.; Behrens, B.-A.: Microstructure analysis of hybrid aluminum parts from recycled EN AW-6082 and EN AW-7075 chips. in Madej L, Sitko M, Perzynsk K, Hrsg.; Material Forming: The 26th International ESAFORM Conference on Material Forming – ESAFORM 2023. Association of American Publishers. 2023. S. 1977-1986. (Materials Research Proceedings). doi: 10.21741/9781644902479-213

Vasquez Ramirez, D.; Wester, H.; Rosenbusch, D.; Behrens, B.-A.: Extension of the modified Mohr-Coulomb fracture model by a strain rate and temperature dependence. in Madej L, Sitko M, Perzynsk K, Hrsg.; Material Forming: The 26th International ESAFORM Conference on Material Forming – ESAFORM 2023. Association of American Publishers. 2023. S. 1407-1416. (Materials Research Proceedings). doi: 10.21741/9781644902479-152

Wehmeyer, J.; Scheffler, R.; Enseleit, R.; Kirschbaum, S.; Pfeffer, C.; Hübner, S. et al.: Investigation of the Process Limits for the Design of a Parameter-Based CAD Forming Tool Model. in Lecture Notes in Production Engineering. Springer Nature. 2023. S. 297-306. (Lecture Notes in Production Engineering). doi: 10.1007/978-3-031-18318-8_31

Weichenhain, J.; Wehmeyer, J.; Althaus, P.; Hübner, S.; Behrens, B.-A.: Investigation of the Weld Line of Compression Molded GMT and UD Tape. in Lecture Notes in Production Engineering. Springer Nature. 2023. S. 256-264. (Lecture Notes in Production Engineering). doi: 10.1007/978-3-031-18318-8_27

Wester, H.; Stockburger, E.; Peddinghaus, S.; Uhe, J.; Behrens, B.-A.: Modelling failure of joining zones during forming of hybrid parts. in Madej L, Sitko M, Perzynsk K, Hrsg.; Material Forming: The 26th International ESAFORM Conference on Material Forming – ESAFORM 2023. Association of American Publishers. 2023. S. 717-726. (Materials Research Proceedings). doi: 10.21741/9781644902479-78

Wesentliche Neuanschaffungen

Am IFUM wurde ein Markierlaser der Fa. TRUMPF Laser- und Systemtechnik GmbH beschafft. Bei der TruMark Station 5000 handelt es sich um eine flexibel einsetzbare Arbeitsstation

mit einer automatisch angetriebenen Schutztür sowie Vorbereitung für den Roboterbetrieb und einer Schnittstelle, um die Anlage in Prozessautomatisierungen integrieren zu können. Als Laserstrahlquelle kommt ein Ytterbium Faserlaser mit einer Zentralwellenlänge von 1062 nm zum Einsatz. Die Optik ermöglicht ein Markierfeld von 125 x 125 mm. Erweitert wird dieser Bereich durch den verfahrbaren Koordinatentisch um jeweils 300 mm in x- und y-Richtung für Bauteile mit einer Masse von bis zu 25 kg.

Die Markierungslasereinheit ermöglicht die individuelle Markierung und Identifikation von Schmiedebauteilen und befähigt so das Team des IFUM, Digitalisierungsansätze untersuchen zu können und neue Forschungsfelder zu erschließen. Die Flexibilität und Kompatibilität der Anlage erlaubt die Integration in alle automatisierten Umformprozessketten am IFUM und wird beispielsweise für Forschungsvorhaben wie den SFB 1153 oder die Projekte „Transparente KI-gestützte Prozessmodellierung im Gesenkschmieden“ und „Einrichtassistenzsystem für Transferpressen auf KI-Basis“ im Rahmen des DFG Schwerpunktprogramms „Datengestützte Prozessmodellierung in der Umformtechnik“ eingesetzt.

Für die jüngst begonnene dritte Förderperiode des SFB 1153 wurde die teilautomatisierte Schmiede-

zelle auf Basis einer Lasco SPR 500 Spindelpresse erweitert. Ziel war es, eine vollständige und flexible Automatisierung für eine Vielzahl an Teilprojekten bereitzustellen. Die Erweiterung der Anlagentechnik ermöglicht es zahlreichen Teilprojekten des SFB, wissenschaftliche Fragestellungen zur wirtschaftlichen Umsetzung sowie zur Robustheit und Stabilität von Tailored Forming Prozessen zu betrachten. Durch eine vollständige Digitalisierung der Anlagentechnik können zudem Aspekte der Digitalisierung wie etwa Digital Twin Konzepte oder Predictive Quality und Maintenance in den Fokus der Forschung rücken. So sollen letztendlich Strategien und Lösungswege aufgezeigt werden, um die im Rahmen des Tailored Forming entwickelte Prozessstrategie Tailored Forming in den Einsatz zu bringen. Erweitert wurde die Schmiedezelle mit einem weiteren Roboter und einer zusätzlichen Erwärmungsanlage sowie einer zentralen Daten- und Steuerungsinfrastruktur. Die Arbeiten wurden in enger Kooperation mit den wissenschaftlichen Mitarbeitenden des match umgesetzt. Die aufgebauete Infrastruktur war ein entscheidender Baustein, um die Gutachterinnen und Gutachter von der Förderung des SFB 1153 für eine weitere Förderperiode zu überzeugen.



Lasco SPR 500 Spindelpresse. Foto: IFUM



Foto: Leo Menzel

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 einen mechanischen Bearbeitungsprozess gezielt eingestellt werden können. Die Abteilung der Technologien zur Funktionalisierung entwickelt daher Prozesse, die eine gezielte und reproduzierbare Herstellung von Oberflächen- und Randzoneneigenschaften erlauben. Zu den untersuchten Prozessen zählen die Zerspanung mit geometrisch bestimmter und unbestimmter Schneide sowie Verfahren zur Verfestigung von Oberflächen.

Beispielhaft dafür werden aktuell im DFG-Sonderforschungsbereich 1153 Prozessstrategien zur mechanischen Bearbeitung hybrider Bauteile entwickelt. Hier wird Grundlagenwissen für eine zukünftige Bearbeitung von aus unterschiedlichen Werkstoffen gefügten Bauteilen erzeugt. Ein weiterer Schwerpunkt der Abteilung 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 durch einen simultan ablaufenden Festwalzprozess nutzt. Dadurch können die Produktivität bei der Bearbeitung und die Lebensdauer von Bauteilen gesteigert werden. In einem aktuellen DFG-Grundlagenprojekt wird untersucht, wie sich die durch den Drehwalzprozess erzeugte thermomechanische Beanspruchung auf einzelne Randzoneneigenschaften auswirkt und welchen Einfluss die einzelnen Eigenschaften auf die Bauteilermüdung haben

Oberfläche und Randzone sind ebenfalls Teil von anwendungsorientierten Fragestellungen, die in Zusammenarbeit mit Industrieunternehmen im Arbeitskreis Smart Surfaces beantwortet werden. Hier werden gezielt Oberflächentopografien und Bauteilrandzonen zur Steigerung der Leistungsfähigkeit unterschiedlicher Bauteile erzeugt. In Kooperation mit Werkzeugherstellern und Anwendern aus unterschiedlichen Bereichen des allgemeinen Maschinenbaus werden anwendungsnahe Technologien zur Funktionalisierung von Oberflächen und Randzonen erforscht.

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 der Werkzeuggeometrie oder der Eigenschaften von Schneidstoffen entwickelt. Weiterhin steht die Nachhaltigkeit und 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 das Verschleißverhalten und Spanbildungsmechanismen signifikant beeinflusst werden können. Die Abteilung Zerspanung ist zudem mit zwei Projekten im Schwerpunktprogramm 2402 der DFG beteiligt, bei dem Greybox-Modelle zur Qualifizierung

von beschichteten Zerspanwerkzeugen entwickelt werden. Dazu werden Modelle erarbeitet, die die physikalisch beschreibbare Modellwelt (Whitebox) mit statistischen, datengetriebenen Modellen (Blackbox) kombinieren. Weiterhin wird im Schwerpunktprogramm 2231 der DFG der Einfluss des Kühlschmierstoffs (KSS) auf die tribologischen Verhältnisse in der Zerspanung untersucht, um eine Effizienzsteigerung beim Einsatz von Kühlschmierstoffen zu erreichen. Neben den grundlagenbasierten Forschungsprojekten werden mehrere Projekte in enger Abstimmung mit einzelnen Industriepartnern oder in Industriearbeitskreisen bearbeitet. So wird im AIF-geförderten Vorhaben „WSP-Regrind“ ein Nachschleifprozess für Drehwerkzeuge entwickelt. Das Ziel ist dabei eine verbesserte Ausnutzung von kosten- und energieintensiven Schneidstoffen, wie zum Beispiel PcBN, um einen nachhaltigen und ressourceneffizienten Einsatz dieser Werkzeuge zu ermöglichen. Zusammen mit Partnern aus Industrie und Forschung wird in dem BMWK-geförderten Vorhaben „Argonaut“ die Effizienzsteigerung in der Fertigung von Getriebekomponenten für Luftfahrzeuge erforscht. Die Zerspanung des IFW fokussiert sich dabei auf den nachhaltigen Einsatz von Kühlschmierstoffen sowie auf die bessere Automatisierbarkeit beim Drehen hochduktiler Stahlwerkstoffe.

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 auch deren Herstellungsprozess und die daraus resultierenden Eigenschaften von besonderer Bedeutung. Daher wird am IFW erforscht, wie Schleifwerkzeuge gefertigt werden und wie sie den Schleifprozess beeinflussen. Durch die Charakterisierung der Schleifwerkzeuge mit Hilfe neu entwickelter Methoden ist es möglich, einen Zusammenhang zwischen den Eigenschaften der Schleifbeläge und ihrem Einsatzverhalten herzustellen, so dass die Auswahl eines geeigneten Schleifwerkzeugs für einen bestimmten Anwendungsfall erleichtert wird. Diese Erkenntnisse werden für die Entwicklung nachhaltiger Schleifwerkzeuge genutzt, beispielsweise in einem ZIM-Projekt für schwermetallfreie Schleifwerkzeuge zur Bearbeitung von Dentalkeramiken ("Entwicklung von einschichtig diamant-belegten Dental-schleifwerkzeugen mittels umweltschonender Kupfergalvanik für die Bearbeitung von Dentalkeramiken") oder zur Leistungssteigerung durch gezielte Gestaltung der Bindungseigenschaften durch Karbidbildner und Graphit in einem DFG-Grundlagenprojekt ("Einsatzverhalten sintermetallischer Diamantschleifscheiben mit Graphitaddition").

Zur Ermittlung des Einsatzverhaltens werden sowohl Schnittunterbrechungen zur Bestimmung der Spanbildungsmechanismen durchgeführt als auch industrielle Anwendungsfälle optimiert. Das Einsatzverhalten konventioneller Schleifwerkzeuge mit neuartigem Stäbchenkorund („Grundlage für den wirtschaftlichen Einsatz von Stäbchenkorundscheiben“) wird beispielsweise in einem industrienahen AIF-Forschungsprojekt bearbeitet.

Ein weiterer Schwerpunkt der Abteilung ist die schleiftechnische Herstellung von Dreh-, Bohr- und Fräswerkzeugen. Die Entwicklung eines neuen Schleifverfahrens im Rahmen des DFG-Projektes „Kontinuierliches Wälzschleifen schneidender Verzahnungen“ ermöglicht es, alle Schneiden eines Bohrers oder Fräasers gleichzeitig zu erzeugen und damit die Prozessproduktivität bei der Herstellung dieser Werkzeuge zu erhöhen. Darüber hinaus werden die Herstellung von Voll-PKD-Schaftwerkzeugen in Zusammenarbeit mit der Lund Universität oder die Herstellung von Zerspanungswerkzeugen aus Gestein unter Verwendung von natürlich vorkommendem Gestein untersucht, um den kostenintensiven und umweltbelastenden Einsatz von Hartmetall als Schneidstoff zu reduzieren. Für den umweltschonenden Rückbau kerntechnischer Anlagen werden häufig Seilschleifverfahren eingesetzt, da diese nicht auf eine Prozesskühlung durch öl- oder wasserbasierte Flüssigkeiten angewiesen sind. Eine Sekundärkontamination dieser Flüssigkeiten wird somit vermieden, so dass die aufwendige Entsorgung des Kühlschmierstoffs als Sondermüll entfällt. Der Verzicht auf Kühlschmierstoffe geht jedoch mit erhöhten Prozesstemperaturen einher, die besondere Anforderungen an die entsprechenden Seilschleifwerkzeuge stellen. Das IFW entwickelt daher in verschiedenen BMBF-Projekten neue Werkzeugkonzepte und optimiert die Prozessführung bei Seilschleifprozessen, damit Kernkraftwerke zukünftig prozesssicher, umweltschonend und ohne Gefährdung des Bedienpersonals rückgebaut werden können.

Arbeitsgruppe Maschinen und Steuerungen

MASCHINENKOMPONENTEN / Aufgrund global steigender Anforderungen an Qualität und Produktivität an die zerspanende Bearbeitung werden vermehrt sensorische und adaptromische Systeme für die Werkzeugmaschine entwickelt und darüber hinaus auch intelligente Assistenzsysteme erforscht. Die Abteilung Maschinenkomponenten beschäftigt sich mit der Erforschung und Entwicklung solcher sensorischen und adaptromischen Systeme. Schwerpunktthemen sind Konzepte zur aktiven Schwingungsdämpfung zur Produktivitätssteigerung,

adaptronische Spanntechnik, kompensierende Führungssysteme und sensorische Maschinenkomponenten in Werkzeugmaschinen:

Um eine Aussage über die Belastungen und Verformungen des Werkstücks oder Werkzeugs während der Bearbeitung treffen zu können, müssen die Prozesskräfte gemessen werden. Dazu bedarf es geeigneter Sensorik innerhalb der Werkzeugmaschine. Gegenüber sensorischer Werkzeughalter bieten strukturintegrierte Sensorik an Maschinenkomponenten den Vorteil, dass der Arbeitsraum und die Steifigkeit der Maschine kaum bis gar nicht beeinflusst wird. Im Projekt „Kraftsensitive Führungswagen“ wird derzeit auf einen Führungswagen einer Profilschienenführung Sensorik mittels eines neuartigen Verfahrens direkt abgeschieden, sodass die Materialdehnungen aufgrund äußerer Belastung gemessen und die Kräfte rekonstruiert werden können. Um Sensorik noch näher an die Wirkstelle der Prozesskräfte zu positionieren und eine höhere Genauigkeit der Überwachung und Kraftrekonstruktion zu erzielen, wird im Projekt „fühlende Spindel“ für die Schleifbearbeitung von Werkzeugen eine sensorische Spindel zur Abdrängungskompensation erforscht. Auf Basis von strukturintegrierter Halbleiterdehnungsmessstreifen werden die Dehnungen während der Bearbeitung gemessen und Belastung am Tool-Center-Point hochaufgelöst rekonstruiert. Zusätzlich wird im Forschungsprojekt „Kraftmaschine“ eine nachrüstbare Lösung für die kontinuierliche Messung der Prozesskräfte entwickelt und das Potential für eine online Prozessüberwachung beim Schleifen erforscht. Im Projekt „FGL-Spann“ wird derzeit der Einsatz einer verschleißarmen Formgedächtnislegierungs-Aktorik zur Substitution der Tellerfederpakete beim Werkzeugspannen inklusive einer Spannkraftüberwachung erforscht. Neben den überwachenden Eigenschaften der Maschinenkomponenten wird auch an produktivitätssteigernden Maßnahmen durch aktive und passive Schwingungsdämpfung geforscht. Im Forschungsprojekt „KSS-Puls“ wird zurzeit eine Bohrstange entwickelt, die durch gezielte Pulsung des KSS-Volumenstroms eine Reduktion von Werkzeugschwingungen ermöglicht. Um das Werkstück zudem mechanisch von der Umgebung zu entkoppeln wird im Projekt „umgriffsfreie Führung“ ein neuartiges Führungskonzept auf Basis von Luftgleitkissen und magnetischen Aktoren erforscht. Die Technologie einer magnetischen Führung in Kombination mit einem Luftpolster wird zudem auch im Projekt „Ultraschall-Levitation“ erforscht. Dabei wird mittels eines im Ultraschallbereich schwingenden Aktors ein Luftkissen aufgebaut und mit den Magnetaktoren das System stabilisiert. Dies bietet ein hohes Anwendungspotential in der Präzisionsfertigung, da Schwingungseinflüsse aus der Umgebung entkoppelt werden. Eine Leistungs- und Genauigkeitssteigerung wurde auch an der Ultra-Präzisions-Bearbeitungsmaschine im EU-EFRE geförderten Projekt „Präzilight“ umgesetzt. Durch eine Kombination von hydrostatischen Führungen, magnetischen Lagerungen und einem hochauflösen-

den Messsystem wird eine Präzisionsbearbeitung im Nanometer-Bereich ermöglicht.

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. Im Forschungsprojekt „AllSpann“ wird zurzeit ein formflexibles Spannsystem erforscht, um geometrisch komplexe Werkstücke im Bereich der additiven Fertigung aufwandsarm zu spannen. Durch eine spannungsfreie Bearbeitung wird eine Reduktion von Rüst- und Nebenzeit um bis zu 70 % angestrebt. Mit der Spannung dünnwandiger Werkstücke beschäftigt sich das Projekt „DefCon“. Ziel ist dabei ein Spannfutter, welches für ringförmige Werkstücke automatisiert sicherstellt, dass dessen Verformung stets unterhalb einer geforderten Fertigungstoleranz bleibt. Darüber hinaus wird an einem neuen System zur Leistungssteigerung von Schleifprozess gearbeitet. Mithilfe von speziellen Sensoren, die direkt in die Schleifscheibe integriert werden sollen im Projekt „Pro2HS“ kritische Prozesszustände wie Rattern oder Schleifbrand detektiert werden. Mit der automatisierten Herstellung von dekorativen Profilen beschäftigt sich dagegen das Projekt „DekorSchleifen“. Dabei wird das Oberflächenbild der geschliffenen Profile mithilfe einer Kamera erfasst und durch neuronale Netze analysiert. Ziel ist es, den Zusammenhang zwischen den Prozessparametern und dem resultierenden Schliffbild zu quantifizieren. Ein weiteres Themenfeld stellen magnetisch gelagerte Fertigungssysteme dar. So wird im Rahmen des Exzellenzclusters PhoenixD für die Fertigung von optischen Komponenten ein System entwickelt, welches ein Substratträger hochpräzise in allen sechs Freiheitsgraden berührungslos positionieren kann. Im SFB 871-T13 wird zudem untersucht, inwiefern mit neuartiger Leistungselektronik und Regelungskonzepten die Verfahrdynamik einer bestehenden Werkzeugmaschine gesteigert werden kann.

PROZESSÜBERWACHUNG UND -REGELUNG / In der Abteilung Prozessüberwachung und -regelung werden Methoden zur Detektion von Prozessfehlern und kritischen Maschinenzuständen sowie zur automatischen Adaption von Prozessparametern entwickelt. Mit neuartigen Sensorkonzepten, modernen Methoden der Signalverarbeitung und des maschinellen Lernens werden die Zustände von Maschine, Werkstück und Prozess kontinuierlich in Echtzeit erfasst. Damit können die Werkzeugmaschinen stetig neues Prozesswissen erlernen, um Prozesse autonom zu optimieren und auf Qualitätsmerkmale hin zu regeln. Beispielsweise wird im Projekt wird im Projekt

VerticalE2E ein neuartiges sensorisches Spannsystem entwickelt, um möglichen Bauteilverzug bei der Fertigung von Strukturbauteilen aus dem Luft- und Raumfahrtbereich bereits im Prozess zu detektieren. Mit diesen Informationen können die Bearbeitungsbahnen automatisch angepasst werden, um den Verzug zu verhindern. Im Projekt lernende Werkzeugmaschine werden u. a. neue Ansätze zur teilautomatischen Anpassung von Prozessparametern erforscht, um die Produktivität von Fertigungsprozessen zu maximieren und gleichzeitig Ratterschwingungen zu vermeiden. Mit dem Einsatz solcher intelligenter Überwachungs- und Regelungssysteme rücken auch Herausforderungen in Bezug auf den Umgang mit Fertigungsdaten und Vorbehalten in der Industrie gegenüber mitlernenden Regelungsansätzen in den Vordergrund. Daher werden im KMU-Transferzentrum ProKI Schulungskonzepte und Demonstratoren entwickelt, die insbesondere KMU einen niedrigschwelligen Zugang zu Künstlicher Intelligenz in der Fertigung erlauben.

Arbeitsgruppe Produktionssysteme

NC-SIMULATION UND -OPTIMIERUNG / Wieso weicht das Bauteil vom Sollwert ab? Wie können wir Ressourcen schonend produzieren und Fertigungsprozesse effizienter gestalten? Diese Fragen beantworten die Wissenschaftler*Innen mit dem selbst entwickelten Simulationssystem IFW CutS: Es simuliert die Effekte und Wechselwirkungen von Bearbeitungsprozess, Werkstück und Werkzeugmaschine. Durch die digitale Abbildung des Fertigungsprozesses sind tiefe Einblicke in den Zerspanvorgang möglich. So können nicht nur makroskopische Bewegungen der Maschine, sondern auch mikroskopische Effekte wie einzelne Korneingriffe beim Schleifen, simuliert werden. Auch das Auftragen von Material in neuartigen Laserschweißprozessen ist durch die Simulation digital abbildbar. Dies ermöglicht 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. Alle gewonnenen Informationen, die während der Planung, Simulation, Fertigung, oder Qualitätskontrolle anfallen, werden schlussendlich in einem sogenannten „digitalen Zwilling“ gesammelt. Dieser repräsentiert das reale Werkstück und ermöglicht somit eine genaue Analyse aller Zusammenhänge eines Herstellungsprozesses. Die Vision besteht in einer vollständig virtuellen Prozessinbetriebnahme, um ressourcenschonend eine Fehlerkompensation 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 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, Randzoneigenschaften) 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. Im vom Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK) geförderten ZIM (Zentrale Innovationsprogramm Mittelstand) -Projekt PoliControl wird zusammen mit der Picum MT GmbH der Polierprozess auf einer mobilen Werkzeugmaschine implementiert. Durch die Verwendung von maschinellen Lernalgorithmen wird eine funktionsorientierte Prozessplanung gewährleistet. Zusammen mit einer innovativen neuen Regelung und einer abschließenden Qualitätskontrolle wird eine zusätzliche selbständige Optimierung des Prozesses gewährleistet. 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 wird im SFB SIIRI zusammen mit der Medizinischen Hochschule Hannover an der Entwicklung intelligenter Knieimplantate geforscht. So sollen Röntgenmarker in das Implantat eingebracht werden, welche die Überwachung des Verschleißzustands ermöglichen. Des Weiteren wird an einem Digital Implant Lifecycle Management geforscht, welches relevante Daten während des gesamten Lebenszyklus in einer digitalen Ebene speichert und zur Auswertung zur Verfügung stellt.

FERTIGUNGSPLANUNG UND -STEUERUNG / Kernaufgabe der Arbeitsgruppe ist die Erforschung adaptiver Methoden der Arbeitsablaufplanung für eine optimierte Grobplanung von Prozessketten. Dabei wird im Projekt Zukunftslabor Produktion eine Optimierung der Fertigungsplanung durch die Nutzung von Maschinenrückmeldedaten erforscht. Hier werden Methoden entwickelt, um mithilfe eines maschinenspezifischen, datenbasierten digitalen Zwillings der CNC-Maschine die Bearbeitungsdauer von NC-Codes präzise zu prognostizieren. Die Methode kombiniert deterministische Modelle für maschinenunabhängige Übertragbarkeit mit datengetriebenen Modellen, die das maschinenspezifische Verhalten abbilden. Das übergeordnete Ziel ist die Schaffung flexiblerer, intelligenterer und ökologischer Produktion durch durchgängig digitale Prozessketten und die Anwendung von maschinen- und prozessbezogenen digitalen Zwillingen. Im Rahmen des Projekts DAISEC werden kleine und mittlere Unternehmen bei der Integration

innovativer Technologien für Künstliche Intelligenz (KI) und Cybersicherheit unterstützt. Als Kernpartner des Konsortiums bringt das IFW seine Expertise im Bereich des KI-Einsatzes in der Produktion ein. Das Institut organisiert praxisorientierte Workshops, wie zum Beispiel "KI-Assistenzsysteme in der Produktion", um KMU Fertigkeiten im Aufbau von KI-Lösungen zu vermitteln. Dabei wird besonderer Wert auf die Digitalisierung der gesamten Prozesskette gelegt. Darüber hinaus werden digitale Lerninhalte wie Lernnuggets und -videos entwickelt. Diese ermöglichen eine flexible Wissensvermittlung, um KMU in der Anwendung von KI-Technologien zu stärken. Im Projekt MultiPEP wird ein multikriterieller Ansatz zur Personaleinsatzplanung verfolgt. Hier werden langfristige Ziele wie die Personalweiterbildung und -zufriedenheit in die Produktionsplanung und -steuerung zu integrieren. Dies ermöglicht eine gezielte Reaktion auf die wachsende Systemkomplexität. Dafür wird eine Robustheitsanalyse in die Planung eingegliedert, um Faktoren wie das Lernverhalten und die Verfügbarkeit des Personals zu berücksichtigen. Darüber hinaus werden in verschiedenen Initiativen Bestrebungen nach einer resilienten und ressourceneffizienten Fertigung verfolgt. So werden beispielsweise Methoden entwickelt, welche eine automatische Arbeitsplanung und detaillierte Kapazitätsplanung ermöglichen. Ziel ist es die Reaktionsfähigkeit auf Störungen in der Prozesskette und die Ressourceneffizienz zu verbessern. Zudem soll der Energiebedarf innerhalb der Fertigung durch die Nutzung eines energetischen digitalen Zwillinges von Produktionssystemen transparent aufgezeigt werden. Auf dessen Basis wird eine energieoptimierte Produktionsplanung entwickelt, die übergeordnete Betriebsdaten mit Maschinendaten kombiniert, um qualitäts- und bedarfsgerecht Maschinenkomponenten zu regeln.

Arbeitsgruppe Hochleistungsproduktion von CFK-Strukturen (HPCFK)

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 Teams sind Automated-Fiber-Placement-(AFP) 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. Aktuelle Forschungsarbeiten in diesem Feld umfassen z. B. die autoklavfreie Herstellung von

ultraleichten Sandwichstrukturen mittels laserbasiertem AFP. Aufgrund der hohen Schmelztemperaturen von luftfahrtzertifizierten Thermoplasten ist die Kenntnis der thermischen Prozessbelastung und die thermomechanische Reaktion des Schaumstoffs essentiell für die Herstellung einer belastbaren, kohäsiven Bindung zwischen Faserverbund-Decklage und Schaumkern.

Darüberhinausgehend wird an integrierten Prozessüberwachungsmethoden zur Verbesserung der Fertigungsqualität geforscht. Aktuelle Arbeiten setzen sich mit der Integration von faseroptischen Sensoren in die Konsolidierungseinheit auseinander und ermöglichen dadurch die Messung der Prozesstemperatur direkt in der Schweißzone mit dem Ziel, ein besseres Verständnis über die komplexen Wirkzusammenhänge beim Konsolidieren von Hochleistungsthermoplasten zu erlangen. Zudem erreichen die Wissenschaftler eine verbesserte Fertigungsqualität durch eine 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 KI-basiert 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. Im Luftfahrtforschungsprogramm VI forscht das IFW gemeinsam mit der Fa. Schütze Stäbe außerdem an einem neuartigen multi-orbitalen TowPreg-Legesystem zur Herstellung von Luftfahrt-Leichtbaustäben in CFK-Sandwichbauweise.

Den Drapier- und Legetechnologien übergeordnete Forschungsarbeiten zu deren individuellen, geometrischen Fertigungsrestriktionen ermöglichen außerdem innovative Gestaltungsrichtlinien für zukünftige Maschinenkonzepte. Die Erkenntnisse werden zusätzlich in eine integrierte Methode zur simultanen Auslegung von Faserverbundstruktur und Prozesskette überführt, mit der bereits im frühzeitigen Entwicklungsstadium unkonventionell versteifte Flugzeugrumpfbauweisen bewertet werden können. In diesem Kontext forscht das IFW im Rahmen des Luftfahrtforschungsprogramms VI im Projekt „SHOREliner“ an Auslegungs- und Technologiebewertungsmethoden mit dem Ziel ein batteriebetriebenes, 10-sitziges Faserverbundflugzeug CO₂-neutral herzustellen.

Ein weiterer Fokus der Forschergruppe liegt auf der patentierten Multilayer-Insert-Technologie, die im Rahmen des Schwer-

punktprogramms 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 gemeinsam mit der Fa. Maschinenfabrik Bernard Krone und M&D Composites Technology am Beispiel eines Carbon-Leichtbauchassis für einen 18t schweren Feldhäcksler statt.

Arbeitsgruppe Mittelstand 4.0

Das Mittelstand-Digital Zentrum Hannover hilft Unternehmen des Mittelstandes, ihre Wettbewerbsfähigkeit im Kontext von Digitalisierung und Künstlicher Intelligenz zu stärken. Informationsveranstaltungen, Firmengespräche, Schulungen und Projektbegleitungen – mit diesen Angeboten macht das Zentrum Unternehmen des Mittelstandes fit für die digitale Zukunft. Ziel des Zentrums ist es, kleinen und mittleren Unternehmen ganzheitlich zu befähigen, ihre Zukunft eigenständig in die Hand zu nehmen. Die Unternehmen werden in die Lage versetzt, digitale Anwendungen und Technologien so bei sich einzusetzen, dass diese einen konkreten wirtschaftlichen Nutzen bringen und damit unmittelbar zu ihrer Zukunftsfähigkeit beitragen. Die Angebote des vom Bundeswirtschaftsministerium geförderten Zentrums sind kostenlos.

Das Zentrum hat folgende Themenschwerpunkte:
„Digitale Technologien und Prozesse“, „Ökologische Nachhal-

tigkeit“, „Künstliche Intelligenz“, „IT-Sicherheit“, „Marketing und E-Business“ sowie „Digitales Lernen“

In seinen Lernfabriken präsentiert das Zentrum Digitalisierungslösungen hautnah. Die Lernfabrik Digitale Produktion des Zentrums zeigt anhand der Herstellung eines individuell konfigurierbaren Stiftes in Losgröße 1 Digitalisierungslösungen und KI-Anwendungen von der Kommissionierung über die Fertigung bis zur Auslieferung entlang der gesamten Wertschöpfungskette. Die Mobile Fabrik Zentrums präsentiert die Möglichkeiten der Digitalisierung anhand der individuellen Fertigung eines Fahrzeugmodells. Die Fabrik bringt Demonstratoren und Digitalisierungslösungen direkt zu den Unternehmen. Fünf weitere Lernfabriken stellen Technologien zu den Themen „Produktionslogistik & -systeme“, „Automatisierung & Big Data“, „Nachhaltigkeit & Energieeffizienz“ sowie „IT-Security“ vor. 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.mitunsdigital.de

91 wissenschaftliche Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter
25 nichtwissenschaftliche Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter
158 studentische Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter
2 Auszubildende
3 FWJ-ler/FWJ-lerinnen

IFW 2023

Institut für Fertigungstechnik und Werkzeugmaschinen

Leitung

Prof. Dr.-Ing. Berend Denkena

Lehre

60 Masterarbeiten, 46 Studienarbeiten, 37 Bachelorarbeiten

Aktuelle Forschung

Arbeitsgruppe Fertigungsverfahren

ARGONAUT – Effiziente und ressourcenschonende Fertigung von Luftfahrtgetrieben (BMWK)

Auslegung von Prozessstellgrößenmodulationen für die Stahlbearbeitung mit Kühlschmierung – ProMod KSS (AiF)

Bedarfsgerechte Konstruktion und Herstellung von schadenstoleranten Implantatverbindungen (DFG)

Belastungsoptimierte Auslegung von Schneidkantenmikrogeometrien für industrielle Prozesse – DFG Erkenntnistransfer (DFG)

Effizientere Spritzgusswerkzeugen (ZIM)

Einfluss der Schneidkantenpräparation auf den Eigenspannungszustand in PKD und PcBN (DFG)

Einsatzverhalten sintermetallischer Diamantschleifscheiben mit chemisch angebundenen Schleifkörnern (DFG)

Energieeffizientes Nutentiefschleifen (EFRE)

Ermüdungsfestigkeit hochfester Offshore-Feinkornbaustähle mit und ohne Nachbehandlung (HSS-FAT-OWEC) (AiF-IGF)

Funktionalisierte Randzone für belastungsorientiertes Ermüdungsverhalten gehärteter Bauteile (DFG)

Gefügeausbildung der additiven Fertigung von Titanlegierungen und Einfluss auf die Zerspanbarkeit (DFG)

Grundlage für den wirtschaftlichen Einsatz von Stäbchenkorundschleifscheiben (AiF)

Hocheffiziente Seilschleifsegmente mittels additiver Siebdrucktechnologie (SiebSeil) (BMBF)

Prozesskette zur geschlossenen additiv-subtraktiven Fertigung von Titanbauteilen mit Recyclingmaterial (BMWK)

Sauerstofffreie Zerspanung von Titanlegierungen (DFG)

SFB 1153 - B4: Funktionsangepasste Prozessplanung der spanenden Bearbeitung hybrider Bauteile (DFG)

SFB 1153 - B5: Maschinentechнологien für die produktive, spanende Bearbeitung von hybriden Bauteilen (DFG)

SFB 1368 – C04: Bearbeitungskonzepte für die sauerstofffreie Feinbearbeitung (DFG)

SFB/TR73-T09: Vor-Ort-Bearbeitung von komplexen und kostenintensiven Investitionsgütern (DFG)

Simulative Auslegung und wissensbasierte Herstellung PVD-beschichteter Zerspanwerkzeuge (DFG)

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

Arbeitsgruppe Maschinen und Steuerungen

Produktivitätssteigerung beim Werkzeugschleifen mit Hilfe einer „führenden Spindel“ - „Führende Spindel“ – DFG

Strukturintegrierte Kraftmesstechnik zur Prozessüberwachung in Schleifmaschinen – „Kraftmaschine“ - AiF IGF

Grundlagen der Vorspannungsadaption bei Kugelgewindetrieben mit Einzelmutter - „Hydrodehn-KGT“ – DFG

Kraftsensitive Führungssysteme auf Basis direktabgeschiedener bauteilindividueller Sensorik – „Kraftsensitive Führungswagen“ – DFG

Grundlagen eines berührungslosen Aktors mit bidirektionaler Kraftwirkung für den Aufbau von umgriffsfreien Führungen von spanenden Werkzeugmaschinen – „Umgriffsfreie Führung“ – DFG

Medienfreies und berührungsloses Mehrkoordinaten-Positioniersystem unter Verwendung von Ultraschall-Levitation und Magnetischen Führungen – „Ultraschall Levitation 2“ – DFG

Entwicklung eines Werkzeugspannmechanismus für Spindeln auf Basis eines Formgedächtnislegierungs-Aktors zur verschleißfreien Werkzeugspannung- „FGL-Spann“ – ZIM

Development of sensor-embedded machine parts for predictive maintenance of machinery – „Sensing Guide“ – KIMM

Kontaktspannung geregeltes mechanisches Festwalzen – „KontROLL“ – ZIM

Produktivitätssteigerung beim Hochleistungsschleifen – „Pro2HS“ – ZIM

Modulare Spannsystem für die mehrseitige Bearbeitung von additiv gefertigten Bauteilen ohne manuelles Umspannen – „AllSpann“ – BMBF

Automatischer Dekorschleifprozess – „DekorSchleifen“ – ZIM

PhoenixD Task Group M4: Machines, Automation and Organization – „PhoenixD M4“ – DFG

Deformationskontrolle zur Steigerung der Bearbeitungsgenauigkeit bei dünnwandigen Werkstücken – „DefCon“ – ZIM

Kompensation von Bahnfehlern bei dynamischen Bewegungen in Werkzeugmaschinen mit elektromagnetischer Linearführung – „SFB871-T13“ – DFG

Online-Qualitätsüberwachung beim Gewindewirbeln – „Quali-Wirb“ – ZIM

System zur autonomen Prozessüberwachung von Bohrprozessen – „AutoBohr“ – ZIM

Kamerabasiertes Überwachungssystem zur Detektion kritischer Späne – „SpanDetekt“ – ZIM

Autonome Segmentierung von Signalverläufen für prozessübergreifendes Lernen bei der Überwachung von Kleinserien – RoPro – ZIM

Demonstrations- und Transfernetzwerk KI in der Produktion – ProKI-Hannover – BMBF

Prozesskette zur Herstellung hybrider Hochleistungsbauteile durch Tailored Forming – Sonderforschungsbereich 1153 – DFG

Autonome Berechnung von Stabilitätsgrenzen auf Basis sensorischer Strukturkomponenten eines Fräszentrums – Lernende Werkzeugmaschine – DFG

Next Level Ecosphere for Intelligent Industrial Production – IIP Ecosphere – BMWK

Vertikal integrierte, nachhaltige End-to-End-Fabrik – VerticalE2E – Nbank

Erforschung und Parametrierung eines Modulationssystems zur Pulsation – KSSPuls – ZIM

Korrelation der Prozesssignale beim Schleifen mit den resultierenden Größen am Bauteil – PÜ Schleifen – DFG

IT-Security beim Einsatz von 5G im Ökosystem Produktion – 5GProSec – BSI

Arbeitsgruppe Produktionssysteme

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)

Erkenntnistransfer SFB 871 T06: Hybride Prozessplanung zur Regeneration von Turbinenschaukeln (DFG)

Erkenntnistransfer SPP 1480: Bewertung und Adaption spanender Fertigungsprozesse zur Kompensation von thermischen und mechanischen Bearbeitungseinflüssen (DFG)

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

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

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

Learn WZS: Lernende Prozessadaptation für das Werkzeugeschleifen (DFG)

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

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

PoliControl - Verfügbarkeit eines innovativen robotergestützten Polierprozesses (ZIM)

Poly-ProFILEd: Prozesskette für Polygon-umgeformte Al-Strukturbauteile (NBANK)

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

Self: Selbstoptimierende dezentrale Fertigungssteuerung (DFG)

SPP 2231 (Flusimpro): Modellierung der Kühlwirkung beim Werkzeugeschleifen 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)

Denkena, B., Poll, G., Dinkelacker, F., Handrup, M., Katzsch, D., Meyer, K., Pillkahn, P., Reuter, L., Schmidt, C., Stelljes, F.: (2023): Antriebsstrang 2025 - Energieeffiziente Prozessketten zur Herstellung eines reibungs-, gewichts- und lebensdaueroptimierten Antriebsstrangs, "Antriebsstrang 2025" - "Energieeffiziente Prozessketten zur Herstellung eines reibungs-, gewichts- und lebensdaueroptimierten Antriebsstrangs" : Abschlussbericht zum BMWK-Verbundprojekt (2023), Laufzeit: 01.09.2018-28.02.2022, Leibniz Universität Hannover, 156 Seiten. ISBN: 978-3-95900-816-7

Aufsätze (reviewed)

Bergmann, B., Denkena, B., Poll, G., Pape, F., Liu, H., Ellersiek, L.: (2023): Reibkoeffizientenermittlung in der Zerspanung auf Basis von Hochgeschwindigkeitsaufnahmen, Tribologie und Schmierstechnik Vol. 69 (2023), Nr. 5-6, S. 21-27. DOI: 10.24053/TuS-2022-0041

Bergmann, B., Denkena, B., Schaper, F.: (2023): Thermomechanical tool loading and chip formation in oxygen-free titanium cutting, CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology, 45 (2023), S. 253-259. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cirpj.2023.06.016>

Breidenstein, B., Denkena, B., Wolters, P., Keitel, M., Tillmann, W., Stangier, D., Lopes Dias, N.F.: (2023): A novel development of sustainable cutting inserts based on PVD-coated natural rocks, Materials Today Sustainability, 24 (2023), 8 Seiten. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.mtsust.2023.100507>

Denkena, B., Bergman, B., Lang, R.: (2023): Comportamento di rettifica di mole diamantate a legante metallico con l'aggiunta di cromo come elemento formatore di carburi. Grinding behaviour of metal-bonded diamond grinding wheels with an additive of chromium as a carbide-forming element, Diamante Applicazioni & Tecnologia, 29 (2023) 113, S. 53-59. First published in the World PM2022 Congress Proceedings.

Denkena, B., Bergmann, B., Ellersiek, L.: (2023): Identification of the process damping coefficient in dry and wet machining of steel, The International Journal of Advanced Manufacturing Technology (2023) Nr. 125, published online 16. February 2023, S. 5409-5417 DOI: <https://doi.org/10.1007/s00170-023-11082-0>

Denkena, B., Bergmann, B., Geschwind, T.: (2023): Determinazione dell'influenza della qualità della miscelazione sul legante di un utensile per rettifica dopo la sinterizzazione. Determination of the Influence of the mixing quality on the grinding tool bond after sintering, Diamante Applicazioni & Tecnologia, 29 (2023) 112, S. 62-71. First published in the World PM2022 Congress Proceedings.

Denkena, B., Bergmann, B., Hansen, N., Heller, C.: (2023): Wear Behavior of Metal Bonded Grinding Tools When Grinding Ti-6Al-4V in an Oxygen-Free Atmosphere, Metals 2023, 13, Special Issue "Tool Wear and Surface Roughness in Machining of Metallic Materials", 8 Seiten. DOI: <https://doi.org/10.3390/met13091614>

Denkena, B., Bergmann, B., Hansen, N., Lang, R.: (2023): Influence of an Oxygen-Free Atmosphere on Process Forces and Workpiece Quality during the Surface Grinding of Ti-6Al-4V, Lubricants 2023, 11 (2023) 347, 10 Seiten. DOI: <https://doi.org/10.3390/lubricants11080347>

Denkena, B., Bergmann, B., Keitel, M., Wege, C., Poll, G., Kelley, J., Pape, F.: (2023): Process strategies for milling of dimples on tapered roller bearings, Production Engineering (2023),

published online 09. June 2023, 13 Seiten. ISBN: <https://doi.org/10.1007/s11740-023-01208-4>

Denkena, B., Bergmann, B., Raffalt, D.: (2023): Sharpening of graded diamond grinding wheels, SN Applied Sciences, Vol. 5 (2023), Nr. 145, 10 Seiten. DOI: <https://doi.org/10.1007/s42452-023-05362-3>

Denkena, B., Bergmann, B., Schaper, F.: (2023): Investigation of chip formation of Ti-6Al-4V in oxygen-free atmosphere, The International Journal of Advanced Manufacturing Technology (2023), published online 11. January 2023, 12 Seiten. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00170-022-10655-9>

Denkena, B., Bergmann, B., Schulze, A.: (2023): Einsatzvorbereitung von Stäbchenkorundschleifscheiben, WT WERKSTATTSTECHNIK BD. 113 (2023) NR. 11-12, S. 494-498. DOI: doi.org/10.37544/1436-4980-2023-11-12-30

Denkena, B., Bergmann, B., Wilckens, C.: (2023): Mechanisches Abrichten von Diamantschleifscheiben. Untersuchungen zum Abrichtverhalten metallisch gebundener Diamantwerkzeuge, WT WERKSTATTSTECHNIK, BD. 113 (2023) NR. 6, S. 255-259.

Denkena, B., Bergmann, B., Wolters, P., Gärtner, N.: (2023): Influence of the process parameters on the grinding result in continuous generating grinding of cutting tools, SN Applied Sciences, Springer Nature Journal, veröffentlicht online am 26.09.2023, 12 Seiten. DOI: <https://doi.org/10.1007/s42452-023-05497-3>

Denkena, B., Breidenstein, B., Maier, H.J., Prasanthan, V., Fricke, L.V., Zender, F., Nguyen, H.N., Zwoch, S., Wichmann, M., Barton, S.: (2023): A process-reliable tailoring of subsurface properties during cryogenic turning using dynamic process control, Production Engineering, Published Online: 20 December, 19 Seiten. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11740-023-01244-0>

Denkena, B., Liu, H.C., Pape, F., Bergmann, B., Poll, G., Schenzel, J., Ellersiek, L.: (2023): Simulation of local contact conditions in the secondary shear zone in dry and wet metal cutting, 19th CIRP Conference on Modeling of Machining Operations, Procedia CIRP, Vol. 117 (2023), S. 293-298. DOI: [10.1016/j.procir.2023.03.050](https://doi.org/10.1016/j.procir.2023.03.050), ISSN: 2212-8271

Maor, I.I., Kruppa, K., Rozencweig, A., Sterzer, A., Steinbach, F., Beilin, V., Breidenstein, B., Shter, G.E., Mann-Lahav, M., Feldhoff, A., Grader, G.S.: (2023): Superior Thermoelectric Performance of Textured Ca₃Co_{4-x}O_{9.8} Ceramic Nanoribbons, Adv. Funct. Mater. 2023, 17 Seiten. DOI: [DOI: 10.1002/adfm.202304464](https://doi.org/10.1002/adfm.202304464)

Merkel, P., Budde, L., Grajczak, J., Nowroth, C., Prasanthan, V., Krivall, M., Lammers, M., Nothdurft, S., Hermsdorf, J., Twiefel, J., Overmeyer, L., Kaierle, S., Wallaschek, J., Breidenstein, B., Behrens, B.A., Stonis, M.: (2023): Feasibility study for the manufacturing of hybrid pinion shafts with the cross-wedge rolling process, International Journal of Material Forming, published online 7 July 2023, 10 Seiten. DOI: <https://doi.org/10.1007/s12289-023-01761-4>

Pape, F., Poll, G., Ellersiek, L., Denkena, B., Liu, H.: (2023): Tribological Effects of Metal-working Fluids in Cutting Processes, *Lubricants* Vol. 11 (2023), Nr. 224, 15 Seiten. DOI: <https://doi.org/10.3390/lubricants11050224>

Worpenberg, C., Stiesch, M., Eisenburger, M., Breidenstein, B., Busemann, S., Greuling, A.: (2023): The effect of surface treatments on the adhesive bond in all-ceramic dental crowns using four-point bending and dynamic loading tests, *Journal of the mechanical behavior of bio-medical materials*, Vol. 139 (2023) Nr. 105686, 12 Seiten. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jmbm.2023.105686>

Zhao, Z., Chen, G., Cano, G.E., Kiffling, P.A., Stöling, O., Breidenstein, B., Polarz, S., Bigall, N.C., Weidenkaff, A., Feldhoff, A.: (2023): Multiplying Oxygen Permeability of a Ruddlesden-Popper Oxide by Orientation Control via Magnets, *Angew. Chem. Int. Ed.* 2023, e202312473, First published: 21 November 2023, 7 Seiten. DOI: <https://doi.org/10.1002/anie.202312473>

Denkena, B., Bergmann, B., Raffalt, D.: (2023): Produzione di strati abrasivi con diversi gradi di concentrazione del diamante, *Diamante Applicazioni & Tecnologia*, 29 (2023) 112, S. 37-47. First published in the World PM2022 Congress Proceedings.

Goeing, J., Seehausen, H., Stania, L., Nübel, N., Salomon, J., Ignatidis, P., Dinkelacker, F., Beer, M., Denkena, B., Seume, J. R., Friedrichs, J.: (2023): Virtual process for evaluating the influence of real combined module variations on the overall performance of an aircraft engine, *GPPS Journal* Vol. 7 (2023), S. 95-112. DOI: <https://doi.org/10.33737/jgpps/160055>

Klemme, H.: (2023): Heat exchangers for liquid-free cooling of rotating shafts, *CIRP Annals* 2023, 72 (2023) 2, S. 361-364. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cirp.2023.04.060>

Denkena, B., Behrens, B.A., Overmeyer, L., Kaierle, S., Klemme, H., Hermsdorf, J., Stonis, M., Schwarz, N., Budde, L., Merkel, P., Handrup, M.: (2023): Sensitivity of process signals to deviations in material distribution and material properties of hybrid workpieces, *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, Published online: 19 December 2023, 11 Seiten. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00170-023-12807-x>

Denkena, B., Klemme, H., Stiehl, T.: (2023): Multivariate time series data of milling processes with varying tool wear and machine tool, veröffentlicht online am 14. September 2023, *Journal Data in Brief*, Volume 50 (2023) October 2023, 9 Seiten. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.dib.2023.109574>

Denkena, B., Klemme, H., Shanib, M., Kaiser, S.: (2023): Prozessregelung ermöglicht gleichbleibende Fertigungsqualität bei der Implantatfertigung, *ZWF, Jahrg. 118 (2023) 7-8*, 4 Seiten.

Denkena, B., Bergmann, B., Stiehl, T.: (2023): Identical NC-code on Different Machine Tools – Similarities and Differences in Timing and Positioning, 16th CIRP Conference on Intelligent Computation in Manufacturing Engineering, CIRP ICME '22, Italy, *Procedia CIRP* 118 (2023), S. 193-198.

Denkena, B., Mori, M., Dittrich, M.-A., Klages, N., Matthies, J.: (2023): Energy efficient supply of cutting fluids in machining by utilizing flow rate control, *CIRP Annals - Manufacturing Technology*, 72 (2023), S. 349-352. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cirp.2023.04.082>

Fricke, L. V., Basten, S., Nguyen, H. N., Breidenstein, B., Kirsch, B., Aurich, J. C., Zaremba, D., Maier, H. J., Barton, S.: (2023): Combined influence of cooling strategies and depth of cut on the deformation-induced martensitic transformation turning AISI 304, *Journal of Materials Processing Tech.*, Vol. 312 (2023), Nr. 117861, 10 Seiten. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jmatprotec.2023.117861>

Denkena, B., Wichmann, M., Heide, K. M., Wiesener, F., Nguyen, H. N.: (2023): Automated process planning in milling of hybrid components, *Production Engineering* (2023), published online 10. January 2023, 10 Seiten. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11740-022-01180-5>

Denkena, B., Wichmann, M., Settnik, S. J., Surmann, J.: (2023): Automatisierte Angebotskalkulation, *ZWF* (2023), Band 118, Nr. 1-2, S. 79-83. DOI: 10.1515/zwf-2023-1002, ISSN: 0947-0085

Denkena, B., Wichmann, M., Kettelmann, S.: (2023): Prozesskettenplanung unter Unsicherheit, *WT Werkstatttechnik* Vol. 113 (2023) Nr. 4, S. 146-152. DOI: doi.org/10.37544/1436-4980-2023-04-46

Denkena, B., Dittrich, M.-A., Noske, H., Lange, D., Benjamins, C., Lindauer, M.: (2023): Application of machine learning for feet-based condition monitoring of ball screw drives in machine tools, *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology* (2023), published online 23. May 2023, S.1144-1163. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00170-023-11524-9>

Denkena, B., Wichmann, M., Reuter, L.: (2023): Adaptive Prüfplanung, *WT WERKSTATTECHNIK*, BD. 113 (2023) NR. 11-12, S. 475-481. DOI: doi.org/10.37544/1436-4980-2023-11-12-11

Denkena, B., Heide, K.M., Malek, T., Wichmann, M., Brouwer, D.: (2023): Wirtschaftliche Regeneration defekter Formwerkzeuge, *VDI-Z*, 165 (11-12), 2023, S. 30-33. DOI: <https://dx.doi.org/10.37544/0042-1766-2023-11-12-30>

Sommer, M., Stjepandic, J., Stobrawa, S., von Soden, M.: (2023): Automated generation of digital twin for a built environment using scan and object detection as input for production planning, *Journal of Industrial Information Integration*, 33 (2023), erschienen online 3. April 2023, 14

Seiten. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jii.2023.100462>

Wichmann, M., Eden, M., Zvegincev, D., Wiesener, F., Bergmann, B., Schmidt, A.: (2023): Modeling the wetting behavior of grinding wheels, *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, Published Online 28. July 2023, 7 Seiten. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00170-023-12002-y>

Möllers, H., Schmidt, C., Meiners, D.: (2023): Influence of Epoxy Spray Binder on Infusion and Cure in Liquid Composite Molding Processes, *Applied Composite Materials*, published online 22 December 2023, 18 Seiten. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10443-023-10189-7>

Budelmann, D., Schmidt, C., Steuernagel, L., Meiners, D.: (2023): Adhesion-cohesion balance of prepreg tack in thermoset automated fiber placement. Part 2: Ply-ply cohesion through contact formation and autohesion, *Composites Part C*, 12 (2023), 15 Seiten. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jcomc.2023.100396>

Friedel, A., Heimbs, S., Horst, P., Schmidt, C., Timmermann, M.: (2023): Representative structural element approach for assessing the mechanical properties of automated fibre placement-induced defects, *Composites Part C*, 10 (2023), 12 Seiten.

Aufsätze

Heikebrügge, S., Vogel, N., Breidenstein, B.: (2023): Individuelle Eigenspannungsanalyse, *VDI-Z*, Vol. 165 (2023), Nr. 3, S. 59-61.

Breidenstein, B., Wichmann, M., Tack, E., Voelker, H.: (2023): Transparenz in der Fertigungslinie, *QZ Qualität und Zuverlässigkeit*, Vol. 68 (2023), Nr. 5, S. 74-77.

Denkena, B., Bergmann, B., Heckemeyer, A.: (2023): Mit Modulation 35% weniger Werkzeugverschleiß, *NC Fertigung* (2023), erschienen online am 04. April 2023, 3 Seiten.

Denkena, B., Bergmann, B., Ellersiek, L.: (2023): Werkzeugherstellung: Energieeinsparung im Fokus, *Zerspanungstechnik.de* (2023), online erschienen am 23. Mai 2023, 4 Seiten.

Denkena, B., Bergmann, B., Worpenberg, S.: (2023): Einfluss des Fertigungsprozesses auf die Zerspanbarkeit von additiv gefertigten Ti-5553, *WB-Werkstatt und Betrieb*, 6/2023, 10 Seiten.

Heckemeyer, A.: (2023): Prozessstellgrößenmodulation reduziert Verschleiß und steigert Standzeit, *VDW-Branchenreport*, Juli 2023, S. 14-16.

Denkena, B., Bergmann, B., Heckemeyer, A.: (2023): Prozessstellgrößen-Modulationen. 35% weniger Werkzeugverschleiß, 100% Steigerung der Werkzeugstandzeit, *Diamond Business*, Ausgabe 85, 02/2023, S. 56-57.

Denkena, B., Raffalt, D., Bergmann, B.: (2023): Nutentiefschleifen mit gradierten Schleifwerk-

zeugen. Standzeitsteigerung durch belastungsangepasste Auslegung, VDI-Z, Bd. 165 (2023) Nr. 07-08, S. 37-38.

Denkena, B., Bergmann, B., Worpenberg, S., Hufenbach, J., Kühn, U., Kunz, C.: (2023): Zerspanbarkeit additiv gefertigter Titanbauteile, VDI-Z, Bd. 165 (2023) Nr. 11-12, S. 18-20.

Denkena, B., Bergmann, B., Zender, F., Schleinkofer, U., Schmid, L.: (2023): Verbesserter Spanbruch mit simulationsoptimierten High-Dynamic-Turning-Prozesse, WB Werkstatt + Betrieb (2023), online erschienen am 13. März 2023, 5 Seiten.

Denkena, B., Bergmann, B., Hein, M.: (2023): Der Einfluss des Schneidkantenpräparationsverfahren Polieren auf die Schichthaftung, Diamond Business, Vol. 85 (2023) Nr. 2, S. 12-16.

Denkena, B., Bergmann, B., Murrenhoff, M.: (2023): Ressourcenschonender Einsatz von KSS, Forum, Schneidwerkzeug- und Schleiftechnik, 36 (2023) 2, S. 54-55.

Denkena, B., Bergmann, B., Heckemeyer, A.: (2023): Optimierung von Drehprozessen, VDI-Z, 165 (2023) Nr. 9, S. 40-42.

Denkena, B., Bergmann, B., Schulze, A.: (2023): Wirtschaftlicher Einsatz von Stäbchenkorundschleifscheiben, VDI-Z, 165 (2023) Nr. 10, S. 31-33.

Denkena, B., Klemme, H.: (2023): Linearführungen neu gedacht, NC-Fertigung (2023), Nr. 4, S. 38-41.

Denkena, B., Klemme, H., Becker, J.: (2023): KI-basierte Überwachung und Parametrierung von Wälzschälzyklen im Projekt IPP-Ecosphere, VDW Jahresbericht 2022 (2023), S. 25-28.

Denkena, B., Klemme, H., Berlin, J.: (2023): Festwalzen – prozesssicher dank Walzkraftregelung, Industrie Anzeiger (2023), Nr. 6, S. 62-64.

Denkena, B., Klemme, H., Buhl, H.: (2023): Mit sensorischer Spindel zum Werkzeugschleifen ohne Stützlünette, MM MaschinenMarkt Vol, 129 (2023), Nr. 5, S. 54-57.

Denkena, B., Klemme, H., Stiehl, T. H.: (2023): Überwachung von Werkzeugverschleiß, ZWF, Vol. 118 (2023), Nr. 5, S. 298-301.

Denkena, B., Klemme, H., Geggier, J.: (2023): Qualitätsbewertung von Schliffoberflächen mit Hilfe von KI, Industrial Production (2023), erschienen online am 16. März 2023, 4 Seiten.

Handrup, M.: (2023): Sonderforschungsbereich „Tailored Forming“ wird vier weitere Jahre gefördert, IndustryArena Competence network for production (2023), published online 28. June 2023, 2 Seiten.

Denkena, B., Stiehl, T.: (2023): Neuronale Netze überwachen den Verschleiß, IndustryArena, Online-Veröffentlichung, 3 Seiten.

Denkena, B., Klemme, H., Arzer, A., Cofala, T.: (2023): Sichtprüfungen mit Maschinellen Lernen automatisieren, veröffentlicht online am 08.11.2023, www.ingenieur.de, VDI-Z, VDI-Fachmedien, 11 Seiten. DOI: <https://www.ingenieur.de/fachmedien/vdi-z/qualitaetssicherung/sichtpruefungen-mit-maschinellen-lernen-automatisieren/>

Denkena, B., Klemme, H., Vornkahl, J.: (2023): Neue Spanntechnik verbraucht weniger Energie und hält länger. Werkzeugspannen mit Aktorik aus Formgedächtnislegierungen., Industrieanzeiger, Ausgabe 11/2023, S. 104-106.

Denkena, B., Klemme, H., Arzer, A.: (2023): ProKI-Hannover - Zentrum für KI in der Zerspanung, Zukunft.Digital, Digitalisierung von der Idee zur Umsetzung, Ausgabe 01/2023, S. 18-19.

Krüger, M.: (2023): KI-gestützte Überwachung von Kleinserien in der Zerspanung, IndustryArena, August 2023, 3 Seiten.

Stiehl, T.: (2023): Überwachung von Werkzeugverschleiß in der Kleinserie durch maschinenübergreifende Datennutzung, IndustryArena, Dezember 2022, 2 Seiten.

Denkena, B., Klages, N.: (2023): Schleifscheibe mit integrierter Sensorik zur Prozessüberwachung, Der Konstrukteur, 2023/09, S. 48-49.

Arzer, A.: (2023): ProKI-Zentrum Hannover startet im März, IT Production, das Industrie 4.0 Magazin für erfolgreiche Produktion (2023), erschienen online am 31. Januar 2023, 2 Seiten.

Klages, N.: (2023): Schleifscheibe mit integrierter Sensorik zur Prozessüberwachung, Unter Span, Ausgabe 2023, S. 25.

Wnendt, E.: (2023): Spannung komplexer Bauteile neu gedacht, IndustryArena, Dezember 2023, 2 Seiten.

Denkena, B., Klemme, H., Krombach, P.: (2023): Automatisierte Werkzeugüberwachung mit KI: Verschleißabschätzung, SPS-MAGAZIN, Fachzeitschrift für Automatisierungstechnik, Ausgabe 13/2023, S. 92-93.

Stoppel, D.: (2023): ProKI-Tagung „Smart Factory: Wie Künstliche Intelligenz die Produktion transformiert, IndustryArena, Oktober 2023, 2 Seiten.

Denkena, B., Klemme, H., Becker, J.: (2023): KI-basierte Überwachung und Parametrierung von Wälzschälzyklen im Projekt IPP-Ecosphere, VDW Jahresbericht 2022 (2023), S. 25-28.

Berlin, J.: (2023): Projektabschluss ProMeFe: Prozessüberwachung und Regelung beim mechanischen Festwalzen, IndustryArena Competence network for production (2023), published online 17. May 2023, 2 Seiten.

Denkena, B., Klemme, H., Wickmann, M., Bertram, S.: (2023): Pulsierender Kühlschmierstoff gibt der Bohrstange mehr Kraft, MM Ma-

schinenMarkt, 129. Jahrgang (2023), Nr. 6, S. 50-53.

Buhl, H.: (2023): Sensorische Schleifmaschine zur kontinuierlichen Prozessüberwachung, IndustryArena, November 2023, 2 Seiten.

Denkena, B., Klemme, H., Geggier, J.: (2023): Energieeffiziente Fertigung – Einsparpotenziale bei Werkzeugmaschinen, veröffentlicht online am 12.12.2023, MM Maschinenmarkt, Link: <https://www.maschinenmarkt.vogel.de/energieeffiziente-fertigung-einsparpotenziale-bei-werkzeugmaschinen-a-8bb99bce12406419517dd19d4d4efe0aa>, 3 Seiten.

Denkena, B., Klemme, H., Kowalke, D., Wurz, C., Ottermann, R., Korbacher, M., Müller, M.: (2023): Sensoren richtig positionieren, NC Fertigung, 44 (2023) 10, S. 32-35.

Krombach, P., Schmutte, R.: (2023): Werkzeugverschleiß automatisiert und kameragestützt überwachen, phi-Produktionstechnik Hannover informiert, Newsletter 41, Dezember 2023, 4 Seiten. DOI: <https://doi.org/10.48811/phi-23-016>

Denkena, B., Klemme, H., Stoppel, D.: (2023): Machine Learning unterstützt Überwachung von Schleifprozessen, www.ingenieur.de, online veröffentlicht am 04.12.2023, 12 Seiten.

Denkena, B., Klemme, H., Vornkahl, J., Wnendt, E.: (2023): Drei Innovationen in der Spanntechnik, NC Fertigung, 12 (2023), S. 30-33.

Denkena, B., Klemme, H., Berlin, J., Wnendt, E., Stamm, S., Spreitzer, M.: (2023): Bearbeitung ohne Umspannen, Online-Veröffentlichung, 19.12.2023, 4 Seiten. DOI: <https://www.industrialproduction.de/forschung---entwicklung/bearbeitung--ohne-umspannen.html>

Schlenker, F.: (2023): Prozesskette zur verzugs-optimierten Fertigung umgeformter Strukturbauteile, IndustryArena Competence network for production (2023), published online 12. January 2023, 2 Seiten.

Stürenburg, L.: (2023): Das Zukunftslabor Produktion präsentiert seinen verfilmten Prozesskettenemonstrator, IndustryArena Competence network for production (2023), online erschienen am 10. Februar 2023, 2 Seiten.

Reuter, L.: (2023): Qualitätsüberwachung für die Fabrik der Zukunft, IndustryArena Competence network for production (2023), online erschienen am 21. März 2023, 2 Seiten

Denkena, B., Bergmann, B., Zender, F., Schleinkofer, U., Schmid, L.: (2023): Verbesserter Spanbruch mit simulationsoptimierten High-Dynamic-Turning-Prozesse, WB Werkstatt + Betrieb (2023), online erschienen am 13. März 2023, 5 Seiten.

Denkena, B., Wichmann, M., Wulf, M.: (2023): Sensorfreie Kraftmessung beim Werkzeugschleifen, VDI-Z, Bd. 165 (2023), Nr. 4, S. 56-58.

Noske, H. (2023): Integrierte Instandhaltungs- und Produktionsplanung mit BaSys 4.0, IndustryArena Competence network for production (2023), online erschienen am 06. Februar 2023, 2 Seiten.

Nein, M. (2023): Optimierte Prognose der Bearbeitungsdauer durch Maschinenrückmeldedaten in Grey-Box-Modellen, IndustryArena Competence network for production (2023), online erschienen am 30. März 2023, 2 Seiten.

Denkena, B., Wichmann, M., Voelker, H. (2023): Multikriterielle Personaleinsatzplanung in der Produktion, Zukunft. Digital Zeitschrift, Digitalisierung von der Idee zur Umsetzung, Ausgabe 1/2023, S. 34-37. |

Denkena, B., Wichmann, M., Friebe, S. (2023): Planungsarchitektur für das autonome Werkzeugschleifen, maschinenbau, 2/2023, S. 46-49.

Reuter, L. (2023): Adaptive Prüfplanung mit Hilfe eines digitalen Zwilling für die virtuelle Qualitätssicherung, IndustryArena, November 2023, 3 Seiten.

Dänekas, C., Heide, K., Heikebrügge, S. (2023): Digitale Geometrieerfassung von Schweißverbindungen zur Qualitätssicherung, Zukunft.Digital, S. 42-45.

Denkena, B., Wichmann, M., Wulf, M. (2023): Wie Maschinen von uns lernen können, WGP Newsletter 2/2023, <https://wgp.de/de>, 6 Seiten.

Winkler, M. (2023): Vollautomatisierte Prozessplanung in der Dentalfertigung, phi Produktionstechnik Hannover informiert (2023), online erschienen am 05. Juni 2023, 6 Seiten. DOI: <https://doi.org/10.48811/phi-23-009>

Denkena, B., Wichmann, M., Settnik, S., Surmann, J. (2023): Arbeitsplanung automatisieren, VDI-Z, 165 (2023) Nr. 9, S. 81-83.

Digwa, C. (2023): Die digitale Revolution in der Gastronomie: Ein Leitfaden für Gastro 4.0, Online-Veröffentlichung des Mittelstand-Digital Zentrums Hannover, 10 Seiten.

Kuiper, G. (2023): Neues Verfahren macht Titanabfall für Luftfahrt nutzbar, IndustryArena Competence network for production (2023), online erschienen am 30. Juni 2023, 2 Seiten.

Bogenschütz, M., Möllers, H., Stüven, J.-L., Schmidt, C. (2023): Automatisierte Preformfertigung, VDI-Z. Bd. 165 (2023) Nr. 5, S. 51-53.

Garthe, D. (2023): Strukturleichtbau halbiert Feldhäcksler-Gewicht. Nachhaltigkeit in der Landwirtschaft, O+P Fluidtechnik, 11-12/2023, S. 40.

Vorträge

Denkena, B., Klemme, H., Buhl, H. (2023): Feeling spindle for process force measurement in tool grinding, 15th International Conference & Exhibition, Lampamap (2023), 14.-15. March 2023, Edinburgh, UK, 14 Seiten.

Wichemann, M., Bergmann, B., Wiesener, F. (2023): Multiscale material removal simulation for tool grinding, CIRP General Assembly, Winter Meetings (2023), 22.-24. February 2023, Paris, France, 10 Seiten.

Denkena, B., Wichmann, M., Pillkahn, P. (2023): Einfluss des Festwalzens auf den Eigenspannungszustand und das Einsatzverhalten additiv gefertigter Komponenten, Frühjahrssitzung FA Eigenspannungen (2023) 28. März 2023, Berlin, Deutschland, 24 Seiten.

Breidenstein, B., Poll, G., Pape, F., Dechant, S., Nordmeyer, H. (2023): Funktionalisierte Randzone für belastungsorientiertes Ermüdungsverhalten gehärteter Bauteile, Frühjahrssitzung FA Eigenspannungen (2023) 28. März 2023, Berlin, Deutschland, 28 Seiten.

Buhl, H., Jacobs, L. (2023): Intelligent, wireless and highly adapted. The potential of Integrated Sensing technology demonstrated on a tooling machine spindle, DSEC 2023, Drivetrain and Systems Engineering Conference (2023), 21.-22. March 2023, Aachen, Germany, 16 Seiten.

Breidenstein, B., Gerdes, L., Nordmeyer, H. (2023): Energiedispersive Messung der Eigenspannungen nach dem Festwalzen – Analyse des Mikro- und Makrokontakts, Arbeitstreffen "Energiedispersive Röntgenbeugung" (2023), 03. Mai 2023, Kassel, Deutschland, 23 Seiten.

Denkena, B., Klemme, H., Kowalke, D., Korbacher, M., Ottermann, R., Dencker, F., Wurzbach, M. C. (2023): Force sensing linear rolling guides based on modified metal strain gauges, 23rd International Conference & Exhibition (2023), 12.-16. June 2023, Copenhagen, Denmark, 13 Seiten.

Wiesener, F., Bergmann, B., Wichmann, M., Eden, M., Freudenberger, T., Schmidt, A. (2023): Modeling of heat transfer in tool grinding for multiscale simulations, 19th CIRP Conference on Modeling of Machining Operations, Procedia CIRP 117 (2023), 31. May - 02. June 2023, Karlsruhe, Germany, 25 Seiten.

Denkena, B., Wichmann, M., Wulf, M. (2023): Clustering methods to model complex relations in tool grinding processes, 72nd CIRP General Assembly, 20-26 August 2023, UCD Dublin, 9 Seiten.

Stiehl, T. (2023): KI-Methoden für die Produktion. Leistungsfähigkeit, Grenzen und Voraussetzungen zur Anwendung, Symposium KI für die Produktion: Erkenntnisse, Lösungen, Trends, 19. September 2023, Hannover, 12 Seiten.

Denkena, B., Wichmann, M., Settnik, S. (2023): AI-driven collaborative assistance systems in production planning, CIRP General Assembly, Dublin, Ireland, Aug. 20-26, 2023, 8 Seiten.

Tönshoff, H.K., Klemme, H. (2023): Heat exchangers for liquid-free cooling of rotating shafts, 72nd CIRP General Assembly, Dublin, Ireland, Aug. 20-26, 2023, 39 Seiten.

Breidenstein, B. (2023): Ceramic Cutting Tools: Possibilities and Challenges, DLR – 1st International Workshop for UHTCs and UHT-CM-Cs, 13.-14.07.2023, 30 Seiten.

Finder, J., Möller, H., Schmidt, C., Heimbs, S. (2023): Adapting concrete experimental measurements in a FEM simulation for the development of a novel orthopaedic shoe, Composites 2023 - 9th ECCOMAS Thematic Conference on the Mechanical Response of Composites, Trapani, Sicily, Italy, September 12-14, 2023, 24 Seiten.

Stüven, J.L., Heimbs, S., Schmidt, C. (2023): Stability of double-curved composite structures comprising misaligned fibres, 26th International Conference on Composite Structures & 8th International Conference on Mechanics of Composites, Porto, Portugal, 27-30 June 2023, 17 Seiten.

Konferenz (reviewed)

Denkena, B., Bergmann, B., Raffalt, D. (2023): Manufacturing of graded grinding wheels for flute grinding, The 26th International ESAFORM Conference in Material Forming 2023, Materials Research Proceedings Vol. 28 (2023), 19.-21. April 2023, Krakow, Poland, S. 1213-1222. | DOI: <https://doi.org/10.21741/9781644902479-132>

Denkena, B., Bergmann, B., Wichmann, M., Handrup, M., Katzsch, D., Pillkahn, P., Reuter, L., Schmidt, C., Stelljes, F. (2023): Resource-efficient process chains for the production of high-performance powertrain components in the automotive industry, Manufacturing Driving Circular Economy, Proceedings of the 18th Global conference on Sustainable Manufacturing (2023), 05.-07. October 2022, Berlin, Germany, 8 Seiten. | DOI: <https://doi.org/10.1007/978-3-031-28839-5>

Dänekas, C., Schaumann, P., Ghafoori, E., Heikebrügge, S., Breidenstein, B. (2023): Deep rolling and geometry evaluation of butt welds, 33rd International Ocean and Polar Engineering Conference (ISOPE 2023), June 19, 2023–June 24, 2023, Ottawa, Canada, 7 Seiten.

Denkena, B., Bergmann, B., Pyczak, F., Rackel, M.W., Matthies, J. (2023): Energy reduction in powder atomization by novel production process for recycled titanium electrodes, Proceedings of the 13th Congress of the German Academic Association for Production Technology (WGP), Freudenstadt, November 2023, Production at the Leading Edge of Technology, 10 Seiten.

Dänekas, C., Schaumann, P., Ghafoori, E., Heikebrügge, S., Heide, K., Breidenstein, B. (2023): Development of an automated quality assurance approach for welded joints, Proceedings in civil engineering, ce papers 6 (2023), No. 3-4, Konferenz EUROSTEEL 2023, Amsterdam, S. 2510-2515. DOI: <https://doi.org/10.1002/cepa.2439>

Denkena, B., Klemme, H., Buhl, H. (2023): Feeling spindle for process force measurement in tool grinding, 15th International Conference & Exhibition, Lampamap (2023), 14.-15. March 2023, Edinburgh, UK, 10 Seiten.

Berlin, J., Denkena, B., Klemme, H., Maiss, O., Dowe, M.: (2023): A force-sensitive mechanical deep rolling tool for process monitoring, Production at the Leading Edge of Technology (2023), Proceedings of the 12th Congress of the German Academic Association for Production Technology (WGP), University of Stuttgart, 11.-15. October 2022, Stuttgart, Germany, S. 162-169. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-031-18318-8_17 ISBN: 978-3-031-18318-8

Denkena, B., Klemme, H., Kowalke, D., Korbacher, M., Ottermann, R., Dencker, F., Wurz, M. C.: (2023): Force sensing linear rolling guides based on modified metal strain gauges, 23rd International Conference & Exhibition (2023), 12.-16. June 2023, Copenhagen, Denmark, S. 207-210.

Denkena, B., Klemme, H., Wnendt, E., Meier, M.: (2023): Thermally Induced Clamping Force Deviations in a Sensory Chuck for Thin-Walled Workpieces, 3rd International Conference on Thermal Issues in Machine Tools (ICTIMT 2023), 21.-23. March 2023, Dresden, Germany, S. 192-199. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-031-34486-2_15

Denkena, B., Klemme, H., Zhang, J.: (2023): Latency optimization of magnetic actuator for optics manufacturing, 14th International Symposium on Linear Drivers for Industry Applications (LDIA 2023), Hannover, Germany, June 28-30, 2023, 4 Seiten. DOI: <https://ieeexplore.ieee.org/document/10297491>

Denkena, B., Klemme, H., Stiehl, T.H.: (2023): Failure sensitivity and similarity of process signals among multiple machine tools, 56th CIRP Conference on Manufacturing Systems, CIRP CMS '23, South Africa, Procedia CIRP 120 (2023), S. 922-927. DOI: 10.1016/j.procir.2023.09.101

Wiesener, F., Bergmann, B., Wichmann, M., Eden, M., Freudenberg, T., Schmidt, A.: (2023): Modeling of heat transfer in tool grinding for multiscale simulations, 19th CIRP Conference on Modeling of Machining Operations, Procedia CIRP 117 (2023), 31. May - 02. June 2023, Karlsruhe, Germany, S. 269-274. DOI: 10.1016/j.procir.2023.03.046

Denkena, B., Wichmann, M., Noske, H., Stoppel, D.: (2023): Boundary conditions for the application of machine learning based monitoring systems for supervised anomaly detection in machining, 16th CIRP Conference on Intelligent Computation in Manufacturing Engineering, CIRP ICME '22, Italy, Procedia CIRP 118 (2023), S. 519-524.

Breidenstein, B., Wichmann, M., Voelker, H.: (2023): Marker-free identification of turned, ground and deep rolled workpieces using wavelet transformation, 16th CIRP Conference on Intelligent Computation in Manufacturing Engineering, CIRP ICME '22, Italy, Procedia CIRP 118 (2023), S. 1120-1125.

Denkena, B., Wichmann, M., Wulf, M.: (2023): Clustering of Learning Sub-models for

Quality Prediction in a Resource-Efficient Tool Grinding Process, Proceedings of the 13th Congress of the German Academic Association for Production Technology (WGP), Freudenstadt, November 2023, Production at the Leading Edge of Technology, S. 94-103. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-031-47394-4_10

Islam, R., Wand, A., Röder, Ch., Stamm, S., Dayeg, A., Winter, F., Salaj, L., Noske, H., Denkena, B., Diedrich, Ch.: (2023): Erfahrungsbericht bei der Umsetzung der VWS Type 3 Interaktionen in einer Maintenance-Anwendung, KomMA 2023, Kommunikation in der Automatisierung, 14. Jahreskolloquium, 21./22.11.2023, Magdeburg, 13 Seiten. DOI: <http://doi.org/10.25673/111634>

Friebe, S., Denkena, B., Wichmann, M.: (2023): Fully automated tool path planning for turbine blade repair, 56th CIRP Conference on Manufacturing Systems, CIRP CMS '23, South Africa, Procedia CIRP 120 (2023), S. 9-14. DOI: 10.1016/j.procir.2023.08.003

Bapat, S., Fischer, L., Digwa, C., Malshe, A.P.: (2023): Understanding Frugal Engineering Process for Frugal Innovations: Socially Conscious Designs for Homeless Individuals, A Case Study, 33rd CIRP Design Conference, Procedia CIRP 119 (2023), S. 266-271.

Denkena, B., Heimbs, S., Schmidt, C., Reichert, L., Tiemann, T.: (2023): Automated fiber placement: Modeling the influence of compaction roller properties on manufacturable geometries, SAMPE Europe Conference 2023, 3-5 October 2023, Madrid, Spain, 14 Seiten.

Budelmann, D., Schmidt, C., Meiners, D.: (2023): Measuring techniques for prepreg tackiness: a comparative study, SAMPE Europe Conference 2023, 3-5 October 2023, Madrid, Spain, 13 Seiten.

Konferenz

Denkena, B., Bergmann, B., Schaper, F.: (2023): Untersuchung des Einflusses von Sauerstoff auf das Verschleißverhalten beim Fräsen von Titan, 5. Symposium Materialtechnik, 23.-24. Februar 2023, Clausthal-Zellerfeld, 12 Seiten.

Denkena, B., Bergmann, B., Hansen, N.: (2023): Einfluss einer sauerstofffreien Atmosphäre auf die Schleifkräfte und Werkstückqualität beim Flachsleifen von Ti-6Al-4V, Tagungsband: 5. Symposium Materialtechnik, 23.-24. Februar 2023, TU Clausthal, S. 160-171.

Adelhardt, S., Bärthel, T., Ellersiek, L., Ganzer, G., Denkena, B., Pötschk, J.: (2023): Steigerung der Energieeffizienz bei der Hartmetallherstellung, 41. Hagener Symposium, Pulvermetallurgie mit Fachausstellung Pulvermetallurgie im Wandel – effizient und nachhaltig, 30. November - 1. Dezember 2023, Hagen, 20 Seiten. |

Denkena, B., Bergmann, B., Heller, C.: (2023): Erhöhung der Lebensdauer von Seil-

schleifwerkzeugen durch analytische Betrachtung der thermomechanischen Prozessbelastung, Increase of the tool life of wire grinding tools through analysis of the thermomechanical process load, 16. Internationales Symposium "Konditionierung radioaktiver Betriebs- und Stilllegungsabfälle" einschließlich 16. Statusbericht des BMBF "Stilllegung und Rückbau kerntechnischer Anlagen", KONTEC 2023, 30.08.-01.09.2023, Dresden, 5 Seiten.

Denkena, B., Bergmann, B., Puls, L.: (2023): Kinematische Simulation des Seilschleifens mit deterministisch besetzten Schleifsegmenten für den Rückbau von Kernkraftwerken. Kinematic simulation of diamond wire sawing with deterministically arranged abrasive grains for dismantling of nuclear power plants, 16. Internationales Symposium "Konditionierung radioaktiver Betriebs- und Stilllegungsabfälle" einschließlich 16. Statusbericht des BMBF "Stilllegung und Rückbau kerntechnischer Anlagen", KONTEC 2023, 30.08.-01.09.2023, Dresden, 7 Seiten.

Weber, A., Eichelberger, H., Wienrich, S., Schreiber, P.: (2023): Performance comparison of TwinCAT ADS for Python and Java, 14. Symposium on Software Performance 2023 (SSP 2023), 06 - 08 Nov 2023, Karlsruhe, 3 Seiten.

Möllers, H., Meiners, D., Schmidt, C.: (2023): Einfluss von Sprühbinder auf die Permeabilität von Faserpreforms und deren Betrachtung in Infusionssimulationen, Tagungsband 5. Symposium Materialtechnik, 23. bis 24. Februar 2023, 15 Seiten.

Wesentliche Neuanschaffungen

Kabelloses Roationsdynamometer (Fa. Kistler)



Professor Marc Christopher Wurz, Institutsleiter

Geschichte des Instituts

In seiner mehr als 30-jährigen Geschichte hat das IMPT, vormals imt, verschiedene Fragestellungen im Bereich der Mikrosystemtechnik bearbeitet. Die Schwerpunkte wurden dabei jeweils von den Institutsleitern maßgeblich geprägt. Damit konnte im Laufe der Jahrzehnte ein umfangreicher Erfahrungsschatz aufgebaut und gepflegt werden. Prof. Katzen als Institutsgründer hat mit seiner Erfahrung im Bereich der Magnetik maßgeblich den Grundstock des Instituts gelegt. Dieses Forschungsfeld wurde unter der Leitung von Prof. Rissing dann um den Bereich der Aufbau- und Verbindungstechnik erweitert. Mit der Neuberufung von Prof. Wurz wurde dann der Schwerpunkt Quantensysteme und der zugehörigen Peripherie verstetigt. Durch die interdisziplinäre Arbeitsweise des IMPT ist es sowohl innerhalb als auch über die Fakultätsgrenzen hinaus hervorragend vernetzt. Dabei konnte sich das Institut als verlässlicher Partner im Bereich der Grundlagenforschung als auch in der Entwicklung applikationsspezifischer Anwendungen positionieren. Das Wachstum des Instituts erforderte eine Neustrukturierung. Daher gliedert sich das IMPT seit 2023 in zwei Bereiche. Zum einen in den Bereich „Mikro- und Nanointegration“. In diesem Bereich werden vorrangig Themen applikationsspezifischer Sensorsystemen auf Basis der Dünnschichttechnik und Biomedizin behandelt. Als logische Weiterentwicklung ist die Gruppe „Embedded Systems“ neu entstanden und diesem Bereich zugeordnet worden. Der zweite Bereich „Quantentechnologie“ hat drei Schwerpunkte um ganzheitlich die Miniaturisierung in dem Zukunftsbereich der Quantensysteme voranzutreiben. Die Schwerpunkte bilden dabei die Themenfelder Atomchip-Technologie, Vakuumtechnologie und Optische Technologien. Übergeordnetes Ziel aller Forschungsaktivitäten am IMPT ist es „Enabling Technologie“ für Innovationssprünge zu beforschen.

Aus der Forschung

Das IMPT hat sich zum Ziel gesetzt eine große Fertigungstiefe in seinen Laboren zu betreiben, um sich damit als geeigneter Treiber und Partner zur Bearbeitung von wissenschaftlichen Fragestellungen zu positionieren. Daher beherrscht das IMPT umfänglich die mikrosystemtechnische Prozesskette mit dem Anspruch einer hohen Prozessstabilität und einem gesicherten Prozessverständnis. Hierfür betreibt das Institut einen ISO-5-Reinraum, in dem diese Prozesskette abgebildet ist. Die Strukturgebung erfolgt über verschiedene Lithografie-, Beschichtungs- und Ätzverfahren, die auf einer Vielzahl von Metallen, Gläsern, Halbleitern, Keramiken, flexiblen Werkstoffen und auch Kunststoffen für die Mikrosysteme verwendet werden können. Die Darstellung der Mikro- und Nanostrukturen erfolgt am IMPT über die klassischen Verfahren wie Rasterelektronen- und Rasterkraftmikroskopie, konfokale sowie optische Mikroskopie und Weißlichtinterferometrie. Als weitere Charakterisierungsmethoden für die Materialanalyse stehen sowohl FIB, XPS, EDX, Raman-Spektroskopie zur Verfügung. Die mechanischen Größen auf dieser Skala werden mittels Nanoindentation und in einem Tribometer bestimmt. So können mechanische Kontaktpaarungen bei Temperaturen bis zu 1.000 °C in Inert- bzw. Reaktivatmosphären untersucht werden. Diese Technologiebasis wird stetig erweitert mit dem Ziel diese in den nächsten Jahren auf den technologisch neusten Stand zu bringen. Darüber hinaus ist eine Stärke des Instituts durch eigene applikationsspezifische Aufbauten zu realisieren, um bspw. unter Vakuum zu fügen oder auch mit reaktionsfreudigen Materialien wie Alkalimetallen umgehen zu können.

Neue Sensortechnologien lösen Industrieherausforderungen

Tiefziehsensorik / Das IMPT entwickelt verschiedene anwendungsspezifische Sensorlösungen. Beispielsweise fördert das „Zentrale Innovationsprogramm Mittelstand (ZIM)“ das Folgeprojekt „Tiefziehsensorik: Entwicklung eines robusten induktiven Mikrosensors“. Hier wird in Zusammenarbeit mit den zwei Firmen GDH Metallverarbeitungs GmbH und KI-MA Process Control GmbH an der Weiterentwicklung von induktiver Tiefziehsensorik mit Transformatorprinzip zur Qualitätsüberwachung von Ziehteilen geforscht. Zunächst wurde ein neues Sensorkonzept auf Basis einer FEM-Analyse zur Kontrolle der Qualität der tiefgezogenen Teile sowie Verringerung des Sensorverschleißes während des Prozesses entwickelt. Die Komplexität der Geometrie der Tiefziehteile erfordert dabei einen simultanen Einsatz mehrerer Sensoren. Deren Sensorsignal ergibt sich aus der Position der Tiefziehlechkante über dem planaren Sensor. Derzeit sind die Sensoren bis 100 °C temperaturbeständig und ermöglichen es, verschiedene Metalle sowie Schadensfälle (Riss- oder Faltenbildung) zu erkennen, um zur Reduzierung der Ausschussquote sowie zur Erhöhung der Prozessqualität regulierend eingreifen zu können.

ForceSen / Im DFG-Projekt „Kraftsensitive Führungssysteme auf Basis direktabgeschiedener bauteilindividueller Sensorik“ forscht das IMPT mit dem Institut für Fertigungstechnik und Werkzeugmaschinen (IFW) und den Industriepartnern Fooke und Bosch Rexroth an der Prozessüberwachung von Werk-

zeugmaschinen. Die sensorische Erfassung von Prozesskräften ermöglicht in solchen Anlagen bspw. die Detektion von Prozessfehlern oder Werkzeugbrüchen. Am Beispiel einer Portalfräsmaschine werden aufgrund der hohen Dehnungssensitivitäts- und Genauigkeitsanforderungen neuartige direktabgeschiedene Dehnungsmessstreifen (DMS) eingesetzt. Um eine industrietaugliche Sensorintegration zu erreichen, geschieht die Herstellung auf standardisierten Führungswagen, die das Werkzeug auf Linearprofilschienen bewegen. Anhand von FEM-Simulationen werden optimale Sensorpositionen ermittelt, um Kräfte am Führungswagen mithilfe integrierter Datenvorverstärkung und anschließender Sensordatenfusion aufzunehmen. Die mittels Laserstrukturierung hergestellten DMS-Vollbrücken weisen dabei eine Auflösungsgrenze von unter 50 nm/m auf. Die Anpassung des Sensorlayouts an den individuellen Anwendungsfall ist ein weiterer Vorteil, der diese Technologie attraktiv für Industrieanwendungen macht.

ISIG - Integrierte Sensorik für intelligente Großwälzlager / Auch bei klassischen Maschinenelementen bestehen Potenziale im Hinblick auf deren Lebensdauer und Betriebssicherheit durch Sensorintegration. Ein Condition Monitoring System (CMS) soll einen drohenden Schaden frühzeitig erkennen können. Im Projekt ISiG (Integrierte Sensorik für intelligente Großwälzlager) im Rahmen des DFG-Schwerpunktprogramms 2305 stehen dabei Großwälzlager im Fokus. Dabei werden Dünnschicht-DMS-Arrays und Temperatursensoren durch Kathodenzerstäubung auf Lagerscheiben appliziert, sodass diese im direkten tribologischen Kontakt mit den Wälzkörpern stehen. Intelligent eingesetzt und

ausgewertet können sie den Lagerzustand sicher und präzise feststellen. Sensorsignale im Bereich von 0,1 % durch Verformungen im Hertzchen Kontakt konnten bereits gemessen werden. Die eingesetzte Isolations- und Verschleißschutzschicht verfügt über ausreichend Verschleißbeständigkeit und Haftung auf der Lagerscheibe. Die Integration einer entwickelten Auswerteplatine ermöglicht das frühzeitige Eingreifen einer Regelung bei der Detektion kritischer Betriebszustände.

SilberSinter – Ultraschallunterstütztes Silbersintern von Hochleistungselektronik / Für die Aufbau- und Verbindungstechnik für Leistungselektronik wird mit dem Institut für Dynamik und Schwingungen (IDS) am Prozess des Silberverbindungsinterns geforscht. Ansätze zur Verbesserung der Prozessparameter sind die Verwendung von niedrigschmelzenden Legierungselementen sowie der Einsatz von Ultraschall. Durch deren Kombination konnte bereits eine Steigerung der Scherfestigkeit sowie eine Reduktion der Porosität der gesinterten Fügeverbindungen erzielt werden. Die Zugabe des Legierungselements Zinn ermöglicht eine niedrigere Sintertemperatur und der Einsatz von Ultraschall reduziert die Prozesszeiten bei gleichbleibender Scherfestigkeit der Verbindung. Das Ziel ist außerdem eine Erhöhung der elektrischen und thermischen Leitfähigkeit für den Einsatz in der Hochleistungselektronik. Zur Prozessuntersuchung konnte ein Dünnschichtsensor entwickelt werden, der die Temperaturerhöhung direkt in der Wirkzone des Ultraschalls misst.

Pro-KI - Künstliche Intelligenz in der Produktion / ProKI ist ein Demonstrations- und Transfernetzwerk für den Einsatz von Künstlicher Intelligenz (KI) in der Produktion. Es wird vom Bundesministerium für Bildung und Forschung gefördert. Das Ziel besteht darin, insbesondere kleine und mittelständische Unternehmen (KMU) bei der Einführung von KI in der Produktion zu unterstützen. Dazu werden neben diversen Schulungen und Workshops zum Thema KI auch Demonstratoren entwickelt. Das IMPT unterstützt durch den Demonstrator „Mobile Datenakquise“. Dabei handelt es sich um einen mobilen Messaufbau, der die Auswertung von bspw. nachgerüsteter Dehnungs- und Beschleunigungssensorik oder die Auswertung vorhandener, interner Steuerungsdaten von KMU-spezifischen Anlagen ermöglicht. Aufbauend auf den Daten werden die Herausforderungen und Potentiale zum Einsatz von KI im jeweiligen Unternehmen erarbeitet. Mehr Informationen zu den kostenfreien Schulungen, Workshops oder der Nutzung des Demonstrators bei Ihnen vor Ort finden Sie unter www.proki-hannover.de.

Polygrind - Mechanische Mikrobearbeitung mit flexiblen Werkzeugen / Ein weiteres Forschungsfeld am IMPT sind Mikrowerkzeuge. In einem DFG-Forschungsprojekt werden batchgefertigte, nachgiebige Mikroschleifstifte entwickelt, die in Kombination mit einer elektrochemischen Oxidation der

Bauteiloberfläche höchste Oberflächengüten bei der mechanischen Präzisionsbearbeitung ermöglichen. Die Charakterisierung des Einsatzverhaltens der Schleifwerkzeuge zeigte auf reinen Kupferoberflächen bereits eine deutliche Reduktion der Oberflächenrauheit. Durch eine chemisch oder physikalisch erzeugte, oberflächliche Oxidierung des Kupfers konnte im Anschluss eine weitere Verbesserung der Oberflächengüte erreicht werden. Ein elektrochemischer Oxidationsprozess, der zu Kupferoxidschichten mit besserer Zerspanbarkeit führt, kann mittels einer entwickelten elektrochemischen Kammer direkt in der Werkzeugmaschine durchgeführt werden. Hierdurch können die Oxidation der Kupferbauteiloberfläche und die lokale mechanische Bearbeitung iterativ bis zur gewünschten Oberflächenrauheit durchgeführt werden. Weiterhin wird am IMPT an Mikrofräswerkzeugen geforscht. Die Herstellung erfolgt mittels Trockenätzverfahren aus Siliziumcarbid als Grundmaterial. Mittels Batchprozess lassen sich so mehrere hundert Fräsköpfe gleichzeitig herstellen. Für den Fügeprozess werden verschiedene chemische und mechanische Oberflächenbehandlungen evaluiert, die zu einer besseren Haftung führen sollen. Hier zeigen sich besonders die mechanischen Bearbeitungen als vielversprechend. Als Fügemedium weisen UV-aushärtende Klebstoffe die besten Eigenschaften für eine schnelle und feste Fügung zwischen Fräskopf und Werkzeugschaft auf. Die Platzierung der Fräsköpfe erfolgt durch einen semi-automatischen Pick-and-Place-Prozess, mit dem höchste Genauigkeiten bei der Ausrichtung im einstelligen Mikrometerbereich erreicht werden. Im Anschluss wird der gesamte Prozess dann mit dem Projektpartner auf einen industriellen Maßstab erweitert werden.

Quantentechnologie

Die Quantentechnologie gilt als Schlüsseltechnologie des 21. Jahrhunderts. Dabei steht neben der Grundlagenforschung und der Entwicklung von individuellen Quantensystemen vor allem ein produktionstechnischer Ansatz für den Übergang hin zum kommerziellen Produkt im Vordergrund. Anstatt sich auf ein einzelnes System zu fokussieren, betrachten wir einen ganzheitlichen Ansatz, der neben dem Quantensensor als Kern-Element – z.B. ein Atomchip – auch die Peripherie und das Packaging betrachtet. Dabei umfasst das Thema der Quantentechnologie am IMPT inzwischen auch die Bereiche des Quantencomputings und der Atomuhren. Für den Weg vom Laborbetrieb hin zu einem Endprodukt beispielsweise zur mobilen Anwendung an Bord von Flugzeugen oder Satelliten wird eine Miniaturisierung des Gesamtsystems vorausgesetzt. Die Erfolgsgeschichte der letzten sieben Jahre führte zur Verstärkung der Quantentechnologie am PZH, so dass das IMPT zu dem maßgeblichen Ansprechpartner für mikrotechnologische Quantensysteme in Niedersachsen zählt. Dies spiegelt sich unter anderem in Kooperationen mit dem Institut für Satellitengeodäsie und Inertialsensorik sowie dem Institut für

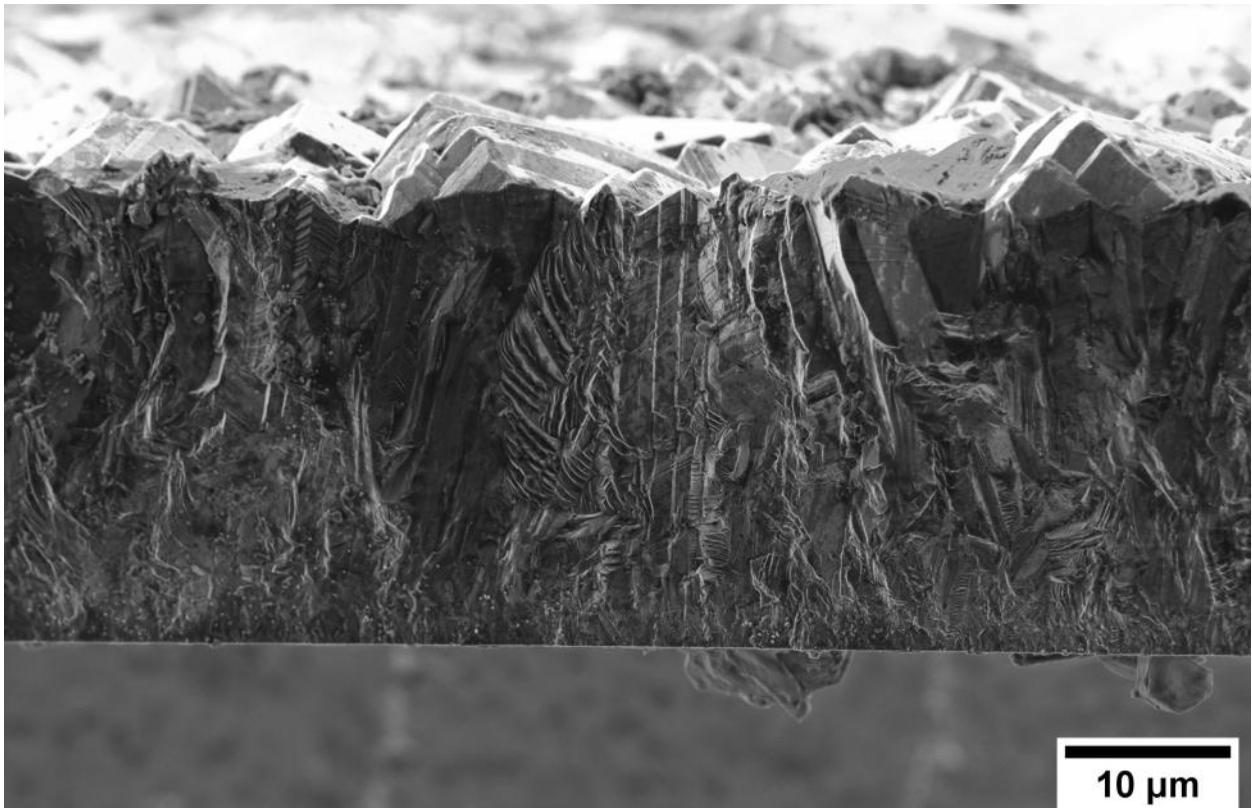
Quantentechnologien des DLR (Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt) wider.

Exzellenzcluster - Quantum Frontiers / Der Exzellenzcluster QuantumFrontiers vereint die Forschungsstärken der Leibniz Universität Hannover, der TU Braunschweig und der Physikalisch-Technischen Bundesanstalt in Braunschweig mit dem Ziel der Entwicklung von neuen Messkonzepten und Sensor-topologien, die auf photonischen Systemen, dedizierten Halbleitersystemen, Nanostrukturen, quanten-manipulierten atomaren und molekularen Ensembles, und sogar makroskopischen Objekten basieren. Das IMPT konzentriert sich dabei schwerpunktmäßig auf die Atominterferometrie und ist mit zwei Arbeitsgruppen involviert.

CARIOQA-GE - Cold Atom Rubidium Interferometer in Orbit for Quantum Accelerometry / Das Projekt CARIOQA-GE befasst sich mit der Untersuchung zur Definition einer Pathfinder-Mission für satellitengestützte, inertialsensitive Atominterferometrie. Die Hauptaufgabe des IMPT im CARIOQA-GE-Projekt besteht in der ausführlichen Evaluierung der gefertigten Atomchip-Systeme, der Identifizierung potentieller Schwachstellen sowie der anschließenden Überarbeitung. Da die Atomchip-Systeme selbst unter UHV-Bedingungen betrieben werden, stellen mikroskopische- und bestimmte messtechnische Analyseverfahren eine Herausforderung dar. Aus diesem Grund wird

das IMPT einen Test-Scienc-Chip (SC-Chip) entwickeln, der über eine Sensorik verfügt, die interne- und externe Einflüsse im laufenden Betrieb überwachen soll. Dieser Test-SC-Chip wird den SC-Chip für Evaluierungsversuche ersetzen. Auf Basis der daraus gewonnenen Erkenntnisse können sowohl Grenzwerte für den Betrieb ermittelt werden als auch notwendige Anpassungen abgeleitet werden. Als Grundlage für diese Tests dient ein initiales Atomchip-System, dass zu Beginn des Projekts entwickelt und gefertigt wird.

AeroQGrav - ABSOLUTE AERO QUANTENGRAVIMETRIE / Im Rahmen des Projekts AeroQGrav sollen die Technologie der Quantengravimetrie an die Bedürfnisse der Fluggravimetrie angepasst werden. Dabei soll ein neuartiges Quantenfluggravimeter - das AeroQGrav - entstehen, welches im Rahmen des Projektes entwickelt und in mehreren Testkampagnen im Flug (und bei Verfügbarkeit ggf. zusätzlich auf Wasser) erprobt werden soll. Das Ziel liegt darin, eine höhere Auflösung und Langzeitstabilität in der Messung der Schwerebeschleunigung zu zeigen. Das IMPT befasst sich mit der Entwicklung und der Herstellung des Atomchip-Systems für AeroQGrav. Dieses System wird zu einem frühen Zeitpunkt zur Verfügung gestellt. Parallel dazu wird die Atomchiptechnologie durch das IMPT anhand von umfangreichen Qualifizierungsmaßnahmen und Langzeittests sowohl im Labor als auch im Rahmen der praktischen Anwendung evaluiert, um



Rasterelektronenmikroskopische Aufnahme der ersten in Hannover hergestellten Diamantschicht Foto: IMPT

das Atomchip-System für eine Kommerzialisierung vorzubereiten. Prozesspläne und Fertigung werden angepasst, um den Übergang von der Prototypenfertigung hin zur robusten Standardkomponente zu vollziehen.

QVLS - 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. Hierbei sind im vergangenen Jahr laserbasierte Fügemethoden in den Fokus der Untersuchungen gerückt und zeigen erste vielversprechende Ergebnisse. 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 der dazugehörigen Quantenkontrollkomponenten (CMOS-Elektronikchip, aktiver photonischer Chip, passiver optischer Interposer) zu verbinden. Das schließt alle Verbindungen zur Außenwelt (Kabel, Fasern) mit ein. Diese Ionenfallen-Packaging-Lösung wird auf Techniken der 3D-Hybridintegration basieren, um das Stapeln und Bonden von Dies aus Keramik-, Glas- und Siliziumsubstraten auf Waferebene zu ermöglichen. In QVLS T3.3 befassen wir uns im Zuge der Miniaturisierung des Vakuumsystems und der für den Betrieb des Quantensensors notwendigen Peripherie mit der Evaluierung des Fügens von Glas auf Titan sowie dem Fügen von Komponenten unter UHV-Bedingungen (themo-kompressiv und anodisch). Ferner sind wir an der Entwicklung einer Pumptechnik beteiligt, die zunächst auf Basis von nicht verdampfenden Gettermaterialien (NEG) ausgeführt werden soll. Weiterhin entwickeln und charakterisieren wir eine Plattform für chip-basierte Atomquellen für die Nutzung in Quantensensoren.

QGyro+ : Entwicklung einer kompakten Experimentalplattform eines gyrostabilisierten Quantennavigations-sensors / In dem Forschungsprojekt QGyro+ werden hochgenaue Quanteninertialsensoren zur Stützung konventioneller Inertialnavigationssensoren entwickelt und getestet. Derartige Systeme, die auch verwendet werden können, wenn herkömmliches GPS nicht zur Verfügung steht, sind insbesondere für Luft-, Raum- und Schifffahrt sowie autonomes Fahren wichtig. Das zentrale Ziel des Vorhabens ist es, einen Sechs-Achsen Quanteninertialnavigationssensor zu entwickeln, mit dem erst-

mals drifffreie und hochgenaue Quanteninertialsensoren für den Einsatz in der autonomen Navigation getestet werden können. Dieser Sensor soll im Projektverlauf als kompakte Experimentalplattform aufgebaut und eingesetzt werden (QINS-Experimentalplattform). Das IMPT übernimmt dabei eine Schlüsselrolle, indem es die Miniaturisierung diverser Systemkomponenten vorantreibt. Zur Erhöhung des Integrationsgrads kommen sogenannte Atomchips, als Bestandteil der magneto-optischen Falle, zum Einsatz, die am IMPT entwickelt und gefertigt werden. Darüber hinaus forscht das IMPT an verschiedensten Technologien, um insbesondere das erforderliche Ultrahochvakuumsystem und die zugehörige Vakuumperipherie zu miniaturisieren. Ein vielversprechender Ansatz zur Aufrechterhaltung des Ultrahochvakuums (UHV) ist dabei das aktive Pumpen des Systems sowie die entsprechende Druckmessung mithilfe von mikrotechnisch gefertigten, magnetfeldfreien Ionengetterpumpen auf Basis von Feldemitterarrays. Die am IMPT entwickelten Feldemitterarrays bestehen dabei aus hunderttausenden nanoskaligen Feldemittern mit jeweils konzentrischen Extraktionselektroden. Diese Elektronenquellen sollen freie Elektronen zur effizienten Restgasionisation zur Verfügung stellen, sodass die ionisierten Restgasatome anschließend an einem funktionalisierten Ionenkollektor gebunden werden können. In Kombination mit neuentwickelten Vakuumkammerkonzepten, die am IMPT mittels additiver Fertigung umgesetzt werden, soll damit langfristig die Vision einer UHV-Mikrokammer mit integrierter Pump- und Messtechnik und Atomchiptechnologie realisiert werden.

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 (UHV) 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 Hochvakuum-pumpen 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

QVLS-iLabs-Q-GALA - Quantum-Gravimeter with Advanced LIDE based Atomchips / Der Einsatz von Glas als transparentes Substrat in der Atomchip-Entwicklung ermöglicht völlig neue Designmöglichkeiten wie die rückseitige Annäherung der Strahlen. Darüber hinaus stellt Glas in den anvisierten Temperaturbereichen einen elektrischen Isolator dar, der zum einen Wirbelströme unterdrückt und darüber hinaus die Verwendung von zusätzlichen, potentiell fehlerhaften Isolationsschichten vermeidet. Aus diesem Grund streben wir die Entwicklung eines Glasbasierten Quantensystems mit dem Atomchip als Kernkomponente für einen Demonstrator an. Neben den funktionalen Eigenschaften, die schon das Silizium-basierte System bietet, erfolgt hier eine Erweiterung um den Part der Photonik durch die aktive Ausnutzung der optischen Eigenschaften von Glas. Neben diesen Vorteilen ergeben sich durch die Verwendung von Glas als Substratmaterial verbesserte Möglichkeiten die Integrationsfähigkeit durch Vias (elektrische Durchführungen) zu verbessern, da das Substrat bereits als Isolator dient. Die Vision besteht in der Weiterentwicklung vom Mikro-Elektro-Mechanischen-System (MEMS) hin zu einem Mikro-Quanten-System (MQS). Dieses MQS dient als Integrationsplattform, in dem alle benötigten Funktionen für den Betrieb eines Quantensystems vereint sind, dazu gehören neben der Kernkomponente (z.B. Atomchip) auch sämtliche peripherischen Systeme. Im Kontext der wirtschaftlichen Serienfertigung wird das sogenannte LIDE-Verfahren der Firma LPKF Laser & Electronics AG aus Garbsen bei Hannover zum Einsatz kommen.

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. Die Lichtwellenleiterfertigung am IMPT erfolgt nach zwei verschiedenen Prinzipien. Entweder nach dem Reflexionsprinzip indem Lichtleiter auf hoch reflektive Dünnschichten aus Gold oder Aluminium aufgebracht werden oder klassisch mittels Refraktion indem Lichtleiter mit Materialien mit niedrigeren Brechungsindizes eingekapselt werden. Beide Verfahren können sowohl lithografisch als auch mit einfacheren Methoden wie beispielsweise Rakeln erfolgen. Zur Erzeugung optischer Gitter können mittels Elektronenstrahlolithografie Strukturen bis in den dreistelligen Nanometerbereich auf Formensätzen, Wafern oder Folien erzeugt werden.

Auf der Grundlage der bisher realisierten Demonstrator-Aufbauten wurde das Design und die Fertigungsverfahren der Lichtwellen angepasst und optimiert, sodass weitere Demonstrator-Systeme lichtführender Wellenleiter, gefügter ungehauener Bauteile sowie Gitterstrukturen erfolgreich gefertigt werden

konnten. Durch eine Erweiterung des Anlagenparks im Rahmen der HARD-Initiative ist nun auch die Lichtwellenleiterfertigung aus den optisch hoch interessanten Materialien Glas und Diamant am IMPT möglich, wodurch interessante Verknüpfungspunkte mit anderen Arbeitsgruppen und Instituten innerhalb des Clusters entstehen werden. Besonders erwähnenswert ist hierbei die Erzeugung von Superkontinuen in Diamant-Lichtwellenleitern in Kooperation mit dem HOT, wofür erste Demonstratorsysteme im produktionstechnischen Kontext in 2023 erfolgreich mikrotechnologisch gefertigt wurden.

MuT - Mädchen und Technik

Ob Ingenieurin oder Softwareentwicklerin – Noch immer ergreifen nur wenige Frauen einen technischen Beruf. Um das Interesse und die Wissbegierde an Technik schon früh bei Schülerinnen zu wecken, hat das IMPT die Veranstaltung „MuT - Mädchen und Technik“ ins Leben gerufen. Am 20.11.23 fand MuT zum 14. Mal im Produktionstechnischen Zentrum Hannover statt. Dieses Jahr nahmen 80 Schülerinnen an dieser Veranstaltung teil. Dank der Unterstützung durch die Region Hannover, dem Hochschulbüro für Chancenvielfalt und der Stiftung IdeenExpo sowie der Zusammenarbeit mit Firmen aus der Region und anderen Instituten und Einrichtungen der Leibniz Universität Hannover standen den Teilnehmerinnen ab der 7. Klasse 12 interessante Projekte zur Auswahl. Dabei konnten Einblicke zur Herstellung von Mikrostrukturen über das Erstellen einer Herzklappe bis hin zum Plasmaschneiden gewonnen werden. Zwischen den Projekten konnten die Schülerinnen unter anderem im Rahmen des MINT-Interviews Frauen aus technischen Berufen zu ihrem Alltag und ihren allgemeinen Erfahrungen in dieser Branche befragen. Hierfür agierten Studentinnen, Auszubildende und FWJlerinnen als Role Models. Ihr technisches Können stellten die Mädchen zudem im Technikwettbewerb unter Beweis. Während des Tages wurden die Schülerinnen durch Studentinnen aus unterschiedlichen Fachbereichen des Ingenieurwesens und der Naturwissenschaften betreut, um die Schülerinnen zu ermutigen, sich mit anderen Frauen zu vernetzen, Fragen zu stellen und Unsicherheiten aus dem Weg zu räumen. Die seit 2018 angebotene Lehrer-Lounge wurde auch in diesem Jahr wieder genutzt, um technische Begeisterung nicht nur bei den Lernenden, sondern auch bei den Lehrenden zu wecken, spannende Experimente für den Schulunterricht kennenzulernen und den Austausch der Lehrenden zu fördern.

31 wissenschaftliche Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter
 11 nichtwissenschaftliche Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter
 40 studentische Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter
 3 Auszubildende
 3 FWJ-ler/in

IMPT 2023

Institut für Mikroproduktionstechnik

Leitung

Prof. Dr.-Ing. Marc Christopher Wurz

Lehre

12 Masterarbeiten, 10 Studienarbeiten und 5 Bachelorarbeiten

Aktuelle Forschung

Arbeitsgruppe Biomedizinische und Magnetische Applikationen

Energieersparnis durch Einsatz multipler autarker Regelsensoren (ENDEMAR)
Verbrauchsreduzierung durch neuartige wartungsfreie Sensoren in Gebäuden und Quartieren durch intelligenten Energiefluss (BMW i)

Gallium Nitride for Advanced Power (GaN4AP):

Entwicklung von Hochleistungstransformatoren auf Galliumnitridbasis zur Leistungssteigerung in Hochleistungselektronik (ECSEL EU)

SFB/TRR 298 Sicherheitsintegrierte und infektionsreaktive Implantate (SIIR):

Teilprojekt B04: Entwicklung einer mikrofluidischen, implantatintegrierten, kontaktlos aktuierten Lösung zur Freisetzung von Pharmazeutika an der Grenzfläche eines dentalen Implantats (DFG)

Arbeitsgruppe Industriennahe Sensorik

Ultraschall-Silbersintern:

Untersuchung der Wirkmechanismen beim ultraschallunterstützten einkomponentigen und mehrkomponentigen Silberverbindungsintern zur Montage von leistungselektronischen Bauelementen (DFG)

SFB 1368 Sauerstofffreie Produktion:

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

SPP2305 Integrierte Sensorik für intelligente Großwälzlager (ISiG):

Sensorintegrierte Maschinenelemente als Wegbereiter flächendeckender Digitalisierung (DFG)

Polygrind:

Entwicklung einer selbstschärfenden Planschleifscheibe mit Abrasivkörnern (17,5 m%) in eine mikrostrukturierte Epoxidharz-Matrixstruktur für Durchmesser von 200 und 400 mm und integrierten Kühlkanälen mit Durchmesser 100 µm (ZIM)

MagDaT II:

Dynamische Magnet-Datenspeicherung auf thermisch gespritzten Schichten (DFG)

Tiefziehsensoren:

Entwicklung eines robusten induktiven Mikro-

sensors zur Präzisen Positionsermittlung von Platinen beim Tiefziehen mit dem Ziel, die Qualität um Komplexität des Bauteils mittels einer intelligenten Regelung zu erhöhen (ZIM)

Force-Sen-Bosch:

Kraftsensitive Führungssysteme auf Basis direktabgeschiedener bauteilindividueller Sensorik (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- und 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)

InnoVaQ:

Entwicklung einer miniaturisierten Vakuumpumpe auf der Grundlage von Feldemissionsquellen aus Silizium und Glas (BMBF)

CARIOQA-GE:

Cold Atom Rubidium Interferometer in Orbit for Quantum Accelerometry (DLR)

CARIOQA-PMP:

Cold Atom Rubidium Interferometer in Orbit for Quantum Accelerometry – Pathfinder Mission Preparation (EU)

AeroQGrav:

Absolute Aero-Quantengravimetrie (BMBF)

QVLS-iLabs-Q-GALA:

Quanten-Gravimeter mit fortschrittlichen LI-DE-basierten Atomchips (FZJ)

MMC:

Metrologic Micro Cells (PTB)

Veröffentlichungen (Auszug)

Beiträge in Zeitschriften

A. Buchta: Herstellung miniaturisierter Ionengetterpumpen am IMPT. *phi - Produktionstechnik Hannover* informiert, Newsletter Nr. 38 / März 2023, ISSN:2198-1922. <https://doi.org/10.48811/phi-23-001>, 2023

E. Müller, R. Ottermann: Mädchen und Technik: Seid MuTig und erlebt Technik hautnah! *phi - Produktionstechnik Hannover* informiert, Newsletter Nr. 40 / September 2023, 2023

C. Wittek: Mikrofräser in Batchfertigung herstellen. *phi - Produktionstechnik Hannover* informiert, Newsletter Nr. 40 / September 2023, <https://doi.org/10.48811/phi-23-012>, 2023

A. Buchta, F. Dencker: Diamantforschung in Hannover: HARD-Projekt nimmt Fahrt auf. *phi - Produktionstechnik Hannover* informiert, Newsletter Nr. 40 / September 2023, 2023

Journal (reviewed)

S. Raugel, K. Barianti, T. Hoang, N. Merkert, F. Dencker, F. Nürnberger, H. J. Maier, M. C. Wurz: Characterization of the tribologically relevant cover layers formed on copper in oxygen and oxygen-free conditions. *Friction* 2023, <https://doi.org/10.1007/s40544-022-0695-5>, 2023

C.-G. R. Wittek, L. Steinhoff, S. Raugel, M. Reißfelder, F. Dencker, M. C. Wurz: Process Development für Batch Production of Micro-Milling Tools Made of Silicon Carbide by Means of the Dry Etching Process. *MDPI, Micromachines* 2023, 14, 580. <https://doi.org/10.3390/mi14030580>, 2023

L. Steinhoff, F. Dencker, M. C. Wurz: Application of batch manufactured flexible micro-grinding tools on copper and oxidized copper surfaces. *Tribologie + Schmierungstechnik*, 70. Jahrgang, 1/2023, <https://doi.org/10.24053/TuS-2023-0002>, 2023

L. Steinhoff, R. Ottermann, F. Dencker, M. C. Wurz: Detailed characterisation of batch-manufactured flexible micro-grinding tools for electrochemical assisted grinding of copper surfaces. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, Springer Verlag, <https://doi.org/10.1007/s00170-023-11876-2>, 2023

B. Denkena, H. Klemme, D. Kowalke, M. C. Wurz, R. Ottermann, M. Korbacher, M. Müller: Sensoren richtig positioniert. *Konstruktion und Entwicklung* (6/23, 30. Jahrgang), S. 42-45, <https://www.konstruktion-entwicklung.de/die-richtige-sensorpositionierung>, 2023

Konferenz (reviewed)

S. Kamrani, R. Ottermann, F. Dencker, M. C. Wurz: Simulation, Manufacturing and Evaluation of a Transformer Eddy-Current Sensor for Deep-Drawing Processes. *SMSI 2023, Sensor and Measurement Science International*,

ISBN: 978-3-9819376-8-8 <https://doi.org/10.5162/SMSI2023/P02>, 2023

B.-A. Behrens, S. Hübner, U. Holländer, A. Langohr, L. Albracht, E. Faramand, S. Raumel, M. C. Wurz: Oxygen-free resistance heating with nitrogen and silane as an energy-efficient heating process for hot stamping. 42nd International Deep Drawing Research Group Conference, <https://doi.org/10.1088/1757-899X/1284/1/012007>, 2023

S. Haderler, Y. Long, R. Ottermann, F. Dencker, J. Twiefel, M. C. Wurz: Influence of Microscale Tin Particles on Mechanical Properties of Silver Sintering Joints with Reduced Processing Parameters. 2023 IEEE 73rd Electronic Components and Technology Conference (ECTC), pp. 676-681, <https://doi.org/10.1109/ECT-C51909.2023.001118>, 2023

B. Denkena, H. Klemme, D. Kowalke, M. Korbacher, R. Ottermann, F. Dencker, M. C. Wurz: Force sensing linear rolling guides based on modified metal strain gauges. Euspen 23rd International Conference & Exhibition, <https://www.euspen.eu/knowledge-base/ICE23258.pdf> -HP, 2023

A. Buchta, A. Kassner, J. Voß, J. Petring, L. Diekmann, F. Dencker, M. C. Wurz: Novel Glass-Silicon Emitter Chip for Field Emission Applications, 2023 IEEE 36th International Vacuum Nanoelectronics Conference (IVNC), pp. 207-209, <https://doi.org/10.1109/IVNC57695.2023.10188880>, 2023

S. Raumel, M. C. Wurz: Sensor inserts on spherical surfaces for temperature measurement in wear contacts. 2023 IEEE SENSORS Proceedings, ISBN: 979-8-3503-0387-2, 2023

S. Haderler, Y. Long, J. Twiefel, M. C. Wurz: Measurement of the Ultrasound induced Temperature Change in an Ultrasonic Assisted Silver Sintering Process. 2023 IEEE SENSORS Proceedings, ISBN: 979-8-3503-0387-2, 2023

Kassner, A., Diekmann, L., Künzler, C., Petring, J., Droese, N., Dencker, F., Heine, H., Abend, S., Gersemann, M., Rasel, E. M., Herr, W., Schubert, C., & Wurz, M. C. (2023): Miniaturized quantum systems for inertial measurement units. in 2023 DGON Inertial Sensors and Systems (ISS) (International Symposium on Inertial Sensors and Systems). <https://doi.org/10.1109/iss58390.2023.10361909>

Wesentliche Neanschaffungen

Diamantreaktoren - Seki DIAMOND SDS6k & SDS6370

Einschreiben Läpp- und Poliermaschine – NanoA-brasives

Oberflächenprofilometer - Bruker DektakXT

Rasterkraftmikroskop - Jupiter XR Oxford Instruments

Reaktive Ionenstrahlätzanlage (RIBE) - SCIA Mill 150

Trennschleifmaschine – DISCO DAD3350

Ultrakurzpulslaserstation – LightFab 3D Printer

Weißlichtprofilometer - Bruker ContourX-200

Zeiss Rasterelektronenmikroskop Supra 55 VP



Über 150 Schülerinnen zu Gast im Produktionstechnischen Zentrum Hannover (PZH): Die Veranstaltung Mädchen und Technik (MuT) 2023. Foto: IMPT/Petring



Professor Hans-Josef Endres, Institutsleiter

Geschichte des Instituts

Gegründet im Herbst 2019 ist das IKK das jüngste PZH-Institut am Campus Maschinenbau. Die MitarbeiterInnen am IKK beschäftigen sich mit der Defossilierung von Kunststoffen, d. h. 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. Kurz gefasst liegen die Forschungsschwerpunkte in folgenden vier Bereichen:

1. Kunststofftechnik
2. Recycling
3. Kunststoffanalytik und Materialprüfung
4. Nachhaltigkeitsbewertung

Das IKK ergänzt mit seiner Kompetenz im Bereich der Polymerwerkstoffe und der Nachhaltigkeitsbewertung das fachliche Profil des PZH.

Aus der Forschung

Zahlreiche Kunststoffprodukte begleiten uns bewusst oder unbewusst in unserem Alltag: Zahnbürsten, Kleidung, Smartphones oder Computer, Haushalts- und Sportgeräte, Möbel oder im Auto. Dort werden Kunststoffe wegen ihrer ausgezeichneten Verarbei-

tungs- und Gebrauchseigenschaften und dem vielfältigen, in weiten Teilen einstellbaren Eigenschaftsprofil eingesetzt. Viele Bereiche wie die Bauwirtschaft, die Medizin oder der gesamten Freizeit-, Transport- und Verpackungsbereich wären ohne Kunststoffe undenkbar. Kunststoffe ermöglichen unseren heutigen Wohlstand und den zukünftigen Fortschritt.

Das ist jedoch nur die eine Seite der Medaille. Auf der anderen Seite wächst durch die kontinuierlich zunehmende, meist lineare Nutzung der Kunststoffe deren negativer ökologischer Impact. Der Einsatz von Erdöl und -gas als Rohstoff für Polymere verbunden mit einer geopolitischen Rohstoffabhängigkeit und die Persistenz der Kunststoffe bei nicht sachgemäßer Entsorgung werden zunehmend zu einem ökologischen Problem. Gleichzeitig geht der Kohlenstoff derzeit bei der Deponierung, dem Littering oder der Verbrennung von Kunststoffen „verloren“.

KREISLAUFWIRTSCHAFT: Mit dem Ausbau des Recyclings von Kunststoffen kann dieses Dilemma gelöst werden. Wird der petrobasierte Kohlenstoff recycelt und damit mehrfach genutzt, nimmt die Ressourceneffizienz deutlich zu sowie die Abhängigkeit vom Erdöl ab und gleichzeitig gelangen weniger Kunststoffe in die Umwelt.

Dazu muss das bisher monetär sehr erfolgreiche Modell der Linearwirtschaft in der Kunststoffindustrie neuen Grundvoraussetzungen folgen: Es geht nicht mehr vorrangig darum, die Ge-



EdelWeissCompounding Technology - Multivariable adaptive Tandem-Extruderlinie. Foto: IKK

brauchs- und Verarbeitungseigenschaften zu optimieren - wie in den letzten 100 Jahren sehr erfolgreich geschehen - sondern um nachhaltigere „End of Life Szenarien“, angefangen beim Material- und Bauteildesign bis hin zur Logistik, den Recyclingtechnologien und dem Wiedereinsatz von Rezyklaten. Es wird uns zunehmend bewusst, dass die vielen vorteilhaften Eigenschaften in der Gebrauchsphase mit einigen Herausforderungen bei der Wiederverwertung der Kunststoffe verbunden sind.

So, wie für Glas, Metall oder Papier ist auch im Kunststoffbereich die konsequentere Einführung einer Kreislaufwirtschaft notwendig. Die Recyclingfähigkeit von kurz- und langlebigen Produkten muss zukünftig genauso zur Material- und Produktperformance gehören, wie die Verarbeitungs- und Gebrauchseigenschaften. Die bisher ausschließlich gewinnmaximierten Produktvarianten sind in den seltensten Fällen deckungsgleich mit den nachhaltigsten Lösungen, da wir die Herstellung der Kunststoffbauteile von der Verantwortlichkeit für deren Wiederverwertung entkoppelt haben. Wenn die Kreislauffähigkeit als weiteres Qualitätsmerkmal beim Produktdesign konsequent mit einfließt, werden wir zukünftig neue, kreislauffähigere Materialkonzepte und Produktlösungen entwickeln.

Dieser Ansatz stellt, in Analogie zu organischen Kreisläufen der natürlichen Polymere, wie Cellulose, Chitin oder Naturlatex, ein technisch regeneratives und damit auch nachhaltigeres und resilienteres System dar, bei dem der petrobasierte Kohlenstoff bzw.

die Kunststoffabfälle, 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 in der Entwicklungs- und Designphase auch die Situation am Ende des ersten Lebenszyklus und die spätere Recyclingfähigkeit konsequent mitberücksichtigt wird (Design for Recycling). Zudem erfolgt ebenso ein Material- und Produktdesign, das den Wiedereinsatz der erzeugten Rezyklate erlaubt (Design for Recyclates). Dies erfordert auf technischer Seite die zuverlässige Bereitstellung hochwertiger und standardisierter Rezyklatqualitäten und die damit verbundene Weiterentwicklung der Kunststoff-Recyclingtechnologien. Dazu müssen

- die Strategien zur effektiveren, recyclinggerechten Aufbereitung von Kunststoffen und Verbundwerkstoffen,
- 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, beispw. mit dem Vorhaben „Entwicklung und Implementierung von Circular-Economy-Konzepten in KMU im Kunststoffsektor“, das auch Möglichkeiten zur Kooperation mit aufgeschlossenen KMU aus dem Kunststoffsektor bietet.

Ein weiterer Ansatz zur Defossilisierung der Kunststoffindustrie ist die Nutzung des biogenen Kohlenstoffs zur Herstellung von biobasierten und bioabbaubaren Kunststoffen. Die Entwicklung und Charakterisierung von Biokunststoffen ist daher ein weiterer Forschungsbereich des IKK.

Über groß angelegte Vorhaben, die über Mittel des Europäischen Fonds für regionale Entwicklung (EFRE) finanziert wurden, wurde eine umfassende Forschungsinfrastruktur am IKK geschaffen, die es ermöglicht, aktuell und zukünftig mehrskalige Analysen aquatischer Abbaumechanismen von Polymerwerkstoffen durchzuführen, die für die Untersuchungen der marinen Abbaubarkeit von Kunststoffen und der Persistenz von Mikroplastik maßgeblich sind.

Durch mehrskalige Aufbauten können die Zusammenhänge zwischen Material/Bauteil (u. a. Oberflächenstruktur, Kunststoffart, Additive, Mikrostruktur) und Umgebungsbedingungen (u. a. Temperatur, Salzgehalt, Sauerstoffverfügbarkeit, Lichteinstrahlung, pH-Wert, Sedimentbewegung, Mikrobiologie) sowie dem Abbauverhalten und den zugrundeliegenden Abbaumechanismen untersucht werden. Die detaillierte Analyse der Abbauprozesse erfolgt auf chemischer und morphologischer Ebene und auch die Abbauprodukte im wässrigen System werden betrachtet.

Mit den flexiblen Möglichkeiten zur kontrollierten, realitätsnahen Nachbildung von natürlichen Umgebungsbedingungen aquatischer Systeme, verbunden mit fortschrittlichen Analyse-Methoden, wird erstmalig die Basis für eine umfassende systematische Erforschung der Abbaumechanismen von Polymerwerkstoffen gelegt. Die Forschungsergebnisse können u. a. dazu dienen, angepasste bzw. neuartige Polymerwerkstoffe mit vorteilhaften (aquatischen) Abbaueigenschaften zu entwickeln, die intendiert, also bewusst in die Umwelt gelangen (z. B. Verschleißschutz von Fischernetzen oder Mähfäden).

Ein weiterer Schwerpunkt des IKK im Bereich des Kunststoffrecyclings stellt die Normierungsarbeit dar. Das IKK leitet zudem im

Rahmen von Normierungsprozessen 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. Als eine Voraussetzung für das „ganzheitliche – auf alle Polymere bezogene“ Recycling hat das IKK gemeinsam mit der Industrievereinigung Kunststoffe e. V. (AKV) eine umfassende Composites-Recycling-Studie herausgebracht.

Auch das Textilrecycling rückt immer stärker in den Fokus der Modebranche, denn die linearen textilen Bereitstellungsketten sowie auch am Ende die Fast Fashion sorgen für wachsende Abfallberge von Kleidung. Im Rahmen des DBU-Projektes „TexKreis - Recyclingprozess zur werkstofflichen Rückführung kunststoffbasierter textiler Produkte in den Kreislauf“ geht es daher um aufbereitungs- und extrusionstechnische Recyclingprozesse, die aus Textil- und Textilverbunden hochwertige und ökologisch nachhaltige Kunststoffrezyklate erzeugen, welche anwendungsspezifisch optimierte Eigenschaften aufweisen. Im Zuge dessen werden thermoplastische Textilabfälle aus Polyurethan/Polyester (TPU/PES)- Mischgeweben und sortenreinen Polyamid (PA) und PES- Geweben betrachtet, für die eine industriell einsetzbare Recyclingtechnologie entwickelt werden soll. Außerdem geht es in dem Vorhaben um die Konzipierung von Prozess- und Aufbereitungstechnologien, die auf andere textile Materialverbände übertragbar sind sowie die normgerechte Charakterisierung der entwickelten Kunststoffrezyklate für eine anschließend schnelle Markteinführung.

Wir beschäftigen uns am IKK allerdings nicht nur mit den In- und Outputs der Kunststofftechnik, sondern auch mit der Effizienz und Optimierung der Prozesse und Recyclingtechnologien an sich. Im Forschungsprojekt „ENK - Energieeffiziente und nachhaltige Produktion von Kunststoffbauteilen“ steht die Verbesserung der Energieeffizienz der Kunststoffrecycling- und Verarbeitungsprozesse im Vordergrund.

19 wissenschaftliche Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter
5 nichtwissenschaftliche Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter
19 studentische Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter
1 Auszubildende
1 FWJ-ler

IKK 2023 Institut für Kunststoff- und Kreislauftechnik

Leitung

Prof. Dr.-Ing. Hans-Josef Endres

Lehre

13 Masterarbeiten, 9 Studienarbeiten
6 Bachelorarbeit

Aktuelle Forschung

TextKreis - Recyclingprozess zur werkstofflichen Rückführung kunststoffbasierter textiler Produkte in den Kreislauf (DBU)

R-Schaum - Circular Economy: Verfahrensentwicklung und prototypische Anwendung zum Recycling von vernetzten Schaumstoffabfällen (DBU)

ENK - Energieeffiziente und nachhaltige Produktion von Kunststoffbauteilen (BMW, Projektträger Jülich)

Entwicklung und Implementierung von Circular-Economy-Konzepten in KMU im Kunststoffsektor (DBU)

ReKon - Recycling-Konzepte für ein hochwertiges mechanisches Recycling bisher nicht recycelbarer Abfallströme technischer Kunststoffbauteile aus den Bereichen Mobilität, Energie, Elektronik- und Elektro-Geräte (E&E) und Gesundheit/Pharma (MWK)

Abbauverhalten von Reifenabrieb in aquatischen Ökosystemen (DBU)

SeaStore: Wiederansiedlung von Seegraswiesen als Beitrag zur Erhöhung der marinen Biodiversität (BMBF, Projektträger Jülich)

BK-Markt „Analyse zum Rohstoff-, Technologie- und Nachhaltigkeitspotenzial biobasierter Kunststoffe 2020 und 2030 für Deutschland“ (BMEL, Projektträger FNR)

Veröffentlichungen

Siehe <https://www.ikk.uni-hannover.de/de/-forschung/publikationen>

Beiträge in Büchern (reviewed)

H.-J. Endres, M. Shamsuyeva (2023): Composites-Recycling Studie, AVK – Industrievereinigung Verstärkte Kunststoffe e. V., Frankfurt am Main ISBN: 978-3-00074-217-0

Beiträge in Zeitschriften/Aufsätze (reviewed)

A. Bhalerao, U. Dueker, M. Weber, A. Eich, C. Lott, H.-J. Endres, R. Nogueira (2023): Bacterial diversity of biofilms on polyhydroxybutyrate exposed to marine conditions: Ex-situ vs. in-situ tests, Science of The Total Environment, Volume 905, 2023, DOI: 10.1016/j.scitotenv.2023.167458

M. Jürgens, K. Hartmann, H.-J. Endres, S. Spierling (2023): Life Cycle Assessment of Higher Education Institutions – Method and Case Study, Journal of Cleaner Production, Volume 430, 2023, DOI: 10.1016/j.jclepro.2023.139649

Mudersbach, M. Jürgens, M. Pohler, S. Spierling, V. Venkatachalam, H.-J. Endres, L. Barner (2023): Life Cycle Assessment in a Nutshell – Best Practices and Status Quo for the Plastic Sector, Macromolecular Rapid Communications, 2023, DOI: 10.1002/marc.202300466

Reulbach, P. Evers, C. Emonde, H. Behnsen, F. Nürnberger, H. Windhagen, E. Jakobowitz (2023): Implications of ageing effects on thermal and mechanical properties of PMMA-based bone cement for THA revision surgery, Journal of the Mechanical Behavior of Biomedical Materials, Volume 148, 2023, 106218, DOI: 10.1016/j.jmbmm.2023.106218, ISSN: 1751-6161

R. R. Nair, A. Schaate, L. F. Klepzig, A. E. Turcios, J. Lecinski, M. Shamsuyeva, H.-J. Endres, J. Papenbrock, P. Behrens, D. Weichgrebe (2023): Physico-chemical characterization of walnut shell biochar from uncontrolled pyrolysis in a garden oven and surface modification by ex-situ chemical magnetization, Clean Technologies and Environmental Policy, DOI: 10.1007/s10098-023-02525-z

R. R. Nair, P. A. Kießling, A. Marchanka, J. Lecinski, A. E. Turcios, M. Shamsuyeva, N. Rajendiran, S. Ganesan, S. V. Srinivasan, J. Papenbrock, D. Weichgrebe (2023): Biochar synthesis from mineral and ash-rich waste biomass, part 2: characterization of biochar and co-pyrolysis mechanism for carbon sequestration, Sustainable Environment Research volume 33, Article number: 14, DOI: 10.1186/s42834-023-00176-9

R. R. Nair, P. A. Kießling, A. Schaate, A. Marchanka, M. Shamsuyeva, P. Behrens, D. Weichgrebe (2023): The influence of sample mass (scaling effect) on the synthesis and structure of non-graphitizing carbon (biochar) during the analytical pyrolysis of biomass, RSC Advances, Issue 20, DOI: 10.1039/D3RA01911J

Konferenzen

C. Emonde, M. Reulbach, P. Evers, H. Behnsen, F. Nürnberger, E. Jakobowitz, H. Windhagen (2023): Influence of fluid uptake on the mechanical and thermal properties of PMMA-based bone cement, The European Orthopaedic Research Society (EORS) 31st Annual Meeting, Porto, Portugal, 27–29 September 2023. Part 2 of 2. DOI: 10.1302/1358-992X.2024.2.033

M. A. R. Harding, A. J. Boyd, S. Siljeström, A. Shivayogimath, H. O. Sorensen, M. Shamsuyeva, P. Aliuos, M. T. Rosing, T. Hassenkam (2023): Analyzing Organic Compounds Trapped within 3.7 Billion Years Old Liquid Inclusions, Goldschmidt 2023 Conference, Lyon, 9.-14. Juli 2023
DOI: 10.7185/gold2023.17018

Wesentliche Neuanschaffungen

Raman-Erweiterung mRage
Wasserstrahlschneidanlage
Sapromat zur Analyse der Abbaubarkeit
120 Mikrokosmen mit Beleuchtung, Temperierung und Sensorik
Wellenkanäle
Tidenhubmesokosmen
TOC-Messgerät
Kahl-Pressen zur Peltierung von Textilabfällen
Wellenzerkleinerer
Cryo-Rasterelektronenmikroskop
Tandem-Extruderlinie



Wasserstrahlschneidanlage Härtel compact Basic, Härtel Laser + Wasser GmbH & Co. KG. Foto: IKK



Foto: Leo Mertz

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 erkenn-

bar: 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 antreibender 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-, abbau-technischen 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.

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. Die zentrale Idee hierbei ist die primär additive Produktionstechnik, die effiziente und ressourcenschonende vollintegrierte optoelektronische Systeme ermöglicht. Dabei werden diverse drucktechnische Produktionsverfahren und die entsprechend notwendige Aufbau- und Verbindungstechnik erforscht, die industriell realisierbare Lösungen berücksichtigt.

Im Jahr 2019 startet der neu geschaffene Exzellenzclusters PhoenixD. Das ITA wird als eines der drei Sprecherinstitute die Forschung zu der additiven Fertigung optischer Systeme koordinieren. In Zuge dessen wird vollintegrierte Quantenkryptographie auf planaren Glassubstraten erforscht, um die Sicherheit einer optischen Datenübertragung zu erhöhen.

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. Im 3D-Mehrlagendruck (3D-MLD) Projekt wird der Einsatz der additiven Fertigung zur generativen Erzeugung mehrlagiger elektronischer Schaltungen auf räumlichen Schaltungsträgern untersucht.

PRODUCTION IN SPACE / Der Forschungsbereich Production in Space ist eine Kooperation zwischen dem Institut für Transport- und Automatisierungstechnik, dem Institut für Quantenoptik und der QUEST Leibniz Forschungsschule, er ist als Arbeitsgruppe im Hannover Institute of Technology (HITec) untergebracht und neben der Durchführung eigener Forschung auch mit der Betreuung externer Experimente im Einstein-Elevator betraut. Bei dem Einstein-Elevator handelt es sich um einen weltweit einzigartigen, 40 Meter hohen Fallturm der dritten Generation, welcher es ermöglicht, Experi-

mente unter Schwerelosigkeit/Mikrogravitation sowie partieller Gravitation mit hoher Wiederholrate für große wissenschaftliche Nutzlasten durchzuführen.

Die Arbeitsgruppe befasst sich mit vier Kernthemen:

1. (Produktions-)Technik für den Einsatz im Weltraum,
2. physikalische Grundlagenforschung,
3. Weiterentwicklung der Anlage und
4. Servicebetrieb für externe Forschende.

Ein Schwerpunkt stellt die Forschung an verschiedenen Produktionsverfahren unter speziellen Schwerebedingungen, wie sie beispielsweise auf Mond, Mars und im Weltraum vorherrschen, dar. Zu den Forschungsthemen gehören u.a. gravitationsfreies Drucken von pulverförmigen Materialien und die Erforschung neuartiger Handhabungs- und Transporttechniken für den Materialtransport unter verschiedenen Schwerebedingungen.

Der zweite Themenschwerpunkt stellt die physikalische Grundlagenforschung auf dem Gebiet der quantenbasierten, atominterferometrischen Sensoren dar. Hier werden Quanteneffekte für die Entwicklung neuartiger Messsysteme für den Einsatz z.B. in zukünftigen Weltraummissionen untersucht. Gemeinsam mit den Kollegen aus dem Institut für Quantenoptik, der QUEST Leibniz Research School und dem neuen DLR-Institut für Satellitengeodäsie und Inertialsensorik werden neuartige Quantensensoren für geodätische Anwendungen sowie die Grundlagen für eine hochpräzise Vermessung von Erde und Weltraum entwickelt. Anschließend werden diese im Einstein-Elevator getestet.

Des Weiteren beschäftigt sich die Arbeitsgruppe mit der stetigen Weiterentwicklung der Anlage u.a. hinsichtlich der Qualität der Restbeschleunigung. Neben der Bewirtschaftung der Anlage und der Räumlichkeiten ist auch die Koordination externer Forschender eine Aufgabe der Arbeitsgruppe. Im Rahmen eines DFG-Gerätezentrum steht die Anlage anderen WissenschaftlerInnen offen. Durch diese entstehen Einblicke in viele interessante Forschungsgebiete und Kontakte zu internationalen Institutionen und Kooperationen.

19 wissenschaftliche Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter
 7 nichtwissenschaftliche Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter
 31 studentische Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter

Leitung

Prof. Dr.-Ing. Ludger Overmeyer

Lehre

11 Masterarbeiten, 10 Studienarbeiten,
 14 Bachelorarbeiten

Aktuelle Forschung

Future Conveyor Drive

Bei der weltweiten Gewinnung von Rohstoffen durch berg- und tagebauliche Maßnahmen zeichnen sich Gurtförderanlagen zum Schüttguttransport durch ihre hohe Leistungsfähigkeit und Wirtschaftlichkeit gegenüber alternativen Transportverfahren aus. Bereits heute können mit einzelnen Anlagen Förderdistanzen von bis zu 25 km sowie Förderleistungen von bis zu 40.000 t/h realisiert werden. Trotz dieser erreichbaren Leistungen stehen Anlagenbetreiber und -bauer vor den zukünftigen Herausforderungen von noch größeren Förderdistanzen und -volumina und insbesondere auch einer höheren Flexibilität z. B. hinsichtlich der Verrückbarkeit von Anlagen. Aktuelle Bestrebungen diesen Anforderungsänderungen zu begegnen bestehen in der Installation von Zwischenantrieben sowie dem Einsatz von Fördergurten mit sehr hoher Zugfestigkeit. Sämtliche dieser Bestrebungen können allerdings das aktuelle Problem der räumlichen Trennung zwischen der Entstehung von Bewegungswiderständen und deren Überwindung nicht aufheben. Somit können die aktuellen Bestrebungen langfristig nicht die Anforderungsänderung antizipieren.

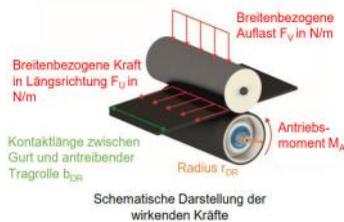


Abb. 1: Wirkweise antreibender Tragrollen

Zur Lösung des Problems wurde im Rahmen vorhergehender Forschungsvorhaben ein neues Antriebskonzept zur Instandhaltungs- und Energiekostenreduktion für Gurtförderanlagen erarbeitet und validiert. Hierbei erfolgt eine lokale Reduktion auftretender Bewegungswiderständen durch ebenfalls lokal eingebrachte Antriebskräfte auf Grundlage von antreibenden Tragrollen.

Im Forschungsvorhaben „Future Conveyor Drive“ soll nun eine Gesamtsystems simulation bestehend aus Gurtförderanlage, Antriebstechnik, Steuerungstechnik sowie Anlagenumgebung entwickelt werden um zum einen Handlungsempfehlungen für die optimierte Gurtförderanlagenauslegung basierend auf antreibenden Tragrollen abzuleiten als auch das

monetäre und ökologische Optimierungspotenzial dieser neuen Antriebstechnologie zu verifizieren.

Förderung durch: AIF, IFL

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 Sicht Einschränkungen 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 Sy-

stems, welches die Sicherheit und Entscheidungsfähigkeit des Fahrers maßgeblich verbessert.

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. Im Rahmen des Exzellenzclusters ist für die weitere Erforschung vielseitiger Druckverfahren für Mikrostrukturen das Großgerät NSM Challenger 650 beschafft worden. Diese Druck- und Beschichtungsanlage ermöglicht die Kombination von Flexo- und Tiefdruck sowie Schlitzdüsenbeschichtung und Kaltlamination, sodass folienbasierte optische Systeme erzeugt werden können (siehe Abbildung). Förderung durch: DFG im Rahmen der Exzellenzstrategie des Bundes und der Länder innerhalb des Exzellenzclusters PhoenixD

DIGITRUBER – Data Mining und KI zur optimierten prozessübergreifenden Steuerung

Im Rahmen des Verbundprojektes „Digitale Kautschukverarbeitung – Am Beispiel Extrusion“ (DIGITRUBBER) wird durch die Kombination von neuen Messtechnikansätzen, klassischer Modellbildung und maschinellem Lernen eine Online-Charakterisierung der verarbeiteten Kautschukmischung entwickelt. Dadurch soll eine Produktion am Qualitätsoptimum bei gleichzeitiger Verringerung des Ausschusses sichergestellt werden.

Förderung durch: BMBF

OptiK-Net

Das Projekt OptiK-Net umfasst die Möglichkeit flexible optische Leiterstrukturen anwendungs- und industriennah in den Herstellungsprozess konventioneller Leiterplatten zu integrieren. Optische Wellenleiter in



elektronischen Strukturen gelten in der Industrie als schwer umsetzbar, jedoch weisen sie erhebliche Vorteile und Gestaltungsspielräume gegenüber Leiterplatten mit rein elektrischen Leiterbahnen auf. Insbesondere ihre hohe Bandbreite und geringe Störanfälligkeit ermöglichen neue Lösungen in Kommunikationsnetzwerken. Im Projekt OptiK-Net werden Herausforderungen, die die derzeitige industrielle Anwendung hemmen, adressiert, indem eine exemplarische Prozesskette zur Herstellung einer optoelektronischen Starr-Flex-Leiterplatte realisiert wird. Innerhalb dieser Prozesskette werden zwei neuartige Ansätze verfolgt: der Direktdruck der optischen Wellenleiter und die direkte Integration dieser in elektrische Leiterplatten. Für den Direktdruck der optischen Wellenleiter werden der Flexodruck, Tiefdruck und Siebdruck als konventionelle Druckverfahren betrachtet. Diese Verfahren ermöglichen einen hohen Durchsatz gleichartiger Wellenleiterstrukturen, sodass sie bezüglich ihrer Qualität und Eignung als industrieller Prozess bewertet werden können. Durch die Integration in einen Starr-Flex-Verbund kann die Kommunikation entkoppelter elektrischer Schaltungen realisiert werden. Förderung durch: BMBF

3D-Mehrlagendruck von 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

3D-MosquitOprint

3D-MosquitOprint untersucht die Integration von optisch transparenten Wellenleitern in Kavitäten auf räumlichen Schaltungsträgern. Das Herstellungsverfahren basiert auf der Mosquito-Methode bei der in ein flüssiges Mantelpolymer ein lichtleitender Kern hinein dispensiert wird. Anschließend wird die Struktur mittels UV-Licht ausgehärtet. Für die Verwendung als elektrooptischen Hybridbauteilen wird außerdem an einer effizienten Kopplung zwischen hergestellten Wellenleitern und Dioden geforscht. Dafür werden die Stirnflächen präpariert und mit Dioden bestückt. FÖRDERUNG: AiF (IGF)

Experimentträger für den Einstein-Elevator

Ein zukünftig wichtiger Bestandteil des Einstein-Elevators am Hannover Institute of Technology (HITec) ist ein Experimentträger, der für den Einsatz in der Gondel des Einstein-Elevators konzipiert ist. Im Auftrag des Instituts für Satellitengeodäsie und Inertialsensorik des Deutschen Zentrums für Luft- und Raumfahrt (DLR-SI) wird vom Institut für Transport- und

Automatisierungstechnik (ITA) ein schwingungsarmer Träger entwickelt, aufgebaut und getestet. Ziel ist es mithilfe des Trägersystems verschiedenste Experimente unter höchster Qualität der 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

Hannoversches Zentrum für Mikrogravitationsforschung

Im Fokus des DFG-geförderten Gerätezentrum „Hannoversches Zentrum für Mikrogravitation“ steht die Etablierung einer administrativen Service- und Managementstruktur für den Einstein-Elevator. Dadurch soll eine effektive Nutzung des Einstein-Elevators für externe WissenschaftlerInnen ermöglicht werden. Förderung durch: DFG

AKUS: Aktivität von Kometen unter partieller Schwerkraft

Kometenaktivität, welche in diesem Fall den Auswurf von Staub von der Oberfläche bezeichnet, kann zwar im Labor nachgestellt werden, jedoch überlagert die mehr als tausendfache Erdgravitation die auf Kometen vorherrschende Schwerkraft. Mit Hilfe des Einstein-Elevators soll die Möglichkeit geschaffen werden, Experimente unter kometenähnlichen Bedingungen durchzuführen. Förderung durch: DLR

DESIRE: Atom-interferometrische Suche von Quellen dunkler Energie unter Schwerelosigkeit

Das Verbundprojekt DESIRE nutzt den Einstein-Elevator als Mikrogravitationsplattform für die atominterferometrische Suche nach Chamäleon-Feldern. Hierfür soll die Apparatur MAIUS-A umgebaut werden und mit einer speziellen Testmasse im Einstein-Elevator zum Einsatz kommen. Förderung durch: DLR

LEMAQUME: Levitierte Magnete für die Quantenmetrologie

In diesem Projekt wird auf eine systematische Untersuchung von Sensoren abgezielt, die auf levitierten Mikromagneten basieren und es ermöglichen ultraniedrige Drehmomente und Magnetfelder zu messen um somit eine noch nie dagewesene Energieauflösung zu demonstrieren. Förderung durch: DFG/QuantERA II ERA-NET Cofund in Quantentechnologien

LMD in µg: Laserschmelzen von extraplanetarem Gestein unter Mondbedingungen

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

INTENTAS

In diesem Projekt wird die Verschränkung von Atomen in Mikrogravitation mit Hilfe eines robusten und kompakten atomaren Sensors gemessen. Das Hauptziel ist die Demonstration einer interferometrischen Sensitivität jenseits des Standard-Quantenlimits in Schwerelosigkeit. Förderung durch: DLR

Veröffentlichungen (Auszug)

Zeitschriften/Aufsätze (reviewed)

Budde, L.; Biester, K.; Coors, T.; Yusuf Faqiri, M.; Lammers, M.; Hermsdorf, J.; Hassel, T.; Pape, F. Overmeyer, L. (2023): Influence of shielding gas coverage during laser hot-wire cladding with high carbon steel. *Int J Adv Manuf Technol* 127, 3195–3207; DOI 10.1007/s00170-023-11350-z

Budde, L.; Schwarz, N.; Hermsdorf, J.; Kai-erle, S.; Overmeyer, L. (2023): Application of the ABA cladding technique to a wire based laser cladding process. *J. Laser Appl.* 35, 042043 (2023); DOI 10.2351/7.0001115

Demke, T. M.; Emminghaus, N.; Overmeyer, L.; Kai-erle, S.; Klose, C.; Thürer, S. E.; Denkena, B.; Bergmann, B.; Schaper, F.; Nyhuis, P.; Kuprat, V. K. (2023): Approach for the monetary evaluation of process innovations in early innovation phases focusing on manufacturing and material costs. *Production Engineering Research and Development*; DOI 10.1007/s11740-023-01223-5

Jütte, L.; Poschke, A.; Overmeyer, L. (2023):

Marker-based registration error estimation in see-through AR applications, *Proceedings Volume 12665, Novel Optical Systems, Methods, and Applications XXVI*; 126650F (2023); DOI 10.1117/12.2676355

Leffers, L.; Roth, B.; Overmeyer, L. (2023):

Evaluation of polymer-based eccentric FBG bending sensor for humidity, strain, temperature and torsion, *Optics and Lasers in Engineering*, Volume 166, 2023; DOI 10.1016/j.optlaseng.2023.107568

Merkel, P.; Budde, L.; Grajczak, J.; Nowroth, C.; Prasanthan, V.; Kriwall, M.; Lammers, M.; Nothdurft, S.; Hermsdorf, J.; Tiefel, J.; Overmeyer, L.; Kai-erle, S.; Wallaschek, J.; Breidenstein, B.; Behrens, B.-A.; Stonis, M. (2023): Feasibility study for the manufacturing of hybrid pinion shafts with the cross-wedge rolling process. *Int J Mater Form* 16, 45; DOI 10.1007/s12289-023-01761-4

Nagli, M.; Koch, J.; Hazan, Y.; Levi, A.; TERNYAK, O.; Overmeyer, L.; Rosenthal, A. (2023): High-resolution silicon photonics focused ultrasound transducer with a sub-millimeter aperture, *Optics Letters* Vol. 48, Issue 10, pp. 2668-2671; DOI 10.1364/OL.486567

Niels, J.; Abt, M.; Küster, B.; Overmeyer, L. (2023): Optimierung optischer Absolutdrehwinkelmessungen durch verbesserte Codierungen, *tm - Technisches Messen*, vol. 90, no. 6, pp. 355-365; DOI 10.1515/teme-2022-0077

Overmeyer, L.; Jütte, L.; Poschke, A.; (2023): A real-time augmented reality system to see through forklift components, *CIRP Annals*; DOI 10.1016/j.cirp.2023.03.010

Raudonis, M.; Roura, A.; Meister, M.; Lotz, C.; Overmeyer, L.; Herrmann, S.; Gierse, A.; Laemmerzahl, C.; Bigelow, NP.; Lachmann, MD.; Piest, B.; Gaaloul, N.; Rasel, EM.; Schubert, C.; Herr, W.; Deppner, C.; Ahlers, H.; Ertmer, W.; Williams, JR.; Lundblad, N.; Wörner, L. (2023): Microgravity facilities for cold atom experiments, *Quantum Science and Technology*, Vol. 8, Nr. 2, S. 044001; DOI 10.1088/2058-9565/ace1a3

Rezaei, H. S.; Hinkelmann, M.; Neumann, J.; Kracht, D.; Overmeyer, L. (2023): Hybrid aerosol jet μ -stereolithography additive manufacturing for fabrication of multi-material polymer step-index optics, *Optical Engineering*, Vol. 62, Issue 9, 095105; DOI 10.1117/1.OE.62.9.095105

Sperling, R.; Raupert, M.; Lotz, C.; Overmeyer, L. (2023): Simulative validation of a novel experiment carrier for the Einstein-Elevator, *Scientific Reports* 13, 19366 (2023); DOI 10.1038/s41598-023-46483-4

Sundermann, L.; Leineweber, S.; Klie, B.; Wittek, H.; Ebel, T.; Reitz, B.; Ottink, K.; Graf, M.; Lankenau, T.; Overmeyer, L.; Giese, U. (2023): Tailoring the Curing Kinetics of NBR-Based Rubber Compounds for Additive Manufacturing of Rod Seals, *Fortschritte in der Polymer-technologie*, Bd. 2023, Artikel-ID 7343194; DOI 10.1155/2023/7343194

Zeitschriften/Aufsätze

Brede, S.; Küster, B.; Overmeyer, L. (2023): Semi-automated method for reviewing 3d printing datasets, *Journal of Production Systems and Logistics* 3; DOI 10.15488/14297

Lotz, C.; Piest, B.; Rasel, E.; Overmeyer, L. (2023): The Einstein-Elevator: Space Experiments at the new Hannover Center for Microgravity Research, *Europhysics News*, Volume 54, Number 2, 9-11; DOI 10.1051/ePN/2023201

Lukas, M.; Leineweber, S.; Overmeyer L. (2023): Künstliche Intelligenz und Data-Mining in der Kautschukextrusion, *phi - Pro-*

duktionstechnik Hannover informiert, Newsletter Nr. 39; DOI 10.48811/phi-23-006

Konferenz (reviewed)

A. Seel, F. Kreuzjans, B. Küster, M. Stonis and L. Overmeyer (2023): Dueling Double Deep Q-Network for indoor exploration in factory environments with an unmanned aircraft system, 22nd International Symposium INFO-TEH-JAHORINA (INFOTEH), East Sarajevo, Bosnia and Herzegovina, pp. 1-6; DOI 10.1109/INFOTEH57020.2023.10094171

Düsing, J. F.; Koch, J., Marques da Silva, M.; Kiesling, C.; Kober, M.; Gasperlmaier, T., Hager, G.; Jäschke, P.; Overmeyer, L.; & Kaierle, S. (2023): Laser Patterning of Thin Film Sensors on Bearing Shells, Abstract from 24th International Symposium on Laser Precision Microfabrication, Hirosaki, Japan

Evertz, A.; Fütterer, L.; Fritze, AL.; Reitz, B.; Overmeyer, L. (2023): Rotative printing processes for polymer waveguide manufacturing, *Optifab 2023*

Fütterer, L.; Olsen, E.; Overmeyer, L.; Hohenhoff, G.; Kaierle, S.; Doll, T.; Pott, P.-C. (2023): Microdispenser 3D Printing, *Transactions on Additive Manufacturing Meets Medicine Trans. AMMM*, 2023, Vol. 5, No 1, Suppl. 1, Article ID 844; DOI 10.18416/AMMM.2023.2309844

Leffers, L.; Roth, B.; Overmeyer, L. (2023): Characterisation of a polymer-based eccentric FBG 3D shape deformation sensor, *Proceedings Volume 12417, Optical Components and Materials XX*; 1241707; DOI 10.1117/12.2647687

Leffers, L.; Roth, B.; Overmeyer, L. (2023): Polymer-optical sensor glove prototype based on eccentric FBGs, *Proc. SPIE 12417, Optical Components and Materials XX*, 124170T; DOI 10.1117/12.2647682

Leineweber, S.; Reitz, B.; Overmeyer, L.; Klie, B.; Giese, U. (2023): Vulcanization of an IR/BR-copolymer using a CO₂-laser as inline-curing method for additive manufacturing of rubber-based parts, Presented at the 204th Technical Meeting Rubber Division, ACS International Elastomer Conference in Cleveland, Ohio

Lukas, M.; Leineweber, S.; Reitz, B.; Overmeyer, L.; Aschemann, A.; Klie, B.; Giese, U. (2023): Data Mining-Enabled Temperature Control for Sustainable Production in Rubber Extrusion Lines: An Artificial Neural Network-Based Approach, *WGP 2023: Production at the Leading Edge of Technology* pp 539-549; DOI 10.1007/978-3-031-47394-4_52

Lukas, M.; Leineweber, S.; Reitz, B.; Overmeyer, L.; Aschemann, A.; Klie, B.; Giese, U. (2023): Minimizing Temperature Deviations in Rubber Extrusion Lines using Artificial Neural Network based Process Control, Pre-

sented at the 204th Technical Meeting Rubber Division, ACS International Elastomer Conference in Cleveland, Ohio

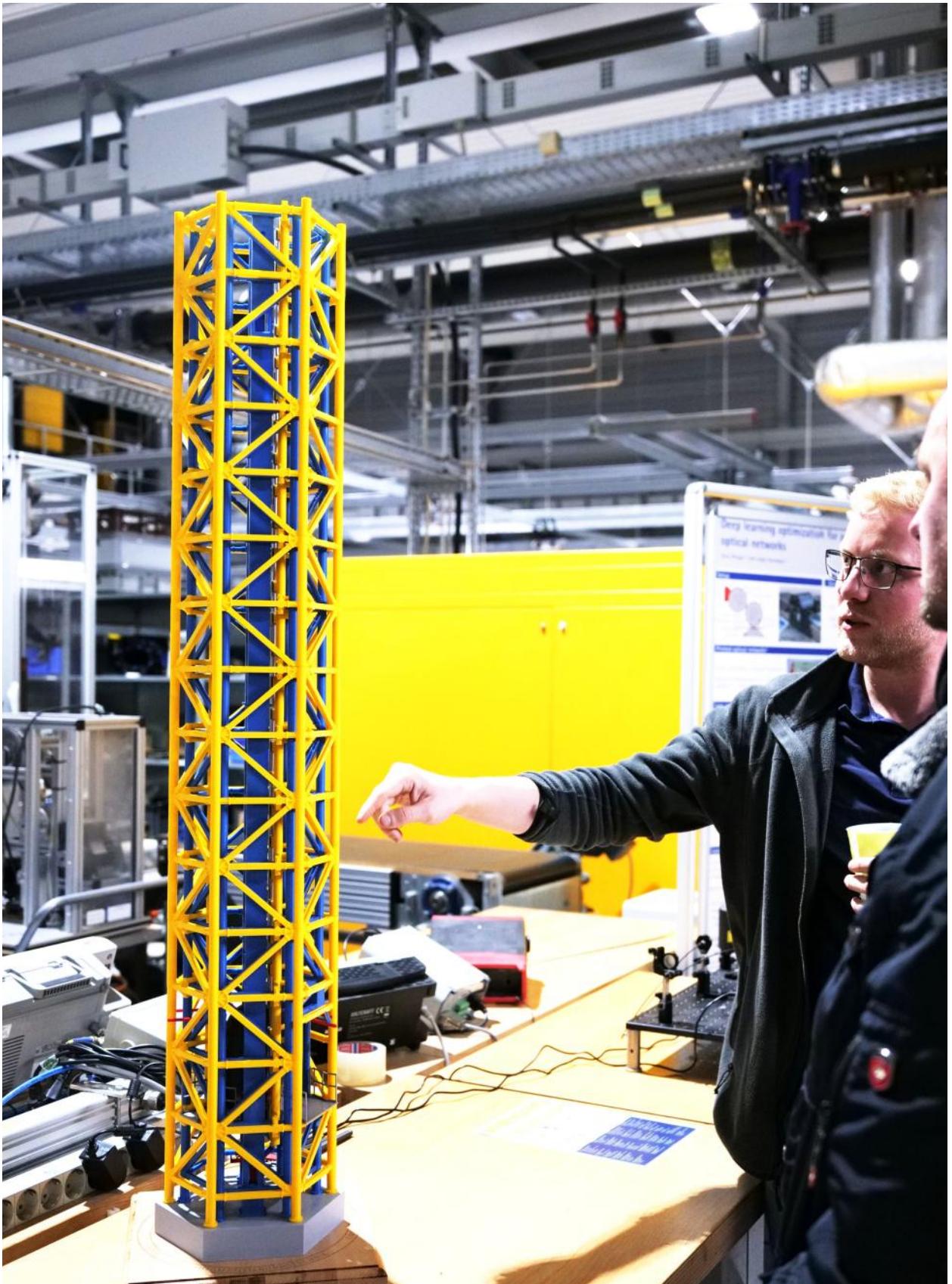
Rathje, R.; Witt, R.; Knott, A. L.; Küster, B.; Stonis, M.; Overmeyer, L.; Schmitt, R. H. (2023): Quality Monitoring Procedure in Additive Material Extrusion Using Machine Learning, Masci, P., Bernardeschi, C., Graziani, P., Koddenbrock, M., Palmieri, M. (eds) *Software Engineering and Formal Methods. SEFM 2022 Collocated Workshops. SEFM 2022. Lecture Notes in Computer Science*, vol 13765. Springer, Cham; DOI 10.1007/978-3-031-26236-4_8

Raupert, M.; Tahtali, E.; Sperling, R.; Heidt, A.; Lotz, C.; Overmeyer, L. (2023): Challenges in the development of the Laser Metal Deposition process for use in microgravity at the Einstein-Elevator, *Lasers in Manufacturing Conference 2023*; DOI 10.15488/15680

Zander, C.; Fütterer, L.; Olsen, E.; Hohenhoff, G.; Jäschke, P.; Kaierle, S.; Overmeyer, L. (2023): Characterization of polymer waveguides in cavities on 3D substrates manufactured using the Mosquito method, *Lasers in Manufacturing Conference 2023*

Beiträge in Büchern

Janson, N., Abt, M.; Küster, B.; Overmeyer, L. (2023): Optimierung optischer Absolutdrehwinkelmessungen durch verbesserte Codierungen, *tm - Technisches Messen*, vol. 90, no. 6, 2023, pp. 355-365; DOI 10.1515/teme-2022-0077



Der Einstein-Elevator als Modell auf der Nacht des Maschinenbaus. Foto: Fakultät für Maschinenbau



Professorin Annika Raatz, Institutleiterin

Geschichte des Instituts

10 Jahre match! Das Institut für Montagetechnik und Industrierobotik wurde 2013 zeitgleich mit der Berufung von Annika Raatz als Institut für Montagetechnik an der Leibniz Universität gegründet und feierte damit 2023 sein zehnjähriges Bestehen. Gleichzeitig erfolgte die Erweiterung des Institutsnamens, um die Forschungsschwerpunkte und Kompetenzen im Bereich der Industrierobotik auch in der Namensgebung sichtbar zu machen.

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 und Industrierobotik die am PZH abgebildete Prozesskette der Produktionstechnik.

Die wichtigsten 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 20 wissenschaftlichen Mitarbeitenden an Lösungen für Fragestellungen der modernen Industrie geforscht. Das Institut ist damit auch 2023 weiter gewachsen und wird diesen Trend dank vieler erfolgreicher Forschungsanträge und Industrieprojekte auch 2024 fortsetzen. Im vergangenen Jahr war das match unter anderem mit fünf Teilprojekten an vier Sonderforschungsbereichen (SFB) und Transregios (TRR) beteiligt. Im SFB „Sauerstofffreie Produktion“ und dem TRR „Additive Fertigung im Bauwesen“ konnten das match und die Projektpartner mit erfolgreichen ersten Förderperioden überzeugen und erhielten jeweils Förderungen für weitere vier Jahre. Im SFB „Tailored Forming“ setzt das match seine Forschung zur flexiblen Handhabung schmiedewarmer Bauteile in der dritten und letzten Förderperiode fort und forscht gleichzeitig an Methoden zur Steigerung der Ressourceneffizienz der Fertigungsprozesskette von Tailored-Forming-Bauteilen. In Kooperation mit Forschenden von der RPTU Kaiserslautern-Landau forscht das match außerdem zukünftig im Bereich der additiven Fertigung von hybriden porösen Hochleistungskomponenten an Themen der modellbasierten Bahnplanung. Mit der Fertigstellung des Forschungsbaus „SCALE - skalierbare Produktionssysteme der Zukunft“ stehen dem match direkt am Campus Maschinenbau in Garbsen neue Versuchsflächen für die mobile Robotik zur Verfügung. Im Zusammenspiel mit der von der DFG geförderten Anschaffung von vier mobilen Roboterplattformen können bisher nur simulativ oder im kleinen Maßstab untersuchte Methoden nun auch praxisnah experimentell validiert werden. Das match unterstützte außerdem in zahlreichen bestehenden und neu entstandenen Kooperationen Unternehmen aus Industrie und Mittelstand mit innovativen Lösungen im Bereich der Robotik und Handhabung sowie bei der Optimierung von Produktionsprozessen.

Neben Kooperationen mit anderen deutschen Forschungseinrichtungen und Unternehmen hat das match 2023 auch eine Partnerschaft zur Nationalen Technischen Universität der Ukraine „Kiewer Polytechnisches Institut Ihor Sikorskyj“ (KPI) aufgebaut. Das Ziel ist es, die Zusammenarbeit in Forschung und Lehre durch gemeinsame Projekte sowie den Austausch von Studierenden und Forschenden zwischen match und KPI zu fördern. 2023 waren bereits zwei Studentinnen und eine Doktorandin aus Kiew zu Gast am match und forschten zu Themen der Soft Material Robotics. In den kommenden drei Jahren wird die Kooperation vom Deutschen Akademischen Austauschdienst (DAAD) gefördert, weitere Austausche und der Aufbau gemeinsamer Lehrveranstaltungen sind dabei Teile des geplanten Programms.

Aus der Forschung

SOFT MATERIAL ROBOTICS / Die grundlegende Idee hinter Soft Material Robotics besteht darin, die Vorteile und Eigenschaften weicher Materialien wie Silikone, Elastomere und flexibler Polymere zu nutzen, um Roboter zu entwickeln, die sich an ihre Umgebung anpassen können. Diese Roboter können Verformungen und Bewegungen durchführen, die traditionelle starre Roboter nicht erreichen können. Bei Kontakt mit der Umgebung werden Schäden an der Roboterstruktur selbst oder der Umgebung durch die Anpassungsfähigkeit des Materials verhindert. Insbesondere bei der Mensch-Roboter-Interaktion führt diese passive Nachgiebigkeit zu einer inhärenten Sicherheit. Potentielle Anwendungsgebiete sind dementsprechend auch in der Medizintechnik zu finden. Aber auch darüber hinaus können die Prinzipien beispielsweise in der Greiftechnik für variabel geformte und fragile Objekte genutzt werden oder beispielsweise bei der Exploration unzugänglicher Umgebungen helfen.

Um die genannten Vorteile softer Roboter zukünftig nutzbar zu machen und das Forschungsfeld näher an tatsächliche Anwendungen heranzuführen, koordiniert das match seit 2019 das DFG Schwerpunktprogramm Soft Material Robotic Systems (SPP2100). Hier forschen deutschlandweit 11 Gruppen an unterschiedlichsten Aspekten der Soft Material Robotics, angefangen bei der Komponentenentwicklung für Aktor- und Sensorsysteme bis hin zu neuartigen Modellierungs- und Regelungskonzepten, die die speziellen Herausforderungen der Soft Material Robotics adressieren. Das match ist mit zwei Teilprojekten vertreten. Zum einen werden in einem Projekt zusammen mit dem Institut für mechatronische Systeme (imes) und dem Institut für Dynamik und Schwingungen (IDS) (beide LUH) Design-, Modellierungs- und Regelungsmethoden für weiche Kontinuumsroboter erforscht. Der Fokus liegt dabei verstärkt auf der Berücksichtigung der Interaktion mit der Umgebung. Zum anderen entwickelt das match in Zusammenarbeit mit dem GEOMAR, Kiel einen weichen aktuierten Sauger für die Entnahme von Sedimentproben in der Tiefsee. Im Vergleich zu klassischen Robotern bietet der weiche Roboter den Vorteil einer reduzierten Systemkomplexität und eines geringeren Gewichts bei gleichzeitiger Erhöhung der Reichweite und Funktionalität.

Um Studentinnen aus dem Bereich der Ingenieurwissenschaften für den Forschungsbereich der Soft Robotik zu begeistern, wurde aus dem SPP2100 heraus ein Frauenteam für den Wettbewerb der RoboSoft Konferenz 2024 zusammengestellt. Inhalt des Wett-

bewerbs ist die behutsame Handhabung von verschiedenen Obstsorten, welche mit Hilfe eines Greifers auf einem Teller angerichtet werden müssen. Das Team hat dafür einen pneumatisch aktuierten Greifer entwickelt, gefertigt und getestet. Die Teilnehmerinnen haben sich mit ihrer Arbeit erfolgreich für das Finale bei der Konferenz in San Diego qualifiziert und werden ihren Greifer dort präsentieren. Die RoboSoft ist die führende Konferenz im Bereich der Soft Robotik und daher eine ideale Möglichkeit, das Thema und die wissenschaftliche Community kennenzulernen.

MOBILE ROBOTIK / Im Bereich der mobilen Robotik am match liegt der Fokus auf der Erforschung von Multirobotersystemen für die Handhabung und den Transport von Großbauteilen. Bei der kollaborativen Objekthandhabung durch ein Multirobotersystem arbeiten mehrere mobile Roboter zusammen, indem sie ein großskaliges Bauteil an verschiedenen Stellen greifen, anheben und transportieren bzw. zuführen. Die Auswahl, Anzahl und Anordnung der teilnehmenden mobilen Roboter führt zu einem äußerst flexiblen Handhabungs- und Montagesystem. Dies eliminiert die Notwendigkeit, zunehmend größere und komplexere Handhabungsgeräte entwickeln zu müssen, um den steigenden Dimensionen der Bauteile und den Anforderungen an die Montage gerecht zu werden. Zur Bewältigung dieser Herausforderungen werden am match Algorithmen und Verfahren in den Bereichen skalennunabhängige Aufgabenabstimmung und -verteilung, Greifpunktbestimmung und -verteilung, Formationsbestimmung und -optimierung, Modellierung und Regelung, Sensorik und Messtechnik sowie Steuerung und Kommunikation entwickelt. Diese können unmittelbar in dem Forschungsbau scale getestet und erprobt werden. Hier stehen vier, auf der Roboterplattform MiR600 basierende, mobile Roboter zur Verfügung. Die mobilen Roboter können verschiedene Formationen einnehmen, um beispielsweise Flugzeugbaugruppen oder Windkraftkomponenten handzuhaben und zu transportieren. Während der kooperativen Objekthandhabung ist die Einhaltung der Formation von größter Wichtigkeit. Bei Abweichungen werden Kräfte in das zu handhabende Objekt eingeleitet, die zur Verformung oder Zerstörung führen können. Hierfür wurde in scale ein Qualisys-Tracking System installiert, welches eine Überwachung der Roboterpositionen ermöglicht. Dies dient der Auswertung und Verifizierung der zuvor entwickelten Algorithmen, beispielsweise wie präzise die mobilen Roboter der vorgegebenen Bahn gefolgt sind und die Abstände zueinander eingehalten haben.

PRÄZISIONSMONTAGE / Konventionelle Industrieroboter stoßen bei Montageanforderungen von unter 25 µm Genauigkeit an ihre Grenzen. In vielen Branchen, wie der Medizintechnik, der Elektrotechnik oder der Optik, bestehen jedoch weit höhere Präzisionsanforderungen. Das match verfügt über spezialisierte Messtechnik und Roboter für die Entwicklung hochgenauer Montageprozesse und Handhabungskonzepte, die die besonderen Anforderungen der Präzisions- und Mikromontage erfüllen.

Ein Schwerpunktthema ist die Produktion von optischen Bauteilen, gefördert durch die DFG im Exzellenzcluster PhoenixD. Das match erforscht in diesem Rahmen unter anderem Steuerungskonzepte für die Optikmontage. Die Anforderung bei der Einkopplung von (Laser-) Licht in Single-Mode Wellenleiter beträgt weniger als 10 µm. Die höchste Präzision erreicht das match durch die Auswertung des während der Montage eingekoppelten Lichts. Dieses Konzept ist unter aktiver Justage (active alignment) bekannt und wird am match für die Optikfertigung weiterentwickelt. Dabei entsteht auch eine große Menge an Messdaten, die Informationen über die Qualität des Montagevorgangs enthalten. Diese Daten nutzt das match in Kombination mit weiteren Anlagendaten, um ein virtuelles Prozessmodell aufzubauen und in Kombination mit Machine Learning Methoden die Programmierung von Fertigungsanlagen zu automatisieren. Das match arbeitet dafür an einem digitalen Produktionsmodell, in dem die Prozessdaten ausgewertet und zwischen den Maschinen weitergegeben werden. Die Vernetzung mehrerer Maschinen ermöglicht es, Fehler in einem Prozess später durch automatisierte Anpassung der Prozessparameter nachfolgender Prozesse dynamisch auszugleichen. Das ist deutlich kosteneffizienter, als die Toleranzbänder immer enger zu wählen.

Auch in der industrienahen Forschung erschloss sich das match 2023 weitere Arbeitsfelder. Zur Genauigkeitssteigerung von Multiachs-Präzisionsanlagen erarbeitete das match kinematische Analysen, um die Kalibrierung von Achsen zu Kamera- und anderen Messsystemen wirtschaftlich umsetzen zu können. In der

langjährigen Kooperation mit Siemens Healthineers wurden mit der Entwicklung dualer Klebprozesse (UV + thermische Härtung) neue Maßstäbe in der Präzisionsklebung von komplexen Bauteilen mit optisch schwer zugänglichen Bereichen gesetzt:

ADDITIVE FERTIGUNG MITTELS MOBILER ROBOTER /

Die zukünftige Entwicklung additiver Fertigungsverfahren im Bauwesen strebt verstärkt den Einsatz flexibler, autonomer und mobiler Roboter an. Im Rahmen der zweiten Förderperiode des von der DFG geförderten Transregio 277 "Additive Manufacturing in Construction – The Opportunity for Large Impact" widmet sich das Institut für Montagetechnik und Industrierobotik der Erforschung erweiterter Steuerungs- und Regelungsalgorithmen. Der initiale Fokus liegt auf der Ausweitung von Pfadplanungsalgorithmen und Prozesssimulationen durch die Integration

positionsbasierter variabler Materialeigenschaften. Hierdurch sollen insbesondere Objekte, die nicht gedruckt, sondern in das Bauteil integriert werden, wie Bewehrungsstäbe, Rohre oder andere Gebäudeinstallationen, abgebildet und in die Berechnung von Druckpfaden einbezogen werden. Diese Herangehensweise ermöglicht neben der Tra-



Hochgeschwindigkeitskamera zur Teileidentifikation in einer aerodynamischen Zuführanlage. Foto: match

jektorienplanung auch die Vorhersage der Auswirkungen von Bewehrungen und Installationen auf die Bauteilstabilität während des Druckprozesses. Da mobile Robotersysteme zudem in erster Linie durch Geschwindigkeitsvorgaben gesteuert werden, ist eine Transformation der Pfadplanungsalgorithmen hin zu Trajektorienplanern notwendig. Dabei werden jedem Materialapplikationspunkt Zeitstempel zugeordnet. Auf Basis dessen werden die erforderlichen Systemdynamiken ermittelt und im Rahmen der Planung an die Leistungsfähigkeit der mobilen Roboter angepasst. In den kommenden vier Jahren sollen die Arbeiten im Verbund mit den Projektpartnern eine reproduzierbare Produktion von Mehrmaterialkomponenten mit mobilen Robotern während der Verfahrensbewegung ermöglichen. Dieser Fortschritt soll dazu beitragen, die additive Fertigung mittels mobiler Roboter als effiziente und präzise Technologie im Bauwesen zu etablieren.

TAILORED FORMING / In den letzten Jahren sind die Anforderungen an technische Bauteile stetig gestiegen. Dies ist dem Wunsch nach immer leistungsfähigeren Produkten geschuldet, wie beispielsweise Leichtbau, Funktionsintegration und Haltbarkeit. Um diesen Anforderungen gerecht zu werden, wurde der Sonderforschungsbereich (SFB) 1153 „Tailored Forming“ eingerichtet, dessen Ziel es ist, die Potenziale hybrider Massivbauteile auf Basis eines neuen, maßgeschneiderten Fertigungsverfahrens unter Verwendung gefügter Halbzeuge zu erschließen, um zukünftig komplexe, hochbelastbare Massivbauteile aus unterschiedlichen metallischen Werkstoffen zu fertigen, die nach heutigem technologischen Stand nicht realisierbar sind. Im Jahr 2023 wurde die dritte und letzte Förderperiode des SFB 1153 erfolgreich beantragt. Die Schwerpunkte der dritten Förderperiode liegen in der weiteren Steigerung der Bauteilkomplexität und Funktionsintegration

der untersuchten Demonstratorbauteile, der Erhöhung der Prozessrobustheit, der Erschließung von Industrialisierungspotentialen sowie in der ökonomischen und ökologischen Betrachtung der Prozessketten. Das match ist am SFB mit zwei Teilprojekten beteiligt. Das erste Teilprojekt (S01) beschäftigt sich mit der Verkettung der Einzelprozesse

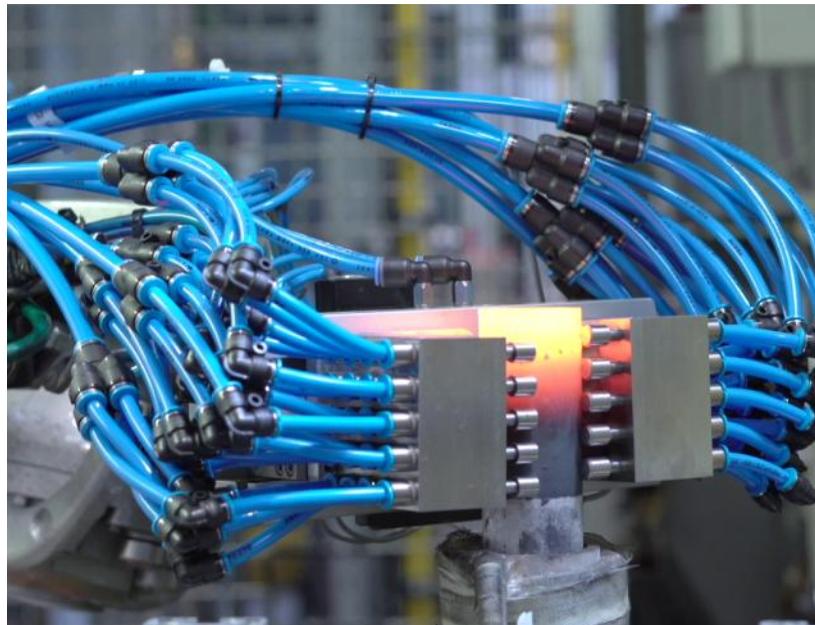
zu einer automatisierten Prozesskette. Ziel ist es, die Funktionalität der Prozesse in einer durchgehenden Prozesskette zu validieren und reproduzierbare Proben für die einzelnen Teilprojekte zur Verfügung zu stellen. Das zweite Teilprojekt (C07) beschäftigt sich mit der Handhabung der Tailored-Forming-Bauteile. Das Ziel besteht darin, die bereits entwickelten formvariablen und hochtemperaturbeständigen Greifer durch Funktionsmodule zu erweitern. Dadurch wird eine Integration von zerstörungsfreien Prüf- und Messverfahren ermöglicht. Nicht wertschöpfende Handhabungsvorgänge können so in wertschöpfende umgewandelt werden, wodurch die Effizienz der Prozesskette weiter gesteigert und damit die Attraktivität für die Industrie erhöht wird.

SAUERSTOFFFREIE PRODUKTION / Das match befasst sich im Rahmen des Sonderforschungsbereiches 1368 „Sauerstofffreie Produktion“ mit der klebstoffbasierten Montagetechnik in tech-

nisch sauerstofffreier Umgebung. Hierbei wird eine silandotierte Intergasatmosphäre genutzt, um den Einfluss von Sauerstoff auf das Aushärteverhalten verschiedener Klebstoffe zu untersuchen. Darüber hinaus ist eine Klebung reiner Metalloberflächen möglich, da nach dem Entfernen der Oxidschicht die Neubildung einer Monolage Metalloxid mehrere Jahre benötigt. Auf diese Weise ist eine Untersuchung des Einflusses der Oxidschicht auf die Eigenschaften der Klebverbindung von Metallen möglich.

Die Untersuchungen der ersten Förderperiode, die in diesem Jahr abgeschlossen wurde, haben gezeigt, dass sich bei allen untersuchten Klebstoffarten eine Reduktion des Sauerstoffgehalts positiv auf die Festigkeit der Verbindung auswirkt. Insbesondere Einkomponentenklebstoffe, die den Reaktionspartner zur Aushärtung erst in der Klebfuge oder in der Prozessatmosphäre

finden, reagierten empfindlich auf die sauerstofffreie Atmosphäre. Die Aushärtezeit von feuchtigkeitshärtenden Cyanacrylaten und sauerstoffempfindlichen anaeroben Klebstoffen konnte deutlich verzögert bzw. beschleunigt werden, was eine flexiblere Handhabung der Klebstoffe bzw. einfachere Prozesssteuerung ermöglicht. Zusätzlich wurde



Stift-Greifer mit schmiedewarmen Halbzeug im Griff. Foto: match

festgestellt, dass der Oxidationszustand der Oberfläche einen signifikanten Einfluss auf die mechanische Festigkeit der Klebverbindung besitzt und eine Klebung von oxidschichtfreien Metalloberflächen zu erhöhten Festigkeiten führt. Um den Zusammenhang zwischen den gemessenen technischen Eigenschaften und der Adhäsion auf molekularer Ebene zu verstehen, kooperiert das match mit dem Clausthaler Zentrum für Materialforschung. Mit oberflächenphysikalischen Methoden wie der Röntgen-Photoelektronenspektroskopie oder der Rasterkraftmikroskopie wird dort die Adhäsion an der Grenzfläche zwischen Klebstoff und Fügepartner untersucht. In der bewilligten zweiten Förderperiode soll das erarbeitete Prozessverständnis vertieft werden. Dazu werden die Untersuchungen auf weitere Klebstoffe und hybride Fügepartnerverbindungen ausgeweitet. Das Kleben oxidfreier Fügepartner bietet zusätzlich Potenzial zur Erhöhung der elektrischen und thermischen Leitfähigkeit der Klebverbindung. Die

gewonnenen Erkenntnisse werden auf anwendungsnahe Herausforderungen der Klebtechnik angewendet.

FLEXIBLE UND AUTOMATISIERTE PRODUKTION VON PHOTOVOLTAIKMODULEN

Die Energiewende erfordert massive Anstrengungen beim Ausbau der erneuerbaren Energien, insbesondere der Photovoltaik. Das niedersächsische Klimagesetz setzt ehrgeizige Ziele, in deren Rahmen die energetische Aktivierung von Fassaden eine vielversprechende Perspektive eröffnet. Bisher dominiert die Installation von Photovoltaik (PV) auf Dachflächen, die zusätzliche Nutzung des Fassadenpotenzials (BIPV) bietet jedoch eine effektive Steigerung der lokal erzeugten erneuerbaren Energie. Gemeinsam mit dem Institut für Festkörperphysik (FKP) und dem Institut für Solarenergieforschung Hameln (ISFH) arbeitete das match im Projekt A3P an Automatisierungslösungen zur Herstellung form- und materialflexibler Photovoltaikmodule. Der Schwerpunkt des match lag dabei auf der Konzeptentwicklung für ein kombiniertes Greifsystem, das Glasplatten und Folien unterschiedlicher Größe handhaben kann. Im Projekt Digi-PV werden in Zusammenarbeit mit weiteren Industriepartnern digitale Zwillinge von Produkt und Herstellungsprozess



Finallauf im Labyrinth beim „Digital Tools Cup“. Foto: match

erstellt, um eine durchgängige Planung vom Modul bis zur automatisierten Produktion zu gewährleisten. Dadurch sollen zum einen die Kosten für BIPV-Module gesenkt und zum anderen die Anlaufprozesse bei Produktwechseln beschleunigt werden. Das match entwickelt den digitalen Zwilling des Produktionsprozesses und implementiert die notwendigen Schnittstellen, damit die Optimierungsprozesse auf den Produktionsanlagen umgesetzt werden können.

ROBOHUB NIEDERSACHSEN / Im RoboHub Niedersachsen unterstützt das match gemeinsam mit den Partnern Tewiss GmbH, Vision Lasertechnik GmbH und der Region Hannover Unternehmen bei der Planung und Implementierung von roboterbasierter Automatisierung. Dazu werden in Workshops die Grundlagen für den Einsatz von Industrierobotern vermittelt und praxisnahe Erfahrungen an den kollaborationsfähigen Ro-

botersystemen gesammelt. So können die Mitarbeitenden der Unternehmen potentielle Anwendungen selbst identifizieren und anschließend mit der Infrastruktur im RoboHub Niedersachsen praktisch evaluieren.

IT-SECURITY BEIM EINSATZ VON 5G IM ÖKOSYSTEM PRODUKTION

Die 5G-Technologie gilt als Schlüsselkomponente für die Kommunikation in der modernen Produktion. In diesem Zusammenhang hat das match auch das erste Campusnetz der Universität in Betrieb genommen. Da die Sicherheit einen entscheidenden Einfluss auf die Verfügbarkeit und Stabilität des Systems hat, untersucht das match in Zusammenarbeit mit dem IFW, dem Institut für IT-Sicherheit und unserem Industriepartner ATS Elektronik GmbH Einflussfaktoren auf die Sicherheit von 5G-Systemen. Dabei werden sowohl technische Faktoren, wie z.B. SIM-Kartenmanagement, als auch nicht-technische Faktoren, wie z. B. der Einfluss des Menschen, untersucht. Das match optimiert dazu sein bestehendes Campusnetz und testet die mit den Partnern entwickelten Ansätze auf seinen mobilen Roboterplattformen, die als Demonstratordiensten dienen.

BILDBASIERTE ZUFÜHRTECHNIK / Moderne Produktionssysteme sind vielseitigen Anforderungen ausgesetzt. Zum einen besteht ein hoher Kostendruck, wodurch insbesondere in Hochlohnländern meist ein hoher Automatisierungsgrad angestrebt wird. Zum anderen sieht sich die Produktion mit steigenden Variantenzahlen und einer gestiegenen Planungsunsicherheit durch die globalisierten Märkte konfrontiert, was eine hohe Flexibilität der eingesetzten Betriebsmittel erforderlich macht. Insbesondere in der Montage, die einen zentralen Teilbereich der Produktion darstellt, müssen folglich flexible Automatisierungslösungen erarbeitet werden, die eine dynamische Anpassung an geänderte Randbedingungen ermöglichen. Am match werden daher Methoden zur aktiven bildbasierten Zuführung von Bauteilen mithilfe aerodynamischer Orientierungsmodule erforscht. Durch das aktive Verfahren können dabei hohe Zuführraten erreicht werden, während durch den Einsatz von Bildverarbei-

tung und aerodynamischer Aktoren eine hohe Flexibilität im Hinblick auf die Bauteilgestalt erreicht wird. Der Einsatz von Druckluft zur Manipulation von Werkstücken wurde vom match in Kooperation mit dem IFA an einer aerodynamischen Zuführanlage bereits eingehend wissenschaftlich untersucht und bietet ein enormes Potential zur Flexibilisierung von Zuführeinrichtungen. In der Bildverarbeitung werden KI-basierte Methoden wie künstliche neuronale Netze verwendet, um eine breite Anwendbarkeit und einfache Übertragbarkeit der erforschten Methoden zu ermöglichen. Erste Ergebnisse zeigen eine hohe Genauigkeit der verwendeten Netze bei der Identifikation der Bauteilorientierung in der Zuführeinrichtung. Die DFG fördert die Forschung im Rahmen des Projektes „Aktive bildbasierte Zuführung von Kleinteilen mithilfe aerodynamischer Schikanen“ (Bewilligung im Dezember 23).

KRYOTECHNISCHE AUTOMATISIERUNG / Ein Forschungsthema am Institut für Montagetechnik und Industrierobotik (match) ist die Automatisierung von Handhabungsprozessen in Biobanken für die Kryokonservierung. Die Herausforderung bei der Automatisierung von Handhabungsprozessen in dem angestrebten Temperaturbereich von -130°C bis -196°C besteht darin, die Funktionalität der Maschinenkomponenten (Gelenke, Sensorik, Energieversorgung etc.) zu gewährleisten.

Dies ist notwendig, um die Biobank bei einem konstant niedrigen Temperaturniveau betreiben zu können. Die Forschung am match zur kryotechnischen Automatisierung wird dazu beitragen, die Effizienz und Reproduzierbarkeit der Handhabungsprozesse in Biobanken zu steigern. Die Basis des Automatisierungssystems bildet ein DELTA-Parallelroboter mit vertikal angeordneten Elektroschnecken als Schubantriebe. Am match wurden die grundlegenden Technologien für die kryotechnische Automatisierung von Handhabungsprozessen erforscht (beispielsweise passive Festkörpergelenke, die für den Einsatz bei tiefen Temperaturen geeignet sind). 2023 wurde ein Pick-and-Place Workflow bei tiefen Temperaturen zur Handhabung von kryokonservierten Proben entwickelt und das Zusammenspiel der realisierten Komponenten getestet.

LEHRE/ Seit Bestehen des Instituts arbeitet das match daran, neue Konzepte und Methoden in die Lehre einzubringen. 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 kombinierte Bachelor- und Mastervorlesung „Robotergestützte Montageprozesse“. Am Beispiel einer realen Problemstellung können die Teilnehmenden in Kleingruppen selbst Lösungsansätze zur Realisierung eines Montageprozesses erarbeiten und implementieren. Neben den Vorlesungen stellen die vier tagesfüllenden Praxiseinheiten dabei die

Teilaspekte Simulation, Sensorintegration und Roboterprogrammierung 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.

Im Masterlabor „Maschinelles Lernen in der Produktionstechnik“ (MLL) für die Studiengänge Maschinenbau, Produktion und Logistik sowie Mechatronik wird den Studierenden die praktische und anwendungsnahe Implementierung von künstlichen neuronalen Netzen (KNN) am Beispiel von digitaler Bildverarbeitung vermittelt. Die Studierenden lernen hierbei nicht nur Datensätze zu erstellen und KNN selbst zu trainieren, sondern auch, diese an einem experimentellen Versuchsstand zu evaluieren.

Seit dem Jahr 2023 bietet das match eine weitere Veranstaltung für die Bachelorstudierenden im Maschinenbau an. Die Veranstaltung „Digitale Werkzeuge - Python für die Roboterprogrammierung! ROS in der Anwendung“ gibt den Studierenden die Möglichkeit, Python praktisch zu lernen und anzuwenden. Während der Veranstaltung werden die Studierenden mit verschiedenen Übungen darauf vorbereitet einen mobilen Roboter so zu programmieren, dass dieser abschließend autonom durch ein Labyrinth verfahren kann. Sämtliche Übungen werden in einer realitätsnahen Simulationsumgebung durchgeführt, die auf dem Rechen-Cluster der Leibniz Universität Hannover ausgeführt wird. Zum Ende der Veranstaltung erhalten die Studierenden die Möglichkeit ihren Code aus der Simulation auf dem realen Roboter auszuführen, um die Verbindung von Hard- und Software hautnah erleben zu können. Großes Finale ist dann der „Digital Tools Cup“, bei dem die Studierenden in Teams ihre selbst programmierten Roboter auf einem Parcours gegeneinander antreten lassen.

20 wissenschaftliche Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter
 3 nichtwissenschaftliche Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter
 43 studentische Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter
 1 FWJ-ler/In

match 2023

Institut für Montagetechnik und Industrierobotik

Leitung

Prof. Dr.-Ing. Annika Raatz

Lehre

18 Masterarbeiten, 25 Studienarbeiten,
5 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)

SPP 2100: Aktive softrobotische Saugvorrichtung für den Tiefseeinsatz (DFG)

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

TP C07 Flexible Handhabung schmidewarmer Hybridbauteile

TP S01 Flexible Prozesskette zur ressourceneffizienten Fertigung von Tailored-Forming-Bauteilen

Exzellenzcluster PhoenixD (Photonics, Optics, and Engineering – Innovation Across Disciplines): match: Präzisionsmontage, Montage photonisch integrierter Systeme, Montagestation auf Basis eines magnetischen Levitationssystems und Self Assembly (DFG)

Forschungsbau SCALE – Skalierbare Produktionssysteme der Zukunft
Kooperative Handhabung von Bauteilen mit mobilen Montageplattformen (Land und Bund)

SFB 871: Regeneration komplexer Investitionsgüter (DFG)

T16 Strategien für die piezoaktorsch unterstützte Demontage von Schraubverbindungen

Aktive bildbasierte Zuführung von Kleinteilen mithilfe aerodynamischer Schikanen (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 (DFG)

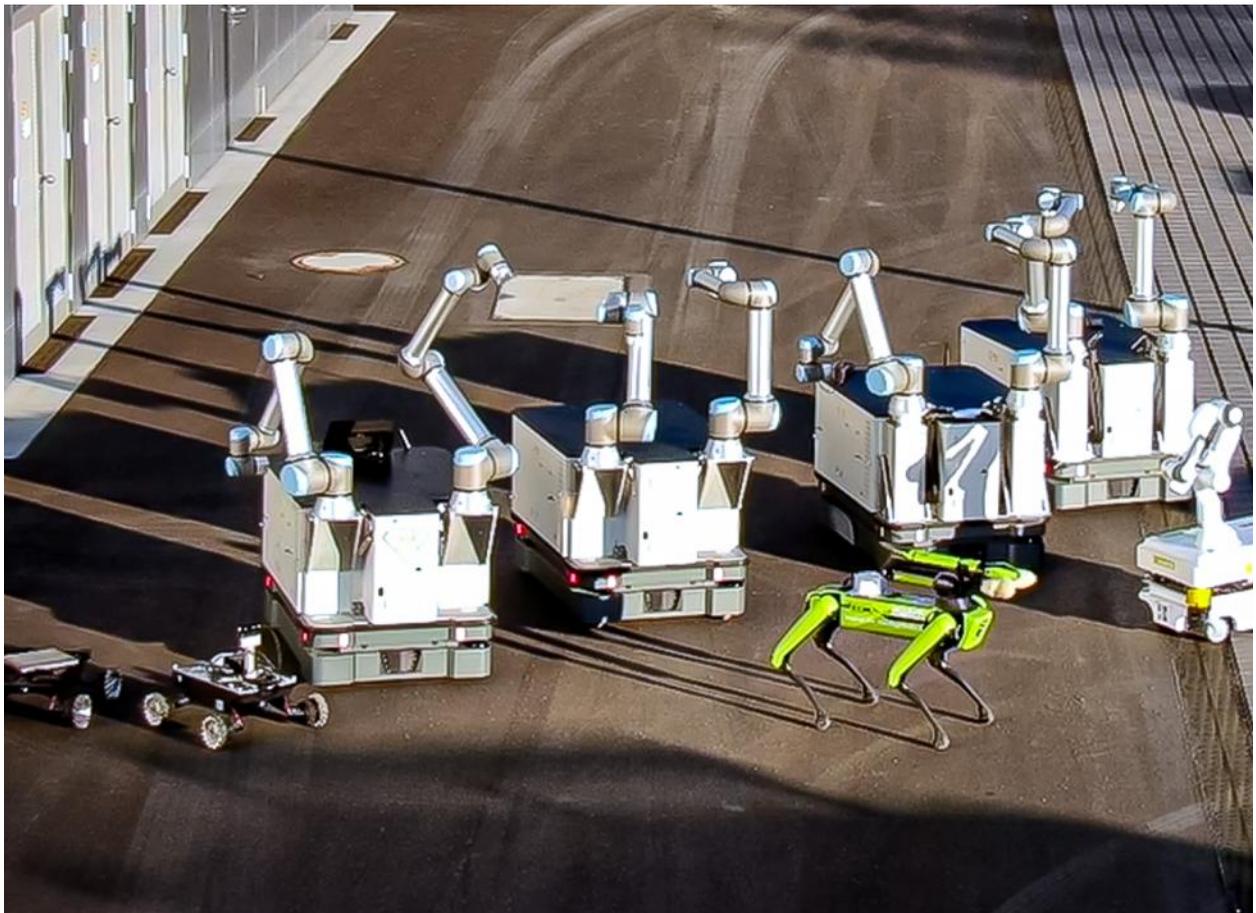
TP B04 Klebstoffbasierte Montageprozesse in XHV-adäquater Atmosphäre mit desoxidierten und oxidierten Fügepartnern

Präzisionsmontage: Konzepte und Strategien für hochpräzise Montagesysteme und –Prozesse, Prozessentwicklung für die Montage von Sensoren in der Medizintechnik

A3P: Automatisierte Prozesskette für die flexible Produktion von Photovoltaikmodulen (EFZN)

DigiPV: Digitale Planung und automatisierte Produktion von Gebäude-integrierter Photovoltaik: Optimierte Auslegung und Produktion von gebäudeintegrierten PV-Modulen durch den Einsatz von digitalen Zwillingen und Raytracing-Berechnungen (BMWK)

5GProSec - IT-Security beim Einsatz von 5G im Ökosystem Produktion: Der Faktor Mensch im Kontext von IT-Security in der Produktion (BSI)



Mobiler Roboterfuhrpark des match. Foto: match

Veröffentlichungen (Auszug)

Beiträge in Büchern (reviewed)

Blankemeyer, S.; Recker, T.; Raatz, A. (2023): Hardwareseitige MRK-Systemgestaltung, Handbuch Mensch-Roboter-Kollaboration: Rainer Müller, Jörg Franke, Dominik Henrich, Bernd Kuhlenkötter, Annika Raatz, Alexander Verl. Carl Hanser Verlag GmbH, München, 2. aktualisierte Auflage, 2023, S. 37-72

Runge-Borchert, G.; Wiese, M.; Peters, J.; Raatz, A. (2023): Soft Robotics, Handbuch Mensch-Roboter-Kollaboration: Rainer Müller, Jörg Franke, Dominik Henrich, Bernd Kuhlenkötter, Annika Raatz, Alexander Verl. Carl Hanser Verlag GmbH, München, 2. aktualisierte Auflage, 2023, S. 455-469

Aufsätze (reviewed)

Schlockermann, K.; Peters, J.; Hensen, B.; Löning C., J. J.; Wacker, F.; Raatz, A. (2023): Soft Robot Assistance for Tumor Biopsy and Ablation in Magnetic Resonance Imaging. In: New Trends in Medical and Service Robotics, DOI: 10.1007/978-3-031-32446-8

Kern, P.; Hinz, L.; Kästner, M.; Reithmeier, E.; Blankemeyer, S.; Ince, C.-V.; Raatz, A.; Behrens, B.-A.; Brunotte, K.; Uhe, J. (2023): Automatisierung und Digitalisierung in Tailored-Forming-Prozessketten - Prozessoptimierung mittels Inline-Geometriemessung, wt Werkstattstechnik online 113:10, VDI Verlag, S. 413-318, DOI: 10.37544/1436-4980-2023-10-35

Ince, C.-V.; Raatz, A. (2023): Formvariable Handhabung schmidewarmer Massivbauteile, ZWF, 118 (2023) 3, pp 153-156, DOI: 10.1515/zwf-2023-1028

Moritz, P.; Gerland, S.; Wegewitz, L.; Raatz, A.; Maus-Friedrichs, W. (2023): Influence of different processing atmospheres on curing and adhesive strength of cyanoacrylates. In: International Journal of Adhesion & Adhesives 124 103386, DOI: 10.1016/j.ijadhadh.2023.103386

Konferenz (reviewed)

Blümel, R.; Zander, N.; Blankemeyer, S.; Raatz, A. (2023): Prediction of Disassembly Parameters for Process Planning Based on Machine Learning. In: Liewald, M., Verl, A., Bauernhansl, T., Möhring, HC. (eds) Production at the Leading Edge of Technology. WGP 2022. Lecture Notes in Production Engineering. Springer, Cham. DOI: 10.1007/978-3-031-18318-8_61

Gerland, S.; Raatz, A. (2023): Adhesive Bonding of an Aluminum Alloy with and without an Oxide Layer in Atmospheres with Different Oxygen Contents. In: Applied Science, 2023, 13, 547, DOI: 10.3390/app13010547

Ince, C.-V.; Geggier, J.; Raatz, A. (2023): Accuracy examination of a Flexible Pin gripper for Forging Applications. In: Schüppstuhl, T., Tracht, K., Fleischer, J. (eds) Annals of Scientific Society for Assembly, Handling and Industrial Robotics 2022. MHI 2022. Springer, Cham, DOI: 10.1007/978-3-031-10071-0_28

Kolditz, T.; Hentschel, J.; Raatz, A. (2023): Analyzing Natural Resting Aspects of Arbitrary Components Using a Physics Engine. In: Schüppstuhl, T., Tracht, K., Fleischer, J. (eds) Annals of Scientific Society for Assembly, Handling and Industrial Robotics 2022. MHI 2022. Springer, Cham., DOI: 10.1007/978-3-031-10071-0_13

Lachmayer, L.; Böhrer, D.; Freund, N.; Mai, I.; Lowke, D.; Raatz, A. (2023): Modelling the influence of material and process parameters on Shotcrete 3D Printed strands - cross-section adjustment for automatic robotic manufacturing. In: Automation in Construction, Vol. 145, DOI: 10.1016/j.autcon.2022.104626

Jahn, P.; Gregor, P.; Raatz, A. (2023): Movement Simulation and Analysis of a Compliant Parallel Robot Under Cryogenic Working Conditions. In: Okada, M. (eds) Advances in Mechanism and Machine Science. IFToMM WC 2023. Mechanisms and Machine Science, vol 148. Springer, Cham., DOI: 10.1007/978-3-031-45770-8_86

Recker, T.; Prophet S.; Raatz, A. (2023): Time-Efficient Path Planning for Semi-Rigid Multi-Robot Formations, IEEE 19th International Conference on Automation Science and Engineering (CASE), Auckland, New Zealand, 2023, pp. 1-7, DOI: 10.1109/CASE56687.2023.10260434

Lachmayer, L.; Müller, N.; Herlyn, T.; Raatz, A. (2023): Volume Flow-Based Process Control for Robotic Additive Manufacturing Processes in Construction. IEEE 19th International Conference on Automation Science and Engineering (CASE), Auckland, New Zealand, 2023, pp. 1-6, DOI: 10.1109/CASE56687.2023.10260620

Blankemeyer, S.; Schulte-Huxel, H.; Wirtz, W.; Raatz, A. (2023): Assembly cell for the manufacturing of flexible solar modules in building integrated photovoltaics. Procedia CIRP, Volume 120, 2023, pp. 952-957, DOI: 10.1016/j.procir.2023.09.106

Peters, J.; Sourkounis, C. M.; Wiese, M.; Kwasnitschka, T.; & Raatz, A. (2023): Single Channel Soft Robotic Actuator Leveraging Switchable Strain-Limiting Structures for Deep-Sea Suction Sampling, 2023 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS), DOI: 10.1109/IROS55552.2023.10341262

Wiese, M.; Berthold, R.; Wangenheim, M.; Raatz, A. (2023): Describing and Analyzing Mechanical Contact for Continuum Robots Using a Shooting-Based Cosserat Rod Imple-

mentation, IEEE Robotics and Automation Letters, DOI: 10.1109/LRA.2023.3346272

Santacruz-Mondragon, I.; Sandoval-Castro, X.; Ibrahim, S.; Wiese, M.; Raatz, A.; Ruiz-Torres, M.; Castillo-Castaneda, E. (2023): Design and characterisation of a multi-DOF soft pneumatic module, Robotica, Volume 41, Issue 9, September 2023, pp. 2774-2788, DOI: 10.1017/S026357472300067X

Lurz, H.; Recker, T.; Raatz, A. (2023): Comparison of Global Path Planning Algorithms regarding Multi Mobile Robot Object Transport Requirements, Proceedings of the 8th MHI Colloquium 2023, Chemnitz (accepted)

Blümel, R.; García Morales, D. S.; Raatz, A. (2023): Development of a Gripper for component-friendly Handling of Complex Capital Goods, 2023 IEEE International Conference on Soft Robotics (RoboSoft), DOI: 10.1109/robo-soft55895.2023.10122070

Blümel, R.; Raatz, A. (2023): Towards Early Damage Detection during the Disassembly of Threaded Fasteners using Machine Learning, Procedia CIRP, Vol. 116, Pages 480-485, DOI: 10.1016/j.procir.2023.02.081

Ince, C.-V.; Blümel, R.; Raatz, A. (2023): Concept for a resource-efficient process chain for hybrid bulk components with optimized energy utilization, Procedia CIRP, 116 (2023), pp 732-737, DOI: 10.1016/j.procir.2023.02.123

Ince, C.-V.; Geggier, J.; Raatz, A. (2023): Accuracy Examination of a Flexible Pin Gripper for Forging Applications, Schüppstuhl, T., Tracht, K., Fleischer, J. (eds) Annals of Scientific Society for Assembly, Handling and Industrial Robotics 2022. Springer, pp. 343-353, DOI: 10.1007/978-3-031-10071-0_28

Ince, C.-V.; Katz, F.; Raatz, A. (2023): Comparative investigation of partial cooling methods for induction heating of hybrid bulk components for hot forming, Materials Research Proceedings 28 (2023), pp 1083-1090, DOI: 10.21741/9781644902479-119

Stucki, M.; Binnemann, L.; Terei N., Wiewmann, R., Raatz, A. (2023): Challenges in Establishing and Measuring Performance Criteria of industrial Robots – Accuracy and Repeatability, WGP 2023: Production at the Leading Edge of Technology, DOI: 10.1007/978-3-031-47394-4_23

Wesentliche Neuanschaffungen

SGP-17F Mikro-Parallelgreifer (SmarAct): Piezoelektrischer Aktor zum Handhaben von mikroskopischen Bauteilen mit 3-Achsen Kraftsensorik in mN-Auflösung



Foto: Christian Wyrwa

Professor Hans Jürgen Maier, Institutsleiter

Geschichte des Instituts

An der Technischen Hochschule, dem Vorgänger der heutigen Leibniz Universität Hannover, wurde 1905 mit Prof. Nachtweh der erste etatmäßige Professor für spezielle mechanische Technologien, Maschinenzeichnen und landwirtschaftlichen Maschinenbau ernannt – die „speziellen mechanischen Technologien“ 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.

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 Strang-

pressen 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. Im Forschungsbau SCALE erfolgt die Entwicklung und Herstellung pulverförmiger Werkstoffe aus

Leicht- und Schwermetallen mittels Inertgasverdüstung im industrienahen Maßstab.

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 thermischer Beschichtungsverfahren zur Herstellung metallischer und keramischer Korrosions- und Verschleißschuttschichten. Mit diesen Verfahren werden Oberflächen, Randzonen und Werkstoffverbunde (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 Auftragglötens und des Auftragsinterns insbesondere Verfahren des Thermischen Spritzens (Atmosphärisches Plasma-, Lichtbogen-, Hochgeschwindigkeitsflam- und Kaltgasspritzen) eingesetzt.

Neben der langjährigen Forschung zum flussmittelfreien Verbindungs- und Auftragglötens 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 des Thermischen Spritzens sowie der physikalischen Gasphasenabscheidung (engl.: physical vapour deposition, kurz PVD) zur Entwicklung von Molybdänschichten eingesetzt, die in hochbeanspruchten Wälzkontakten selbstregenerierendes Molybdäntrioxid als Trockenschmierstoff erzeugen mit dem Ziel, eine neue Generation von öl- bzw. fettfreien Großwälzlagern zu ermöglichen. 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 Mi-

crostrukturcharakterisierung und Legierungsentwicklung die gesteuerte Wärmebehandlung von metallischen Werkstoffen wie Vergütungsstählen mittels umweltfreundlicher Luft-Wasser-Spraykühlung und deren numerische Abbildung mittels der Finite-Elemente-Methode. Die Spraykühlung lässt sich sehr flexibel und vielfältig einsetzen und stellt sicher, dass die Werkstoffe schnell und gleichmäßig abgekühlt werden. Neben industriell weit verbreiteten Werkstoffen stehen zunehmend Sonderwerkstoffe wie Hochtemperatur-, Formgedächtnis- und Hochentropielegierungen im Mittelpunkt aktueller Untersuchungen. Das Team der Materialprüfung ermittelt statische, zyklische und dynamische Materialkennwerte metallischer Werkstoffe und arbeitet als Dienstleister für Prüfaufträge intensiv mit Industrieunternehmen zusammen.

UNTERWASSERTECHNIKUM / Elektronenstrahl- und Wasserstrahltechnik, Schweißen und Schneiden sind Stichworte aus dem Unterwassertechnikum Hannover (UWTH). Viele dieser Techniken werden dort insbesondere für Einsätze unter Wasser aber auch unter atmosphärischen Bedingungen erforscht. Ein Teil der Verfahren ist ursprünglich für den Rückbau kerntechnischer Anlagen entwickelt worden, heute liegen die Schwerpunkte zusätzlich auf der Entwicklung von Unterwasserschweiß- und schneidprozessen, die zunehmend auch für Reparaturen an Off-Shore-Windparks notwendig sind. Die Zusatzwerkstoffe für das Unterwasserschweißen werden am UWTH entwickelt und getestet. Auch im Bereich der Lichtbogenschweißtechnik werden im UWTH Forschungs- und Entwicklungsaufgaben durchgeführt. So wird beispielsweise das magnetisch bewegte Lichtbogenschweißen für die Bohrtechnik etabliert und im Bereich des Additive Manufacturing gearbeitet. Hierbei erfolgen die Schweißprozessentwicklung sowie der Prototypenbau des Schweißequipments im UWTH.

Auch Wasserstrahltechniken werden am UWTH erforscht und genutzt – unter anderem für den Einsatz in der Biomedizintechnik. Dabei wird untersucht, wie sich Gewebe untersuchungsspezifisch präparieren lässt oder wie Fördergurte unter Einsatz dieser Technologie repariert werden können. Im Bereich der Elektronenstrahlbearbeitung wurde in den letzten Jahren das Schneiden mit dem atmosphärischen Elektronenstrahl entwickelt und untersucht. Vermehrt wird hier die 3D-Fertigung von Bauteilen fokussiert. Ferner ist der Bereich Korrosionsprüfung am UWTH angesiedelt. In diesem werden sowohl F & E-Aufgaben bearbeitet als auch Dienstleistungen auf dem Gebiet der Korrosion metallischer Werkstoffe durchgeführt.

ZERSTÖRUNGSFREIE PRÜFVERFAHREN / Im Bereich Zerstörungsfreie Prüfverfahren (ZfP) liegen die Schwerpunkte der Forschungsarbeiten in der Entwicklung und Weiterentwicklung zerstörungsfreier Prüftechniken zur Fehlerprüfung, Materialcharakterisierung und zerstörungsfreier Bestimmung von Materialkennwerten (Festigkeit, Härte, Gefüge, etc.) sowie

der Anlagen- und Prozessüberwachung. Die Forschungsarbeiten umfassen dabei Prüftechniken aus den Bereichen Radio- grafie, 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 es, innerhalb von Prozessketten Daten zu generieren, die zur Anpassung von Fertigungsprozessen verwendet werden können. So können beispielsweise mittels einer entwickelten Hochtemperatur-Sensortechnik die Mikrostrukturevolution und damit resultierende Bauteileigenschaften von Schmiedeteilen in situ in der Abkühlphase bestimmt werden, um eine Echtzeit-Prozessregelung zu realisieren. Auch die prozesssichere Einstellung von Randzoneigenschaften gedrehter Bauteile konnte durch die Integration von zerstörungsfreier Prüftechnik in einer Werkzeugmaschine umgesetzt werden. Darüber hinaus kann durch dauerhaft auf systemkritischen Bauteilen applizierte Sensoren in Kombination mit einer Auswerteeinheit, die drahtlos Prüfdaten versendet, eine kontinuierliche Bauteilüberwachung ermöglicht 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, die 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.

Patent

IW - Institut für Werkstoffkunde

Thermisch gespritzte, regenerative Mo-MoO₃-Schmierstoffschichtungen (DE 10 2023 101 922.8)

Rotor- und Generatorlager sind die meist beanspruchten Wälzlager innerhalb von Windenergieanlagen. Bei einem Betriebszyklus von 30 Jahren benötigen Windenergieanlagen bereits nach 7–10 Jahren umfangreiche Überholungsarbeiten.

Da etwaige Leckagen im Off-Shore-Bereich mit einer Beeinträchtigung des Meeres durch Flüssigschmierstoff verbunden sind, gilt es für deren Vermeiden entsprechend aufwendige Sicherheitsvorschriften bei Wartungsarbeiten zu einzuhalten. Um eine Verbesserung der Lagerlaufeigenschaften bei gleichzeitiger Schmierstoffreduzierung zu gewährleisten, wurde ein selbstregeneratives, molybdänoxidbasiertes Festschmierstoffschichtsystem auf die Wälzkontakte der Wälzlager per thermischem Spritzprozess appliziert, das kontinuierlich Molybdäntrioxid (MoO₃) als Festschmierstoff bereitstellt und dabei eine Transferschmierung auf die Wälzkörper bewirkt.

49 wissenschaftliche Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter
27 nichtwissenschaftliche Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter
40 studentische Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter
3 Auszubildende

IW 2023 Institut für Werkstoffkunde

Leitung

Prof. Dr.-Ing. Hans Jürgen Maier

Lehre

15 Masterarbeiten, 13 Studienarbeiten,
30 Bachelorarbeiten

Aktuelle Forschung

BML - Biomedizintechnik und Leichtbau

Entwicklung langzeitstabiler Implantate: In-vivo- und In-vitro-Untersuchungen zu den Wechselwirkungen cochleärer Zellen mit Platinkorrosionsprodukten im Rahmen der Cochlea-Implantat-Stimulation (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 oxidischfrei erzeugter Verbundgussbauteile (DFG)

SFB/TRR 298: Sicherheitsintegrierte und infektiionsreaktive Implantate
Teilprojekt A05: Sensorische Cochlea-Elektrode: Reizsicherheit durch Detektion kritischer Prozesse an der Elektroden-Nerven-Grenzfläche (DFG)
Teilprojekt B04: Aktive Stimulus-responsive Implantate (DFG)

SPP 2122: Tailor made magnesium alloys for selective laser melting - Material development and process modelling (DFG)

Wirkmechanismen von Nanopartikeln als neuartige Kornfeiner für thermomechanisch hoch beanspruchte Aluminiumgussbauteile (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/DVS)

Entwicklung einer Yttriumoxidbeschichtung als Verschleißschutz in der Halbleiterindustrie (AiF/ZIM)

Erzeugung und Charakterisierung von reibungsreduzierten oxidischen Werkzeugbeschichtungen für die trockene Aluminiumblechumformung (AiF/EFB)

Exzellenzcluster PhoenixD: Netzwerk „optics integration“
Teilprojekt: Metal-thermoplast composites (DFG)

Galliumhaltige Reaktionslotverbunde mit gesinterten Gerüststrukturen zur Herstellung hochschmelzender Fügeverbindungen unter Weichlötbedingungen (AiF/DVS)

Lotapplikationsverfahren für Bipolarplatten (AiF/ZIM)

Luftfahrtforschung – Technologieinitiative Triebwerksinstandsetzung ("Lufo-TinTin"): Entwicklung und Testing von Lötstrategien für rheniumarme Superlegierungen (NBANK)

Schmierstoffeinsparung bei Mehrstufenwerkzeugen durch thermisch oxidierte Werkzeugoberflächen aus α -Fe₂O₃ und amorphem SiO₂ (AiF/EFB)

SFB 1368: Sauerstofffreie Produktion
Teilprojekt B02: Stoffschlüssige Grenzflächenübergänge beim thermischen Beschichten mit Lichtbogen- und Plasmaspritzprozessen (DFG)
Teilprojekt A04: Prozessintegrierte metallische Sinterbeschichtungen für das Formhärten mit konduktiver Erwärmung (DFG)

SFB 871: Regeneration komplexer Investitionsgüter
Transferprojektantrag T17: Erhöhung der Lebensdauer der Outer-Air-Seal-Beschichtung in der Hochdruckturbine durch die Entwicklung einer neuen Haftvermittlerschicht und deren Applikation durch Thermisches Spritzen (DFG)

Trockenschmierung und Transferschmierung von Wälzkontakten durch selbstregenerative Molybdänoxidschichtsysteme (DFG)

TW - Technologie der Werkstoffe

Auswirkung einer Tiefsttemperaturbehandlung im Wärmebehandlungsprozess von Werkzeugstählen auf Korrosionsbeständigkeit, Maß- und Formhaltigkeit und Bruchzähigkeit (AiF/FOSTA)

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 Schmiede-

prozess mit Reduktion der Prozesswärme um 50 % und der Nettoenergie um 25 % (AiF/ZIM)

Entwicklung polykristalliner zweiphasiger CoNi-Al-Formgedächtnislegierungen mit hoher funktionaler Stabilität (DFG)

Partikelmodifizierung von Niob-MASC-Legierungen mittels Prozessierung unter Semi-Levitation im Kaltwand-Induktionstiegel (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 infektiionsreaktive 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 2402: Greybox-Modelle zur Qualifizierung beschichteter Werkzeuge für die Hochleistungszerspannung
Teilprojekt D3: Entwicklung eines Greybox-Modells zur Prognose der Leistungsfähigkeit PVD-beschichteter Hartmetallwerkzeuge (DFG)

UWTH - Unterwassertechnik Hannover

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
Teilverhaben: CAMG-Prozess (BMBF)

Implementierung eines Monitoringsystems zur Evaluierung der Korrosionsvorgänge an Behältermaterialien in Bentonit-basierten Endlagerkonzepten IMKORB (BMBF)

SFB 1153: Prozesskette zur Herstellung hybrider Hochleistungsbauteile durch Tailored Forming
Teilprojekt A04: Lokale Anpassung von Werkstoffeigenschaften an Umformrohlingen durch Auftragschweißen zur Erzeugung gradiert hybrider Bauteile (DFG)
Teilprojekt T01: 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)

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)

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

Untersuchung zum Korrosionsrisiko beim Einsatz von austenitischem Schweißgut zur Vermeidung wasserstoffinduzierter Rissbildung beim nassen Unterwasserschweißen (DVS/AiF)

Untersuchung zum Wasserstoffgehalt in der Prozesszone und dem resultierenden Wasserstoffeintrag in das Schweißgut beim nassen Lichtbogen- und Laserstrahlschweißen - WaPro (DFG)

Recherche und Beschreibung für das Endlagerbehältersystem in Frage kommende Materialien (BMUV/Kit)

Tiefenabhängige Steuerung von Lichtbogenstabilität, Porosität und dem Eigenschaftsprofil der Schweißnähte beim kontinuierlichen UW-Schweißen durch die Variation der Füllstoffzusammensetzung von UW-Doppelmantel-Fülldraht (AiF/DVS)

Entwicklung eines Kaltriss-Tests und Ermittlung eines Wasserstoff-Grenzwertes für das nasse Unterwasserschweißen (AiF/DVS)

Entwicklung einer fließfähigen und förderbaren Pulverabdeckung zum Schutz des Lichtbogens beim nassen Unterwasserschweißen mit Massivdraht (AiF/DVS)

Wasserstoffspezifische Entwicklung von Flammenführung, -detektion und -einstellung zum sicheren, autogenen Brennschneiden -Hydrocut (AiF/ZiM)

ZfP - Zerstörungsfreie Prüfverfahren

Elektromagnetische Härteprüfung für die Wärmeinflusszone von Unterwasser-Schweißnähten (AiF/DVS)

Online-Monitoring des Schädigungsverhaltens bei zyklisch hochbeanspruchten Offshore-Strukturen mittels ZfP-Prüftechniken (AiF/FOSTA)

Prüfmittel-Fähigkeitsanalyse zur Detektion und Bewertung von Schleifbrand an Zahnanken mittels Wirbelstromtechnik (FVA Eigenmittelvorhaben)

Qualifizierung von metallischen Werkstoffen in Wasserstoffatmosphäre unter zyklischen Lasten (NBank)

SFB 1153: Prozesskette zu Herstellung hybrider Hochleistungsbauteile durch Tailored Forming Teilprojekt A01: Einfluss der lokalen Mikrostruktur auf die Umformbarkeit stranggepresster Werkstoffverbunde (DFG)

SPP 2086: Prozesssichere Einstellung von Randzoneigenschaften bei der spanenden Bearbeitung hochfester und duktiler Stähle mit einem lernfähigen Fertigungssystem (DFG)

SPP 2305: Lastsensitive Zahnwelle mit sensorischem Werkstoff (DFG)

Zerstörungsfreie Charakterisierung von Beschichtungen und Werkstoffzuständen hochbeanspruchter Kalanderwalzen (DFG)
„SFB 871: Regeneration komplexer Investitionsgüter, Transferprojekt T22

Zerstörungsfreie Detektion des Restaustenidgehalts in der Wärmebehandlungsrouten beim Härten von Wälzlagerstählen (AiF/AWT)

Veröffentlichungen (Auszug)

Beiträge in Büchern (reviewed)

Sheveleva, Tatyana; Herrmann, Kevin; Wawer, Max Leo; Kahra, Christoph; Nürnberger, Florian; Koepfer, Oliver et al. (2023): Ontology-Based Documentation of Quality Assurance Measures Using the Example of a Visual Inspection. In: Maurizio Valle, Dirk Lehmmus, Christian Gianoglio, Edoardo Ragusa, Lucia Seminara, Stefan Bosse et al. (Hg.): *Advances in System-Integrated Intelligence*. Cham: Springer International Publishing, S. 415–424.

Valle, Maurizio; Lehmmus, Dirk; Gianoglio, Christian; Ragusa, Edoardo; Seminara, Lucia; Bosse, Stefan et al. (Hg.) (2023): *Advances in System-Integrated Intelligence*. Cham: Springer International Publishing.

Beiträge in Zeitschriften

Heinrich, C.; Gansel, R.; Schäfer, Günter; Barton, S.; Lohrengel, Armin; Maier, H. J. (2023): Lastsensitive Zahnwelle mit sensorischem Werkstoff als sensorintegriertes Maschinenelement. In: *DFG SPP 2305*, S. 101–106. DOI: 10.21268/20230425-9.

Lemmrich, L.; Vaccari, L.; Fröck, L.; Flüge, W.; Hassel, T. (2023): Investigation and optimization of process parameters and tools for underwater bonding of brackets. In: *Welding and Cutting* (2), S. 50–55.

Lemmrich, L.; Vaccari, L.; Fröck, L.; Flüge, W.; Hassel, T. (2023): Untersuchung und Optimierung der Prozessparameter und Werkzeuge zum Unterwasserkleben von Halterungssystemen. In: *DVS Media – Schweißen und Schneiden* (3), S. 144–151.

Beiträge in Zeitschriften reviewed

Barienti, Khemais; Werwein, Stefan; Herbst, Sebastian; Maier, Hans Jürgen; Nürnberger,

Florian (2023): A novel way to reduce the critical deformation for cold roll bonding. In: *Manufacturing Letters* 36, S. 9–12. DOI: 10.1016/j.mfglet.2022.12.006.

Barton, Sebastian; Steinbrecher, Niklas; Maier, Hans Jürgen (2023): Reliable non-destructive detection and characterization of material degradation caused by high-temperature corrosion. In: *ReJNDT* 1 (1). DOI: 10.58286/28070.

Bauer, André; Vollmer, Malte; Viebranz, Vincent Fabian; Maier, Hans Jürgen; Niendorf, Thomas (2023): Structural and superelastic properties of Fe-Mn-Al-Ni shape memory alloy sheets produced on industrial process routes by hot rolling. In: *Journal of Materials Research and Technology*. DOI: 10.1016/j.jmrt.2023.04.260.

Behrens, B. A.; Hübner, S.; Herbst, S.; Albracht, L.; Wehmeyer, J.; Yarcu, S. et al. (2023): Partial resistance tempering of hot-stamped components made of 22MnB5 for subsequent bending. In: *IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng.* 1284 (1), S. 12039. DOI: 10.1088/1757-899X/1284/1/012039.

Blinn, Bastian; Hassel, Thomas; Viebranz, Vincent Fabian; Beck, Tilmann; Maier, Hans Jürgen (2023): Influence of the grain orientation and δ -ferrite on the cyclic deformation behavior of an austenitic CrNi steel manufactured by wire and arc additive manufacturing. In: *Materials Science and Engineering: A* 44, S. 144612. DOI: 10.1016/j.msea.2023.144612.

Duderija, B.; González-Orive, A.; Schmidt, H. C.; Calderón, J. C.; Hordych, I.; Maier, H. J. et al. (2023): Electrografting of BTSE. Zn films for advanced steel-aluminum joining by plastic deformation. In: *Journal of Advanced Joining Processes* 7 (2), S. 100137. DOI: 10.1016/j.jajp.2022.100137.

Fricke, Lara Vivian; Basten, Stephan; Nguyen, Hai Nam; Breidenstein, Bernd; Kirsch, Benjamin; Aurich, Jan C. et al. (2023): Combined influence of cooling strategies and depth of cut on the deformation-induced martensitic transformation turning AISI 304. In: *Journal of Materials Processing Technology* 312 (1), S. 117861. DOI: 10.1016/j.jmatprotec.2023.117861.

Frolov, Yaroslav; Bobukh, Oleksandr; Samsonenko, Andrii; Nürnberger, Florian (2023): Patterning of Surfaces for Subsequent Roll Bonding in a Low-Oxygen Environment Using Deformable Mesh Inlays. In: *JMMP* 7 (5), S. 158. DOI: 10.3390/jmmp7050158.

Fromm, Andreas Christopher; Kahra, Christoph; Selmanovic, Armin; Maier, Hans Jürgen; Klose, Christian (2023): An X-ray Microscopy Study of the Microstructural Effects on Thermal Conductivity in Cast Aluminum-Copper Compounds. In: *Metals* 13 (4), S. 671. DOI: 10.3390/met13040671.

Gansel, René; Maier, Hans Jürgen; Barton, Sebastian (2023): Detection and Characterization of Fatigue Cracks in Butt Welds of Offshore Structures Using the Eddy Current Method. In: *Journal of Nondestructive Evaluation,*

Diagnostics and Prognostics of Engineering Systems 6 (2), S. 56. DOI: 10.1115/1.4056313.

Gräbner, Maraike; Barton, S.; Fricke, L.; Wiche, Henning; Wesling, Volker (2023): Entwicklung hybrider, magnetischer Werkstoffsysteme durch Implementierung ferromagnetischer Materialien in eine Al-Matrix. In: Tagungsband 5. Symposium Materialtechnik. Clausthal-Zellerfeld. DOI: 10.21268/20231006-0.

Greuling, Andreas; Wiemken, Mira; Kahra, Christoph; Maier, Hans Jürgen; Eisenburger, Michael (2023): Fracture Resistance of Repaired 5Y-PSZ Zirconia Crowns after Endodontic Access. In: Dentistry Journal 11 (3), S. 76. DOI: 10.3390/dj11030076.

Guglielmi, M.; Baake, B.; Köppen, A.; Holzmann, E.; Herbst, S.; Maryamnegari, S. M. (2023): Induction Melting a cold crucible Furnace applied to innovative high-melting Temperature Metals. In: Magneto-hydrodynamics 58 (4), S. 523–532. DOI: 10.22364/mhd.58.4.17.

Herbst, Sebastian; Karsten, Elvira; Gerstein, Gregory; Reschka, Silvia; Nürnberger, Florian; Zaefferer, Stefan; Maier, Hans Jürgen (2023): Electroplasticity Mechanisms in hcp Materials. In: Adv. Eng. Mater., Artikel 2201912. DOI: 10.1002/adem.202201912.

Hölscher, Lennart Vincent; Hassel, Thomas; Maier, Hans Jürgen (2023): Development and evaluation of a closed-loop z-axis control strategy for wire-and-arc-additive manufacturing using the process signal. In: Int J Adv Manuf Technol. DOI: 10.1007/s00170-023-12012-w.

Klett, Jan; Bongartz, Benedict; Wolf, Thomas; Hao, Chentong; Maier, Hans Jürgen; Hassel, Thomas (2023): Plasma Welding of Aluminum in an Oxygen-Free Argon Atmosphere. In: Advances In Materials Science 23 (1), S. 5–18. DOI: 10.2478/adms-2023-0001.

Maier, Hans Jürgen; Gawlytta, Richard; Fromm, Andreas; Klose, Christian (2023): Increasing thermal conductivity in aluminium-copper compound castings. Modelling and experiments. In: Materials Science and Technology 22, S. 1–11. DOI: 10.1088/02670836.2023.2184591.

Nazarahari, A.; Fromm, A. C.; Ozdemir, H. C.; Klose, C.; Maier, H. J.; Canadinc, D. (2023): Determination of thermal conductivity of eutectic Al–Cu compounds utilizing experiments, molecular dynamics simulations and machine learning. In: Modelling Simul. Mater. Sci. Eng. 31 (4), S. 45001. DOI: 10.1088/1361-651X/acc960.

Ozdemir, H. C.; Nazarahari, A.; Yilmaz, B.; Unal, U.; Maier, H. J.; Canadinc, D. et al. (2023): Understanding the enhanced corrosion performance of two novel Ti-based biomedical high entropy alloys. In: Journal of Alloys and Compounds 956, S. 170343. DOI: 10.1016/j.jallcom.2023.170343.

Raumel, Selina; Barenti, Khemais; Luu, Hoang-Thien; Merkert, Nina; Dencker, Folke;

Nürnberger, Florian et al. (2023): Characterization of the tribologically relevant cover layers formed on copper in oxygen and oxygen-free conditions. In: Friction 11 (8), S. 1505–1521. DOI: 10.1007/s40544-022-0695-5.

Reich, M.; Schumacher, P. Klett, J.; Hassel, T.; Kessler, O. (2023): Material-based model for the simulation of underwater welding. In: Welding and Cutting 23 (1), S. 24–29. DOI: 10.53192/WAC20230124.

Reschka, Silvia; Gerstein, Gregory; Dalinger, Andrej; Zaibet, Mohamed Fedj; Herbst, Sebastian; Maier, Hans Jürgen (2023): Accelerated coarsening behavior of the γ' -phase in CMSX-4 during non-isothermal heat treatment. In: Materials Today Communications 36, S. 106703. DOI: 10.1016/j.mtcomm.2023.106703.

Reulbach, Magnus; Evers, Patrick; Emonde, Crystal; Behnse, Hannah; Nürnberger, Florian; Windhagen, Henning; Jakobowitz, Eike (2023): Implications of ageing effects on thermal and mechanical properties of PMMA-based bone cement for THA revision surgery. In: Journal of the Mechanical Behavior of Biomedical Materials 148, S. 106218. DOI: 10.1016/j.jmbmm.2023.106218.

Scheithauer, T.; Brätz, O.; Henkel, K.-M.; Hassel, T. (2023): Investigations on fatigue strength of wet welded structural steels. In: Welding and Cutting 22 (2), S. 44–49. DOI: 10.53192/WAC20230244.

Schnettger, Alexander; Holländer, Ulrich; Maier, Hans J. (2023): A Composite of Polyether Ether Ketone and Silica-Coated Copper Particles for Creating Tailored Conductive Tracks via Laser Printing. In: Macro Materials & Eng. Artikel 2300264. DOI: 10.1002/mame.202300264.

Wackenrohr, Steffen; Herbst, Sebastian; Wöbbeking, Patrick; Gerstein, Gregory; Nürnberger, Florian (2023): Correlating Ultrasonic Velocity in DC04 with Microstructure for Quantification of Ductile Damage. In: JMMP 7 (4), S. 142. DOI: 10.3390/jmmp7040142.

Wegewitz, Lienhard; Maus-Friedrichs, Wolfgang; Gustus, René; Maier, Hans Jürgen; Herbst, Sebastian (2023): Oxygen-Free Production – From Vision to Application. In: Adv. Eng. Mater., Artikel 2201819, S. 2201819. DOI: 10.1002/adem.202201819.

Wolf, Thomas; Brätz, Oliver; Henkel, Knuth-Michael; Hassel, Thomas (2023): Untersuchungen zur Ermüdungsfestigkeit von nass geschweißten Offshore-Stählen. In: Schweißen und Schneiden 75 (8), S. 548–553.

Vorträge

Hassel, T.; Schmidt, E.; Mills, C. Wollermann, T.; Dummann, A. (2023): Entwicklungsschritte des Elektrokontakttrenns (CAMG) unter Wasser für den kerntechnischen Rückbau – aktuelles aus Forschung und Entwicklung. 10. Symposium Stilllegung und Abbau kerntechnischer Anlagen. TÜV-Nord Akademie. Laatzen, 14.06.2023.

Mills, C.; Schmidt, E.; Wollermann, T.; Hassel, T. (2023): In-situ Process Monitoring of Contact Arc Metal Grinding for Underwater Use in Nuclear Decommissioning. ICOND23. AiNT GmbH. Aachen, 13.11.2023.

Konferenz (reviewed)

Wurst, J., Steinhoff, T., Mozgova, I., Hassel, T., Lachmayer, R. (2023): Aspects of a Sustainability Focused Comparison of the Wire Arc Additive Manufacturing (WAAM) and the Laser Powder Bed Fusion (LPBF) Process. In: In: Scholz, S.G., Howlett, R.J., Setchi, R. (eds) Sustainable Design and Manufacturing. SDM 2022. Smart Innovation, Systems and Technologies, vol 338. Springer, Singapore. DOI: 10.1007/978-981-19-9205-6_9.

Konferenz

Schmidt, E.; Mills, C.; Wollermann, T.; Hassel, T. (2023): Anwendung des Elektrokontakttrenns unter Wasser mittels additiv gefertigten Elektroden im kerntechnischen Rückbau. In: Kontec Gesellschaft für technische Kommunikation GmbH (Hg.): Tagungsband des 15. Internationalen Symposium "Konditionierung radioaktiver Betriebs- und Stilllegungsabfälle" Kontec. Mannheim, S. 1–9.

Barenti, Khemais; Wolf, A.-M.; Werwein, S.; Herbst, S.; Nürnberger, F. (2023): Kaltwalzpattieren unter XHV-adäquaten Bedingungen. In: Tagungsband 5. Symposium Materialtechnik. Clausthal-Zellerfeld. DOI: 10.21268/20230628-4.

Gansel, R.; Mlinaric, M.; Hassel, Thomas; Maier, H. J.; Barton, S. (2023): Erzeugung von künstlichen Rissen mittels der Wasserstrahltechnologie. In: DGZfP DACH-Jahrestagung 2023, 15.07.-17.07.2023, Friedrichshafen, S. 1–11.

Wesentliche Neanschaffungen

Inertgas-Pulververdünsungsanlage ALD EIGA 70-500 mit VIGA-2B

LAUDA Ultracool UC 50 W (für Pulververdünsungsanlage)

Foerster Magnetoscop 1.070.68

KUKA KR4 R600



LAUDA Ultracool UC 50 W (für Pulververdünsungsanlage). Foto: IW

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 15 Beschäftigte arbeiten dort in einem Umfeld, das durch 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 Kästen) 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 angrenzenden Ausland tätig.

Forschungs- und Entwicklungsschwerpunkte: 3D-Druck, Intelligente Systeme und Automatisierungstechnik

Im Bereich Sondermaschinen und Ingenieurleistungen betreibt die TEWISS GmbH auch eine Reihe eigener Forschungs- und Entwicklungsprojekte: Einen Schwerpunkt bildet die additive Fertigung, wo sie in unterschiedlichen Projekten aktiv ist. In dem vom Bundeswirtschaftsministerium geförderten Kooperationsvorhaben XXL3D-Druck übernimmt die TEWISS GmbH die Entwicklung eines Steuerungssystems für einen XXL-3D Drucker. Mit Hilfe des Druckers und auf Basis eines laserunterstützten Lichtbogen-Drahtauftragsschweißprozesses soll es möglich werden, XXL-Bauteile wie z.B. Schiffsgetriebegehäuse künftig additiv zu fertigen. Im Fokus liegt dabei die Einsparung von Energie gegenüber existierenden Prozessketten. Das Projekt wird in Kooperation mit den Firmen Reintjes GmbH, Eilhauer Maschinenbau GmbH sowie den Forschungsstellen IPH Hannover gGmbH und Laserzentrum Hannover e. V. bearbeitet.

Einen weiteren Schwerpunkt bilden intelligente Systeme wie zum Beispiel Mikroelektronik zur Überwachung von Maschinen, Werkzeugen und Sensoren sowie allgemeine Lösungen für die automatisierte Produktion. Anspruchsvolle Konzepte für Maschinensteuerungen und Roboterzellen ermöglichen einen zunehmend autonomen Anlagenbetrieb und tragen wesentlich zur Realisierung von sogenannten „Smart Factories“ bei, in welchen Produkte mit hohem Automatisierungsgrad prozesssicher hergestellt werden. Im Zeichen der Industrie 4.0 nutzen die TEWISS-Ingenieure ein breites Spektrum an Technologien, um diese zu hochproduktiven, flexiblen und automatisch gesteuerten Anlagen zusammenzusetzen.

Cobots - Potential für die Automatisierung flexibler Produktionsabläufe

Zum Technologietransfer zählt auch das von der TEWISS GmbH zusammen mit drei weiteren Partnern betriebene und mit öffentlichen Mitteln geförderte RoboHub Niedersachsen. Im Hub werden Schulungen und Workshops sowie Netz-

werkaktivitäten rund um das Thema Cobot und Roboterautomatation durchgeführt.

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 1.360 Bücher zu ingenieur-, natur- und sozialwissenschaftlichen Themen sind mittlerweile im TEWISS Verlag erschienen. Der Verlag fördert dabei insbe-

sondere 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 27 Schriftenreihen aus den Bereichen Maschinenbau und Elektrotechnik betreut. Im vergangenen Jahr sind 110 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 345 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: 15
 Gesamtleistung in 2022: 2,389 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. Serjoshua 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

Proing ist ein innovativer Beratungs- und Engineering-Dienstleister für anspruchsvolle Planungs-, Realisierungs- und Optimierungsprojekte in der Luftfahrt- und Fahrzeugindustrie, dem Maschinen- und Anlagenbau, der Energiewirtschaft und vielen anderen Branchen.

- ▶ Strategie- und Prozessberatung: Strategieentwicklung, Prozess- und Organisationsanalyse sowie Optimierung, Projektmanagement, Workshopmoderationen
- ▶ Energieeffiziente und ressourcenschonende Produktion: Energiebilanzierung und Energiemanagement, Energieeffizienz und CO₂-Reduzierung
- ▶ 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 2023:

- ▶ Strategieentwicklung: Entwicklung einer Werkstrategie bei einem Unternehmen in der Luftfahrtindustrie.
- ▶ Prozessberatung: Prozess- und Organisationsoptimierung im Rahmen der Auswahl eines ERP-Systems bei einem mittelständischen Unternehmen.
- ▶ Fabrikplanung: Ausführungsüberwachung und Anlaufplanung im Rahmen des Neubaus einer Galvanikfabrik für einen Werkzeughersteller.
- ▶ Logistikplanung: Entwicklung eines effizienten Materialflusskonzepts für das neue Werkzeugwesen bei einem Unternehmen in der Luftfahrtindustrie.

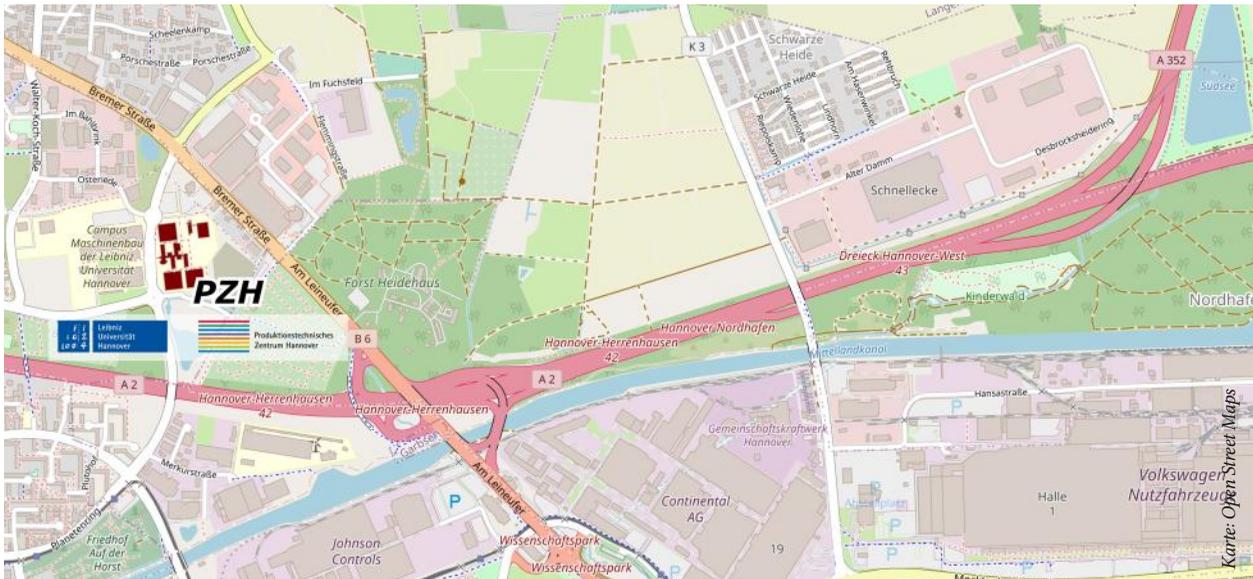
Gerne unterstützen wir auch Sie mit unserer Erfahrung und Fachkompetenz bei Ihren Herausforderungen.

Kontakt Proing Produktionsberatung
 Dr.-Ing. Gregor Drabow
 Tel.: 0511 762 18201
 Mail: info@pro-ing.de
 Web: www.pro-ing.de



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. Marc-Christopher Wurz
Prof. Dr.-Ing. Ludger Overmeyer
(Vorstandssprecher 2023/2024)

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, Helge Bauer

Illustrationen:

Dorota Gorski

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 978-3-95900-924-9

Das PZH Magazin 2024 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.

**HAN
NOV
ER** 



WIE IHR UNTERNEHMEN
WÄCHST?

**GREEN
ECONOMY**

**NACH
HALTIG.**

Hannover Region Green Economy

Wir fördern nachhaltige Unternehmensprojekte
im Bereich Forschung und Innovation.

Hier erfahren Sie mehr:

www.wirtschaftsfoerderung-hannover.de/greeneconomy

GREEN ECONOMY –
EINE INITIATIVE DER
WIRTSCHAFTSFÖRDERUNG



Region Hannover

Machining Transformation (MX):

Ganzheitlicher Ansatz für die
Fertigungstechnik

MX MACHINING TRANSFORMATION



PROZESSINTEGRATION

Kombinieren Sie mehrere Prozesse in einer Werkzeugmaschine für höhere Produktivität und Effizienz.



AUTOMATION

Steigern Sie Produktivität, Qualität sowie den 24/7-Betrieb.



DX – DIGITALE TRANSFORMATION

Revolutionieren Sie Ihre Arbeitsabläufe, erschließen Sie unendliche Möglichkeiten, steigern Sie Effizienz und fördern Sie Nachhaltigkeit.



GX – GRÜNE TRANSFORMATION

Integrierte Prozesse steigern die Produktivität, minimieren den Energieverbrauch und maximieren die Rentabilität.



Mehr Informationen unter
transform.dmgmori.com

DMG MORI