

Das Magazin des Produktionstechnischen Zentrums
der Leibniz Universität Hannover / Jahresbericht 2022

Alles anders

Produktion im Wandel





Langfristiger Arbeitsplatz



Attraktive Vergütung



Flexible Arbeitszeit

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

Uni-Stipendium

- Technische Informatik
- Informatik
- Elektro- und Informationstechnik

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

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

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

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



Langfristige Perspektiven...

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

- Seminare und (Networking-)Events, die Dich fachlich und persönlich weiterbringen.
- individuelles Coaching und Mentoring.
- eine attraktive Vergütung während des Studiums und beim Direkteinstieg (betriebliche Altersvorsorge, Gewinnbeteiligung).
- ein tolles Arbeitsklima: kollegial, menschlich, wertschätzend und interessiert.

**Bewerbung für das Stipendium
bis 30.09.2023 für Förderbeginn in 2024**

Nähere Infos unter studium.heidenhain.de oder bei Dr. Florian Schindler:
studium@heidenhain.de / 08669 31-1228

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

Nähere Infos unter heidenhain.de/karriere oder bei Frau Nicole Trübenbach:
professionals@heidenhain.de / 08669 31-3259



Wir sind online!
[heidenhain_newtalents](https://www.instagram.com/heidenhain_newtalents)



Prof. Dr.-Ing. Hans-Josef Endres



Prof. Dr.-Ing. Marc Christopher Wurz

Liebe Leserinnen, liebe Leser,

die Zahl der jungen Menschen, die Maschinenbau studieren, sinkt. Es ist kein dramatischer Rückgang, aber er stimmt doch bedenklich, zumal ähnliche Tendenzen für den MINT-Bereich insgesamt zu beobachten sind. Besorgt registriert die Bundesregierung in ihrer jüngsten „Fachkräftestrategie“ anhaltende Engpässe in IT-Berufen sowie im Bereich der technischen Forschung und Entwicklung.

Dieser Trend fällt in eine Zeit, in der wir mehr und nicht weniger technische Kompetenz und Innovationskraft brauchen. Um die großen Herausforderungen, vor denen Wirtschaft und Gesellschaft stehen – Energiewende, Klimaschutz, Digitalisierung der Infrastrukturen – zu meistern, sind Ingenieure und andere technische Fachkräfte mit Spezialkenntnissen aus vielen Bereichen gefragt. Sie haben die Expertise und konstruktive Kreativität, die notwendig sind, um politische Absichten in die Praxis umzusetzen. Die Schere, die sich im technischen und ingenieurwissenschaftlichen Bereich zwischen sinkendem Angebot und steigendem Bedarf öffnet, wieder zu schließen, ist eine Kernaufgabe der Bildungspolitik, der Schulen, Hochschulen und der Unternehmen. Deshalb ist die Ausbildungs- und Nachwuchssituation eines der Themen, denen wir uns in dieser Ausgabe widmen.

Selbstverständlich ist technischer Sachverstand nicht nur eine Zukunftsressource. Er wird Tag für Tag gebraucht, um die Existenz des Industriestandorts Deutschland zu sichern. Nicht nur in den Laboren und Entwicklungsabteilungen, sondern auch in den Fabrikhallen tun sich, bedingt durch die demographische Entwicklung, zunehmend Lücken auf, können Fachleute, die in den Ruhestand gehen, schwer oder gar nicht ersetzt werden. Welche Möglichkeiten und Chancen hier die Robotik und andere Formen der Automatisierung bieten, ist ein weiterer Schwerpunkt dieses Heftes.

Und auch dieses Mal möchten wir Ihnen wieder Einblicke in die aktuelle wissenschaftliche Arbeit der acht Institute des PZH bieten. Das Themenspektrum reicht von innovativen Technologien zur Material- und Energieeinsparung und neuen Konzepten der Kreislaufwirtschaft über die Anwendung quantenmechanischer Effekte im Maschinenbau und die sich immer stärker ausweitenden Möglichkeiten der additiven Fertigung bis zum enormen technischen Potential, das Herstellungsverfahren in sauerstofffreien Atmosphären eröffnen. All diese Projekte spiegeln die besondere Dynamik, die die produktionstechnische Forschung zur Zeit durchläuft – eine Dynamik, die auf die Herausforderungen der Gegenwart antwortet und zukunftsfähige Lösungen erwarten lässt.

Hans-Josef Endres
Vorstandssprecher 2022

Marc Christopher Wurz
Vorstandssprecher 2023



Panorama 2022 / 2023

6 Zu Gast bei Freunden

9 Personalia

10 Meldungen

14 Fokus Forschung



Wandel in der Produktion

22 Was tun gegen den Mangel an Technik-Fachkräften?

Während der Bedarf an technischer Expertise wächst, gehen die Studienanfängerzahlen zurück – wir zeigen zwei Lösungsansätze.

27 Sauerstoffbefreit:

Ein SFB eröffnet extrem vielversprechende Möglichkeiten für viele Bereiche der Produktionstechnik.

30 Quantenkryptografie für Anfänger

Sicherheit in der Datenübertragung zum Anfassen und Mitnehmen bietet ein neues mobiles System aus dem ITA.

32 Neue Horizonte in der Mikrowelt

Marc Christopher Wurz ist der neue Leiter des IMPT – was ist seine Agenda?

36 Präzisionswerkzeuge effizienter herstellen:

Wie sich der Energieverbrauch für die Herstellung von Hartmetallwerkzeugen massiv senken lässt.

38 Ressourcen schonen beim Flugzeugbau

Ein Konzept für eine ressourcenschonende Produktion durch intelligente Datennutzung.



Jahresbericht 2022

42 PZH - Fakten und Zahlen

44 PZH - Schwerpunkte für Industriekooperationen

46 Promotionen

46 Gäste

47 Auszeichnungen

48 Seminare, Workshops, Konferenzen

48 Patente

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

50 IFA – Institut für Fabrikanlagen und Logistik

56 IFUM – Institut für Umformtechnik und Umformmaschinen

64 IFW – Institut für Fertigungstechnik und Werkzeugmaschinen

76 IMPT – Institut für Mikroproduktionstechnik

84 IKK – Institut für Kunststoff- und Kreislauftechnik

88 ITA – Institut für Transport- und Automatisierungstechnik

94 match – Institut für Montagetechnik

100 IW – Institut für Werkstoffkunde

106 TEWISS Technik und Wissen GmbH

108 Unternehmen im PZH

110 Anreise / Impressum



Illustrationen: Dorota Gorski

Redaktioneller Hinweis:
Wir legen großen Wert auf eine
gendersensible Sprache.

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

Spaß und Wissenschaft: **Volksfest im PZH und auf dem Campus Maschinenbau**



Der November ist grau und trübe? Nicht im PZH und auf dem Campus Maschinenbau. Dort kamen am 5. November vergangenen Jahres – bei strahlendem Sonnenschein – Jung und Alt zum alljährlichen Volks- und Familienfest zusammen, um sich in den Labors und Versuchsfeldern umzuschauen, bei Experimenten, Spielen und Rätselaktionen mitzumachen, Informationen über das Maschinenbaustudium zu sammeln und die Kochkünste der Mensa zu testen. Nach zwei Jahren pandemiebedingter Unterbrechung knüpften das PZH und die Fakultät für Maschinenbau an eine liebgewonnene Tradition an – allerdings mit einer kleinen Neuerung: Aus den bekannten „Nächten“ des Maschinenbaus war ein Familientag des Maschinenbaus geworden, der im Rahmen des uniweiten Tags der offenen Tür „Leibniz AnsprechBAR“ stattfand. Von 12 bis 18 Uhr bekamen Besucher eine bunte Mischung aus Technik, Wissenschaft und Unterhaltung geboten. Erstmals konnten sie sich auch in den neuen Forschungshallen und Laborbereichen des Campus Maschinenbau umsehen. Die PZH-Institute boten ihren Gästen eine große Palette aus spannenden Themen, Exponaten, Experimenten und Mitmachaktionen. Dazu gehörte zum Beispiel ein „Roboter-Park“, in dem verschiedene Robotertypen ihr Können zeigten. Großes Interesse erweckten auch Experimente zu Themen wie „Können Maschinen fühlen?“, „Wie beeinflussen unsicht-

bare Kräfte unser Leben?“ oder „Aus Licht wird Musik“. Besucher erlebten „Umformtechnik hautnah“, beschäftigten sich mit „Digitalen Zwillingen“ und lernten, wie man mit dem „Kollegen Roboter“ zusammenarbeiten kann. Bei Mitmachaktionen konnten sie ausprobieren, wie man Schokolade gießt oder aus flüssigem Metall dreidimensionale Bauteile schafft.

Ein Leitmotiv der Veranstaltung war die Frage: „Wie geht Nachhaltigkeit?“ Solche ökologischen Gesichtspunkte spielen im gesamten Maschinenbau und insbesondere in der Produktionstechnik eine immer wichtigere Rolle – zum Beispiel beim Lebenszyklus von Produkten. Schon bei ihrer Herstellung sollen Ressourcen geschont und möglichst wenig Energie und Material eingesetzt werden. In ihrer Nutzung sollen sie zuverlässig, langlebig und reparierbar sein. Und am Ende der Lebensdauer steht die Forderung nach ihrer Wiederverwertbarkeit. Diese unterschiedlichen Eigenschaften müssen im Sinne einer Kreislaufwirtschaft von Beginn an mitgedacht werden. Auf der Forschungsagenda der PZH-Institute stehen solche Aspekte ganz oben.



*Ganz heiß oder eiskalt: Vorführungen beim Schmieden (oben) und mit flüssigem Stickstoff.
Fotos: Max Kesberger, Fakultät für Maschinenbau LUH*



MuT zu MINT: Wissenschaft zum Anfassen

Zum dreizehnten Mal fand im November vergangenen Jahres der Projekttag „Mädchen und Technik“ (MuT) des Instituts für Mikroproduktionstechnik (IMPT) und des PZH statt – aber Unglück brachte die Zahl nicht. Im Gegenteil: Nach dem pandemiebedingten Online-Format im Vorjahr konnten die Schülerinnen nun wieder Technik und Wissenschaft zum Anfassen und Mitmachen erleben.

Alljährlich lädt MuT Schülerinnen ein, die Welt der Technik zu erkunden, mit Ingenieurwissenschaftlerinnen ins Gespräch zu kommen und die Vielfalt technischer Ausbildungen und Berufe kennenzulernen. Über 110 Mädchen zwischen 13 und 17 Jahren von 21 Schulen aus Hannover, Hildesheim, Soltau und anderen Regionen folgten dieses Mal der Einladung ins PZH und auf den Campus Maschinenbau.

In 14 Projekten konnten die Schülerinnen Technik und Naturwissenschaften „in Aktion“ erleben. Das Spektrum der Experimente, Workshops und Mitmachaktionen reichte von der Konstruktion

eines elektronischen „Schüttelwürfels“ und das Schneiden mit einem Plasmastrahl über das Programmieren von Spielen und die Fertigung von Mikrostrukturen bis zur Herstellung von Herzklappen und der Erzeugung von Hologrammen.

Außerdem gab es einen Technikwettbewerb und ein MINT-Interview, in dem Studentinnen und Auszubildende der Leibniz Universität die Fragen der Schülerinnen beantworteten. Der Science Escape Room, der zum ersten Mal in Präsenz stattfand, war dieses Mal besonders beliebt. Ziel des Projektes war es, Rätsel zu lösen und einen Ausweg aus einem „Labor“ zu finden.

Die Vorbereitungen für MuT 2023 laufen bereits. Die Veranstaltung wird am 20.11.2023 stattfinden.

Weitere Informationen:

Selina Raumel, 0511 762 5484,

raumel@impt.uni-hannover.de und

Eileen Müller, 0511 762 1228; mueller@impt.uni-hannover.de

RoboHub Niedersachsen – Leichtbauroboter bieten große Chancen

Leichtbauroboter – oft auch als Cobots bezeichnet – sind flexibel einsetzbar und können unterschiedlichste Aufgaben in der Fertigung übernehmen. Sie sind einfach zu programmieren und zu bedienen und bieten auch mittelständischen Industrie- und Handwerksbetrieben die Möglichkeit, Prozesse zu automatisieren. Darin liegt auch eine Chance, dem zunehmenden Fachkräftemangel zu begegnen.

Für Fach- und Führungskräfte, die sich über die Einsatzmöglichkeiten von Leichtbaurobotern im eigenen Betrieb informieren möchten, gibt es seit 2022 den RoboHub Niedersachsen im PZH. Er bietet Informationen, Workshops und Schulungen rund um das Thema. Der Hub – eine Kombination aus Experimentallabor und Informationszentrum – wird von der TEWISS – Technik und Wissen GmbH, dem Institut für Montage-technik (match), der Leibniz Universität Hannover, der Region Hannover und die Firma Vision Lasertechnik GmbH betrieben.



Der Hub zählt zu den vom Land Niedersachsen geförderten DigitalHubs. Die Region Hannover ist Co-Förderer des Hubs.

Auf reges Interesse stieß das Tech-Meetup #2 der Region Hannover, das am 30. Juni im RoboHub als Hybrid-Veranstaltung stattfand.

Dort berichteten Referenten aus regionalen Betrieben anhand konkreter Beispiele, für welche Einsatzbereiche sich Leichtbauroboter bereits bewährt haben und welche Herausforderungen es bei der Planung und im Betrieb noch gibt. Eine Besichtigung

der RoboHub-Flächen und der dort präsentierten Cobot-Systeme bot den Gästen praktische Beispiele und anschauliche Informationen.

Weitere Informationen: Dipl.-Ing. Patrice Weber (TEWISS –

Technik und Wissen GmbH) Tel. 0511 762 18360,

weber@tewiss.uni-hannover.de www.robohub-nds.de

Forschung für die Produktion von morgen: Industriekolloquium am PZH

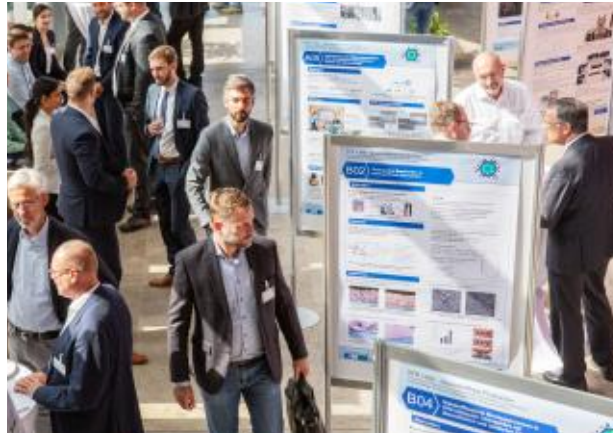
Wie produziert man ohne Sauerstoff? Wie lassen sich Bauteile aus unterschiedlichen Werkstoffen fertigen? Und warum sind diese Themen wichtig für eine zukunftsfähige, ressourcenschonende und wettbewerbsstarke Produktionstechnik?

Um diese Fragen ging es in einem Industriekolloquium mit rund 80 Teilnehmern aus Forschung und Industrie, das am 6. September 2022 unter dem Titel „Neue Potentiale für die Produktionstechnik“ im PZH stattfand. Ausgerichtet wurde es von den Sonderforschungsbereichen 1153 „Tailored Forming“ und 1368 „Sauerstofffreie Produktion“, an denen insgesamt sechs Institute des PZH beteiligt sind.

Der Sonderforschungsbereich „Tailored Forming“ beschäftigt sich mit der Entwicklung neuartiger Prozessketten zur Herstellung lokal belastungsangepasster Massivbauteile, bei denen die unterschiedlichen Werkstoffe zunächst gefügt und anschließend zusammen umgeformt werden. Dieses maßgeschneiderte Umformen ermöglicht es, die Leistungsdichte und Funktionalität von Bauteilen unter ökonomischen und ökologischen Gesichtspunkten signifikant zu steigern.

Im Sonderforschungsbereich „Sauerstofffreie Produktion“ geht es um Fertigungsprozesse unter Ausschluss von Sauerstoff. Damit sollen völlig neuartige Techniken für eine effizientere und ressourcenschonende Fertigung entwickelt werden, die zudem die Leistungsfähigkeit der erzeugten Produkte steigern.

Die Veranstalter des Industriekolloquiums informierten in Vorträgen über die unterschiedlichen Facetten dieser Projekte und den Transfer aktueller Forschungsergebnisse in die industrielle Anwendung. Poster-Präsen-



Rund 80 Teilnehmer informierten sich in Vorträgen, Laborbesichtigungen und Poster-Präsentationen. Foto: Heike Mischewsky

tionen, Laborbesichtigungen, Diskussionen, persönliche Gespräche und Live-Experimente lieferten den Teilnehmern zusätzlich spannende Einblicke und Eindrücke aus erster Hand.

Internationale Konferenz am IFW: Neue Trends in der Luft- und Raumfahrtfahrtindustrie

Maßnahmen zur Steigerung der Nachhaltigkeit und zur Verkleinerung des ökologischen Fußabdrucks in der Luftfahrtindustrie war eines der bestimmen Themen der 22. „Machining Innovations Conference for Aerospace Industry“ (MIC 2022), die am 30. November und 01. Dezember 2022 vergangenen Jahres stattfand. Ausgerichtet wurde die internationale Veranstaltung wieder vom Institut für Fertigungstechnik und Werkzeugmaschinen (IFW) und dem Manufacturing Innovations Network e.V. (MIN). Nachdem die Tagung in den beiden Jahren zuvor pandemiebedingt virtuell hatte stattfinden müssen, konnten die Veranstalter ihre Gäste dieses Mal wieder in Präsenz begrüßen. Zwei Tage lang tauschten sich rund 100 Ingenieure aus

Wissenschaft und Industrie über produktionstechnische Innovationen und Forschungsergebnisse in der Luft- und Raumfahrtindustrie aus. Weitere Themenschwerpunkte waren innovative Trends in der Fertigungstechnik von Luft- und Raumfahrtkomponenten, ganzheitliche Produktionsprozesse von der Planung der Fertigung bis hin zur Wartung der Maschine, die Nachhaltigkeit von Werkzeugmaterialien, Kosten und Nutzen digitaler Anwendungen sowie Datengenerierung und -management in automatisierten Maschinennetzwerken.

Neben den Vorträgen gab es eine Führung durch das IFW-Versuchsfeld sowie eine Poster-Session mit aktuellen Forschungsergebnissen. In einem gesonderten Ausstellungsbereich zeigten Unternehmen



MIC 2022
22nd Machining Innovations Conference
for Aerospace Industry

des produzierenden Gewerbes ihre Innovationen. Eine Podiumsdiskussion mit namhaften Experten aus Wissenschaft und Industrie rundete das Konferenzprogramm ab. Die nächste Machining Innovations Conference for Aerospace Industry findet in diesem Jahr am 29. und 30.11. im PZH statt.

Weitere Informationen unter: www.mic-conference.com und dem LinkedIn Account des IFW: (37) IFW - Institute of Production Engineering and Machine Tools: Übersicht | LinkedIn



Foto: Christian Wyrwa

DBU-Promotionsstipendium für Meret Jürgens

Wie lässt sich das Prinzip der Kreislaufwirtschaft in kleinen und mittelständischen Unternehmen (KMU) der Kunststoffwirtschaft implementieren? Zu dieser Frage forscht Meret Jürgens im Rahmen ihrer Dissertation am Institut für Kunststoff- und Kreislauftechnik (IKK). Sie hat dafür eines der 60 Stipendien der Deutschen Bundesstiftung Umwelt (DBU) erhalten.

„Konventionelle Kunststoffwirtschaft verläuft meist linear und ist dadurch eng mit Ressourcenverbrauch und Abfallerzeugung verbunden“, erklärt Meret Jürgens. Ein alternatives Konzept, das Umweltbelastungen reduzieren kann, ist die Kreislaufwirtschaft. Sie einzuführen, fällt kleinen und mittelständischen Unternehmen allerdings besonders schwer. Es fehlt an Informationen, personellen Ressourcen und Zeit, um die nötige Expertise zu erarbeiten. Zudem erschwert die große Bandbreite an Kunststoffen und Anwendungsmöglichkeiten die Formulierung allgemeingültiger Empfehlungen. Wie die Implementierung des Kreislaufkonzepts erleichtert werden kann, will Meret Jürgens unter anderem in Fallstudien anhand der Produkte von KMU untersuchen. Interessierte Unternehmen werden gebeten, den Kontakt aufzunehmen.

Ausführlicher Text: phi-hannover.de

Dr.-Ing. Sebastian Herbst mit dem Georg-Sachs-Preis ausgezeichnet

Als herausragender Wissenschaftler, der stets die industrielle Anwendung im Blick hat, wurde Dr.-Ing. Sebastian Herbst vom Institut für Werkstoffkunde (IW) mit dem Georg-Sachs-Preis ausgezeichnet. Verliehen wurde der Nachwuchspreis beim DGM-Tag der Deutschen Gesellschaft für Materialkunde e.V. am 26. September 2022. Sebastian Herbst leitet am IW den Bereich „Technologie der Werkstoffe“ und ist Geschäftsführer des Sonderforschungsbereichs 1368 „Sauerstofffreie Produktion“. Mit dem Georg-Sachs-Preis werden vorzugsweise wissenschaftliche Arbeiten ausgezeichnet, die in enger Beziehung zur Praxis der Materialwissenschaft und Werkstofftechnik stehen. Der Georg-Sachs-Preis wird vom Stifterverband Metalle und dem Fachverband der Nichteisen-

Metallindustrie Österreichs gemeinsam ausgelobt und seit 1968 vergeben.

Ausführlicher Text: phi-hannover.de



Foto: IW

Drucksensoren aus Glas: IMPT gewinnt „Best Session Paper“



Bei der diesjährigen „Electronic Components and Technology Conference“ in San Diego gewannen Anatoly Glukhovskoy, Maren Prediger, Jennifer Schäfer und Prof. Dr.-Ing. Marc Wurz vom Institut für Mikroproduktionstechnik (IMPT) gemeinsam mit ihren Kooperationspartnern der Firma LPKF den Preis des „Best Session Paper“. Sie erhielten diese höchste Auszeichnung der Konferenz für ihren Beitrag „Proof of Concept: Glass-Membrane Based Differential Pressure Sensor“.

Darin zeigen sie die ersten Entwicklungsschritte und Auswertungen eines Differenzialdruck-Sensors, dessen Grundlage ein von LPKF hergestelltes Raster aus Membranen in einem Glassubstrat darstellt. Drucksensoren spielen in vielen Bereichen eine wichtige Rolle, zum Beispiel in der Meteorologie, in Industrieanlagen, Autos, der Robotik oder der Chirurgie.

Ausführlicher Text: www.ieeexplore.ieee.org/document/9501885

„Digitaler Ort Niedersachsen“: Auszeichnung für Stärkung der Innovationskraft

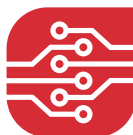
Das Mittelstand-Digital Zentrum Hannover der Leibniz Universität (LUH) ist als „Digitaler Ort Niedersachsen“ ausgezeichnet worden. Der Staatssekretär für Digitalisierung im Niedersächsischen Wirtschaftsministerium, Stefan Muhle, nahm die Ehrung am 8. Juni 2022 in der Demo-Fabrik des Zentrums in Garbsen vor. Als „Digitale Orte Niedersachsen“ werden Initiativen, Projekte, Unternehmen und Institutionen gewürdigt, die sich besonders für die Digitalisierung engagie-

ren und damit einen wichtigen Beitrag für die Innovationskraft Niedersachsens leisten.

Das Mittelstand-Digital Zentrum Hannover ist Teil des Netzwerks Mittelstand-Digital und bietet kleinen und mittelständischen Unternehmen Unterstützung bei der Digitalisierung durch Praxisbeispiele und Angebote zur Qualifikation und IT-Sicherheit. Seine Geschäftsstelle wird

vom Institut für Fertigungstechnik und Werkzeugmaschinen (IFW) gemeinsam mit dem Institut für Berufspädagogik und Erwachsenenbildung (IfBE) geleitet.

Weitere Informationen: Gerold Kuiper, 0511 762 18325, kuiper@mitunsdigital.de



**Mittelstand-Digital
Zentrum
Hannover**

Ein Greifer für Heißes: Formvariable Handhabung beim Schmieden

Beim Schmieden verändert sich die Form der Bauteile erheblich. Um sie zu handhaben, müssen bislang mehrere Greifer eingesetzt werden, die an die jeweilige Geometrie angepasst sind. Im Institut für Montagetechnik (match) werden Greifer entwickelt, die sich den Formveränderungen flexibel anpassen können und gleichzeitig der extremen Hitze standhalten. Am Ende soll es möglich sein, extrem heiße Bauteile unterschiedlichster Geometrien mit nur einem Greifer zu handhaben.

Als Basis für die Untersuchungen dienen zwei vielversprechende Systeme: der

FinRay-Greifer und der Stift-Greifer. Der FinRay-Greifer, dessen Mechanik einer Fischflosse nachempfunden ist, besteht aus einem gleichschenkligen Dreieck, dessen Schenkel durch Querstreben verbunden sind. Wenn eine Fischflosse mit einem Objekt in Kontakt kommt, schmiegt sie sich ihm an. Dieser Effekt wird auf die Greiffinger übertragen. Solche FinRay-Finger werden in der Industrie bereits verwendet, sind aber aus polymeren Werkstoffen gefertigt, die nur bis maximal 300 °C eingesetzt werden können. Für das Schmieden, wo die Bauteile bis

zu 1200 °C heiß werden können, sind sie deshalb ungeeignet. Am match werden die Schenkel durch eine metallische Gliederkette – wie beispielsweise bei Armbanduhren – ersetzt. Dadurch bleibt die Beweglichkeit erhalten und zugleich können die hohen Temperaturen gemeistert werden.

Beim Stift-Greifer sind Stifte in einer Matrix angeordnet, wo sie sich axial unabhängig voneinander bewegen können. Das zu greifende Bauteil wird zwischen zwei einander gegenüberliegenden Matrizen platziert. Jeder Stift wird dann ausgeschoben, bis er Kontakt mit dem Bauteil hat. Auf diese Weise bekommt der Greifer jede Kontur sicher „in den Griff“. Auch solche Stift-Greifer gibt es bereits, allerdings sind hierbei Komponenten verbaut, die für die hohen Schmiedetemperaturen ungeeignet sind. Das match-Team hat den Hochttemperatureinsatz dieses Greifer-Typs bereits in Simulationen untersucht, darauf aufbauend konstruktive Anpassungen vorgenommen und die Einsatzfähigkeit unter Prozessbedingungen erfolgreich erprobt.

Weitere Informationen:
Caner-Veli Ince, (0511) 762-18247,
ince@match.uni-hannover.de



Glühendes Halbzeug vor der Umformung. (Foto: ELSA)

KI für KMU: Neues KI-Zentrum unterstützt produzierende Betriebe

Kleine und mittlere Unternehmen (KMU) sind oftmals unsicher, wenn es um die Chancen, Grenzen und Risiken des Einsatzes von Künstlicher Intelligenz in der Produktion geht. Ihnen bietet das Demonstrationszentrum ProKI Unterstützung. Das Zentrum, das Teil des Demonstrations- und Transfernetzwerks „KI in der Produktion“ mit deutschlandweit acht Zentren ist, ging am 1. Oktober 2022 im PZH an den Start. Der Schwerpunkt liegt hier auf der KI-Entwicklung für trennende Fertigungsverfahren. Das Spektrum der behandelten Themen reicht von der Simulation über Ressourceneffizienz, Sensorik und Prozessüberwachung bis hin zur prozesskettenübergreifenden Optimierung.

Vertreter der Unternehmen haben im PZH die Möglichkeit, Anwendungsszenarien zu testen. Unter anderem stehen Dreh-, Fräs- und Schleifbearbeitungszentren, kollaborative Roboter sowie vielfältige Sensorsysteme zur Verfügung. Basierend auf der Infrastruktur werden insgesamt acht Demonstratoren aufge-

baut, die sich an den KI-Entwicklungsfeldern orientieren. Daneben wird ein mobiler Demonstrator eingerichtet, der die Erprobung von KI-Ansätzen vor Ort bei produzierenden Unternehmen ermöglicht. Dazu steht ein mobiles Datenerfassungssystem für Sensor- und Maschinensteuerungsdaten inklusive verschiedener temporär einsetzbarer Sensoren zur Verfügung.

„Im ProKI-Demonstrationszentrum wird eine ausgezeichnete Infrastruktur zum Erproben von KI-Ansätzen in kleinen und mittleren Unternehmen zur Verfügung stehen“, so der Zentrumsleiter Professor Dr.-Ing. Berend Denkena vom Institut für Ferti-



Den Einsatz von Künstlicher Intelligenz in kleinen und mittleren Unternehmen (KMU) vorantreiben: Das ist das Ziel von ProKI. (Foto: IFW)

gungstechnik und Werkzeugmaschinen (IFW).

Weitere Informationen:
Dennis Stoppel, 0511 762 18327,
stoppel@ifw.uni-hannover.de

Experimente unter Schwerelosigkeit

Der Einstein-Elevator im Hannover Institute of Technology (HITec) erlaubt es, innerhalb einer Kapsel einen schwerelosen Zustand zu erzeugen. Wissenschaftler des Instituts für Transport- und Automatisierungstechnik (ITA) führen in dieser Anlage Experimente unter anderem zur additiven Fertigung unter Weltraumbedingungen und zur physikalischen Grundlagenforschung durch.

Um die Integration dieser unterschiedlichen Experimente in den Einstein-Elevator möglichst einfach zu gestalten, haben sie im Auftrag des Deutschen Zentrums für Luft- und Raumfahrt (DLR-SI) einen Experimentträger entwickelt, der flexibel aufgebaut werden kann. Er besteht aus der Träger-

basis, der Druckhülle und dem jeweiligen Experiment. Die Trägerbasis ist als Druckgefäß ausgelegt, innerhalb dessen sich die Hardware für die Steuerung und die Aufzeichnung der Sensordaten befindet. Oberhalb davon wird das Experiment montiert. Es kann optional von einer Druckhülle umschlossen werden, wenn keine vakuumtaugliche Experimenthardware verwendet werden soll.

Die Schwerelosigkeit wird durch den freien Fall des Experimentträgers simuliert, der dafür in einer Gondel platziert wird. Die Antriebe und die Akustik der Gondel oder die Experimenthardware können Schwingungen auslösen, die während der Schwerelosphase Beschleunigungen im Experiment

verursachen. Um diese so weit wie möglich zu reduzieren, wurde der Experimentträger so konstruiert, dass er möglichst steif ist und nur Eigenschwingungen mit hoher Frequenz zulässt. Da in der Gondel maximal 1.000 kg befördert werden können, durfte die Konstruktion auch nicht zu schwer sein. Die ITA-Wissenschaftler haben deshalb Aluminium für die geschweißten Einzelbauteile verwendet. Durch dieses Material werden zugleich unerwünschte magnetische Einflüsse reduziert.

Weitere Informationen:
Richard Sperling (ITA),
(0511) 762-14304
richard.sperling@ita.uni-hannover.de

IFA-Forschungsprojekt: Flexibel mit Nachfrageschwankungen umgehen

Produzierende Betriebe und besonders kleine und mittlere Unternehmen (KMU) sind immens volatilen Märkten ausgesetzt. Das liegt am internationalen Wettbewerb, dem zunehmenden Kostendruck sowie dem immer stärkeren Wunsch der Kunden nach individuellen, kurzfristig lieferbaren Produkten. In den Betrieben führt das zu Auslastungsverlusten an den Arbeitssystemen im Produktionsbereich und somit zu hohen Kosten.

Um die Ansprüche der Kunden zu erfüllen, müssen sich die Unternehmen stetig weiterentwickeln. Nicht nur eine hohe Produktqualität und konkurrenzfähige Preise, sondern auch Liefertreue und Lieferzeit sind zentrale Kaufkriterien. Sie müssen als Zielgrößen in die Planung und Gestaltung von Produktionssystemen eingehen. Um den KMU Entscheidungshilfen bei der Gestaltung dieser Abläufe zu liefern, arbeiten Wissenschaftler des Instituts für Fabrikanlagen und Logistik (IFA) gemeinsam mit acht produzierenden Unternehmen aus der Kunststoff- und Glasverarbeitung, der Labor-, Prozess-, Medizin- und Elektrotechnik sowie aus dem Maschinen- und Anlagenbau im Forschungspro-

jekt „Vorgehen zur Operationalisierung der Belastungsflexibilität zur Handhabung von Nachfrageschwankungen in verketteten Arbeitssystemen von KMU (GeProVar)“. Ziel ist eine Operationalisierung der Belastungsflexibilität im Produktionssystem.

Eine zentrale Frage ist, wie Kapazitätsstrukturen beschaffen sein müssen, die flexibel und schnell auf wechselnde Belastungen reagieren können. Am IFA wird das am Beispiel einer Montagestation untersucht, zu der ein Mitarbeiter, ein Materialpuffer und ein Fertigwarenlager gehören, die miteinander verkettet sind. Gearbeitet wird in einem 2-Schicht-System für acht Stunden pro Tag an fünf Tagen in der Woche. Bestandteile des Forschungsprojekts sind ein mathematisches Optimierungsmodell zur kostenminimalen Nutzung der Belastungsflexibilität, verschiedene Handlungsempfehlungen für KMU sowie eine Implementierung der Ergebnisse in einen Software-Demonstrator.

*Kontakt: Vera Wiefermann, (0511) 762-18198,
wiefermann@ifa.uni-hannover.de*

Schmieden: Werkzeugausfälle zuverlässig vorhersagen

Die beim Schmieden eingesetzten Werkzeuge unterliegen extremen thermischen und mechanischen Belastungen, die zum regelmäßigen Werkzeugausfall führen. Die Lebensdauer variiert dabei stark: So kann bei einem Fertigungsprozess die Zahl der Bauteile, die aus einem Werkzeugsatz hergestellt werden können, zwischen unter 1.000 und über 10.000 schwanken. Man muss davon ausgehen, dass diese Schwankungen durch bislang nicht näher untersuchte Unregelmäßigkeiten bei den Schmiedeprozessen verursacht werden.

Deshalb beschäftigt sich das Institut für Umformtechnik und Umformmaschinen (IFUM) mit der Definition und Erfassung von kritischen Prozessdaten, um die Simulation von Umformprozessen realitätsnäher zu gestalten und auf dieser Basis die Auslegung dieser Prozesse zu optimieren. Dabei soll eine Methode entwickelt werden, die universell übertragbar ist und so auch kleine und mittlere Unternehmen unterstützt. Untersucht wird, welche Prozessgrößen für eine Standzeitabschätzung relevant und zugleich messtechnisch sicher erfassbar sind. Ausgewählt wurden der Umformweg, die Presskraft und die Temperatur an mehreren Messstellen beziehungsweise Komponenten.

Um auch Prozessdaten mehrerer Pressen vergleichen zu können, entschieden sich die Forscher für die Entwicklung eines mobilen Messwagens, in den alle Komponenten geschützt integriert und flexibel eingesetzt werden können. In ersten Praxiseinsätzen erwies sich der aufgebaute Messwagen als extrem flexibel und leistungsfähig. Die Daten der Einzel- und Serienversuche stellen in kommenden Arbeiten die Grundlage dar, um moderne Feature-basierte

Datenmodelle (zum Beispiel neuronale Netze) aufzubauen oder die Vorhersagegenauigkeit von Finite-Elemente-Simulationen durch eine genauere Einstellung der Eingangsdaten zu verbessern.

Langfristig soll direkt an der Umformpresse eine intelligente Prozessüberwachung installiert werden, die es erlaubt, kritische Prozessdaten in Echtzeit zu erfassen, auszuwerten und hinsichtlich der verbleibenden Reststandzeit der eingebauten Werkzeuge zu bewerten. Dies würde Kosten sparen, denn einerseits ließen sich Wartungsintervalle genauer planen und andererseits könnten Gegenmaßnahmen ergriffen werden, um die Werkzeugstandzeit insgesamt zu steigern.

*Weitere Informationen: Felix Müller, (0511) 762-2451,
f.mueller@ifum.uni-hannover.de*



*Praktischer Einsatz des Messwagens am IFUM.
(Foto: IFUM – S. Peddinghaus)*

Bauteilidentifikation dank „Fingerabdruck“

Rückrufe wegen fehlerhafter Fertigung oder Produktfälschungen von Dritten beschieren dem deutschen Maschinen- und Anlagenbau alljährlich finanzielle Schäden in Milliardenhöhe. Will der Hersteller Schadensersatzzahlungen an Kunden vermeiden, muss er nachweisen, dass das Bauteil zum Zeitpunkt der Auslieferung nach aktuellem Stand der Technik in fehlerfreiem Zustand war oder dass es – im Falle eines Plagiats – nicht von ihm produziert wurde. In beiden Fällen ist eine Rückverfolgung der Bauteile entlang des kompletten Lebenszyklus notwendig.

Dafür müssen sie eindeutig markiert sein. Hierfür verwenden Unternehmen aktuell verschiedene Arten von aktiven Markierungen, beispielsweise einen QR-Code. Der Nachteil solcher Markierungen: Sie müssen am Ende der Prozesskette extra angebracht werden, was zudem formbedingt nicht auf jedem Bauteil möglich ist. Gefragt ist deshalb eine effiziente und branchenübergreifende Methode zur Bauteilidentifikation, die keinen zusätzlichen Applikationsschritt benötigt.

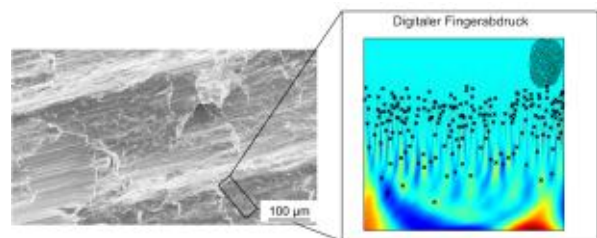
Bei spanenden Prozessen entstehen während der Bearbeitung zufallsbedingte Merkmale auf der Oberfläche. Sie werden zum Beispiel durch die Schartigkeit von Werkzeugen oder die Schwingungen in der Maschine erzeugt. Selbst bei gleichbleibenden Bearbeitungsprozessen kommt es so zu mikroskopischen Unterschieden, die jede Oberfläche so einzigartig wie einen Fingerabdruck machen.

Forscher des Instituts für Fertigungstechnik und Werkzeugmaschinen (IFW) und des Instituts für Informationsverarbeitung

(TNT) haben ein Verfahren entwickelt, mit dem sich diese „Fingerabdrücke“ über eine Messung mit einer hochauflösenden Industriekamera erfassen lassen. Versuche zeigten, dass es auf diese Weise möglich ist, jedes einzelne unter Millionen von identischen Bauteilen eindeutig zu identifizieren.

In einem nächsten Schritt wird zusammen mit Industriepartnern untersucht, welchen Einfluss Beschichtung, Wärmebehandlung und die galvanische Bearbeitung sowie Verschleiß und Korrosion auf die Oberfläche und somit die Identifikation haben. Erste Ergebnisse weisen darauf hin, dass auch unter diesen erschwerten Bedingungen eine zuverlässige Bauteil-Identifikation möglich ist.

Weitere Informationen: Hendrik Voelker, (0511) 762-8078, voelker@ifw.uni-hannover.de



Die Oberfläche eines spanend bearbeiteten Bauteils ist so einzigartig wie ein Fingerabdruck. (Grafik: IFW)

Werkstoff mit Zukunft: Wie sich die Umformung von Magnesium erleichtern lässt

Magnesium hat viele Vorzüge: Es ist der leichteste metallische Konstruktionswerkstoff, sein Schmelzbereich liegt zwischen 430 °C und 630 °C, was die Verarbeitung erleichtert, und seine Legierungen lassen sich gut recyceln. Verwendet werden Magnesiumlegierungen vor allem für Druckgussbauteile wie zum Beispiel Motor- und Getriebegehäuse, wo sie durch Gewichteinsparungen und hervorragende Dämpfungseigenschaften punkten.

Ein weiterer Vorteil von Magnesium ist seine Resorbierbarkeit im menschlichen Körper. Deshalb werden Magnesiumlegierungen in der Medizin eingesetzt, wo sie in Form von Schrauben und Platten komplizierte Knochenbrüche stabilisieren oder als Stents in Gefäße eingesetzt werden. Trotz dieser positiven Eigenschaften haben Magnesiumlegierungen bislang nur einen geringen Marktanteil. Das liegt vor allem daran, dass Magnesium sich aufgrund seiner Struktur nicht so gut umformen lässt wie Aluminium oder Stahllegierungen.

Am Institut für Werkstoffkunde (IW) wird jetzt erforscht, wie sich die Umformung von Magnesiumlegierungen erleichtern und

damit ihr Anwendungsspektrum erweitern lässt. Den Schlüssel liefert der „elektroplastische Effekt“ (EPE): Er tritt auf, wenn in metallischen Werkstoffen während einer Umformung gleichzeitig ein hoher elektrischer Strom eingeleitet wird, und erleichtert zugleich diese Umformung. Dem EPE liegen viele kleine physikalische Effekte zugrunde, die sich überlagern. Bisher ist aber unklar, welche dieser Faktoren für die Umformung die entscheidende Rolle spielen.

Das will ein Wissenschaftlerteam des Instituts für Werkstoffkunde (IW) herausfinden, um so den EPE für eine gezielte industrielle Anwendung nutzbar zu machen. In Legierungen mit Leichtbaupotential wurden bereits Bereiche auf mikrostruktureller Ebene entdeckt, die besonders gut durch den Effekt beeinflussbar sind. Der nächste Schritt kann eine gezielte Einstellung der Mikrostruktur für eine gesteigerte Reaktion der Legierungen auf die Stromimpulse sein.

Weitere Informationen: Elvira Karsten, (0511) 762-18239, karsten@iw.uni-hannover.de

Lieferzeiten: Künstliche Intelligenz verbessert Terminplanung

KI-Systeme können die Vorhersage von Lieferzeiten verbessern und damit die Planung der Triebwerksinstandhaltung unterstützen - das Institut für Fabrikanlagen und Logistik (IFA) und die MTU Maintenance Hannover GmbH arbeiten daran.

Die Planung von Lieferterminen bei der Instandsetzung von Flugzeugtriebwerken ist eine Herausforderung, denn sie wird durch diverse Unsicherheitsfaktoren beeinflusst. So liegt zu Beginn nur ein ungefähres Schadensbild vor. Erst nach eingehender Untersuchung steht der exakte Instandhaltungsaufwand fest. Zudem können auch während des Reparaturprozesses Störungen – zum Beispiel kurzfristig auftretende Kapazitätsengpässe – die Terminplanung erschweren, was sich dann meist auch auf alle nachgelagerten Bereiche auswirkt.

Vor diesem Hintergrund erforschen das IFA und die MTU Maintenance Hannover GmbH gemeinsam den Einsatz von Künstlicher Intelligenz (KI) für die Terminplanung. KI-Methoden wie das Maschinelle Lernen (ML) bieten die Möglichkeit, in Daten der Vergangenheit verborgene Muster und Trends zu erkennen. Das in solchen Daten implizit vorhandene Wissen kann verwertet werden, um herkömmliche Lieferzeitprognosen zu verbessern. Dies ermöglicht es Unternehmen, ihre Liefertermine präziser anzugeben.

Die Ergebnisse eines ML-Modells können aber nur so gut sein, wie die Daten, mit denen es gefüttert wird. Deshalb kommt es bei der Entwicklung von Prognosemodellen darauf an, die für die Produktions- und Logistikprozesse relevanten Daten zu identifizieren und aufzubereiten. Die Eingangsdaten des (überwachten) maschinellen Lernens bestehen aus unabhängigen Variablen (Features) und einer abhängigen Variable. Ziel ist es, aussagekräftige Features für präzise Voraussagen zu erzeugen. Dafür müssen die Einflüsse, die Verzögerungen bei den Liefer- und Durchlaufzeiten verursachen können, so gut wie möglich identifiziert und beschrieben werden.

Zu solchen Einflüssen gehören unter anderem Abweichungen von Plan-Lösen, zu hohe Auftragsbestände oder das Vertauschen von Reihenfolgen. Das Verständnis der logistischen Wirkzusam-

menhänge in der Produktion ist maßgeblich, um aussagekräftige Features zu erzeugen. Dabei spielt der Einsatz von Modellen, die allgemeines logistisches Prozesswissen formalisieren und explizit machen, eine wichtige Rolle. Sie können das implizite Wissen von Entscheidungsträgern in Unternehmen ergänzen und den Prozess der Datenidentifizierung und -vorverarbeitung unterstützen. Zudem helfen sie, die Prognoseergebnisse zu bewerten und in den Ablauf der Produktionsplanung und -steuerung zu integrieren.

Unternehmen werden durch ein solches Vorgehen befähigt, eigenständig Prognosemodelle zu erstellen. Begünstigt wird dies



Instandhaltung von Flugzeugtriebwerken: Ein variierendes Schadensbild beeinflusst die Planung von Lieferterminen. (Foto: MTU Aero Engines)

durch innovative Entwicklungen (Low Code, AutoML), die den Einsatz von Maschinellern auch ohne Programmierkenntnisse ermöglichen. ◀

Weitere Informationen:

Tobias Hiller, (0511) 762-19809, hiller@ifa.uni-hannover.de

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

Mikroschleifen: Die maßgerechte Rauheit

Das Institut für Mikroproduktionstechnik (IMPT) entwickelt derzeit ein Verfahren zur Batchfertigung von Mikrowerkzeugen für das hochpräzise Schleifen metallischer Oberflächen.

Bei vielen technischen Produkten spielt die Qualität der Oberfläche eine entscheidende Rolle. Ein Beispiel sind medizinische Implantate. Hohe Oberflächenrauheiten können ungewollte Reaktionen hervorrufen. Unerwünschte Effekte treten auch bei optischen Linsen auf. Hier dürfen Oberflächenfehler nur eine Tiefe haben, die im Bereich von einem Zehntel der Wellenlänge des verwendeten Lichtes liegen. Ist die Oberfläche rauer, werden die Streuverluste bei der Brechung des Lichts zu groß.

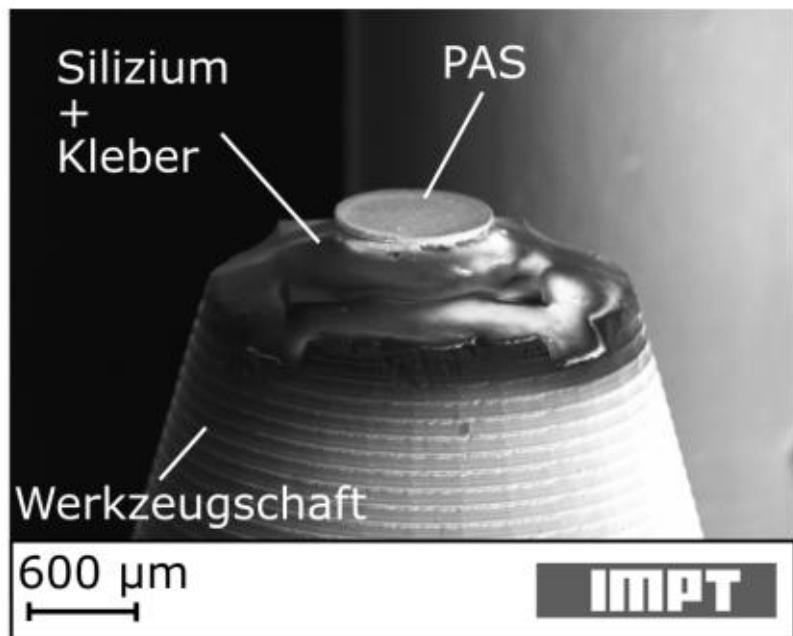
Um solche Oberflächenqualitäten zu erzeugen, sind Schleif- und Polierwerkzeuge nötig, die meistens in Einzelfertigung hergestellt werden müssen. Das ist aufwendig und teuer. Ein Forscherteam am IMPT entwickelt deshalb ein Verfahren, mit dem sich mehrere identische Mikroschleifwerkzeuge in einem Zug herstellen lassen. Es handelt sich dabei um Stifte mit einem Schaft aus Aluminium, der in genormten Werkzeugaufnahmen verwendet werden kann, und einem Werkzeugkopf mit einem Durchmesser von einem Millimeter und einer Höhe von einem Viertelmillimeter. Der Werkzeugkopf wird mittels Fotolithographie auf der Basis eines flüssigen Kunststoffes (Polyimid-Precursor) mit eingebrachten Siliziumcarbidpartikeln gefertigt. Das Polymer dient als nachgiebige Bindungsmatrix, während die Partikel, die kleiner als ein Hunderstelmmillimeter sind, das Schleifmittel bilden.

Die Tauglichkeit der Werkzeuge testen die IMPT-Forscher, indem sie Kupferoberflächen schleifen – ein Material, das wegen seiner guten thermischen, elektrischen und optischen Eigenschaften eine große technische Relevanz besitzt. Die bisherigen Ergebnisse sind sehr ermutigend. Allerdings gibt es noch Entwicklungspotential, weil die Oberflächenrauheit für bestimmte Anwendungen – zum Beispiel in der Optik – noch zu groß ist. Das soll durch die Verwen-

dung von noch kleinerem Schleifkorn verbessert werden. Ein weiterer Ansatzpunkt ist eine Oberflächenmodifikation: Kupfer lässt sich im Vergleich zu Aluminium oder Messing schlechter schleifen. Durch eine Oxidierung kann die Oberfläche spröder gemacht werden, was ihre Zerspanbarkeit und damit auch Schleiffähigkeit erhöht. Hierfür werden am IMPT chemische Verfahren erforscht, die eine solche Oxidierung direkt in der Werkzeugmaschine ermöglichen. ◀

Weitere Informationen: Lukas Steinhoff, (0511) 762-18217, steinhoff@impt.uni-hannover.de

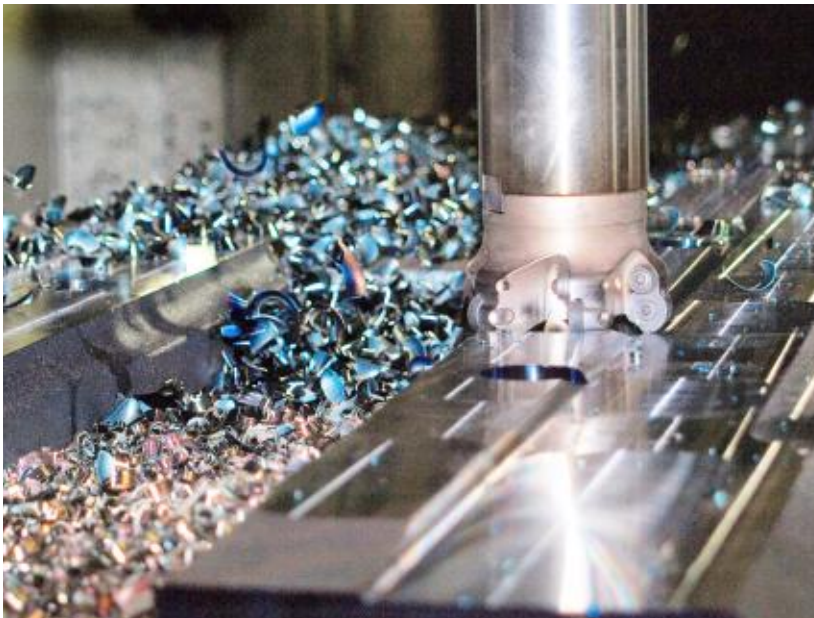
Einen ausführlichen Text finden Sie unter phi-hannover.de



Aufnahme eines gefügten Mikroschleifwerkzeuges mittels Rasterelektronenmikroskopie.
(Foto: Lukas Steinhoff, IMPT)

Flugzeuge aus recycelten Titanspänen

Ein Forschungsteam unter Federführung des Instituts für Fertigungstechnik und Werkzeugmaschinen (IFW) arbeitet an einem Recyclingverfahren, mit dem sich Flugzeugbauteile auf Basis von Titanspänen im 3-D-Druck herstellen lassen. Die Energie- und Kosteneinsparungen sowie die CO₂- Reduktion sind enorm.



Die bei Fräsprozessen massenhaft anfallenden Späne sollen gleichwertig recycelt und so Teil eines geschlossenen Werkstoffkreislaufs werden. (Foto: IFW)

Titan spielt eine entscheidende Rolle im Flugzeugbau. Der Werkstoff ist korrosionsbeständig und fest wie Stahl, wiegt aber deutlich weniger. Deshalb eignet er sich besonders für große Flugzeugbauteile. Sie werden durch Fräsen oder Drehen aus Titanblöcken herausgearbeitet. Dabei geht ein sehr großer Teil des Rohstoffs – oft über 90 Prozent – in Form von Spänen verloren. Dieser Abfall wird zwar recycelt, kann aber wegen seiner schlechten Materialqualität nicht für hochwertige Bauteile wiederverwendet werden, sondern landet zum Beispiel als Zuschlagsstoff in der Stahlindustrie. Schuld an der geringen Qualität der Späne sind Verunreinigungen durch Oxidation, Werkzeugpartikel und Rückstände von Kühlschmierstoffen.

Diese Situation ist ökologisch wie ökonomisch unbefriedigend, denn Titan ist ein teurer Werkstoff, dessen Herstellung sehr viel Energie benötigt und der zudem importiert werden muss. In Grundlagenuntersuchungen haben die Forscher des IFW bereits zuvor Prozesse entwickelt, mit denen sich die Späne aufbereiten,

reinigen, zu kompakten Briketts verdichten und wieder in Titanrohlinge umwandeln lassen, die für die Luft- und Raumfahrt geeignet sind. „Auf Basis dieser Ergebnisse entwickeln wir jetzt ein Verfahren für die Herstellung von Titanpulver, das sich für die additive Fertigung von Flugzeugbauteilen verwenden lässt“, sagt Projektmitarbeiter Jonas Matthies vom IFW.

Statt die Späne mit hohem Energieeinsatz einzuschmelzen, werden sie mit einem Verdüungsverfahren zu feinstem Pulver verarbeitet. Dabei werden sie zunächst in eine zylindrische Form gepresst und zu Elektroden verarbeitet. Die Elektroden werden anschließend mithilfe einer Spule aufgeschmolzen und zu Pulver zerstäubt. Dabei entsteht auch Ausschusspulver, das zu grobkörnig für den 3D-Druck ist. Es wird jedoch nicht entsorgt, sondern zum Pressen der Elektroden zurückgeführt.

Die Flugzeugbauteile werden gefertigt, indem das Pulver Schicht für Schicht aufgetragen und mithilfe eines Laserstrahls geschmolzen wird. Die bei der Endbearbeitung dieser Teile wieder anfallenden Späne werden erneut recycelt, sodass sich ein geschlossener Werkstoffkreislauf ergibt. Zudem forscht das Team an einer Fertigungs- und Endbearbeitungsmethode, die gewährleistet, dass Pulverreste und Späne möglichst wenig verunreinigt werden

„Der Energieverbrauch sinkt bei diesem Pulverherstellungsverfahren um 56 Prozent“, so Jonas Matthies vom IFW. Ziel ist es, Titanbauteile zukünftig aus mindestens 70 Prozent recyceltem Material herzustellen. Damit würden allein in Deutschland etwa 87,7 Gigawattstunden (GWh) Energie und rund 42 Kilotonnen CO₂ eingespart. ◀

Weitere Informationen: Jonas Matthies, (0511) 762-18349, Matthies@ifw.uni-hannover.de

Kunststoffrecycling: Wie Normen den Technologietransfer beschleunigen

Normung ist eine entscheidende Voraussetzung für eine nachhaltige Kreislaufwirtschaft, denn erst sie ermöglicht definierte Begrifflichkeiten und eine einheitliche Bewertung der Materialien, Prozesse und Produkte. Aus diesem Grund engagiert sich das IKK - Institut für Kunststoff- und Kreislauftechnik intensiv in den Normungsausschüssen für das Kunststoffrecycling.

Eine Herausforderung beim Recycling von Kunststoffen besteht darin, möglichst sortenreine Kunststoffabfälle zu generieren, um die Rezyklatqualität und die Wiederverwertung zu optimieren. Anders als bei Metall-, Glas- oder Papierabfällen muss das System für Kunststoffabfälle technologisch eine deutlich breitere Material-, Produkt- und Designvielfalt abdecken.

Neben den technologischen Aspekten sind die Logistik und das Vorhandensein von ausreichend Kunststoffabfällen die Voraussetzung für eine funktionierende Kunststoffkreislaufwirtschaft. Aktuell übersteigt die Rezyklatnachfrage am Markt das Angebot, trotz der bekannten Abfallmengen in der Natur. Das Gebot lautet deshalb: Kunststoffe müssen dort ankommen, wo sie recycelt werden können.

Das wird allerdings durch eine große Vielfalt regional unterschiedlicher Gesetze, Normen und Begrifflichkeiten erschwert. Darum hat sich 2021 ein Konsortium aus 16 Mitgliedern aus Industrie, Wissenschaft und Verbänden gebildet, das unter der fachlichen Leitung des IKK eine richtungsweisende Norm für Kunststoffrezyklate entwickelt hat. Als Ergebnis gibt es seit Anfang vergangenen Jahres die „DIN SPEC 91446, Klassifizierung von Kunststoff-Rezyklaten durch Datenqualitätslevels für die Verwendung und den (internetbasierten) Handel“.

Die Norm charakterisiert die Kunststoffrezyklate einschließlich der Historie des Materials in der fachlich angemessenen Terminologie und nach international standardisierten Kriterien. Die Rezyklate werden in vier Data Quality Levels (DQL) eingestuft. Je mehr Informationen zu einem Rezyklat vorliegen, desto höher die DQL-Kategorisierung und desto besser die Vermarktbarkeit. Die Norm vereinfacht die internationale Kommunikation und fördert so indirekt eine schnelle Markteinführung von neuentwickelten Kunststoffrezyklaten. Um ein Rezyklat für die niedrigste Stufe DQL 1 zu

charakterisieren, reicht es, wenn der Rezyklatanteil eines Materialtyps (PE, PP, PET, u. a.) anhand einer vorgegebenen Prozedur ermittelt wird. Im Gegensatz dazu setzt die Charakterisierung nach DQL 4 zusätzlich eine ausführliche Beschreibung der Rezyklathistorie und der materialtechnischen Eigenschaften voraus. Hierzu gehören beispielsweise das Vorhandensein von Füllstoffen und Farben, die eingesetzte Recyclingtechnologie, die Abfallquelle oder die Anteilsmengen anderer Kunststoffe. Daneben werden auch wichtige Begriffe wie Rezyklat, Mahlgut, Regranulat oder Recompound im Kontext des Kunststoffrecyclings definiert. Diese Begriffe sind nicht geschützt und werden in der internationalen Praxis teilweise unterschiedlich verwendet. Auf Basis der DIN SPEC 91446 wird bereits eine erste weiterführende Unternorm entwickelt, die die speziellen Anforderungen an recycelte Polyamide regelt. ◀

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

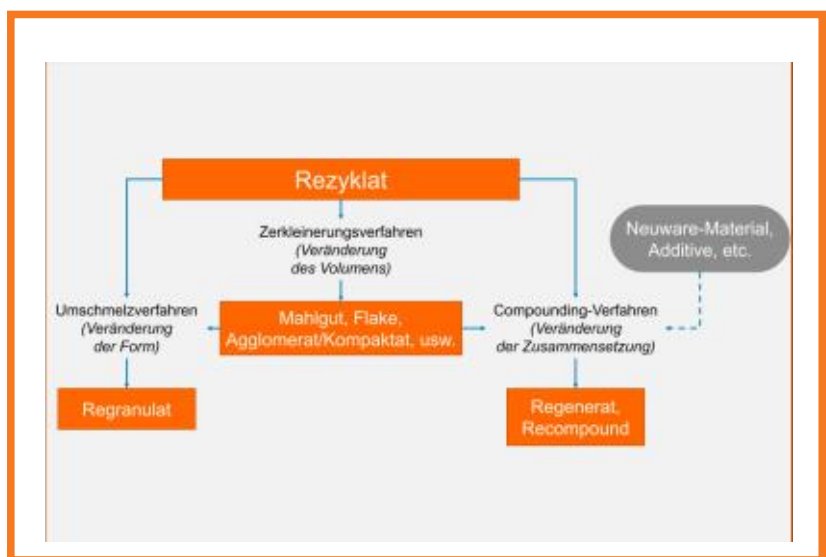


Illustration der Begriffe: Vom Rezyklat zum Regranulat, Regenerat oder Recompound.
(Grafik: © IKK, Endres)

Die Roboter vom Bau

Am Institut für Montagetechnik (match) wird der Einsatz mobiler Roboter für die additive Fertigung von Gebäuden erforscht. Für die Bauindustrie liegt darin eine große Chance, Ressourcen zu sparen und die Effizienz zu steigern.

Auf den Baustellen der Zukunft werden mobile Roboter Betongebäude im 3-D-Druck herstellen. Im Rahmen des überregionalen Forschungsverbundes „TRR 277“ arbeitet ein Forschungsteam des match in Kooperation mit den Technischen Universitäten Braunschweig und München an der Realisierung. Ein solches Verfahren würde Ressourcen schonen, die Effizienz steigern und die Flexibilität des Bauens erhöhen, wie Projektmitarbeiter Lukas Lachmayer vom match erläutert: „Der 3-D-Druck macht Schalungselemente aus Holz und Metallverstärkungen überflüssig und erlaubt kraftflussgerechtere Bauweisen. Außerdem können Hohlräume und Gebäudeinstallationen wie etwa Fensterausparungen, Kabelkanäle oder auch Lüftungsschächte in die Betonelemente integriert werden, statt sie durch aufwendige Nachbearbeitung zu erstellen.“ Ein weiterer Vorteil, den Lachmayer anführt: Der Robotereinsatz kann den Fachkräftemangel kompensieren, unter dem die Baubranche schon seit längerem leidet.

Beim 3-D-Druck entsteht das Bauteil, indem ein mobiler Roboter festgelegte Bahnen abfährt und dabei den Beton über eine Düse Schicht für Schicht aufträgt. Dabei ist entscheidend, dass die Schichten mit gleichbleibender Präzision aufeinandergesetzt werden. Eine wesentliche Herausforderung für dieses Verfahren ist das Materialverhalten: Der frische Spritzbeton ist flüssig und härtet erst mit der Zeit aus. Zudem reagiert er auf Temperatur- und Luftfeuchtigkeitsschwankungen. Bei der Programmierung und technischen Ausstattung des Roboters müssen diese Faktoren berücksichtigt werden, so dass der Roboter auf Veränderungen flexibel reagieren kann. Ansonsten käme es zu ungewollten Verformungen des Betons oder zu Ungenauigkeiten beim Aufeinandersetzen der Schichten. Der match-Roboter verfügt deshalb über einen 2D Laser-Sensor im Druckkopf, durch den das Profil des aufgetragenen Betons während des Druckprozesses kontinuierlich erfasst wird. Weichen die aktuell gemessenen Daten von den Sollwerten ab, werden beispielsweise die Druckgeschwindigkeit und der Abstand der Düse, oder auch die Bewegung des Roboters angepasst. Ein weiteres Problem, an dessen Lösung die match-Wissenschaftler zur Zeit

arbeiten, betrifft die Verhältnisse auf Baustellen. Anders als in Fabrikhallen müssen die Roboter hier Unebenheiten überwinden, was die Planbarkeit der Arbeitsabläufe zusätzlich erschwert.

Mit der mobilen additiven Fertigung betritt das match-Team Neuland, denn bislang werden mobile Roboter vor allem für den Transport und die Handhabung fester Teile aus Metall oder Kunststoff verwendet. Die hierfür verwendeten Steuerungsansätze eignen sich jedoch nicht unbedingt für die additive Fertigung im Bauwesen: Zum einen liegt ihr Fokus häufig nicht auf dem kontinuierlichen Folgen eines definierten Pfades und zum anderen ist kein Ausgleich von Materialveränderungen vorgesehen.

Bis druckende Roboter technisch so ausgereift sind, dass sie die geltenden Baunormen erfüllen und standardmäßig auf Baustellen zum Einsatz kommen, werden noch einige Jahre vergehen. Für das Bauwesen bedeutet diese Entwicklung jedenfalls einen entscheidenden Schritt nach vorn, hin zu mehr Nachhaltigkeit und Effizienz. ◀

Weitere Informationen: Lukas Lachmayer, (0511) 762-18278, Lachmayer@match.uni-hannover.de



Mobile Roboterplattform MIR 600 mit Aufbau zur Untersuchung additiver Fertigung mittels mobiler Roboter. Foto: match

IFUM: Besser schmieden mit KI

Wissenschaftler des Instituts für Umformtechnik und Umformmaschinen (IFUM) erforschen, wie sich die Blech- und Massivumformung effizienter und nachhaltiger gestalten lässt. Dabei liefern die Produktionsdaten das Wissen für die Optimierung.

Anlagen für die Blech- und Massivumformung sind Kernbereiche der Industrieproduktion. Mit ihnen wird ein riesiges Spektrum an Bauteilen gefertigt, das vom Kotflügel bis zur Turbinenschaufel reicht. Wissenschaftler des IFUM und kooperierender Forschungseinrichtungen entwickeln Methoden, die diese Produktionsprozesse effizienter und ressourcenschonender machen sollen. Im Schwerpunktprogramm „Datengetriebene Prozessmodellierung in der Umformtechnik“ geht es darum, Daten, die von den Produktionsanlagen geliefert werden, für die Optimierung der Fertigungsprozesse zu nutzen. Dafür kommen Methoden der Künstlichen Intelligenz (KI) wie das Maschinelle Lernen in Verbindung mit Expertensystemen zur Anwendung.

Projektmitarbeiter Felix Müller vom IFUM nennt als Beispiel die CO₂-Emissionen beim industriellen Schmieden: Diese werden mehrheitlich durch die eingebrachte Masse des Stahls, aus dem die Bauteile geformt werden, verursacht. Ein weiterer nicht zu vernachlässigender Teil kommt durch die energieintensive Erwärmung vor der Umformung hinzu. Dabei stellt sich ein Optimierungsproblem: Reduziert man die Masse des Werkstoffs, das als Vormaterial dient, senkt man den Energieverbrauch und die CO₂-Emissionen. Aber gleichzeitig steigt die Gefahr, Ausschuss zu produzieren. Der Grund: Je mehr Vormaterial pro Bauteil eingebracht wird, desto geringer wird die Gefahr, dass Bauteile durch Fehler wie zum Beispiel Verzüge oder Unterfüllungen unbrauchbar werden. „Hier setzt unser Projekt an: Wir versuchen, durch neues Wissen unsere Prozesse so zu verbessern, dass wir unsere eingebrachte Vormaterialmasse reduzieren können, ohne die Robustheit des Fertigungsablaufs zu gefährden. Damit leisten wir einen Beitrag zum Energie- und Ressourcensparen“, sagt Felix Müller. Noch aus einem anderen Grund werden datengetriebene Verfahren immer wichtiger: Durch den Fachkräftemangel steht immer seltener menschliche Erfahrung zur Verfügung.

Das neue Wissen liefern vor allem Prozessdaten, die während des Produktionsbetriebes laufend gemessen und aufgezeichnet werden können. Solche Datenquellen sind beispielsweise die Umformkräfte der Pressen, Bauteileinlegetemperaturen oder Durchflussmengen von Kühlschmieranla-

gen. Diese Eingangsdaten gleichen die Forscher mit den Eigenschaften der jeweils produzierten Bauteile ab. So lässt sich vorhersagen, wie die unterschiedlichen Faktoren die Qualität der Bauteile beeinflussen. Am IFUM werden industrienähe Versuchsreihen zur Warmmassivumformung von Stahl sowie zur Blechumformung betrieben. Dabei verursachen die Forscher gezielt Störungen, die von Sensoren aufgezeichnet werden, so dass sich ihre Auswirkungen auf die Bauteilqualität untersuchen lassen. Auf Basis solcher Daten werden dann Modelle zur Auslegung von Fertigungsprozessen entwickelt, die erklärbar prognostizieren sollen, welche Ergebnisse unter unterschiedlichen Ausgangsbedingungen herauskommen. Die Planung der Produktion wird auf diese Weise automatisiert und dynamisiert: In Form eines Kreislaufs wird neu erzeugtes Wissen kontinuierlich in bereits laufende Fertigungsprozesse eingespeist und dient zur fortlaufenden Verbesserung. Bislang können Prozesssimulationen immer nur einen jeweiligen Zustand, aber keine Bandbreite an Möglichkeiten abbilden. „Wir streben an, dass am Ende des Projekts ein KI-System für gewisse Aufgaben der Prozessauslegung – die optimale Gestaltung der Werkzeugwirkflächen – automatisch Vorschläge macht“, so Felix Müller.

Weitere Informationen:

Felix Müller, 0511 762-2451, f.mueller@ifum.uni-hannover.de



Prozessdaten werden während des Produktionsbetriebes laufend für die anschließende Datenmodellierung aufgezeichnet. Foto/Montage: Felix Müller

Reparieren im All: Forscher untersuchen Laserauf- tragschweißen in Schwerelosigkeit

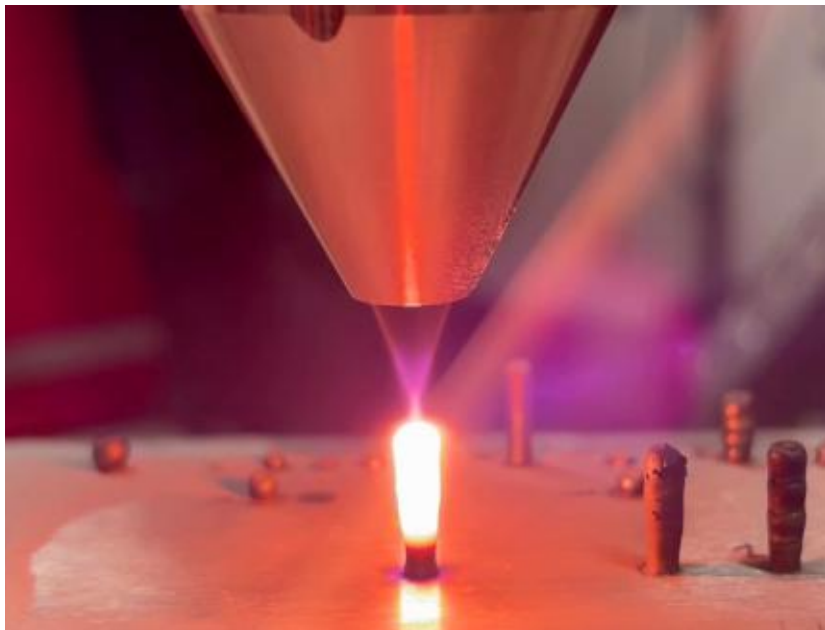
Bei längeren Weltraummissionen müssen beschädigte Komponenten an Bord in Schwerelosigkeit repariert oder sogar neu gefertigt werden. Wie sich dafür das Laserauftragschweißen – ein 3D-Druckverfahren – einsetzen lässt, erforschen Wissenschaftler des ITA und der Universität Magdeburg.

Das Laserauftragschweißen hat den großen Vorteil, dass beschädigte Oberflächen direkt repariert, endkonturnahe Komponenten gefertigt und spezielle Legierungen hergestellt werden können. Gleichzeitig erlaubt es, die Gesamtmasse der Ersatzteile im Raumschiff auf ein Minimum zu reduzieren. Bei diesem additiven Fertigungsverfahren wird durch die gezielte Ausrichtung eines Lasers ein Schmelzbad auf einem Werkstück erzeugt. Gleichzeitig wird Metallpulver über eine Düse mithilfe eines inerten Trärgases dem Schmelzbad zugeführt. Eine Bewegung des Laserstrahls oder des Werkstückes führt zu einer Erstarrung des Schmelzbades und dem stückweisen Aufbau des fertigen Bauteils.

Das Institut für Transport- und Automatisierungstechnik (ITA) der Leibniz Universität Hannover erforscht gemeinsam mit dem Institut für Logistik und Materialflusstechnik (ILM) der Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg, wie sich

das unter Erdgravitation gängige Laserauftragschweißen für den Betrieb unter den Umgebungsbedingungen einer Raumfahrtmission einsetzen lässt. Um diese Bedingungen während der Fertigung simulieren zu können, wird der gesamte Prüfstand in den Experimentträger des Einstein-Elevators – die Weiterentwicklung eines klassischen Fallturms – integriert. Dort können einige Sekunden lang Gravitationsbedingungen von der Schwerelosigkeit bis hin zu Raketenstarts erzeugt und viele Male wiederholt werden (<https://www.hitec.uni-hannover.de/de/grossgeraete/einstein-elevator/>).

Die Herausforderung bei diesem Forschungsprojekt liegt in der Entwicklung und Charakterisierung des Laserauftragschweißens in Schwerelosigkeit sowie der Integration des Prüfstandes in den Einstein-Elevator, wo er in einer Gondel platziert wird. Um dieses Ziel zu erreichen, arbeiten die Wissenschaftler zum einen an der stabilen laserbasierten Erzeugung eines Schmelzbades und zum anderen am Aufbau eines Fördersystems zur Pulverzufüh-



Unter Erdgravitation additiv gefertigte Seed Sticks durch das Laserauftragschweißen.

Foto: Leibniz Universität Hannover/Christoph Lotz

rung in Schwerelosigkeit. Dabei erstellen sie stäbchenförmige Proben aus Nickel- und Titanlegierungen und vergleichen sie anschließend mit unter Erdgravitation hergestellten Proben. Die Fertigung erfolgt innerhalb einer mit Schutzgas gefluteten Prozesskammer, in der zum additiven Aufbau der Proben eine vertikale Vorschubbewegung ausgeführt werden kann. Da während eines Fluges im Einstein-Elevator dem Experiment nur vier Sekunden Schwerelosigkeit für die Fertigung einer Probe zur Verfügung stehen, werden mehrere Flüge benötigt. Um so viele Flüge wie möglich nacheinander ausführen zu können, ohne die Gondel öffnen zu müssen, wird zusätzlich ein Probenkarussell in der Prozesskammer integriert. ◀

Weitere Informationen: Marvin Raupert, (0511) 762-14823, marvin.raupert@ita.uni-hannover.de

Einen ausführlichen Text finden Sie unter phi-hannover.de

Steigende Hitze: Am IW entstehen Hochtempera- turwerkstoffe der Zukunft

Am IW wird an einer neuen Generation von Hochtemperaturwerkstoffen geforscht. Sie sollen noch extremere Hitze aushalten können als die bislang gängigen Werkstoffe und damit die Effizienz von Flugtriebwerken steigern.

Hochdruckturbinenschaufeln in Flugtriebwerken müssen enormer Hitze standhalten. Sie sind die ersten Komponenten, auf die der heiße Gasstrom aus der Brennkammer der Triebwerke trifft. Während des Betriebs sind sie Temperaturen von mehr als 1000 °C und enormen mechanischen Belastungen ausgesetzt. Darum werden solche Bauteile aus Hochtemperaturwerkstoffen hergestellt. Zurzeit dienen dafür vorwiegend Nickelbasissuperlegierungen. Deren Einsatztemperatur endet allerdings bei 1150 °C.

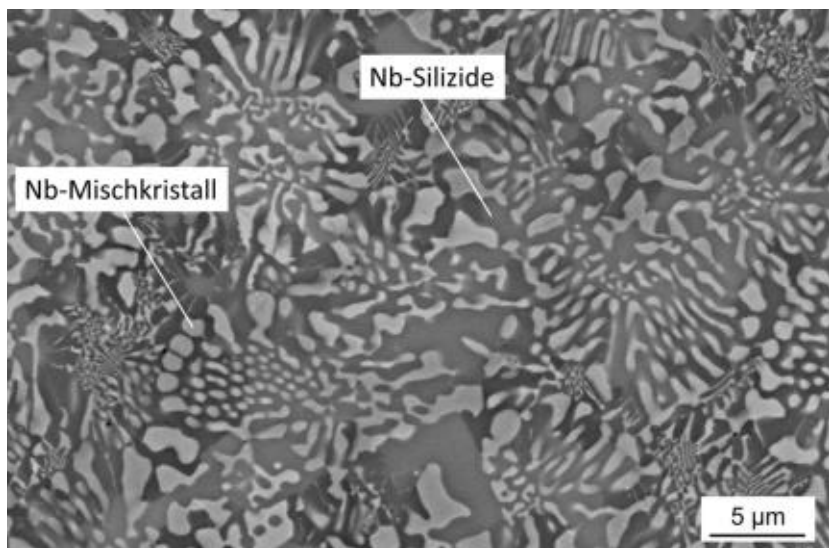
Um die Effizienz von Flugtriebwerken weiter zu steigern, ist eine Erhöhung der Einsatztemperatur erforderlich. Deshalb forschen Wissenschaftler und Wissenschaftlerinnen des Instituts für Werkstoffkunde (IW) im Rahmen eines DFG-Projekts an neuen Legierungssystemen auf Basis von Niob und Silizium. Diese sogenannten Niob-MASC Systeme (Metal And Silicide Composites) haben einen Schmelzpunkt von über 1750 °C und kombinieren aufgrund ihrer Mikrostruktur, bestehend aus einer duktilen Nb-Mischkristallmatrix und darin verteilter, spröder Silizide, eine gute Bruchzähigkeit mit einer sehr guten Hochtemperaturfestigkeit und Oxidationsbeständigkeit. Zurzeit konzentriert sich das IW-Team darauf, die mechanischen Werkstoffeigenschaften durch das Legieren mit weiteren Elementen zu verbessern. Dafür verstärken die Wissenschaftler die Mikrostruktur durch hochschmelzende Partikel im Nanometerbereich und untersuchen deren Wirkmechanismus.

Damit eine solche Verstärkung gelingt, müssen die Partikel gleichmäßig in der Legierung verteilt sein. Um das zu erreichen, wird im Rahmen des Projektes erstmals die Herstellung von hochreinen Nb-MASC Legierungen im Kaltwandinduktionstiegel unter Semi-Levitation erprobt. In dem Schmelztiegel, der aus wassergekühlten Kupfersegmenten besteht, wird ein Magnetfeld erzeugt, das Wirbelströme innerhalb der Tiegelsegmente hervorruft. Das dadurch entstehende sekundäre Magnetfeld induziert wiederum Wirbelströme innerhalb des Materials und bewirkt damit eine Erwärmung. Die stark voneinander abweichenden Schmelzpunkte der einzel-

nen Elemente stellen eine Herausforderung für den Schmelzprozess dar. Durch das geschickte Herstellen von Vorlegierungen mehrerer Elemente können die Schmelzpunkte so weit angepasst werden, dass ein gemeinsames Aufschmelzen aller Komponenten möglich wird. Durch die Wechselwirkung zwischen dem elektrischen Strom in der Schmelze und dem magnetischen Wechselfeld entstehen elektromagnetische Kräfte, die das Ablösen der Schmelze von der Tiegelwand bewirken und die Schmelze teilweise schweben lassen. Aufgrund der hohen Wärmeabfuhr bildet sich am Tiegelboden eine dünne Schutzschicht erstarrter Schmelze aus, wodurch deren Verunreinigung durch unerwünschte Reaktionen verhindert wird. Durch die zirkulierenden Schmelzeströmungen stellt diese Technologie einen vielversprechenden Ansatz für die notwendige homogene Verteilung der eingebrachten Partikel in Niob-MASC Legierungen und damit für die Entwicklung von innovativen Hochtemperaturwerkstoffen dar. ◀

Weitere Informationen: Elisa Holzmann, 0511 762 18228, holzmann@iw.uni-hannover.de

Einen ausführlichen Text finden Sie unter: phi-hannover.de



Mikrostruktur der Legierung Nb-18Si. (Foto: IW)

Mangel an Technik-Fachkräften: Was tun?

Fotos: Leo Menzel, Illustration: Dorota Gorski



Energiewende und Klimaschutz,
Digitalisierung der Infrastrukturen
und Transformation der Industrie – um diese
Zukunftsaufgaben zu meistern, braucht es
in erster Linie Ingenieure und andere Fachkräfte
aus vielen technischen Bereichen.
Doch zwischen Bedarf und Angebot
gibt es eine Schere,
die sich immer weiter öffnet:
In den „anhaltenden Engpässen
in IT-Berufen sowie in der Berufsgruppe
Technische Forschung und Entwicklung“
sieht das Bundesarbeitsministerium
eine große Herausforderung
für die Zukunft
des Standorts Deutschland.



Während der Bedarf an technischer Expertise steigt, sinkt die Zahl der jungen Menschen, die ein Studium der Mathematik, Informatik, Natur- oder Technikwissenschaften aufnehmen. Im Jahr 2021 begannen insgesamt 307.059 Menschen an deutschen Hochschulen ein Studium in einem MINT-Fach. Das waren 6,5 Prozent weniger als 2020 und sogar 12,5 Prozent weniger als im Jahr 2017, als die Zahl der MINT-Erstsemester mit 351.000 einen Höchststand erreicht hatte. Zwar gab es 2021 infolge der Corona-Pandemie insgesamt weniger Studienanfänger, aber in den MINT-Fächern fiel der Rückgang besonders stark aus und er hatte zudem schon vor der Pandemie begonnen. Fo-

kussiert man innerhalb des MINT-Bereichs auf den Maschinenbau, zeigt sich ebenfalls ein allmählicher Abwärtstrend. Die Zahl der Erstsemester sank deutschlandweit von etwas über 107.000 im Wintersemester 2011/12 auf knapp 95.000 im Wintersemester 2021/22, nachdem es im Wintersemester 2015/16 ein Zwischenhoch mit über 120.000 Anfängern gegeben hatte. An der Leibniz Universität Hannover schrieben sich im Studienjahr 2022 392 Personen für den Maschinenbau ein gegenüber 546 im Studienjahr 2013. Dagegen ist die Gesamtzahl der Maschinenbaustudenten in Hannover in den vergangenen zehn Jahren sogar leicht gestiegen: von 3217 auf 3349.

Frauen im Maschinenbau

Ein Grund für den Fachkräftemangel besteht darin, dass bislang noch viele Frauen gegenüber technischen Fächern, Ausbildungsgängen und Berufen „fremdeln“. Während der Frauenanteil in manchen MINT-Fächern wie der Mathematik oder der Biologie mittlerweile mehr als die Hälfte ausmacht, sind sie in den technischen Fächern immer noch stark unterrepräsentiert. Im Wintersemester 2021/22 lag der Anteil der Studentinnen im Maschinenbau an deutschen Hochschulen dem Centrum für Hochschulentwicklung

(CHE) zufolge bei 12,5%. Die Leibniz Universität Hannover hebt sich vor diesem Hintergrund positiv ab: Hier ist der Anteil der Frauen im Maschinenbaustudium im vergangenen Jahrzehnt von dreizehn auf immerhin siebzehn Prozent gestiegen.

Um solche positiven Trends zu verstärken, ist es nötig, schon in den Klassenzimmern anzusetzen und den Schülerinnen die Vielfalt und die Chancen technischer Fächer, Ausbildungen und Berufe deutlich zu machen. Eine Veranstaltung, auf der das mit viel Erfolg geschieht, ist der Projekttag „Mädchen und Technik“ (MuT). Er wird vom Institut für Mikroproduktionstechnik (IMPT) und dem PZH seit 2007 alljährlich organisiert.



Selina Raumel vom Institut für Mikroproduktionstechnik, Organisatorin des „Mädchen und Technik“ Kongresses.

Schülerinnen erleben hier die Welt des Maschinenbaus, können in Mitmach-Projekten experimentieren, mit Wissenschaftlerinnen sprechen und sich über die Vielfalt technischer Ausbildungen und Berufe informieren (s. auch S. 7). Seit 2017 liegt die Leitung in den Händen von Selina Raumel, wissenschaftliche Mitarbeiterin am IMPT. Im Interview spricht sie über MuT und den weiblichen Nachwuchs im Maschinenbau.

Frau Raumel, „Mädchen und Technik“ richtet sich an Schülerinnen zwischen dreizehn und achtzehn. Wie kommt die Veranstaltung bei Ihrer Zielgruppe an?

Sehr gut, ist mein Eindruck. Die Zahl der Teilnehmerinnen ist in den vergangenen Jahren von etwa 70 auf jetzt 120 bis 200 gestiegen. Da liegt für uns auch die Grenze, erstens aus räumlichen Gründen und zweitens, damit wir in den Mitmach-Projekten und im persönlichen Austausch noch allen gerecht werden können.

Wie reagieren die Schülerinnen auf die Welt des Maschinenbaus?

Viele können sich unter Maschinenbau erst mal gar nichts Konkretes vorstellen. Hier am PZH erleben sie dann von der Transporttechnik über das Schmieden und die Sensorik bis zur Quantentechnik die ganze Vielfalt des Fachs. Und das begeistert viele. Auch die Projekte, in denen viel programmiert wird, sind immer ausgebucht. Die Schülerinnen machen überall sehr aktiv mit, weil sie Dinge ausprobieren können und es nichts ausmacht, wenn mal was schief geht.

Was wollen die Mädchen wissen?

Es geht oft um die berufliche Zukunft, denn in der zehnten Klasse steht für viele die Entscheidung an: Realschulabschluss oder Abitur, Ausbildung oder Studium. Wir zeigen ihnen, was man mit einem Maschinenbaustudium alles machen kann, aber auch, welche technischen Ausbildungsberufe es gibt. Solche Ausbildungsplätze bieten wir ja auch am PZH an. Seit einigen Jahren sind auch Firmen bei MuT vertreten, dadurch kommen die Arbeitswelt und die Jobmöglichkeiten noch stärker in den Blick.

Was wäre anders, wenn Jungen bei der Veranstaltung dabei wären?

Mädchen brauchen am Anfang etwas länger, um warm zu werden. Sie sind zunächst mal vorsichtig, um sicherzugehen, keine „komischen“ Fragen zu stellen. Und diese Scheu zu überwinden, fällt ihnen bei MuT leichter, weil wir hier alle „Mädels“ sind und sie die Wissenschaftlerinnen und Studentinnen in den Projekten als positive Beispiele erleben. Ich kenne die Angst, im Mathe- oder Physikunterricht „dumme“ Fragen zu stellen, von mir selbst aus meiner eigenen Schulzeit. Als ich dann bei einem Girls' day war, hat mir das geholfen, solche Hemmungen zu überwinden.

Lange Zeit waren technische Studiengänge weitgehend eine Männerdomäne. Mittlerweile steigt der Frauenanteil – zwar nicht rasant, aber doch stetig. Woran liegt das?

Ich denke, dass die Geschlechtszugehörigkeit nicht mehr so entscheidend ist. Die jüngere Generation geht damit offener um, es gibt in dem Maße keine männlichen oder weiblichen Studiengänge mehr. Als ich vor zehn Jahren anfang zu studieren, war das noch etwas anders.

Das würde bedeuten, dass es in den letzten Jahren noch mal einen Schub gegeben hat.

Ja, da hat sich noch mal etwas getan. Man merkt das auch an den Schülerinnen, die offener und interessierter geworden sind. Das liegt wohl daran, dass man jetzt viel mehr Frauen sieht, die im technischen Bereich tätig sind. Da spielen die sozialen Netzwerke eine wichtige Rolle. Auf Instagram kann man Wissenschaftlerinnen folgen, die dort Experimente zeigen und über ihren Tagesablauf sprechen. Ich glaube, diese Sichtbarkeit hilft. Auch hier am Institut ist diese Entwicklung spürbar: Als ich anfang, waren wir zwei wissenschaftliche Mitarbeiterinnen, jetzt sind wir zu sechst.

Wissen Sie, ob Mädchen, die bei MuT dabei waren, später die MINT-Richtung eingeschlagen haben?

Meine neue Kollegin am IMPT, Eileen Müller, ist eine ehemalige MuT-Schülerin. Sie ist dabei zu promovieren und wird MuT weiterführen. Und ich begegne immer mal wieder Studentinnen, die mich ansprechen: „Wissen Sie noch, wir waren damals bei MuT dabei.“

Automatisierung als Chance

Flexible Roboter und technikaffine Menschen können den Fachkräftemangel in der Produktion gemeinsam kompensieren

In der Produktion fehlen Ingenieure und andere technische Fachkräfte – ein Personalmangel, der in Zukunft noch stark zunehmen wird. Leichtbauroboter, wie zum Beispiel Cobots bieten für viele Unternehmen die Chance, solche Lücken zu füllen

und zugleich die Fertigung flexibler, effizienter und ressourcenschonender zu gestalten. Mit dem RoboHub Niedersachsen gibt es seit vergangenem Jahr am PZH ein Zentrum für Cobot- und Roboterautomation, das Unternehmen Informationen, Schulungen und Beratung anbietet. Welche Möglichkeiten Leichtbauroboter angesichts von Personalengpässen bieten, schildern die RoboHub-Experten Dr. Jan Jocker und Sebastian Blankemeyer.

Die Angebote des RoboHub richten sich in erster Linie an mittelständische Betriebe. Wie ist dort die Personalsituation im technischen Bereich?

JAN JOCKER: Unternehmer haben mitt-



Sebastian Blankemeyer vom Institut für Montagetechnik (match) richtet einen Cobot ein.



Jan Jocker (links), Geschäftsführer der Technik und Wissen GmbH, und Sebastian Blankemeyer vom Institut für Montagetechnik sind Mit-Initiatoren des RoboHub.

lerweile Schwierigkeiten, qualifizierte Fachkräfte, zum Beispiel Schweißer, zu finden. Viele handwerkliche Berufe sind heute stark technisiert. Es sind also oft hochqualifizierte Leute, um die die Arbeitgeber konkurrieren. Aber auch in Bereichen wie Verpackung, Handling oder Logistik können viele Stellen nicht besetzt werden.

SEBASTIAN BLANKEMEYER: Für die Unternehmen ist zudem absehbar, dass immer mehr Mitarbeitende demnächst in Rente gehen. Automatisierung ist dabei eine Möglichkeit, das abzufangen. Und die müssen die Betriebe jetzt einleiten und nicht erst, wenn die Leute nicht mehr da sind.

Welche Möglichkeiten bieten da Leichtbauroboter?

JAN JOCKER: Ein konkretes Beispiel aus unserer Beratungspraxis ist der Kunststoff-Spritzguss in einem Unternehmen. Dort wurden vorgewärmte Metallteile in mittleren Stückzahlen in ein Spritzgießwerkzeug eingelegt, dann umspritzt und nach einer Abkühlzeit von einem Mitarbeiter manuell entnommen. Das war eine eher unangenehme und mit viel leerer Wartezeit verbundene Tätigkeit. In dem

Unternehmen gibt es zwar auch Spritzgießmaschinen, bei denen diese Handhabung automatisch abläuft, aber deren Einsatz lohnt sich nur bei hohen Stückzahlen. Bei dem genannten Spritzgießwerkzeug übernimmt nun der Cobot die Tätigkeit des Mitarbeiters, indem er die Teile einlegt und entnimmt. Mit dem Leichtbauroboter wurde also die Spritzgießmaschine nachträglich automatisiert, und das lohnt sich oft auch bei kleinen und mittleren Losgrößen.

Ein anderes Beispiel ist ein Metallbaubetrieb, wo der Cobot eingesetzt wird, um kleine Standardelemente für Geländer und Balkone zu fertigen, während die menschlichen Mitarbeiter und Mitarbeiterinnen sich parallel um die Großteile kümmern.

SEBASTIAN BLANKEMEYER: Ein Vorteil dieser Roboter ist auch, dass sie sich vergleichsweise einfach programmieren lassen, weil Funktionsabläufe blockweise zusammengefasst werden können. Diese Vereinfachung der Softwaretools ist auch eine Reaktion auf den Fachkräftemangel: Es fehlen nämlich mittlerweile auch Experten für die Programmierung und In-

betriebnahme von Steuerungstechnik.

Welche Mitarbeiter in den Betrieben arbeiten mit den Cobots und wie funktioniert die Bedienung?

JAN JOCKER: Wir kennen Betriebe mit eigener Automationsabteilung und andere, deren Mitarbeiter sich das ohne Vorkenntnisse erarbeitet haben. Nicht selten sind es junge Auszubildende, die schon von vornherein eine hohe Affinität zu Informations- und Steuerungstechnik mitbringen und sich das sehr schnell spielerisch aneignen.

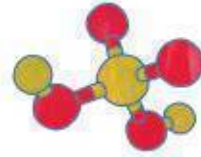
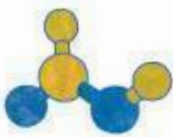
SEBASTIAN BLANKEMEYER: In der Regel gibt es eine grafische Oberfläche, die man intuitiv bedienen kann. Vieles ist angelehnt an das, was wir vom Smartphone kennen. Oft sind die Systeme so ausgelegt, dass man den Roboter in eine bestimmte Position bewegen und diese Position dann abspeichern kann.

Das klingt, als könnten die Roboter manche Arbeitsplätze sogar attraktiver machen.

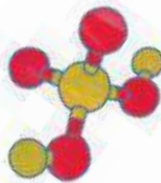
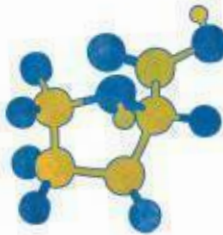
JAN JOCKER: Ja, möglicherweise schlagen Arbeitgeber mit den Leichtbaurobotern zwei Fliegen mit einer Klappe. Die Cobots automatisieren nicht nur Produktionsprozesse, sondern helfen auch, technikaffine Arbeitskräfte zu halten oder zu gewinnen. Das sind Mitarbeiter und Mitarbeiterinnen, die vielleicht keine Lust haben, selbst Schweißnähte zu ziehen, die aber gern einen Roboter programmieren, der das dann macht.

Der Cobot verdankt seinen Namen ja der Kollaboration, also der direkten Zusammenarbeit von Mensch und Maschine mit Hilfe seiner integrierten Sensorik. Welche Rolle spielt dieser Aspekt aktuell?

SEBASTIAN BLANKEMEYER: Die Interaktion in einem gemeinsamen Arbeitsraum stand zu Beginn der Entwicklung stärker im Blick als heute. Die Cobots werden momentan in erster Linie für eine einfache und schnelle Automatisierung genutzt. Die Kollaboration, bei der Roboter und Menschen zusammen im gleichen Arbeitsraum arbeiten, hat sich dagegen bislang nur in begrenztem Maße durchgesetzt, sie hat aber viel Potential für die Zukunft.



Sauerstoffbefreit: Ein Entwicklungssprung für die Produktionstechnik



Für Menschen ist Sauerstoff lebenswichtig, in der Produktionstechnik kann er jedoch störend sein. Wann immer die Oberflächen zweier Bauteile in unmittelbaren Kontakt kommen, sind es nämlich normalerweise nicht die Metallatome, die aufeinander treffen, sondern die Oxidschichten, die die Oberflächen überziehen. Das kann das Beschichten oder Verbinden von Metallbauteilen erschweren. Das Problem ist vom Lötten bekannt: Dort benutzt man Flussmittel, um die Oxidschichten abzutragen, damit das heiße Lot mit der metallischen Oberfläche direkt in Kontakt kommt und eine feste Verbindung eingeht.

Aber nicht nur für das Lötten, auch für andere Fügetechniken ebenso wie für Verfahren des Ur- und Umformens, Trennens und Beschichtens gilt: Die Abwesenheit von Sauerstoff kann die Qualität des

Bauteils erheblich verbessern und sowohl den Energieverbrauch als auch den Werkzeugverschleiß verringern. Dabei reicht allerdings ein technisch erzeugtes Vakuum oder eine Argon-Schutzgasatmosphäre, wie sie beim Schweißen eingesetzt wird, nicht aus. Auch in solchen Umgebungen gibt es immer noch so viele Sauerstoffatome, dass sich auf einer gerade abgeschliffenen oder -geätzten Oberfläche sofort wieder eine dünne Oxidschicht bildet.

Weniger Sauerstoff
als zwischen Erde und Mond

Um die produktionstechnischen Möglichkeiten einer wirklich sauerstofffreien Umgebung auszuloten, müssen also völlig neue Wege beschritten werden. Das geschieht seit 2020 im Sonderforschungsbe-

reich „Sauerstofffreie Produktion“, der von der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG) gefördert wird. Entstanden war die Idee im Umfeld von Forschungen im Bereich des industriellen Lötens am Institut für Werkstoffkunde (IW). Zum Team des SFB gehören 13 Institute, davon sechs aus dem PZH.

„Wir geben dem Argon eine sehr kleine Menge Silan bei. Das ist eine Silicium-Wasserstoff-Verbindung, die sämtlichen Sauerstoff bindet, so dass Siliciumdioxid und Wasserstoff entstehen. Selbst zwischen der Erde und dem Mond gibt es noch mehr Sauerstoff als in den Atmosphären, in denen wir unsere Versuche machen“, sagt Dr.-Ing. Sebastian Herbst, Wissenschaftler am Institut für Werkstoffkunde (IW) und Geschäftsführer des SFB. Eine Alternative, um den Sauerstoff abzubinden, wäre Wasserstoff. Silan hat



Khemais Barienti, Mitarbeiter im SFB, bereitet eine Probe zur Röntgenuntersuchung vor.

aber den Vorteil, dass es schon bei Raumtemperatur mit dem Sauerstoff reagiert.

Arbeiten unter Sauerstofffreiheit sind damit also bei Umgebungsdruck und normalen Arbeitsplatztemperaturen möglich. Aber natürlich können Menschen in einer solchen Atmosphäre nicht agieren. Die Experimente finden deshalb in Kammern oder Boxen statt, in die Bauteile und Geräte eingeschleust werden müssen. Die sauerstofffreie Atmosphäre wird kontinuierlich überwacht und durch gelegentliche Silanzugaben aufrechterhalten. Die Forschenden greifen mit Handschuhen, die in die Wände eingesetzt sind, in das Innere der Boxen, um dort mit den Geräten und Objekten zu hantieren. Die fixierte Position und der eingeschränkte Aktionsradius erfor-

dern eine genaue vorherige Planung der Experimente und Messungen.

Bessere Haftung ohne Oxid

Ein Beispiel für die Vorteile sauerstofffreier Produktion liefert das thermische Spritzen, das in einem Teilprojekt des SFB am IW untersucht wird. Das thermische Aufspritzen von Schichten wird in vielen industriellen Bereichen unter anderem für den Verschleiß- und Korrosionsschutz von Bauteilen eingesetzt. „Normalerweise geschieht das in sauerstoffhaltigen Atmosphären, was dazu führt, dass die flüssigen Metalltropfen, die auf das Bauteil auftreffen, eine Oxidhaut bilden. Das tun auch die nachfolgenden Partikel, die sich darauf absetzen, so dass sich überall

Oxidsäume bilden. Man hat dann letztlich keine homogene Schicht, sondern was man im Längsschnitt sieht, ähnelt einem Stapel Pfannkuchen“, erläutert Dr. Sebastian Herbst. Schichten, die in sauerstofffreier Atmosphäre aufgebracht werden, weisen hingegen keine Oxideinschlüsse auf. Das hat einen entscheidenden Vorteil: Sie sind sehr viel fester und haften um ein Vielfaches besser auf dem Untergrund.

In einem anderen IW-Projekt geht es um das Walzplattieren: Dabei wird ein Werkstoff auf einen anderen aufgewalzt und dadurch mit ihm verbunden. Dieses Verfahren des Kaltpressschweißens wird zum Beispiel angewandt, um unterschiedliche metallische Bänder zu einem Verbundmaterial zu vereinigen. Besonders geeignet ist es für die Verbindung von Werkstoffen wie Stahl und Alumi-

um, die sich nicht miteinander verschweißen lassen. Im IW wird untersucht, inwieweit unter Sauerstofffreiheit auch Werkstoffe verbunden werden können, bei denen das bis jetzt schwierig oder nicht möglich war.

Bislang sind nicht nur die möglichen Materialkombinationen beschränkt. Auch wenn passende Werkstoffe verbunden werden, müssen zunächst die hinderlichen Oxidschichten durch einen erhöhten Kontaktdruck aufgebrochen werden, um metallisch reine Oberflächen freizulegen. Zudem ist in der Regel noch der Einsatz von Wärme notwendig, um die nötige Verbundfestigkeit herzustellen. Das IW-Team will deshalb nicht nur herausfinden, welche neuen Materialkombinationen das sauerstofffreie Walzplattieren erlaubt, sondern auch, inwieweit sich dadurch der erforderliche Umformgrad senken, die notwendige Wärmebehandlung reduzieren und die gesamte Fertigungskette verkürzen lässt. „Wir beobachten aktuell schon Energieeinsparungen von etwa 30 Prozent und gehen davon aus, dass wir

dies in Zukunft durch eine weitere Verbesserung der Oxidschichtentfernung noch deutlich steigern können“, sagt Sebastian Herbst.

Weniger Verschleiß, mehr Recycling

Nicht nur beim Fügen und Beschichten, sondern auch beim Zerspanen von Werkstoffen macht die Abwesenheit von Sauerstoff einen entscheidenden Unterschied. Was das für das Fräsen und Drehen bedeutet, wird am Institut für Fertigungstechnik und Werkzeugmaschinen (IFW) am Beispiel von Titan untersucht. Dieser wertvolle Rohstoff, der zum Beispiel in der Luft- und Raumfahrt und in der Medizintechnik zur Anwendung kommt (s. auch S. 36), ist für die Versuche auch deshalb interessant, weil er mit Sauerstoff stark reagiert. Durch das Fräsen oder Drehen entstehen hohe Temperaturen. Finden die Arbeiten zudem unter Sauerstoff statt, fördert das die Bildung von Oxidschichten auf dem Werkzeug, was wiederum den

Werkzeugverschleiß verstärken kann. Ein anderer Effekt ist, dass die Titanspäne durch die Oxidation sowie durch Werkzeugpartikel und Rückstände von Kühlschmierstoffen verunreinigt werden und deshalb für die Produktion hochwertiger Bauteile nicht ohne weiteres recycelt werden können. Eine sauerstofffreie Umgebung, so die Erwartung der Forscher, wird den Werkzeugverschleiß reduzieren und die Wiederverwertung der Titanspäne ermöglichen.

„In diesen und in den anderen Teilprojekten des Sonderforschungsbereichs zeigt sich immer deutlicher, welches Potential in der sauerstofffreien Produktionstechnik steckt“, sagt Sebastian Herbst. „Das betrifft nicht nur die sehr großen Effekte bei der Ressourcenschonung und die enorme Steigerung der Produktqualität. Es zeichnen sich auch gänzlich neue Möglichkeiten der Fertigung und des Einsatzes von Werkstoffen ab. Wir erleben hier einen echten Technologiesprung.“



Zerspanen einer Probe in sauerstofffreier Atmosphäre. Kleines Bild: herkömmlich erzeugte Titanspäne (links) mit den typischen, durch Oxidation hervorgerufenen Verfärbungen, rechts Späne, die ohne Sauerstoffeinfluss hergestellt wurden. Das schont das Werkzeug und als Bonus lassen sich die Späne auch noch besser recyceln.



Labor im Koffer:

Quantenkryptographie für Anfänger

Wie sich die Datenübertragung mit Hilfe polarisierten Lichts verschlüsseln lässt, erleben Studierende am Institut für Transport- und Automatisierungstechnik (ITA) in einem neuen Augmented-Reality-Labor der Arbeitsgruppe Optronik.

Sichere Datenübertragung ist in einer digitalisierten Gesellschaft essenziell. Um Lauschaktionen abzuwehren, sind Verschlüsselungen notwendig. Die fortschrittlichste Technologie, die dafür zur Verfügung steht, ist die Quantenkryptographie. Sie nutzt die quantenmechanischen Eigenschaften von Elementarteilchen und Photonen, um unknackbare Verschlüsselungssysteme für die digitale Informationsübertragung zu erzeugen. Das ist so anspruchsvoll, wie es klingt und als studentischer Lernstoff keine leichte Kost. Deshalb gibt es am ITA seit dem letzten Sommersemester ein Labor, in dem Studenten des Master-Studiengangs „Optische Technologien“ das abstrakte Prinzip der Quantenkryptographie durch Anschauung erleben und durch praktisches Ausprobieren nachvollziehen können. Entwickelt hat es die Arbeitsgruppe ‚Optronik‘ unter der Leitung von Ejvind Olsen. Die Besonderheit: Das Labor ist mobil und kann auf einem beliebigen Tisch aufgebaut werden. Seine Bestandteile – Laserdioden, Sensoren, Halbwellenplatten zur Drehung der Licht-Polarisation und Strahlteiler – passen in zwei Koffer. Die Labornutzung ist auf eine einzelne Person zugeschnitten.

Die Idee dazu entstand während der Coronapandemie, als der Laborbesuch für Gruppen nicht erlaubt war. „Wir wollten ein Labor entwickeln, das auch unter solchen Bedingungen einsetzbar ist. Es musste also ohne Betreuer auskommen, aber so ausgelegt sein, dass Nutzer nicht auf sich gestellt sind, sondern angeleitet werden und Rückmeldungen bekommen“, sagt Ejvind Olsen. Die notwendige Begleitung während des zwei- bis dreistündigen Labordurchlaufs leistet eine Augmented-Reality-Brille. Sie blendet Testfragen zum erforderlichen Vorwissen ein, liefert physikalische und technische Hintergrundinformationen und lotst mit Handlungsanweisungen und Erläuterungen durch die Versuche. Die AR-Brille erkennt die Handbewegungen der Experimentatoren und blendet 3D-Modelle ein.

Ein quantenkryptographischer Schlüssel wird erzeugt, indem ein Sender – genannt Alice – Bits an einen Empfänger – genannt Bob – schickt. In der Realität sind einzelne Photonen die Träger dieser Informationen. Da solche Aufbauten sehr aufwendig sind, nutzt das ITA-Labor einen Laserstrahl für ein Analogieexperiment. Die Laserdiode ist der Sender, der gegenüber positionierte

Sensor der Empfänger. Das entscheidende Mittel für den Aufbau des Schlüssels ist die Polarisation des Lichts sowie die Drehung der polarisierten Lichtwellen in vier verschiedenen Winkelstellungen. Für die Codierung von 0 und 1 stehen jeweils zwei Winkel zur Verfügung. Mit Hilfe der Halbwellenplatten und des Strahlteilers werden sie einer Basis – genannt x und $+$ – zugeordnet. Auf diese Weise lassen sich 0 und 1 jeweils mit der Basis x oder $+$ verschicken. Sender (Alice) und Empfänger (Bob) wählen diese Einstellungen unabhängig voneinander. Wenn sie die gleiche Einstellung wählen, kommen die übertragenen Bits so an, wie sie abgesendet wurden. Unterscheiden sich die Einstellungen, hängen Übereinstimmung oder Abweichung vom Zufall ab. Alice und Bob wissen zunächst nicht, welche Bits korrekt übermittelt wurden. Nachdem einige Hundert Nullen und Einsen übertragen wurden, tauschen sie über einen öffentlichen Kommunikationskanal die Basen aus, die sie für Sendung und Empfang jeweils benutzt haben. Für die Erstellung ihres Schlüssels behalten sie nur die Bits zurück, die mit identischen Basen gesendet und empfangen wurden. Niemand außer ihnen kann wissen, welche der beiden möglichen Winkleinstellungen damit jeweils gekoppelt war. Deshalb lässt sich auch die übermittelte Bitfolge von außen nicht rekonstruieren.

In einem zweiten Experiment wird ein Lauschangriff simuliert: Eine Spionin – Eve – greift mit Hilfe eines Sensors die von Alice gesendeten Signale ab und versucht, sie mit einer eigenen Laserdiode an Bob weiterzuleiten. Alice und Bob merken nicht, dass sich jemand in ihre Signalübertragung eingeklinkt hat. Trotzdem bleibt Eve nicht unentdeckt, denn sie kennt die Basen nicht, die Alice versendet hat. Deshalb weiß sie auch nicht, welche Basis für die Weiterleitung an Bob die richtige ist. Ob sie die passende wählt, hängt vom Zufall ab. Die Chance, dass 16 Bits, die Alice abschickt, so auch unverändert bei Bob ankommen, beträgt bereits nur ein Prozent. Bei einem Schlüssel mit 1024 Bits ist die Wahrscheinlichkeit für einen unentdeckten Lauschangriff deutlich geringer und liegt bei 10^{-23} , oder anschaulicher formuliert: Würden Alice und Bob eine Million Millionen (1 Billion) Schlüssel mit einer Länge von 1024 Bit jede Sekunde für 1000 Jahre am Stück generieren, würde Eve statistisch betrachtet in dieser Zeit nur einmal unentdeckt bleiben.

„Für viele, die das Labor absolvieren, ist das Thema völliges Neuland. Aber bislang hat es bei allen irgendwann ‚Pling‘ gemacht und als sie mit den Experimenten fertig waren, hatten sie das Prinzip begriffen“, so Ejvind Olsen. Das Labor ist zugleich Ausgangspunkt für weitergehende Forschungen. Das, was sich jetzt noch in zwei Koffern befindet, soll auf Chip-Größe reduziert werden. Daran arbeitet eine Forschergruppe im Exzellenzcluster PhoenixD, wo neue Technologien in der Optik und Photonik entwickelt werden. Beteiligt sind an der Miniaturisierung neben dem ITA auch das Institut für Mikroproduktionstechnik (IMPT) und das Institut für Montagetechnik (match) sowie Forschungseinrichtungen außerhalb des PZH. Wenn diese Arbeiten erfolgreich beendet sind, wird das Quantenkryptographie-Labor in eine Jackentasche passen.



Linke Seite: Unser Autor, Dr. Wolfgang Krischke, in der virtuellen Welt. Oben: Ejvind Olsen vom Institut für Automatisierungstechnik erläutert die Anlage. Fotos: Leo Menzel

Neue *Horizonte* in der Mikrowelt



Fotos: Leo Menzel, IMPT

Vom Atomchip zum Innenohr-Implantat – am Institut für Mikroproduktionstechnik (IMPT) entstehen Mikro- und Nanosysteme für die Industrie von heute und morgen.

Prof. Dr.-Ing. Marc Wurz, seit vergangenem Jahr Leiter des Instituts, spricht über aktuelle Forschungen und wissenschaftliche Ziele.

Herr Professor Wurz, Miniaturisierung ist ja schon sehr lange ein Thema im Maschinenbau. Was macht die Besonderheit des IMPT innerhalb der Forschungslandschaft aus?

Wir können Dinge auf Skalen fertigen, die andere nicht beherrschen. Im Moment reicht unser Spektrum vom Millimeterbereich bis hinunter zu 100 Nanometern. Für die Zukunft peilen wir als Zielgröße 10 Nanometer, also zehn Millionstel Millimeter, an.

Wo spielen solche winzigen Abmessungen eine Rolle?

Unter anderem in der Photonik und in Quantensystemen. Lassen Sie mich das am Beispiel der Gravimetrie beschreiben: Dabei geht es darum, das Schwerfeld der Erde zu vermessen. Solche Daten werden etwa für die Erkundung von Bodenschätzen oder die Messung von Grundwasserständen genutzt. Wir entwickeln zurzeit Atomchips, die das Kernstück von Quantengravimetern bilden. Der Atomchip dient zur Erzeugung von Bose-Einstein-Kondensaten, also von Elementarteilchen, die sich aufgrund extrem

niedriger Temperaturen alle gleich verhalten. Indem man sie fallen lässt, kann man das Schwerfeld viel präziser messen als bislang. Zum Gesamtsystem gehören aber auch Vakuum-, Pump- und Lasertechnik sowie das Gehäuse, deshalb sind die quantenbasierten Gravimeter, die heute verwendet werden, noch so groß wie ein kleiner Kühlschrank. Unser Ziel ist es,

darin besteht, die Dinge kleiner zu machen.

Sie haben im vergangenen Jahr die Leitung des IMPT übernommen. Welche wissenschaftlichen Schwerpunkte wollen Sie setzen?

Ich führe eine Neuausrichtung weiter, mit der wir schon 2015 begonnen haben, als ich stellvertretender Leiter des Instituts wurde. Die Einbeziehung von Quantensystemen – Computer wie auch Sensoren – in unsere Forschungsarbeit ist Teil dieser Neuausrichtung. Die Art von Chip, die ich gerade beschrieben habe, war unsere Eintrittskarte in dieses Gebiet. Ein anderer hochinnovativer Bereich, in dem wir forschen, ist die Photonik.

Beide Themenbereiche, also die Photonik und die Quantentechnologie, finden bei uns in der Mikrosystemtechnik zusammen, wodurch wir eine führende Rolle einnehmen.

Welche praktische Bedeutung hat der Quantenbereich für die Produktionstechnik und die Industrie?

Quanten versprechen zunächst einmal

„Wir können Dinge auf Skalen fertigen, die andere nicht beherrschen.“

das Ganze auf das Format eines Smartphones zu reduzieren, so dass daraus ein mobiles Gerät wird. Wenn uns das gelingt, ist es eine Triebfeder für die weitere Verbreitung von Quantensystemen überhaupt. Im Moment sind Quantencomputer oder Quantensensoren für den mobilen Einsatz nämlich noch zu groß. Und da spielen wir unsere Stärke aus, die

höhere Präzision. Bei der Quantengravimetrie steigt sie um einige Zehnerpotenzen. Ein anderes wichtiges Feld ist die Zeitmessung, auf der die Navigationssysteme von Fahrzeugen beruhen. Deren Genauigkeitstoleranz liegt heute bei einem Meter. Für autonomes Fahren ist das viel zu viel. Wir müssen Mess-Systeme entwickeln, mit denen wir in den Zentimeterbereich kommen. Ein weiterer wichtiger Anwendungsbe-reich ist das Quantencomputing. Das IMPT ist an einem vom niedersächsischen Ministerium geförderten Verbundvorhaben

beteiligt, in dem ein 50-Qbit-Quantencomputer entwickelt wird. Da setzen wir uns mit Aufbau- und Verbindungstechniken auseinander, also mit der Frage, wie man solche Systeme integriert.

Was bedeutet die Ausweitung von der klassischen Physik in die Quantenwelt hinein für Ihre wissenschaftliche Arbeit?

Das erfordert schon eine andere Art zu

denken. Man muss die Quantenphysik so weit verstehen, dass man die großen Laboraufbauten, wie sie die Physiker betreiben, in miniaturisierte Systeme übersetzen kann, die ganzheitlich funktio-

nieren. Und dann müssen wir dafür ein Produktdesign entwickeln, das die Fertigung höherer Stückzahlen ermöglicht, denn erst dadurch wird das Ganze bezahlbar. Das ist die Triebfeder der Mikrosystemproduktionstechnik.

Einmal abgesehen von den Quantentechnologien – welche unterschiedlichen Bereiche gibt es im IMPT und was

ist die wissenschaftliche Klammer, die sie zusammenhält?

Ein Kernbereich ist die Dünnfilmtechnik. Sie findet vor allem im Reinraum statt, wo wir Beschichtungs-, Lithographie- und Ätzverfahren in Form einer Prozesskette einsetzen. Dieses Feld bauen wir gerade noch massiv aus und passen es so den Anforderungen von morgen an. Ein anderer Kernbereich ist die mechanische Präzisionsbearbeitung. Dazu gehört vor allem das Trennschleifen, also das Trennen von Wafern, aber auch die Oberflä-

chenbearbeitung. Denn wenn wir beispielsweise galvanisch Schichten abscheiden, bekommen wir unebene Oberflächen, die wir wieder einebnen müssen, damit der nächste Lithographieschritt darauf funktioniert.

Ein weiteres Standbein ist die Aufbau- und Verbindungstechnik: Ein Chip für sich nützt ja nichts, er muss integriert

„Das Thema Quantentechnologie wird uns sicherlich noch zehn Jahre lang beschäftigen.“



Prof. Dr.-Ing. Marc Christopher Wurz, geb. 1974, leitet seit vergangenem Jahr das Institut für Mikroproduktionstechnik (IMPT) am PZH. Marc Wurz studierte Bauingenieurwesen an der Universität Hannover bis zum Diplom und promovierte anschließend im Fachbereich Maschinenbau. Von 2004–2005 leitete er die Dünnfilmgruppe am Institut für Mikrotechnologie, danach war er bis 2015 Oberingenieur am Institut für Mikro-

produktionstechnik des PZH. Von 2015 bis 2021 war Marc Wurz stellvertretender Leiter des Instituts und hauptverantwortlich für seine wissenschaftliche Ausrichtung. 2021 nahm er einen Ruf auf die Professur für Integration von Mikro- und Nanosystemen an der Universität Ulm an. Im darauf folgenden Jahr erfolgte die Berufung auf die Professur für Sensorsysteme der Produktionstechnik der Leibniz Universität Hannover.

werden in ein System. Das kennt man klassischerweise aus der Elektronik. Allerdings sind die Anforderungen, mit denen wir es insbesondere für die Quantensysteme zu tun haben, wesentlich höher: Wenn ich ein Ultrahochvakuum brauche, dürfen die Fügekomponenten nicht ausgasen, denn sonst vermindert sich die Vakuumqualität und damit die Präzision des Mess-Systems. Wir müssen also spezifische Technologien entwickeln, damit das funktioniert. Andere Herausforderungen bietet das Quantencomputing, das bei extrem niedrigen

Temperaturen stattfindet. Dafür müssen wir Materialien finden, die bei Kälte nicht spröde werden. Und der letzte Bereich ist die Tribologie: Da erforschen wir passend dazu, wie sich unterschiedliche Atmosphären und Oberflächenzustände auf die Reibung auswirken, welchen Verschleiß sie bewirken und welche Schmierungsprozesse notwendig sind.

Sie haben im vergangenen Jahr die Leitung des IMPT übernommen. Was steht im Moment auf Ihrer Agenda?

Was im Moment ansteht, ist die Inbetriebnahme von Anlagen, mit denen wir Diamantschichten herstellen und charakterisieren können. Die spielen für die Werkzeugbeschichtung eine Rolle, aber ebenso für die Medizintechnik, die Photonik und die Quantensysteme.

Wie groß ist das wissenschaftliche Team im Institut?

Seit der Übernahme der wissenschaftlichen Leitung im Jahr 2015 ist die Zahl der wissenschaftlichen Mitarbeiter von 13 auf 29 gestiegen.

Eine beträchtliche Expansion.

Ja, die Vielfalt an spannenden Forschungsbereichen, in denen wir parallel aktiv werden müssen und wollen, ist sehr

groß. Ich denke, die Anzahl an wissenschaftlichem Personal wird mittelfristig noch auf 35 bis 40 anwachsen.

Und welche längerfristigen Forschungsperspektiven verfolgen Sie?

„Wie verändern wir Produktion? Wie schaffen wir eine neue Kreislaufwirtschaft? Da wird es neue Konzepte der Materialtrennung mit sensorischen Lösungen geben.“

Das Thema Quantentechnologie wird uns sicherlich noch zehn Jahre lang beschäftigen. Ein anderes Feld, auf dem wir noch viel Arbeit vor uns haben, ist die Photonik. Hier müssen wir einen ähnlichen Sprung schaffen, wie er damals von der Röhren- zur Halbleitertechnik gelang, wodurch die gesamte Elektronik beachtlich schrumpfte. Allerdings wird die Lösung hybrid sein, also optoelektronisch, denn ohne elektrische wird auch die optische Versorgung nicht funktionieren.

Welche anderen Bereiche haben Sie im Blick?

Ich verspreche mir sehr viel von der Miniaturisierung medizinischer Produkte. Wir haben erste Demonstratoren für Cochlea-Implantate hergestellt und auch bei der sensorischen Überwachung von Patienten gibt es noch viel Potential. Und natürlich beschäftigen wir uns mit den grundsätzlichen Fragen der Produktionstechnik: Wie verändern wir Produktion? Wie schaffen wir eine neue Kreislaufwirtschaft? Da wird es neue Konzepte der Materialtrennung mit sensorischen Lösungen geben. Ein größeres Thema ist auch die sauerstofffreie Fertigung, der zurzeit ein kompletter Sonderforschungsbereich ge-

widmet ist. Die Erkenntnisse, die wir dort gewinnen, können wir auf ganz verschiedene Bereiche übertragen. Materialien, die in der Sauerstoffatmosphäre stark reagieren, lassen sich nun auf einmal ganz anders

handhaben. Das ist sehr interessant.

Wofür zum Beispiel?

Für alle Materialien, die einer oxidativen Reaktion oder auch Verschleiß unterliegen. Oxidative Reaktionen erfolgen beispielsweise bei Metallen wie Aluminium oder Titan, auf denen sich in kürzester Zeit Oxidschichten bilden. Wenn sich diese Oxid-

schichten nicht bilden, verändert sich das Materialverhalten. Betroffen sind vor allem Prozesse, bei denen metallische Oberflächen in Kontakt miteinander kommen. Fehlende Diffusionsbarrieren begünstigen adhäsives Verhalten der Oberflächen und haben einen empfindlichen Einfluss auf Umform-, Füge und Zerspanprozesse. Es gibt aber auch andere reaktive Werkstoffe, deren Verarbeitung in einer sauerstofffreien Atmosphäre erst möglich sind. Hier sehen wir Anwendungen im Bereich der Quantentechnologie.

Wie groß ist der Rückhalt für Ihre Forschungen in der Politik?

Im Moment ist alles auf sehr gutem Weg. Ich habe den Eindruck, dass wir hier mit unseren Themen auf offene Ohren stoßen und dass es ein großes Interesse gibt, auch eine entsprechende Industrie zu schaffen. Wir haben deshalb Kooperationsprojekte mit Firmen aufgesetzt, um das, was wir hier im Labor machen, in eine industrielle Form zu überführen. Wir müssen ein Stück weit einen Markt schaffen für die Dinge, die wir erforschen. Wenn das gelingt, wird die Industrie zum Treiber.

Hart und sparsam: Präzisionswerkzeuge effizienter herstellen

Wie sich der Energieverbrauch für die Herstellung von Hartmetallwerkzeugen massiv senken lässt, erforscht ein Team am Institut für Fertigungstechnik und Werkzeugmaschinen (IFW).

Präzisionswerkzeuge für das Fräsen, Drehen oder Bohren von Metall werden meistens aus Hartmetall hergestellt. Dieses Material besteht aus Wolframcarbidpartikeln, die in einer Kobaltmatrix zusammengehalten werden, und zeichnet sich durch eine hohe Härte und Festigkeit aus. Die Herstellung dieses Schneidstoffs benötigt allerdings sehr viel Energie. In Deutschland werden pro Jahr 4.300 Tonnen Hartmetall für die Herstellung von Werkzeugen benötigt. Dafür werden insgesamt 442,5 Gigawattstunden pro Jahr verbraucht. Zum Vergleich: Ein Großkraftwerk

stufen oder aus recycelbaren Spänen vorangegangener Werkzeugfertigungen hergestellt. Schon hier lässt sich durch eine Optimierung der Recyclingprozesse und eine verbesserte Wärmerückführung Energie sparen. Der nächste Schritt ist die Formgebung: Zur Herstellung rotationssymmetrischer Werkzeuge wie Bohrer und Fräser werden aus dem Wolframcarbid-Pulver Rundstäbe, sogenannte Grünlinge, gepresst. Da ihre Form von der gewünschten Endkontur noch ziemlich weit abweicht, gehen im späteren Schleifprozess bis zu 30 % des Materials in Form von



produziert etwa 7500 Gigawattstunden pro Jahr. Zu der hohen Emission von Treibhausgasen, die mit dieser Produktion einhergeht, kommt eine starke Abhängigkeit von Ländern wie China und Kongo, in denen der größte Teil des Wolframs und Kobalts abgebaut wird.

Forscher am IFW untersuchen deshalb gemeinsam mit Kollegen des Fraunhofer-Instituts für Keramische Technologien und Systeme (IKTS) und mehrerer Firmen, wie sich der Energiebedarf bei der Herstellung von Hartmetallwerkzeugen senken lässt. Dafür nehmen sie alle Stufen des Produktionsprozesses in den Blick: Den Ausgangspunkt bildet die Herstellung eines Pulvers aus Wolframcarbid, aus dem die Hartmetallwerkzeuge geformt werden. Das Pulver wird entweder direkt aus den abgebauten Roh-

stoffen verloren. Um diesen Materialverlust zu reduzieren, arbeiten die Forscher an Verfahren, die den Grünlingen eine Form geben, die bereits dicht an der gewünschten Endkontur des Werkzeugs ist. Dadurch lässt sich zusammen mit dem Material auch viel Energie einsparen, da der Energieaufwand bei der Ressourcengewinnung und Pulverherstellung mit 79 Kilowattstunden pro Kilogramm sehr hoch ist. Viel Potential für eine endkonturnahe Formgebung bietet der 3-D-Druck, mit dem sich allerdings bislang Hartmetallwerkzeuge in der notwendigen Qualität noch nicht fertigen lassen. Eine andere Möglichkeit der Ressourcenschonung besteht darin, dem Grünling bereits vor dem Sintern durch spanende Bearbeitung eine endkonturnahe Form zu geben. Da das Material und damit auch die Späne an diesem Punkt in der Prozesskette nicht kontaminiert sind, können sie di-



rekt in den Produktionsprozess zurückgeführt werden. Dafür müssen die Grünlinge allerdings eine höhere Festigkeit erhalten als bisher.

Nach der Formgebung werden die Grünlinge gesintert, um ihnen die geforderte Härte zu verleihen. Hier ist die Reduktion der Sinterzeiten und -temperaturen das Mittel, Energie einzusparen. Notwendig dafür sind erweiterte Kenntnisse über die Temperaturverteilung im Sinterofen sowie innovative Methoden

achtungen, Messungen und Versuche entlang der Prozesskette werden die Wissenschaftler schließlich in einem letzten Schritt optimierte Werkzeuge herstellen und testen.

Durch die Umsetzung der verschiedenen Maßnahmen ergibt sich eine Gesamteinsparung von 107 Gigawattstunden pro Jahr in Deutschland. Legt man die spezifische Kohlendioxid-Emission des deutschen Strommix aus dem Jahr 2017 zugrunde, entspricht das einer CO₂-Einsparung von 52.013 Tonnen pro Jahr



zur Prozessüberwachung. Simulationen und thermische Analysen sollen das nötige Wissen liefern.

Die endgültige Werkzeuggeometrie wird im darauf folgenden Prozessschritt durch das Schleifen erzeugt. Die angestrebte endkonturnahe Fertigung durch 3-D-Druck und eine entsprechende Bearbeitung der Grünlinge wird den Materialabtrag, der hier noch nötig ist, deutlich verringern. Zudem kann die Schleifgeschwindigkeit erhöht und dadurch die Schleifzeit verkürzt werden. Beides reduziert den Energieverbrauch. Um solche endkonturnahen Rohlinge optimal bearbeiten zu können, ist es allerdings nötig, die Schleifscheiben und Prozessstellgrößen in Hinblick auf die Produktivität und die Qualität der Schneidkanten zu verbessern. Auf Basis all dieser unterschiedlichen Beob-

achtungen, Messungen und Versuche entlang der Prozesskette werden die Wissenschaftler schließlich in einem letzten Schritt optimierte Werkzeuge herstellen und testen.

in Deutschland. Darüber hinaus ergeben sich zusätzliche Einsparpotenziale durch die Übertragung der gewonnenen Erkenntnisse auf weitere Anwendungsgebiete. Neben der Verwendung als Schneidstoff wird Hartmetall beispielsweise zur Herstellung von Matrizen und Stempeln in der Umformtechnik genutzt. Zudem bietet die additive Fertigung die Möglichkeit neuartiger Werkzeuggeometrien, beispielsweise mit hohlem oder durch Wabenstruktur gestütztem Schaft. Rechnet man die daraus resultierenden Effekte hinzu, ergeben sich sogar Einsparungen von 163,2 Gigawattstunden pro Jahr in Deutschland.

Weitere Informationen:

Lars Ellersiek, 0511 762 -18234,
ellersiek@ifw.uni-hannover.de

Airbus: Ressourcen schonen beim Flugzeugbau

Die produktionstechnischen Berater von ProIng entwickeln ein Konzept für eine ressourcenschonende Produktion durch intelligente Datennutzung

Klimaneutralität steht auf der Agenda der europäischen Luftfahrtindustrie weit oben. Neben der Entwicklung emissionsarmer Flugzeuge ist die Umstellung der Produktion auf energieeffiziente und ressourcenschonende Methoden eine entscheidende Voraussetzung, um dieses Ziel zu erreichen. Wie sich das praktisch umsetzen lässt, wird zurzeit im Werk von Airbus Aerostructures am Standort Nordenham untersucht und getestet. Das Werk in der Wesermarsch mit seinen 2500 Beschäftigten ist ein Zentrum für die Fertigung von Schalen für Flugzeugrümpfe. Weitere Schwerpunkte sind die

Profilfertigung sowie die Metall- und CFK-Klebeteknik. Im Rahmen des niedersächsischen Forschungsprojekts GREEN (Großkomponenten ressourcen- und energieeffizient produzieren, gefördert durch die Luftfahrtförderung der NBANK) entwickelt die am PZH angesiedelte Beratungsfirma ProIng hier gemeinsam mit Airbus, Broetje-Automation, DLR und OFFIS ein Konzept für eine ressourcenschonende Produktion durch intelligente Datennutzung.

Dafür muss zunächst einmal genau erkennbar sein, welche Komponenten in einer Fabrik – Produktionsanlagen, Heizung, Hallenbeleuchtung – zu welchen Zeitpunkten wie viel Energie verbrauchen. Eine solche lückenlose und automatisierte Erfassung aller Bereiche und Ebenen der Produktion gibt es im Nordenhamer Airbus-Werk zurzeit noch nicht. Stattdessen hängen

oft unterschiedliche Verbraucher an einem Zähler, so dass eine differenzierte Messung des Verbrauchs und des damit verbundenen CO₂-Ausstoßes nicht möglich ist. Hinzu kommt, dass die Zählerstände bislang nicht vollständig digital übermittelt werden, sondern zum Teil individuell abgelesen werden müssen. „Das bedeutet, es sind immer nur Blicke in die Vergangenheit möglich, die für eine Analyse, Steuerung und Optimierung der aktuellen Prozesse unzureichend sind. Energiekennzahlen und Produktionskennzahlen werden aktuell nur unzureichend miteinander verknüpft. Ziel des neuen Ansatzes ist es, eine gezielte Aussage zu prozess- und bauteilbezogenen Energieverbräuchen und zum CO₂-Ausstoß zu ermöglichen“, sagt Dr. Gregor Drabow von ProIng.

Er und seine Kollegen sind deshalb dabei, eine digitale Zählerinfrastruktur zu entwerfen, die die Struktur der Fabrik und ihre Produktionsabläufe spiegelt. Durch eine systematische Platzierung und Verknüpfung von Zählern werden die Verbräuche von der Werksebene hinab zu den Abteilungen und weiter bis zu den Produktionsanlagen und einzelnen Werkzeugmaschinen, aber auch zu den Beleuchtungs- und Heizungsanlagen erfasst. Wichtig ist



Dr.-Ing. Jens Bockhorst (links) und Dr.-Ing. Gregor Drabow von ProIng.

zudem, dass diese Zähler ihre Daten in Echtzeit übermitteln. Auf dieser Basis kann man jederzeit feststellen, wie hoch beispielsweise die Grundlast zu unterschiedlichen Zeiten ist, welche Lastspitzen es gibt, in welchem Maß gerade erneuerbare Energien verbraucht werden und wo Einsparpotentiale liegen. Den Nutzen, den eine detaillierte Anlagen- und Prozessüberwachung für das Energiemanagement hat, konnten die Ingenieure von ProIng bereits an einem konkreten Beispiel demonstrieren. Eine Analyse an den 3D-Flächenfräsanlagen des Werks zeigte unterschiedliche Verbräuche bei identischen Maschinen, Prozessen und Bauteilen. Der Grund waren schadhafte Antriebe in zwei Anlagen. Ein besonde-

res Augenmerk liegt beispielsweise auch auf den galvano-chemischen Produktionsschritten, die wegen der stromdurchflossenen Warmwasserbäder, die dafür notwendig sind, einen besonders hohen Energieverbrauch aufweisen. Vorgesehen ist, dass neben dem Verbrauch von Strom auch der von Gas, Fernwärme, Wasser und Druckluft gemessen wird. Letzteres zeigt an, ob die abgerufenen Kompressorleistungen für die jeweiligen Produktionsschritte wirklich nötig sind.

„Wir entwickeln gerade Tools, mit denen sich die Analyseergebnisse visualisieren und für die Produktionsplanung und -steuerung aufbereiten lassen. In einem nächsten Schritt folgen ein darauf

aufbauendes Prognosemodell und entsprechende Optimierungsstrategien. Daraus lassen sich dann konkrete Handlungsempfehlungen zur Erhöhung der Energieeffizienz bei den einzelnen Produktionsschritten ableiten“, so Gregor Drabow. Die Erkenntnisse aus dem Projekt GREEN sollen neben Airbus Aerostructures und seinen Partnern auch anderen Unternehmen in Form von Beratungsdienstleistungen angeboten werden. Gerade mittelständische Betriebe, für die die CO₂-Bilanzierung zunehmend wichtig wird, zeigen großes Interesse an diesem Angebot.

Weitere Informationen:

Dr.-Ing. Gregor Drabow,
0511 762 18202, drabow@pro-ing.de



3D-Flächenfräsanlage zur Bearbeitung von Hautfeldern

Produktionstechnik auch für unterwegs



Produktionstechnik
Hannover informiert

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



Jahresbericht 2022



Foto: Nico Niemeyer

42	PZH - Fakten und Zahlen
44	PZH - Schwerpunkte für Industriekooperationen
46	Promotionen
46	Gäste
47	Auszeichnungen
48	Seminare, Workshops, Konferenzen
48	Patente
	Geschichte, Aus der Forschung, Lehre, Forschungsprojekte, Veröffentlichungen, Anschaffungen:
50	IFA – Institut für Fabrikanlagen und Logistik
56	IFUM – Institut für Umformtechnik und Umformmaschinen
64	IFW – Institut für Fertigungstechnik und Werkzeugmaschinen
76	IMPT – Institut für Mikroproduktionstechnik
84	IKK – Institut für Kunststoff- und Kreislauftechnik
88	ITA – Institut für Transport- und Automatisierungstechnik
94	match – Institut für Montagetechnik
100	IW – Institut für Werkstoffkunde
106	TEWISS Technik und Wissen GmbH
108	Unternehmen im PZH
110	Anreise / Impressum

Fakten und Zahlen

Menschen

An den acht Universitätsinstituten arbeiten rund 270 wissenschaftliche und rund als 120 nichtwissenschaftliche Mitarbeiter. Letztere sind vorwiegend als Angestellte in Technik und Verwaltung tätig. Dazu kommen rund 550 studentische Mitarbeiter, die „HiWis“, außerdem 16 Auszubildende und zehn junge Mitarbeiter im FWJ, dem Freiwilligen Wissenschaftlichen Jahr.

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

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

Ort

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

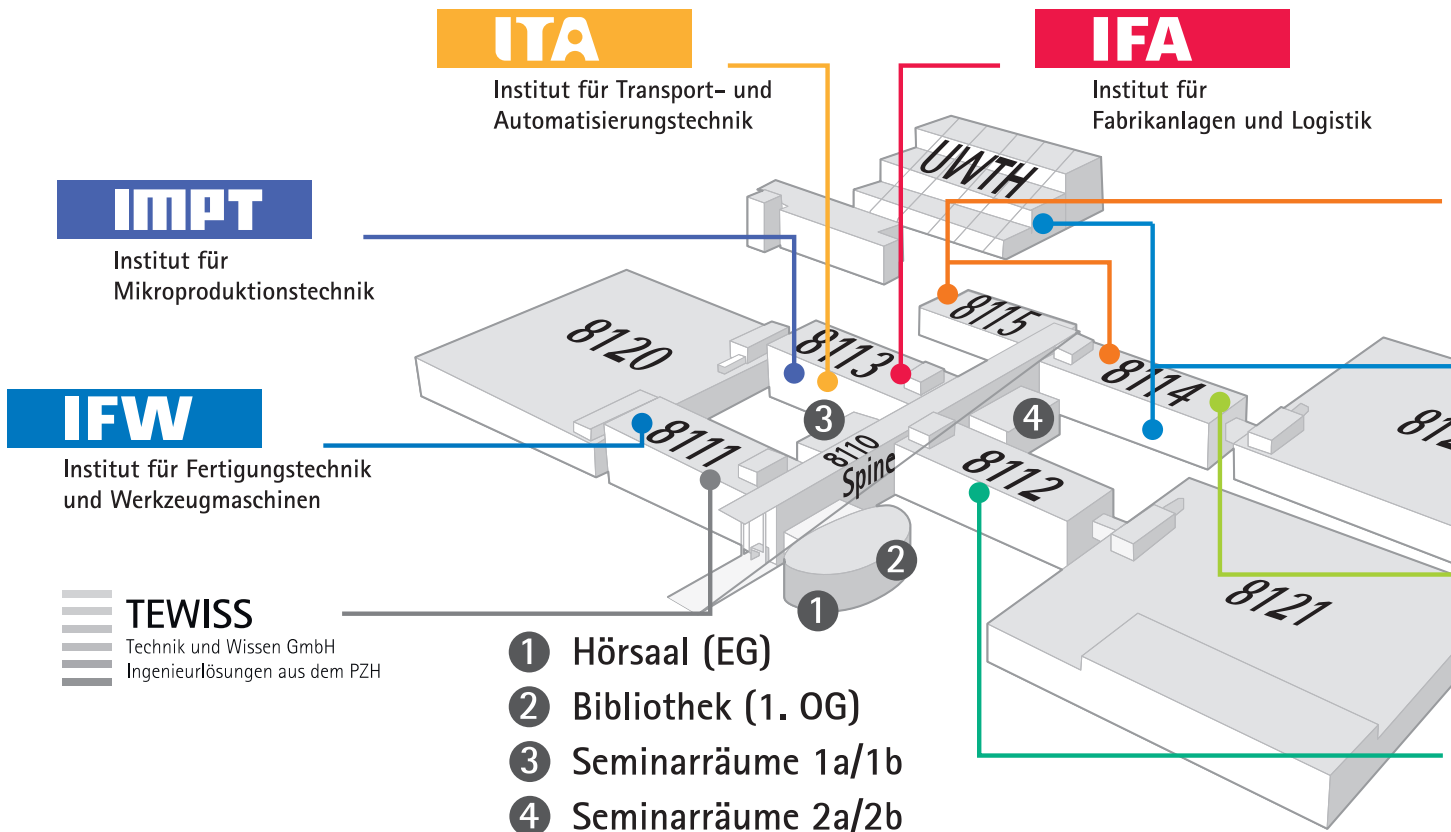
Fünf Labor- und Bürotrakte gehen von dort ab, drei große Hallen für die Versuchsfelder schließen sich an. Nutzfläche gesamt: etwa 22.000 Quadratmeter. Das PZH liegt in Garbsen, nahe der A2-Ausfahrt Hannover-Herrenhausen.

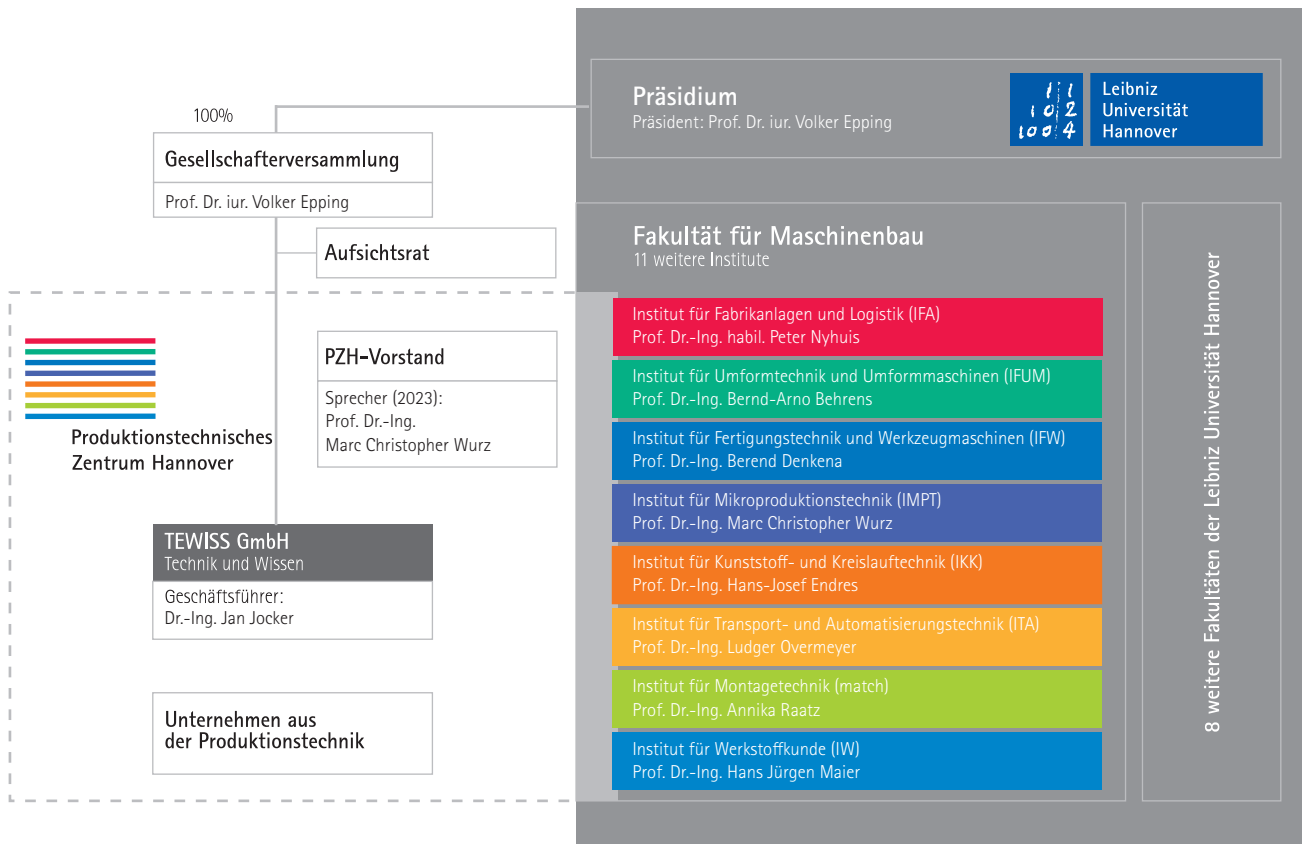
Seit 2019 sind mit dem Campus Maschinbau, der gegenüber dem PZH liegt, alle 19 Maschinenbauinstitute der LUH in Garbsen vereinigt.

Geschichte

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

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



**IKK**

Institut für Kunststoff- und Kreislauftechnik

IW

Institut für Werkstoffkunde

match

Institut für Montagetechnik

IFUM

Institut für Umformtechnik und Umformmaschinen

Drittmittel

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

2022 hat das PZH mehr als 25,4 Millionen Euro (vorläufige Berechnung) Drittmittel eingeworben. Eingeworbene Landesmittel sind in dieser Summe nicht enthalten.

Struktur

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

Die acht Institutsleiter und der Geschäftsführer der TEWISS-GmbH bilden den Vorstand des PZH; die Aufgabe des Vorstandssprechers wechselt jährlich. Im Jahr 2022 sprach Professor Hans-Josef Endres für den Vorstand. Er wurde im Januar 2023 von Professor Marc Christopher Wurz abgelöst.

Die TEWISS GmbH ist eine hundertprozentige Tochter der Leibniz Universität.

Schwerpunkte für Industriekooperationen

Das Produktionstechnische Zentrum Hannover als Partner für Unternehmen

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

IFA

**Institut für
Fabrikanlagen und Logistik**

Prof. Dr.-Ing. habil. Peter Nyhuis

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

IFUM

**Institut für Umformtechnik
und Umformmaschinen**

Prof. Dr.-Ing. Bernd-Arno Behrens

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

IFW

**Institut für Fertigungstechnik
und Werkzeugmaschinen**

Prof. Dr.-Ing. Berend Denkena

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

IMPT

**Institut für
Mikroproduktionstechnik**

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



Institut für Kunststoff- und Kreislauftechnik

Prof. Dr.-Ing. Hans-Josef Endres

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



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



Institut für Montagetechnik

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)



Institut für Werkstoffkunde

Prof. Dr.-Ing. Hans Jürgen Maier

- ▶ Analysentechnik und Schadensforschung
- ▶ Gießtechnische Herstellung von Mg- und Al-Legierungen
- ▶ Korrosionsuntersuchungen
- ▶ Löten, thermisches Spritzen
- ▶ Prozessentwicklung für das Strangpressen von Leichtmetallen und Werkstoffverbunden
- ▶ Schneid- und Schweißprozesse in Sonderumgebungen 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. Sebastian Barton

Zerstörungsfreie Bewertung des Randzonenzustands und Schädigungsgrads in Nickelbasislegierungen infolge von Hochtemperaturkorrosion, IFW

Dr.-Ing. Sasha Beblein

Grundlagen zur FEM-basierten Auslegung beschichteter Zerspanwerkzeuge, IFW

Dr.-Ing. Sebastian Bengsch

„Entwicklung eines lithografiefreien Ferti-gungsverfahrens für AMR-Magnetfeldsen-soren basierend auf spritzgegossenen Kunststoffsubstraten“, IMPT

Dr.-Ing. Maik Bergmeier

Piezohydraulisches Feinpositioniersystem für die Schleifbearbeitung von Großzahn-rädern, IFW

Dr.-Ing. Dominik Dahlmann

Kombiniertes Werkzeug zum Hochlei-stungsstrukturieren und Honen von Zylin-derlauflächen, IFW

Dr.-Ing. Eugen Demler

Einfluss von Impulsen hoher Stromdichte auf die Verformbarkeit von Ni-Co-X- und Nb-Si-X-Superlegierungen, IW

Dr.-Ing. Niklas Gerdes

Qualitätssicherung in der additiven Metallfertigung durch hyperspektrale Bildgebung und maschinelles Lernen, LZH

Dr.-Ing. Stefan Henning

Simulationsbasierte Prognose von Randzoneneigenschaften beim Verzahnungsfertigfräsen mit schälendem Schnitt, IFW

Dr.-Ing. Gerd-Albert Hoffmann

Benetzungssteuerung auf Foliensubstraten mittels Flexodruck zur additiven Fertigung polymerer optischer Wellenleiter, ITA

Dr.-Ing. Daniel Hötte

Antreibende Tragrollen als dezentrale Antriebe für Gurtförderanlagen, ITA

Dr.-Ing. Stefan Julmi

Legierungen und Prozesse für die Additive Fertigung offenporiger und bioresorbierbarer Magnesiumimplantate zur Regenerati-on von Knochendefekten, IW

Dr.-Ing. Heinrich Klemme

Flüssigkeitslose Kühlung von Motorspindelwellen, IFW

Dr.-Ing. Jan Klett

Bestimmung des Wasserstoffgehalts und Untersuchung einer Methode zur Senkung des wasserstoffinduzierten Kal-trissrisikos beim nassen Schweißen unter Wasser, IW

Dr.-Ing. Marielena Krause

Agiles Projektmanagement der Fabrikpla-nung unter Unsicherheiten, IFA

Dr.-Ing. Thomas Lepper

Serielle Roboterkinematik für die spanende Bearbeitung, IFW

Dr.-Ing. Christoph Lotz

Untersuchung zu Einflussfaktoren auf die Qualität von Experimenten unter Mikro-gravitation im Einstein-Elevator, ITA

Dr.-Ing. Torben Lucht

Zweistufiges Ersatzteilpooling für eine robuste Materialversorgung in der Regeneration komplexer Investitionsgüter, IFA

Dr.-Ing. Maren Müller

Auswahl von Transportsystemen im Lager unter Berücksichtigung von Verände-rungsfähigkeit und Automatisierung, IPH

Dr.-Ing. Sarah Nothdurft

Beeinflussung des Schmelzbades beim La-serstrahlschweißen durch Ultraschall und daraus resultierende Schweißgut- und Ge-fügeausbildung, LZH

Dr.-Ing. Nicolas Nübel

Digitaler Zwilling zur hochautomatisierten Einzelteilkfertigung in der Reparatur, IFW

Dr.-Ing. Assem Oubari

Multikriterielle Entscheidungsunterstüt-

zung der Planung von Mensch-Roboter-Kollaborationen in der Montage, IFA

Dr.-Ing. Tobias Picker

Prozessspezifische Auslegung der Schneid-kantenmikrogeometrie bei Hartmetall-werkzeugen, IFW

Dr.-Ing. Vannila Prasanthan

Randzone und Lebensdauer mechanisch bearbeiteter hybrider Bauteile, IFW

Dr.-Ing. Jan Reiners

Kombinierte Ultraschall-Levitations-Ma-gnetführung, IFW

Dr.-Ing. Simon Schöler

Selektiv thermisch oxidierte α -Fe₂O₃-Werkzeugbeschichtungen als reibungsarme Sepa-rationsschichten beim schmierstofffreien Tiefziehen von Blechbauteilen, IW

Dr.-Ing. Maikel Strug

Optimierung von Schleifprozessen durch Schleifwerkzeugtopografiebewertung, IFW

Dr.-Ing. Steffen Wachsmuth

Festigkeit laserstrahlgelöteter Verbin-dungen, LZH

Dr.-Ing. Marcel Wichmann

Selbstoptimierende Prozessplanung für das Werkzeugschleifen, IFW

Dr.-Ing. Michael Wilckens

Schruppschleifen von Stahl mit grobkörni-gen CBN-Werkzeugen, IFW

Gäste

Dr.-Ing. Dirk Bormann

Georg Fischer B.V. & Co. KG
Vorlesung: Nichteisenmetallurgie

Dr.-Ing. Tobias Heinen

GREAN GmbH, Garbsen, Deutschland
Vorlesung: Nachhaltigkeit in der Pro-duktion

Dr.-Ing. David Herberger

Roland Berger, Köln, Deutschland
Vorlesung: Fabrikplanung

Prof. Dr.-Ing. Benedikt Meier, Rheine, Deutschland
Vorlesung: Angewandte Aggregatmontage

Dr. Thomas P. Meichsner
Coaching for World Class Manufacturing
Vorlesung: Moderner Automobilkarosseriebau

Dr.-Ing. Rouven Nickel
Volkswagen Nutzfahrzeuge, Hannover, Deutschland
Vorlesung: Anlagenmanagement

Prof. Dr. sc. nat. Jörg Osten
Vorlesung: Werkstoffkunde für Mechatroniker

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

Dr.-Ing. Dipl.-Phys. Harald Seegers
MTU Maintenance Hannover GmbH, Langenhagen
Vorlesung: Technologie der Produktregeneration

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

Hon.-Prof. Dr.-Ing. Lars Vollmer
intrinsic.me GmbH, Berlin, Deutschland
Vorlesung: Denken und Handeln in Komplexität

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

Auszeichnungen

Dr.-Ing. Johanna Uhe
Manfred Hirschvogel Preis für die beste Dissertation des Vorjahres an der Fakultät für Maschinenbau der Leibniz Universität Hannover, 2022

Vannila Prasanthan, IFW
IFW-Kooperationspreis 2021, Hannover, Deutschland

Thomas Lepper, IFW
Hans-Kurt-Tönshoff-Preis 2022, Hannover, Deutschland

Sebastian Kaiser, IFW
Outstanding Paper Award, IEEE International, Conference on Industrial Engineering and Engineering

Anatoly Glukhovskoy, Maren S. Prediger, Jennifer Schäfer, Norbert Ambrosius, Aaron Vogt, Rafael Santos, Roman Ostholt, Marc Christopher Wurz, "Proof of Concept: Glass-Membrane Based Differential Pressure Sensor" ECTC - Best Paper Award 2022

Steffen Hader, Henning Seefisch, Rico Ottermann, Yangyang Long, Folke Dencker, Marc Christopher Wurz, Jens Twiefel "Investigations on Silver Sintering using an Ultrasonic Transient Liquid Phase Sintering Process", EPTC - Best Student Paper Award 2022

Leonard Diekmann, M.Sc., IMPT
ZARM Förderpreis Space Tech Expo, 16.11.2022, Bremen, Deutschland

Selina Raugel "Influence of oxide layers on plastic deformability of copper",

WTC 2022 YOUNG TRIBOLOGIST 3-MINUTE THESIS AWARDS Second Prize

Selina Raugel "Batch Fabrication of Silicon indenter tips for adhesion investigations using Deep Reactive Ion Etching (DRIE)", Nanobrücken 2022 Best Student Presentation

Dr.-Ing. Sebastian Barton, IW
Förderpreis der Stiftung Niedersachsen-Metall, 14.10.2022, Hannover

Dr.-Ing. Sebastian Herbst, IW
„Georg-Sachs-Preis“ der Deutschen Gesellschaft für Materialkunde, 26.09.2022, Darmstadt

Dipl.-Ing. Manuel Rodriguez Diaz, IW
Best Paper Award, International Thermal Spray Conference & Exposition, 4 – 6. Mai 2022, Vienna/Austria

Prof. Dr.-Ing. Hans-Josef Endres, IKK
DIN Innovations-Preis „Normungs- und Standardisierungsprojekte für die Markteinführung neuer Produkte und Dienstleistungen“
DIN Innovations-Preis „Klimaschutz“

Dr. Madina Shamsuyeva, IKK
DIN Innovations-Preis „Normungs- und Standardisierungsprojekte für die Markteinführung neuer Produkte und Dienstleistungen“
DIN Innovations-Preis „Klimaschutz“



Seminare, Workshops, Konferenzen

AG „Konstruktion – Von der Idee zum Produkt“ an der IGS
Linden, Schuljahr 2021/2022, IFUM/SFB1153

DGM-Seminar Moderne Beschichtungsverfahren, IW FORTIS,
23. und 24.03.2022 (online)

Versammlung: Drittes General Assembly des SPP2100, Dresden,
28.-31.03.2022

AWT-Härterekreis Hannover, IW, PZH-Garbsen, 17.05., 31.05.,
20.09. und 15.11.2022 (online)

Workshop: Smart Materials for Soft Robotics (SPP2100), ICRA
2022, Philadelphia, 27.05.2022

PIN-Konferenz trifft Praxisforum Industrie 4.0, IFW, Hannover,
08.06.2022

IKK-Kolloquium, 08. Juni 2022

Tech Meetup #2 des Robohub Niedersachsen, match, TEWISS,
30.06.2022

**Industriekolloquium der Sonderforschungsbereiche 1153
„Tailored Forming“ und 1368 „Sauerstofffreie Produktion“:**
„Neue Potentiale für die Produktionstechnik“, IW PZH, 05.09. und
06.09.2022

Schulung: Erste Soft Robotics Summer School des SPP2100,
PZH Garbsen, 26.-27.09.2022

30 Jahre IMPT
Oktober 2022, Garbsen

„Spannende Verbindungen“ im Rahmen des Türöffner-Tages der
Sendung mit der Maus, IFUM/ SFB1153, Garbsen, 3.10.2022

61. Sitzung des Arbeitskreises Wasserstrahltechnologie (AWT),
IW Unterwassertechnikum, 10.10.2022

Workshop: Soft Robots for Humanity (SPP2100), IROS 2022,
Kyoto, 27.10.2022

Machinig Innovations Conference for Aerospace Industry 2022,
IFW, Hannover, 30.11 & 01.12.2022

11. Mädchen & Technik Kongress, IMPT,
(Garbsen, 14.11.2022)

Praxisseminar Fabrikplanung, IFA, 10.05.2022-11.05.2022 |
29.11.2022-30.11.2022
Grundlagen der Lean Production, IFA, 26.01.2022 | 06.05.2022 |
12.05.2022 | 04.11.2022 | 18.11.2022

Lean für Führungskräfte, IFA, 25./26.04.2022 | 06./07.10.2022
Werden Sie schlank! Lean trifft Industrie 4.0 (Schulung), IFA,
07./08.09.2022



*„Neue Potentiale für die Produktionstechnik“, IW PZH, 05.09. und
06.09.2022. Foto: Heike Mischewsky*

Patente (Auswahl)

IMPT - Institut für Mikroproduktionstechnik

Messsensor (EP22161882)

Basis der derzeitigen Quantenrechner-technologie sind Rechnersysteme auf Rubidiumatombasis, bei denen im Bereich von Temperaturen von 0 Kelvin die (Kalt) Atome auf einem Gitter aus gekreuzten Laserstrahlen voneinander isoliert werden. Dabei besetzen die Atome einzelne Potenzialmulden, die im Abstand von wenigen hundert Nanometern durch das Laserstrahlgitter erzeugt werden. Per Radiowellen werden die Spins hin- und her geschaltet,

umso ein quantenelektronisches Gatter zu realisieren, wodurch die einzelnen Atome „verschränkt“ werden können. Da der energetische Zustand solcher verschränkter Quanten als sehr fragil anzusehen ist, gilt es Messsysteme zu entwickeln, die präzise genug sind, die Zustände messtechnisch abbilden zu können, sowie den Einfluss auf den Messvorgang so gering wie möglich zu halten.

Ein solches Messsystem wird in der EP22161882 beschrieben, indem durch die mikroproduktionstechnische Erzeugung einer Leitergeometrie eine Minimierung der Beeinträchtigung der Messgrößen, sowie eine Präzisierung der Messung realisiert werden konnte.

Verfahren zur Herstellung von Diamantspitzen und nach dem Verfahren hergestellte Diamantspitzen (DE102019213043)

Die Technologie beinhaltet ein Verfahren zur Herstellung von Diamantspitzen für Messgeräte, mit dem die Qualität deutlich verbessert wird und die Herstellungskosten signifikant gesenkt werden können. Diamantspitzen werden bislang durch Schleifen in Einzelteilerfertigung hergestellt. Bei der Herstellung mit bekannten Verfahren können prinzipbedingt keine konischen Spitzen mit geringen Spitzendurchmessern oder Spitzenwinkel hergestellt werden. Mit Hilfe der neuartigen mikrotechnologischen Prozesskette können konische Messspitzen aus Diamant so hergestellt werden, dass einerseits die Spitze einen Durchmesser im einstelligen Nanometerbereich aufweist und gleichzeitig der Öffnungswinkel der Spitze zwischen 30 und 120 ° eingestellt werden kann. Die Messspitzen weisen einen zylindrischen Schaft mit einstellbarer Länge und Durchmesser auf. Weiterhin erlaubt die Batch-fähige Prozesskette eine Vielzahl an Messspitzen gleichzeitig zu fertigen. Dadurch können die Kosten für die neuartigen Messspitzen werden etwa um Faktor drei im Vergleich zu den der bisherigen Messspitzen gesenkt werden.

ITA - Institut für Transport- und Automatisierungstechnik

Dreidimensionaler Multilayer-Strahlungsemitter(DE 10 2021 107 711)

Der Grundgedanke der car2car Kommunikation ist der Austausch von Informationen und Daten zwischen Kraftfahrzeugen, um den Fahrern frühzeitig kritische und gefährliche Situationen zu melden. Dabei soll die „Sichtweite“ des Fahrers mit elektronischen Mitteln gewissermaßen verlängert werden. Ein solches System kann beispielsweise im Umkreis von 300 Metern Notbremsungen, Eis und Aquaplaning melden, beim Spurwechsel und Einfädeln helfen, vor Einsatzfahrzeugen mit Blaulicht warnen und Unfälle und Baustellen anzeigen.

Aber auch ein vorausschauendes Fahren zum Zwecke einer energieeffizienten Optimierung des Verkehrsflusses ist durch diese Kommunikationstechnologie realisierbar.

Dem Stand von Wissenschaft und Technik ist dabei gemein, dass eine räumliche Abdeckung durch die Veränderung der Ausrichtung durch entweder elektromagnetische Wellen (Laser) oder Funkwellen realisiert wird.

Zielführend wäre jedoch ein Licht-Emittersystem, dass nicht durch Interferenzen beeinträchtigt ist, sowie gleichzeitig eine „Umgebungsabdeckung“ einer Funkantenne realisieren kann. Um der Problematik einer solchen Lichtfeldsteuerung zu begegnen wurde ein Verfahren zur Herstellung dreidimensionaler, gekrümmter LED Arrays auf Freiformflächen zur Lichtfeldoptimierung entwickelt. Dies konnte durch die Verwendung einer generativen Drucktechnologie auf Bauteilen aus einem 3D-Drucker entwickelt werden.

Die Fertigungstechnologie stellt eine völlig neue Entwicklung in-

nerhalb der bestehenden Technologien zur Fertigung von räumlichen Schaltungsträgern dar. Durch den 3D Mehrlagendruck lassen sich gesteigerte Integrationsdichten von elektrischen Schaltungen auf unebenen Oberflächen erreichen. Die adaptive Schaltungsträgerfertigung im 3D-Druck bietet beispielsweise für die Ausleuchtung von Prüfobjekten in der automatischen optischen Inspektion besondere Vorteile, da eine gezielte Auslegung ein Lichtfeld ohne Schattenwurf möglich macht.

IW - Institut für Werkstoffkunde

Rotationsadaptiver Knochenmarknagel (DE 10 2022 000 228)

Unfallchirurgische Eingriffe erscheinen im Gegensatz zu orthopädischen Eingriffen als nur sehr gering planbar. Ein Unfallchirurg sieht sich in den meisten Fällen einer unvorhersehbaren Situation ausgesetzt, in der es zu retten gilt, was zu retten ist. Dabei haben markraumbasierte Fixierungen von Knochenbrüchen den Vorteil, das Infektionsrisiko und den Blutverlust des Patienten zu minimieren. Ein Problem besteht allerdings darin, dass in vielen Fällen postoperative Korrekturen nur durch eine erneute, unter Vollnarkose durchgeführte Operation, gewährleistet werden können. So kommt es, bedingt durch individuelle Knochen-Muskulatur-Wechselwirkungen, häufig zu Verdrehungen oder Verkippen von Knochen, so dass die Knochen postoperativ nicht mit der zuvor per Operation vorgenommenen Ausrichtung übereinstimmen. Schien unmittelbar nach der OP z.B. der Schienbeinknochen einer zuvor bestimmten Ausrichtung zu entsprechen, kann nach der Operation der Knochen eine Verdrehung von mehreren Grad vollziehen. Um dieser Problematik zu begegnen, wurde ein rotationsadaptiver Knochenmarknagel entwickelt, der nach der Operation Ausrichtungskorrekturen ermöglicht.

Aktiver Hochpassfilter zur Schweißstromregelung (DE10 2022 101 534)

Ein Problem bei der Durchführung von Lichtbogenschweißprozessen ist der Verschleiß des Kontaktrohrs, das sich im Zuge des Schweißprozesses weitet und damit die Reproduzierbarkeit des Schweißergebnisses qualitätsmindernd beeinflusst. Ein verschlissenes Kontaktrohr wirkt sich vor allem negativ auf die Spritzerbildung im Schweißprozess aus. Schweißspritzer können besonders bei Druckbehältern die Wechselfestigkeit herabsetzen und somit zu einem frühzeitigen Versagen führen. Durch rechtzeitigen Wechsel des Kontaktrohrs kann der Aufwand, der mit der Entfernung der anhaftenden Schweißspritzer einhergeht, erheblich reduziert werden. Hierzu wurde ein Messsystem entwickelt, dass die Stromänderungsrate des Schweißsystems erfasst und durch Verstärkung der Stromänderungsrate eine Detektion präzisiert. Durch Integration eines aktiven Hochpassfilters kann das Messsignal unmittelbar als Steuer-/Regelungssignal verwendet werden, um eine unmittelbare Anpassung bzw. Korrektur des Schweißprozesses einzuleiten.



Foto: Christian Wyrwa

Professor Peter Nyhuis, Institutsleiter

Geschichte des Instituts

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

Aus der Forschung

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

Wiese“ oder einer Reorganisation einzelner Produktionsbereiche: gemeinsam mit den Kunden werden unternehmensindividuelle und zukunftsrobuste Lösungen erarbeitet. Von der Analyse und Auswahl potentieller Produktionsstandorte über die detaillierte Analyse der bestehenden Fabrikssituation 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 In-

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

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

Produktionsplanung, -steuerung und -controlling

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

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

Lean Production

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

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

Prozessoptimierung im Produktionssystem

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

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

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

Fabrikplanung

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

Fabriken ist die einfache Anwendung des Phasenmodells jedoch nicht trivial.

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

Supply Chain- und Produktionsmanagement

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

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

- 19 wissenschaftliche Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter
- 6 nichtwissenschaftliche Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter
- 42 studentische Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter

IFA 2022

Institut für Fabrikanlagen und Logistik

Leitung

Prof. Dr.-Ing. habil. Peter Nyhuis

Lehre

51 Masterarbeiten, 22 Studienarbeiten und 19 Bachelorarbeiten

Aktuelle Forschung

GeProVar – Vorgehen zur Operationalisierung der Belastungsflexibilität zur Handhabung von Nachfrageschwankungen in verketteten Arbeitssystemen von KMU

Das Forschungsvorhaben GeProVar verfolgt das Ziel, sowohl eine Methode als auch einen Softwaredemonstrator zu entwickeln, mit deren Hilfe KMU die Belastungsflexibilität operationalisieren und damit diese Fähigkeit im eigenen Produktionssystem anforderungsgerecht implementieren können. So soll die Möglichkeit entstehen, reaktionsschnell die Auswahl von optimalen Maßnahmenkombinationen der Belastungsabstimmung zur Handhabung von kurzfristigen Nachfrageschwankungen durchzuführen. Durch die effiziente Nutzung von Belastungsabstimmungsmaßnahmen kann die Vorhaltung von Kapazitätsreserven bzw. Investitionen in neue Kapazitäten zum Aufbau dieser verringert werden. Die Verknüpfung der Operationalisierung der einzelnen Maßnahmen, deren Voraussetzungen sowie deren Abhängigkeiten und Synergien durch Maßnahmenkombinationen sollen als Grundlage der Bewertung und Umsetzung besonders in KMU Anwendung finden.

FabriQPlanung - Fabrik- und Qualitätsplanung: Integration von agilen Qualitätsmanagementsystemen in den Fabrikplanungsprozess nach VDI-Richtlinie 5200

Das Forschungsprojekt FabriQPlanung (FQP) strebt ein standardisiertes und qualitätssicherndes Vorgehen für die Reorganisation von Fabriken an, um Qualitätsanforderungen bereits zu Beginn der Fabrikplanung (FAP) zu berücksichtigen sowie Qualitätsmanagementsysteme (QMS) durch Modularität flexibel anzupassen. Als Resultat soll die frühzeitige und langfristige Minimierung potenzieller Fehlentwicklungen im QMS während der Fabrikplanung und im reorganisierten Fabrikbetrieb gewährleistet sein.

HyFlowJobShop - Hybride, flussorientierte Montageorganisation

Das Forschungsvorhaben HyFlowJobShop verfolgt das Ziel, die Organisationsformen des Fließ- und Werkstattprinzips miteinander zu kombinieren. Die bisherigen reinen Organisationsformen können den gewachsenen Anforderungen hinsichtlich einer zunehmenden Variantenvielfalt sowie verringerten Amortisationszeiten für Produktionsanlagen aufgrund kürzerer Produktionslebenszyklen nicht mehr gerecht werden. Die Kombination aus Werkstatt- und Fließmontage zu hybriden Organisationsformen soll für Unternehmen eine Möglichkeit bieten, sich im Spannungsfeld zwischen der erforderlichen Flexibilität und der produkti-

onlogistischen Zielerreichung sowie den entstehenden Kosten zu positionieren. Um die Vorteilhaftigkeit hybrider Organisationsformen zu quantifizieren, werden verschiedene Systemkonfigurationen im Rahmen einer Simulationsstudie untersucht, um daraus Wirkzusammenhänge und Einflussgrößen zu identifizieren.

ProKI-Hannover – Transfernetzwerk KI in der Produktion (ProKI-Netz) Standort: Hannover
Das Demonstrations- und Transfernetzwerk KI in der Produktion (PROKINETZ) verfolgt das Ziel die Anwendung von Künstlicher Intelligenz (KI) vorantreiben. Kleine und mittlere Unternehmen (KMU) fehlen vielfach Ressourcen, um den KIEinsatz auszuprobieren und zu forcieren. Dazu entsteht an der Leibniz Universität Hannover (LUH) eines von deutschlandweit acht Zentren um Anwendungsszenarien zur erproben. Am Standort Hannover liegt dabei der Schwerpunkt auf der Entwicklung von KI für trennende Fertigungsverfahren, wo KMU sechs KI-Demonstratoren mit Bezug zur Fertigungstechnik zur Verfügung stehen. Die Anwendungsgebiete der Demonstratoren reichen von einer automatisierten Qualitätskontrolle für Schleifprozesse über Vor-Ort Datenerfassung bis hin zu dem durch das IFA bereitgestellten Demonstrator „Personaleinsatzplanung zur prozesskettenübergreifenden Optimierung“. Der Demonstrator liefert auf Basis von KI-Ansätzen eine gezielte zeitoptimierte Zuordnung (bei hoher Belastung) oder eine gezielte lernoptimierte Zuordnung (bei geringer Belastung) im Rahmen der Belegungsplanung für Zerspanungsmitarbeitende und Werkzeugmaschinen. Auf diese Weise kann vor Ort in den KMU in der Arbeitsvorbereitung bzw. Fertigungsplanung eine zielgenaue Belegung von Mitarbeitenden an den Werkzeugmaschinen des gesamten Maschinenparks vorgenommen werden, um so eine geplante Kompetenzentwicklung zu erreichen.

AkEvAp - Automatisierte kamerabasierte ergonomische Evaluation von Arbeitsplätzen
Um die Ergonomie am Arbeitsplatz zu verbessern, wird im Projekt AkEvAp eine neuartige Ergonomiebewertungsmethode (EBM) entwickelt, die auf Echtzeitkameradaten basiert.

Im Gegensatz zu bisherigen Forschungsansätzen wie etwa im Projekt WorkCam soll diese Methode nicht nur die Ganzkörperbewegungen optisch erfassen, sondern zusätzlich auch die auftretenden Kräfte berücksichtigen. Die Herausforderung liegt in der indirekten optischen Kräfteerfassung mittels Methoden der Künstlichen Intelligenz (KI) sowie der echtzeitfähigen Auslegung der Datenverarbeitungskette.

Durch die Nutzung von Echtzeitkameradaten können Ergonomiebewertungen künftig ohne Arbeitsunterbrechungen, ohne Nachbearbeitung und mit höchstmöglicher Objektivität durchgeführt werden. Für produzierende Unternehmen – insbesondere für KMU – stellt dies einen enormen Mehrwert dar.

Wenn Unternehmen die Ergonomie am Arbeitsplatz verbessern, bleiben Mitarbeitende länger gesund und motiviert und wertvolle Fachkräfte fallen seltener krankheitsbedingt aus. Das steigert auch die Produktivität und Wettbewerbsfähigkeit. Die neuartige EBM hat damit sowohl einen gesundheitlichen als auch einen wirtschaftlichen Nutzen.

AutoPress - Entwicklung eines Nachrüstsystems für Reibspindelpressen zur (Teil-)Automatisierung und Minimierung der Einrichtzeit und Entwicklung eines Sensorarrays zur erstmaligen Erfassung elementarer Prozessgrößen wie der Umformkraft
Spindelpressen sind mit einer Anzahl von mehr als 500 Produktionsanlagen eine weit verbreitete Methode zur Herstellung von Pressteilen. Die Qualität der Einrichtung von Spindelpressen hängt gegenwärtig primär von der Erfahrung der Mitarbeitenden ab. Neben deren Know-how stellt auch die lange Rüstzeit eine Herausforderung dar, insbesondere für kleine und mittlere Unternehmen (KMU) mit geringen Stückzahlen und einer hohen Flexibilität.

Gemeinsam mit der JOBOTEC GmbH entwickelt das IPH im Rahmen dieses Forschungsvorhabens ein neuartiges automatisiertes Einstellverfahren der Prozessparameter einer Spindelpresse. Durch die erstmalige direkte Erfassung der Umformkraft und einen neuartigen Optimierungsalgorithmus zur Einrichtung und Prozessregelung von Spindelpressen soll die Rüstzeit reduziert und einem Know-how-Verlust vorgebeugt werden. Anwender erhalten ein System, dass sie einfach bedienen und individuell auf ihre Spindelpresse anpassen können.

ML-Ready - Befähigung von KMU zur Nutzung von Potenzialen von Machine Learning in der Produktion und Entwicklung einer Einführungsstrategie

Wie können kleine und mittlere Unternehmen (KMU) des Maschinenbaus befähigt werden, die Potenziale von Machine Learning zu implementieren und zu nutzen, um eine Verbesserung der Ressourceneffizienz in der Produktion zu erreichen? Das untersuchen wir im Forschungsprojekt ML-Ready gemeinsam mit dem IPRI.

Machine Learning findet bereits in vielen Bereichen des alltäglichen Lebens Anwendung, wie dem Verkehr oder dem Gesundheitswesen. Das Fundament für eine erfolgreiche Anwendung von Machine Learning bilden Daten und deren Verfügbarkeit sowie ausreichende Rechenleistung, um diese auszuwerten. Gleichwohl wird Machine Learning bislang kaum für die Steigerung der Ressourceneffizienz in der Produktion verwendet. Im unternehmerischen Umfeld wird Machine Learning meist mit Predictive Maintenance in Verbindung gebracht. In der Produktion ergeben sich jedoch weitere vielseitige Potenziale zur Steigerung der Ressourceneffizienz:

- In der Produktionsplanung und -steuerung lässt sich Machine Learning beispielsweise in der Auftragssteuerung zur Reihenfolgebestimmung (Rüstopтимierung, Reduzierung des Energieverbrauchs oder der Energiekosten), zur Belastungsneivellierung oder zur Ressourcen- und Kapazitätsplanung nutzen
- Von der Anwendung von Machine Learning zur Prozessoptimierung wird eine höhere Anpassungsfähigkeit der Prozesse an sich ändernde Bedingungen erwartet, wodurch die Produktqualität stabilisiert werden kann. Beispielsweise können Fehlerdiagnosen durchgeführt oder Condition Monitoring angewendet werden.
- Im Qualitätsmanagement können Machine Learning-basierte Modelle zur Überwachung oder zur Prognose der Produktqualität auf Basis von Prozessdaten eingesetzt werden. So können Maß-

nahmen wie die Überprüfung von Stichproben reduziert werden.

Bei der Implementierung stoßen Unternehmen jedoch auf Hürden wie fehlendes Know-how, fehlender Nachweis des Mehrwerts oder fehlende technische Infrastruktur. Im Projekt ML-Ready wollen wir insbesondere KMU unterstützen, zukünftig diese Hürden zu meistern und Machine Learning zu nutzen.

5GAPS - Access to Public Spaces mittels 5G

Ein hochgenaues Positionierungssystem für den öffentlichen und halböffentlichen Raum wird im Projekt 5GAPS (Access to Public Spaces) entwickelt. Damit werden in Zukunft zahlreiche neue Anwendungen möglich – von der hochgenauen 3D-Positionierung und -Navigation selbst in Gebäuden, über ein effizienteres Raummanagement im betrieblichen und öffentlichen Bereich, bis zur Ergänzung der Raumwahrnehmung durch Image-tracker-unabhängige Augmented-Reality-Dienste. Das 5G-mobilfunkgestützte, hochgenaue und zeitlich dynamische Positionierungssystem basiert auf einem digitalen Zwilling des öffentlichen und halböffentlichen Raums in Form eines dreidimensionalen Rasters: das 5G Open Cubelet Attribution und Positioning System (5G OCAPS). Der Mehrwert des Ansatzes liegt darin, jeden Würfel ("Cubelet") in Echtzeit adressieren und ihm digital Attribute zuschreiben zu können – zum Beispiel Materialausprägungen, abstrakte Nutzungsrechte oder Farben. Diese Zuschreibung erfolgt temporär mit adaptiver Rasterauflösung und Genauigkeit. Für die Übertragung dieser Datenmengen ist das 5G-Netz notwendig.

Im Projekt werden unter anderem die Sensorsysteme zur Umweltdatenerfassung und die Simulationsumgebungen gemäß den Anforderungen erster UseCases aufgebaut und implementiert, um den Datentransfer und die -verarbeitung zu gewährleisten. Darauf aufbauend wird eine erste Umgebung im 5G OCAPS realisiert, über die mithilfe verschiedener Schnittstellen die Datenströme verarbeitet und Cubelet-Datenpakete (Position, Eigenschaft, Zeitstempel) ausgetauscht werden. 5GAPS wird für seine prototypischen Anwendungen auf dem 5G-Campus der Deutschen Messe AG einen "öffentlichen"Raum einmessen, der aus

einer Halle und Teilen des Außengeländes besteht. Ausgewählte, 5G-kritische Pilot-Anwendungsfälle vom Flächen- und Logistikmanagement über den Einsatz von automatisierten Fluggeräten bis zur AR-Nutzung werden auf ihre Funktion und Nutzwertigkeit geprüft. Parallel hierzu wird ein offenes "Crowd-Innovation-Ecosystem" aufgebaut, um ein Crowd-basiertes Data-Mining und -Management sowie innovative Geschäftsmodelle zu fördern.

Veröffentlichungen (Auszug)

Bücher

Lanza, G.; Nieken, P.; Nyhuis, P.; Trübswetter, A. (2022): Potentiale digitaler Führung und Technologien für die Teaminteraktion von morgen, TEWISS Verlag, Hannover ISBN: 978-3-95900-690-3

Beiträge in Büchern (reviewed)

Ast, J. (2022): Konzept eines Personaleinsatzinstruments zur Kompetenzentwicklung, In: Lanza, G.; Nieken, P.; Nyhuis, P.; Trübswetter, A. (Hrsg.): Potentiale digitaler Führung und Technologien für die Teaminteraktion von morgen, TEWISS Verlag, Hannover; ISBN: 978-3-95900-690-3

Ast, J.; Kandler, M.; Ströhlein, K. (2022): Schulkonzepte für die Unterstützung von digitaler Führung in produzierenden Unternehmen, In: Lanza, G.; Nieken, P.; Nyhuis, P.; Trübswetter, A. (Hrsg.): Digitale Führung und Technologien für die Teaminteraktion von morgen, TEWISS Verlag, Hannover; ISBN: 978-3-95900-758-0

Hamacher, O.; Opitz, D.; Ast, J. (2022): Entwicklung eines digitalen Instrumentes zur Erhöhung der Einsatzflexibilität von Beschäftigten durch aktives Kompetenzmanagement, In: Lanza, G.; Nieken, P.; Nyhuis, P.; Trübswetter, A. (Hrsg.): Digitale Führung und Technologien für die Teaminteraktion von morgen, TEWISS Verlag, Hannover; ISBN: 978-3-95900-758-0

Zettl, A.; Trübswetter, A.; Ströhlein, K.; Kandler, M.; Ast, J. (2022): Erhebungsreise im Forschungs-

projekt teamIn, In: Lanza, G.; Nieken, P.; Nyhuis, P.; Trübswetter, A. (Hrsg.): Potentiale digitaler Führung und Technologien für die Teaminteraktion von morgen, TEWISS Verlag, Hannover; ISBN: 978-3-95900-690-3

Beiträge in Zeitschriften

Ast, J.; Nyhuis, P. (2022): Software-Tool To Determine Functional Flexibility Based On Employee Specific Risks, Journal of Production Systems and Logistics, 2 (2022), 12; DOI: 10.15488/12996

Bleckmann, M.; Schumann, D.; Mütze, A.; Oubari, A.; Nyhuis, P. (2022): Hybride Organisationsformen in der Produktion. Untersuchung der Fließ-Werkstatt-Kombination, Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb (117) 11, S. 706-711 Weitere Informationen; DOI: 10.1515/zwf-2022-1148 ;ISSN: 2511-0896

Dér. A.; Hingst, L.; Nyhuis, P.; Herrmann, C. (2022): A review of frameworks, methods and models for the evaluation and engineering of factory life cycles, Advances in Industrial and Manufacturing Engineering; DOI: <https://doi.org/10.1016/j.aime.2022.100083>

Hillnhagen, S.; Schulz, J.; Mütze, A.; Nyhuis, P.; Schmidt, M. (2022): Konfiguration der PPS - Der Weg von der Theorie zur Praxis, Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb (117) 11, S. 728-732 Weitere Informationen; DOI: 10.1515/zwf-2022-1155; ISSN: 2511-0896

Hingst, L.; Wecken, L.; Brunotte, E.; Nyhuis, P. (2022): Classification of Robustness and Resilience in Changeability, Journal of Production Systems and Logistics 2 (2022), 3; DOI: <https://doi.org/10.15488/11714>

Mütze, A.; Brug, D. (2022): Die Auftragsfreigabe – Unterschätzte Aufgabe der Fertigungssteuerung?, Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb (117) 11, S. 721-727 Weitere Informationen; DOI: 10.1515/zwf-2022-1141; ISSN: 2511-0896

Mütze, A.; Lucht, T.; Nyhuis, P. (2022): Logistics-oriented Production Configuration Using the Example of MRO Service Providers, IEEE Access, 10 (2022), S. 20328 – 20344; DOI: 10.1109/ACCESS.2022.3146420; ISSN: 2169-3536

Park, Y.-B.; Papke, L.; Nyhuis, P. (2022): Development Of A Software-based Tool For Factory Communication Structure Evaluation In The Context Of Industry 4.0, Journal of Production Systems and Logistics 2 (2022); DOI: <https://doi.org/10.15488/11715>; ISSN: 2702-2587

Rieke, L.; Schäfer, S. F.; Hingst, L.; Hook, J.; Nyhuis, P. (2021): Weiterentwicklung der digitalen Fabrikplanung durch eine interdisziplinäre Planungsmethodik - Einsatz von BIM in der Fabrikplanung, WT WERKSTATTSTECHNIK BD. 111 (2021) NR. 11-12

Rochow, N. E.; Wiefermann, V.; Bleckmann, M.; Nyhuis, P. (2022): Beherrschung von Nachfrageschwankungen durch Belastungsflexibilität. Ent-



wicklung einer Methodik zur Operationalisierung der Belastungsflexibilität von Produktionssystemen, Zeitschrift Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb Weitere Informationen; DOI: 10.1515/zwf-2022-1104; ISSN: 0947-0085

Schäfer, S. F.; Gorko, N. T.; Cevirgen, C.; Park, Y.-B.; Nyhuis, P. (2022): Elemente der „Fabrik der Zukunft“ Teil 1: Digitale Fabrik, Industrie 4.0 und BIM, ZWF 117 (2022) 1–2; DOI: 10.1515/zwf-2022-1002; ISSN: 2511-0896

Schäfer, S. F.; Gorko, N. T.; Cevirgen, C.; Park, Y.-B.; Nyhuis, P. (2022): Elemente der „Fabrik der Zukunft“ Teil 2: Digitale Fabrik, Industrie 4.0 und BIM, ZWF 117 (2022) 3; DOI: <https://doi.org/10.1515/zwf-2022-1029>; ISSN: 0947-0085

Schäfer, S. F.; Hingst, L.; Hook, J.; Rieke, L.; Nyhuis, P. (2022): Improving The Planning Quality Through Model-Based Factory Planning In BIM, Journal of Production Systems and Logistics, Volume 2 | Article 9; DOI: <https://doi.org/10.15488/12041>; ISSN: 2702-2587

T. Hiller, L. Deipenwisch, P. Nyhuis (2022): Systemising Data-driven Methods for Predicting Throughput Time within Production Planning & Control, IEEE International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management; DOI: 10.1109/IEEM55944.2022.9989885

Aufsätze

Maetschke, J.; Fulterer, J.; Janke, T.; Zipfel, A.; Bank, L.; Theumer, P.; Mundt, C.; Köster, N.; Kämpfer, T.; Heuer, T.; Hiller, T. (2022): PPS-Report 2021 - Ein Status quo der Produktionsplanung und -steuerung deutscher Unternehmen in Sachen Komplexität, Nachhaltigkeit und Robustheit, ZWF Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb, Vol. 117, No. 6, S. 400-404; DOI: <https://doi.org/10.1515/zwf-2022-1072>

Tobias Hiller, Lea Vinke (2022): Lieferzeitprognosen für die Instandsetzung von Triebwerken, phi – Produktionstechnik Hannover informiert, Newsletter Nr. 35; DOI: <https://doi.org/10.48811/phi-22-011>

Wenzel A.; Nabizada H.; Beers L.; Nyhuis P.; Fay A.; Röhrig M. (2022): Neue Produktionsstrukturen für die Flugzeugfertigung der Zukunft, dtcc.bw-Beiträge der Helmut-Schmidt-Universität / Universität der Bundeswehr Hamburg: Forschungsaktivitäten im Zentrum für Digitalisierungs- und Technologieforschung der Bundeswehr dtcc.bw - Band 1, S. 196 – 201, eISBN: 978-3-86818-315-3, DOI: 10.24405/14522

Konferenz (reviewed)

Ast, J.; Möhle, J.; Bleckmann, M.; Nyhuis, P. (2022): Preliminary Study in a Learning Factory on Functional Flexibility of the Workforce, Proceedings of the Conference on Learning Factories (CLF) 2022, Available at SSRN; DOI: 10.2139/ssrn.4071890

Ast, J.; Nyhuis, P. (2022): Approach for determining functional flexibility of the workforce based

on training losses and employee specific risks, Procedia CIRP, Volume 107, 2022, S. 839-844; DOI: 10.1016/j.procir.2022.05.072

Bleckmann, M.; Schumann, D.; Nyhuis, P. (2022): Lessons Learned – Constructive Alignment trifft auf Lean & Green Production, Bd. 2 Nr. 2 (2022): Lessons Learned Weitere Informationen; DOI: 10.25369/ll.v2i2.64; ISSN: 2749-1307

Gehlhoff F.; Nabizada H.; Weigand M.; Beers L.; Ismail O.; Wenzel A.; Fay A.; Nyhuis P.; Lagutin W.; Röhrig M. (2022): Challenges in Automated Commercial Aircraft Production, IFAC PapersOnLine 55-2, 354–359, DOI: 10.1016/j.ifacol.2022.04.219

Heuer, T.; Maier, J.T.; Schmidt, M.; Nyhuis, P. (2022): Fulfillment of Heterogeneous Customer Delivery Times through Decoupling the Production and Accelerating Production Orders, In: Herberger, D.; Hübner, M. (Eds.): Proceedings of the Conference on Production Systems and Logistics: CPSL 2022. Hannover: publish-Ing., 2022, S. 564-573; DOI: <https://doi.org/10.15488/12188>

Hillnhagen, S.; Koller, S.-H.; Mütze, A.; Nyhuis, P.; Schmidt, M. (2022): PPC Task Plan Sourcing - Synchronization Of Procurement And Production. A Model-based Observation, Proceedings of the Conference on Production Systems and Logistics (CPSL 2022) Weitere Informationen; DOI: 10.15488/12121

Hingst, L.; Ast, J.; Nyhuis, P. (2022): Framework for assessing the impact of change on a factory by adapting learning behavior models, Procedia CIRP, Volume 107, 2022, S. 393-398; DOI: <https://doi.org/10.1016/j.procir.2022.04.064>

Hingst, L.; Nyhuis, P. (2022): Controlling Product Variance in a Factory Through the Evaluation of the Factory Life Cycle, Kim, D.Y., von Cieminski, G., Romero, D. (eds) Advances in Production Management Systems. Smart Manufacturing and Logistics Systems: Turning Ideas into Action. APMS 2022. IFIP Advances in Information and Communication Technology, vol 663. Springer, Cham; DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-031-16407-1_49

Hingst, L.; Rieke, L.; Nyhuis, P. (2022): Development of a Learning Factory Concept for Digital Factory Planning with 3D Laser Scanning and Virtual Reality, 12th Conference on Learning Factories (CLF 2022); DOI: 10.2139/ssrn.4071935

Hook, J.; Nielsen, L.; Nyhuis, P. (2022): Introducing a Fast Lane to Multi-Project Environments in Factories to Focus on Digital Transformation. In: Kim, D.Y., von Cieminski, G., Romero, D. (eds) Advances in Production Management Systems. Smart Manufacturing and Logistics Systems: Turning Ideas into Action. APMS 2022. IFIP Advances in Information and Communication Technology, vol 664. Springer

Lucht, T.; Aliksieiev, V.; Kämpfer, T.; Nyhuis, P. (2022): Spare Parts Demand Forecasting in Maintenance, Repair & Overhaul, Proceedings of the Conference on Production Systems and

Logistics (CPSL 2022), S. 525–534 Weitere Informationen; DOI: 10.15488/12179

Maier, J. T.; Heuer, T.; Stoffersen, H.; Nyhuis, P.; Schmidt, M. (2022): Data based analysis of order processing strategies to support the positioning between conflicting economic and logistic objectives, Procedia CIRP, Volume 107, 2022, S. 332-337; DOI: <https://doi.org/10.1016/j.procir.2022.04.054>; ISSN: 2212-8271

Mütze, A.; Hillnhagen, S.; Schmidt, M.; Nyhuis, P. (2022): Modelling Interdependencies Within Production Planning and Control: An Application-Motivated Approach, Kim, D.Y., von Cieminski, G., Romero, D. (eds) Advances in Production Management Systems. Smart Manufacturing and Logistics Systems: Turning Ideas into Action. APMS 2022. IFIP Advances in Information and Communication Technology, vol 663. Springer, Cham; DOI: 10.1007/978-3-031-16407-1_61; ISBN: 978-3-031-16406-4

Mütze, A.; Lange, L.; Wenzel, A.; Nyhuis, P. (2022): Challenges in Combining Real-Time Locating Systems and Automated Guided Vehicles to Facilitate Transformable Production Systems, Proceedings of the Conference on Learning Factories (CLF) 2022, Available at SSRN Weitere Informationen; DOI: 10.2139/ssrn.4071957

Rieke, L.; Cevirgen, C.; Gloy, A.; Nyhuis, P. (2021): Procedure Model for Dimensioning and Investment Cost Calculation in an Early Factory Planning Phase, In: Herberger, D.; Hübner, M. (Eds.): Proceedings of the Conference on Production Systems and Logistics: CPSL 2022. Hannover: publish-Ing., 2022, S. 308-318.

Schäfer, L.; Ströhllein, K.; Kandler, M.; Hulla, M.; Ast, J.; Lanza, G.; Nieken, P.; Ramsauer, C.; Nyhuis, P. (2022): New Competences in a Digitalized Shopfloor – A Modular Training Concept for Learning Factories, Proceedings of the Conference on Learning Factories (CLF) 2022, Available at SSRN; DOI: 10.2139/ssrn.4071822

Schumann, D.; Kämpfer, T.; Bleckmann, M.; Kuprat, V. K. (2022): Lessons Learned bei der Umsetzung eines Inverted Classroom-Modells, Bd. 2 Nr. 2 (2022): Lessons Learned Weitere Informationen; DOI: 10.25369/ll.v2i2.65; ISSN: 2749-1293

Wecken, L.; Faeghi, S.; Hingst, L.; Nyhuis, P.; Lennerts, K. (2022): General Approach And Prerequisites For Transferring Factory Planning Methods on Flow Orientation and Transformability to Hospital Systems, 3rd Conference on Production Systems and Logistics; DOI: <https://doi.org/10.15488/12126a>



Foto: Christian Wyrwa

Professor Bernd-Arno Behrens, Institutsleiter

Geschichte des Instituts

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

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

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

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

Aus der Forschung

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

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

Im Teilprojekt A04 „Sinterbeschichtungen Formhärten“ des SFB 1368 wird in Zusammenarbeit mit dem Institut für Werkstoffkunde der Leibniz Universität eine Möglichkeit zur sauerstofffreien Beschichtung während der konduktiven Erwärmung von Platinen für das Formhärten untersucht. Das Formhärten wird eingesetzt, um ultrahochfeste Stähle, meist 22MnB5, herzustellen, die dann zum Beispiel im Automobil zum Schutz der Insassen als A- und B-Säule verbaut werden. Um die mechanischen Eigenschaften zu erreichen, wird der Stahl dafür erst auf ca. 950 °C erwärmt und anschließend in einem gekühlten Werkzeug geformt und gleichzeitig gehärtet. Die Erwärmung erfolgt derzeit meist durch ineffiziente Rollenherdöfen, welche mit Erdgas befeuert werden. Die alternative, die in dem Teilprojekt A04 erforscht wird, ist die sauerstofffreie konduktive Erwärmung. Dabei wird das Blech durch einen direkten Stromfluss erwärmt. Die Aufheizzeit liegt dabei, nicht wie beim Rollenherdofen bei bis zu 10 min, sondern bei bis zu 10 s. Die schnelle Aufheizzeit hat aber leider zur Folge, dass die bekannten Beschichtungssysteme, wie Zink und Aluminium-Silicium (AlSi), dafür nicht geeignet sind. Der Ansatz im Teilprojekt A04 im Sonderforschungsbereich 1368 ist es daher, die Zunderbildung bei der Erwärmung durch die Prozessgase zu verhindern und anschließend die Wärme zum Beschichten zu be-

nutzen. Als Beschichtungswerkstoff dienen verschiedene Nickellegerungen. Am IFUM wurde hierfür eigens eine konduktive Anlage für die sauerstofffreie Schnellerwärmung umgebaut. Diese ermöglicht es, die sauerstofffreie konduktive Erwärmung breit zu untersuchen. Hierzu ist es möglich, verschiedenste Beschichtungsapplikationen in die Anlage zu integrieren. Zugleich können durch eine Streckvorrichtung verschiedene Beschichtungssysteme auf ihre Formhärteeigenschaften untersucht werden.

Das IFUM erforscht im Rahmen des Projekts "Wasserbasierte Schmierstoffe" der Europäischen Forschungsgesellschaft für Blechverarbeitung e.V. die Einsetzbarkeit und die Prozessgrenzen von Schmierstoffen auf Wasserbasis. In der industriellen Praxis finden hauptsächlich Schmierstoffe auf Mineralölbasis Verwendung. Diese weisen zum einen eine schlechte Umweltbilanz auf und dürfen nicht in Kontakt mit der Umwelt geraten und zum anderen verlängert sich die Prozesskette in der Produktion durch Reinigungszwischenschritte. Wasserbasierte Schmierstoffe bieten sich hierbei als Alternative an, da ihre Entsorgung weniger aufwändig ist und bei ihrer Verwendung gegebenenfalls keine Reinigungsschritte erforderlich sind. Innerhalb des Forschungsvorhabens werden die wasserbasierten Schmierstoffe als Zusatzschmierung auf bereits beölte Blechoberflächen eingesetzt, um die Anwendbarkeit dieses Tribosystems in der Blechumformung zu untersuchen. Es ergibt ein weitestgehend unbekanntes Tribosystem, dessen Verhalten sowohl bei Raumtemperatur als auch unter Serienbedingungen (Temperatur ~ 80 °C) erforscht werden soll. Innerhalb der Untersuchungen werden das Umformverhalten und die Grenzen in Bezug auf die Tiefziehbarkeit analysiert. Durch eine gezielte Additivierung der Hersteller sollen zudem die wasserbasierten Schmierstoffe für den jeweiligen Anwendungsfall angepasst werden. Ein Ziel ist die Entwicklung eines analytisch-empirischen Modells, dass eine für diesen Anwendungsfall spezifische Aussage über den vorliegenden Reibungszustand zulässt.

Das Gesenkschmieden bietet deutliche Vorteile gegenüber anderen Fertigungsverfahren hinsichtlich der erreichbaren Bauteileigenschaften, es stellt die Prozesstechnik allerdings aufgrund der hochdynamischen Wechselwirkungen zwischen einem breiten Spektrum an Effekten und Einflussfaktoren vor erhebliche Herausforderungen. Das Ziel dieses Forschungsvorhabens besteht in der Verbesserung von Qualitätsmerkmalen in Gesenkschmiedeprozessen durch eine Steigerung des Verständnisses im komplexen Kollektiv an Wechselwirkungen. Dabei sollen datenbasierte Modelle in Kombination mit globalen Erklärbarkeitsverfahren helfen, bislang unverstandene Korrelationen und Prozessschwankungen zu identifizieren, sodass Ansätze entwickelt werden können, die durch angepasstes Wirkflächendesign in künftigen Generationen auch mit geringeren Sicherheitsfaktoren wie Grat oder Aufmaße eine Prozessstabilisierung erlauben. Das bereits bekannte Domänenwissen hinsichtlich der Zusammenhänge von Prozess- und Zielgrößen in der Warmmassivumformung, wird in Form einer Korrelationsmatrix zusammengetragen, strukturiert und bewertet. Zur Erzeugung von Prozessdaten in ausreichendem Umfang er-

folgt die Digitalisierung einer bestehenden Serienschmiedepresse durch eine Datenverarbeitungs- und Datenbankinfrastruktur. In dieses System werden Sensoren integriert, um eine Erfassung, Verarbeitung und den Austausch von allen Prozessdaten zu ermöglichen. Da die Bauteilgeometrie eine wichtige Optimierungsgröße darstellt und diese auch von einem KI-Modell präzifizierbar sein muss, wird ein automatisiertes Bildverarbeitungsverfahren die relevanten Geometriedaten aus 2D-Bilddaten extrahieren. In Serienschmiedeversuchen und unterstützenden numerischen Prozesssimulationen werden Referenzdatensätze für den betrachteten Prozess erzeugt. Diese werden mit weiteren Versuchsserien unter Einbringung und Eliminierung von Störgrößen sowie mit variierten Stellgrößen ergänzt. Parallel werden FE Simulationen der einzelnen Prozesse durchgeführt und mit in die Datensammlung eingepflegt, um die Erkennung von Wechselwirkungen allgemein durch per Definition rauschfreien Daten zu unterstützen. Da im ML diverse Methoden existieren, die für eine Qualitätsmerkmalsprognose infrage kommen, werden im Projekt mehrere Lernalgorithmen getestet und gegeneinander verglichen. Das Ziel besteht darin den Algorithmus zu identifizieren, der sowohl eine hohe Prädiktionsgüte unterschiedlicher Gütekriterien erlaubt, als auch eine spätere Interpretierbarkeit der Ergebnisse erleichtert. Auf Basis dieses Modells können neueste Algorithmen zur Surrogatstellung angewandt werden, sodass ein White-Box-Modell entsteht, welches zur Identifikation der für die Prädiktion verantwortlichen Eingangsgrößen herangezogen wird. Dabei werden diverse Erklärbarkeitsalgorithmen untereinander verglichen. Das Ziel besteht im Erhalt eines erklärbaren White-Box-Modells, das eine maximal hohe Wiedergabetreue zum Originalmodell aufweist. Abschließend erfolgt durch Abgleich mit dem zusammengetragenen Domänenwissen eine Bewertung der ermittelten Zusammenhänge hinsichtlich ihrer Plausibilität und Neuheit. Des Weiteren wird anhand von Versuchen mit einer abgeleiteten neuen Werkzeuggeneration mit modifizierten Wirkflächen das Modell validiert und das Potential zur Prozessoptimierung evaluiert. In einer anschließenden zweiten Projektphase soll aus dem entwickelten Prädiktionsmodell eine KI-basierte Entwicklung der notwendigen Wirkflächeneigenschaften und -geometrien erfolgen.

Bei herkömmlichen Schmiedegesenken aus Warmarbeitsstahl führt der Anlasseffekt im Randbereich zur Härteminderung und Verschleißbildung, welche schließlich als Versagensursache ausgemacht werden kann. Inconel hingegen zeigt eine hohe Warmfestigkeit und Anlassbeständigkeit, kann aber bisher aufgrund der hohen Materialkosten und der schwierigen spanenden Verarbeitbarkeit nicht wirtschaftlich eingesetzt werden. Das Ziel ist daher die wirtschaftliche Herstellung von Werkzeugen mit verbesserten Einseigenschaften durch den lokalen Einsatz nickelbasierter Werkstoffe in thermomechanisch hoch beanspruchten Gravurbereichen, wodurch sich ein hohes Potential für die Anwendung in der Warmmassivumformung ergibt. Durch zu entwickelnde Umformoperationen an hybriden vorgefügten Halbzeugen soll die Oberflächenvergrößerung beim Schmieden ausgenutzt werden, um Inconel reproduzierbar und materialeffizient auf dem Grund-

werkstoff aus Warmarbeitsstahl als schützende Wandung einzubringen. Gleichzeitig soll eine an den Umformprozess angepasste Gefügetexturierung in beiden Materialien eingebracht und die anschließende Vergütungs- sowie Diffusionsbehandlung aufeinander abgestimmt werden, was zu einer höheren Belastbarkeit des Werkzeuges führen soll.

Im Rahmen des Projektes werden zunächst flache thermisch hochbeanspruchte Hybridwerkzeuge durch Tailored Forming hergestellt und in Serienversuchen des Projektpartners als Kontaktplatten eines Warmscherwerkzeugs eingesetzt. Daraus lassen sich unter einfachen geometrischen Bedingungen Erkenntnisse über die einzubringende Inconel-Schichtdicke, den Umformgrad sowie den Effekt des Einsatzes von hochwarmfesten Nickellegierungen erzielen. Dazu werden zunächst Randbedingungen, Prozesse und das referenzierte Schadensmuster bisher eingesetzter Anschlagplatten untersucht. Anschließend werden grundlegende Erkenntnisse zur Ausbildung der Fügeverbindung sowie deren Verbundfestigkeit ermittelt. Zusätzlich erfolgt die Analyse der Verbundqualität und der Materialeigenschaften umgeformter Werkstücke vor und nach einer folgenden Diffusionsbehandlung. Folgend werden hybride Anschlagplatten auf Basis einer numerischen Vorauslegung sowie der vorherigen Untersuchung zur Randschichtmodifikation hergestellt und zusammen mit der Fa. Hirschvogel Group auf ihre Verschleißbeständigkeit geprüft. Darauf aufbauend wird der Prozess zur Herstellung komplexerer Stempelgeometrien ausgelegt. Hierbei soll die Materialverteilung und der Härtegradient an die aus der numerischen Simulation ermittelten thermomechanischen Belastungen im Einsatz angepasst werden. Die folgend hergestellten hybriden Stempel werden abschließend in einer Standmengenuntersuchung bei der Fa. Hirschvogel Group hinsichtlich ihres Potentials zur Verschleißreduktion und der Anwendung der Tailored Forming Technologie für komplexere Warmmassivumformwerkzeuge untersucht und bewertet.

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 Werkzeugsätzen 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 Qualität der auf mehrstufigen Pressen hergestellten Bauteile hängt empfindlich von zahlreichen äußeren Einflüssen ab. Besonders stark wird sie von der Lage der einzelnen Werkzeugteile relativ zueinander in der formgebenden Phase des Arbeitszyklus beeinflusst. Wie die Justage der Werkzeuge bei der Produktionsvorbereitung, der sog. Werkzeugeinrichtung, unter Einsatz künstlicher Intelligenz besonders geschickt realisiert werden kann, wird

in Kürze Gegenstand künftiger Arbeiten am IFUM sein.

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

Aufgrund der stetig strikteren Emissionsgrenzwerte sowie der zunehmenden Elektrifizierung von Automobile, nimmt der Leichtbau einen immer höheren Stellenwert in der Automobi- lindustrie ein. Dabei kann die Fahrzeugmasse durch verbesserte Fertigungsverfahren, Konstruktionsmethoden und Werkstoffe verringert werden. Aluminiumlegierungen der 7000er Serie bieten aufgrund ihrer hohen spezifischen Festigkeiten ein sehr hohes Leichtbaupotential. Bei Raumtemperatur ist die Bruchdehnung von Aluminium allerdings gering, was in einer schlechten Kal- tumformbarkeit resultiert. Mittels der Halbwarm- (HWU 150-250 °C) oder Warmumformung (350-450 °C) kann die Umformbar- keit durch die erhöhte Prozesstemperatur gesteigert werden. Bei der Anwendung der HWU kann im Vergleich zur Warmumfor- mung Energie eingespart und sowohl ökonomisch als auch ökolo- gisch effizienter produziert werden. Ebenfalls lassen sich komplexe thermomechanisch gekoppelte Prozesse wie die HWU von Alu- miniumlegierungen durch den Einsatz der Finiten Elemente Me- thode (FEM) effizient ohne aufwändige Try-Out Versuche ausle- gen und hinsichtlich möglicher Prozessfehler analysieren. Zu berücksichtigen ist bei der HWU von 7000er Aluminiumlegierun- gen sowie dessen Modellierung, dass die finalen Bauteileigen- schaften erst nach einer finalen Wärmebehandlung wie der katho- dische Tauchlackierung (KTL) eingestellt werden. Im Rahmen des von der AiF geförderten EFB Projektes werden daher zunächst temperaturabhängige Fließ-, Verfestigungs- und Versagensverhal-

ten bei den für die HWU relevanten Prozessbedingungen experi- mentell ermittelt und in geeignete Materialmodelle überführt. Des Weiteren werden die finalen Bauteileigenschaften nach der KTL durch den Einsatz eines künstlichen neuronalen Netzes vorherge- sagt. Um dabei auch die bereits im Umformprozess eingebrachten lokalen thermischen und mechanischen Belastungen mitberück- sichtigen zu können, werden für das KNN weitere Zugversuche an thermo-mechanisch vorbehandelten Proben durchgeführt. Ab- schließend erfolgt eine Validierung der Prozessmodellierung und dem KNN an einem experimentellen Demonstrator.

Extreme Prozessgrößen, wie ein hoher Kontraktdruck und lange Gleitwege, führen zu sich lokal verändernden Reibzuständen während des Schmiedeprozesses. Wird das veränderliche tribolo- gische System in der Prozessauslegung nicht korrekt berücksich- tigt, kann dies zu schlechteren Bauteilqualitäten, Ausschuss und erhöhtem Werkzeugverschleiß führen. In der numerischen Simu- lation von Schmiedeprozessen wird die Reibung standardmäßig mittels des Reibfaktormodells oder dem kombinierten Reibmodell beschrieben. Diese Ansätze gehen von einem örtlich homogen verteilten Schmierfilm aus und leiten daraus einen global konstan- ten Reibwert ab. Mit diesen Modellen kann in der gegenwärtigen Industrieanwendung jedoch nicht zuverlässig genau sowohl die lokal zu erwartende Bauteilqualität als auch globale Größen wie die notwendige Umformkraft im Rahmen einer einzelnen FE-Si- mulation vorhergesagt werden. Zur bisherigen Lösung dieses Pro- blems sind daher mehrere zeitaufwendige FE-Berechnungen mit verschiedenen Reibwerten notwendig, um alle Prozessgrößen hinreichend genau ermitteln zu können. Im AiF geförderten For- schungsvorhaben wird daher eine Methodik entwickelt, um Reib- werte im Rahmen von FE-Simulationen lokal zeitlich aufgelöst modellieren zu können. Hierfür wird zunächst eine breit anwend- bare experimentelle Versuchsmethodik entwickelt, mit der in In- dustriebetrieben zuverlässig neue Material-/Schmierstoffkombi- nationen charakterisiert werden können. Darauf aufbauend werden die aufgenommenen Materialdaten in Form eines neuen Reibmodells zur Berücksichtigung ortsabhängiger Prozessgrößen in eine FE-Anwendung implementiert. Zum Abschluss wird ein automatisiertes Software-Tool bereitgestellt, um Industrieanwen- dern eine schnelle und einfache Versuchsauswertung und Imple- mentierung von neu aufgenommenen Materialdaten zu ermögli- chen. Eine Validierung der numerischen Modelle zur ortsaufgelösten Beschreibung der Reibung erfolgt an einem indu- striellen Demonstratorprozess.

38 wissenschaftliche Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter
21 nichtwissenschaftliche Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter
96 studentische Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter
5 Auszubildende
2 FWJ-ler/innen

Leitung

Prof. Dr.-Ing. Bernd-Arno Behrens

Lehre

39 Masterarbeiten, 35 Studienarbeiten und
45 Bachelorarbeiten

Aktuelle Forschung

Blechumformung

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

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

Festigkeitssteigerung bei Bauteilen aus Magnesiumknetlegierungen durch Ausscheidungshärtung (DFG)

Methode zur modellgetriebenen Konstruktion von Tiefziehwerkzeugen (DFG)

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

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

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

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

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

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

Kragenziehen mit integriertem Gewindeformen (AiF/EFB)

Prozessintegrierte Schmierung im Folgezug (AiF/EFB)

Schmierstoffeinsparung bei Mehrstufenwerkzeugen durch kombinierte oxidische Verschleißschutzschichten aus α -Fe₂O₃ und amorphem SiO₂ (AiF/EFB)

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

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)

Mechanismenbasierte Charakterisierung und Bewertung der Leistungsfähigkeit unter Druck resistiv gesinterter Halbzeuge aus wiederverwerteten Aluminiumspänen (DFG)

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

Umformtechnische Wiederaufbereitung metallischer Späne durch Sintern und Schmieden (DFG)

Randschichtfunktionalisierung durch verformungsinduzierten Martensit an Kugellagerringen (DFG)

Transparente KI-gestützte Prozessmodellierung im Gesensschmieden (DFG)

Schmieden von stahlmantelten Titanhalbzeugen (DFG)

Effiziente Anwendung von Hartverbundwerkstoffen für Umformwerkzeuge (AiF/FGW)

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

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

Umformmaschinen

Mikroprägen funktionaler Oberflächen (Exzellenzcluster PhoenixD) (DFG)

Linear angetriebene Hybridaktuatorik zur umformtechnischen Fertigung komplexer Bauteile (DFG)

Prozessbegleitende Ausschusserkennung mittels umfanglicher 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)

Magnetorheologische Pressengründung (AiF/VDW)

Potentiale additiv gefertigter Teile im Pressenbau (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 dehnratenabhängige Erweiterung des MMC-Modells (DFG)

Tiefziehen mit zusätzlicher Krafteinleitung II (DFG)

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

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

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

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

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)

MOBILISE – Mobility in Engineering and Science (BMBF)

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

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

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

FE-Modellierung der Halbwarmumformung von 7000er Aluminiumblech und Voraussage der Bauteileigenschaften nach der Auslagerung mit KNN Ortsabhängige Modellierung der Reibung in Abhängigkeit von Gleitweg und Kontaktdruck in der Massivumformung (AiF)

Veröffentlichungen (Auszug)

Zeitschriften/Aufsätze – reviewed

Behrens, B.-A., Brunotte, K., Wester, H., Till, M., Kock, C., Peddinghaus, J. (2022): Influence of the Microstructure on Flow Stress and Deformability of Iron Aluminium Alloys. 31st International Conference on Metallurgy and Materials, Brno, Czech Republic, 18.-19. Mai 2022, Veröffentlicht in: Proceedings 31st International Conference on Metallurgy and Materials, S. 199-204, DOI: <https://doi.org/10.37904/metal.2022.4393>

Behrens, B.-A., Brunotte, K., Peddinghaus, Laeger, R. (2022) Influence of the Connection between Forming Die and Heatpipe on the Heat Transfer. 31st International Conference on Metallurgy and Materials, Brno, Czech Republic, 18.-19. Mai 2022, Veröffentlicht in: Proceedings 31st International Conference on Metallurgy and Materials, S. 227-232, DOI: <https://doi.org/10.37904/metal.2022.4397>

Fricke, L. V.; Thürer, S. E.; Kahra, C.; Bährisch S.; Herbst S.; Nürnberger F.; Behrens, B.-A.; Maier, H. J.; Klose, C.; Barton, S.: Non-destructive evaluation of the workpiece properties along the hybrid-bearing bushing process chain. Journal of Materials Engineering and Performance (2022), 09.11.2022, DOI: <https://doi.org/10.1007/s11665-022-07598-3>

Coors, T.; Faqiri, M. Y.; Saure, F.; Kahra, C.; Büdenbender, C.; Peddinghaus, J.; Prasanthan, V.; Pape, F.; Hassel, T.; Herbst, S.; Nürnberger, F.; Wester, H.; Uhe, J.; Breidenstein, B.; Denkena, B.; Behrens, B.-A.; Poll, G.; Maier, H. J.: C.; Investigations on Additively Manufactured Stainless Bearings, Coatings 2022, Volume 12, Issue 1699, 08.11.2022, DOI: <https://doi.org/10.3390/coatings12111699>

Paschke, H.; Weber, M.; Brunotte, K.; Rothgänger, M.; Petersen, T.; Siegmund, M.; Peddinghaus, J. (2022): Load-Adapted Surface Modifications to Increase Lifetime of Forging Dies, Key Engineering Materials, 22. Juli 2022, Vol. 926, S.1178-1187, DOI: <https://doi.org/10.4028/p-5l24m7>

Behrens, B.-A., Brunotte, K., Peddinghaus, J., Heymann, A. (2022): Influence of Dwell Time and Pressure on SPS Process with Titanium Aluminides, Metals 2022, Vol. 12, Issue 1, 04. Januar 2022, DOI: <https://doi.org/10.3390/met12010083>

Behrens, B.-A.; Brunotte, K.; Wester, H.; Lorenz, U.; Müller, F. (2022): Hardness Assessment Considering Nitrided Layers Based on Tempering Tests for Numerical Wear Prediction for Forging Processes, Materials 2022, 13. Oktober 2022, DOI: <https://doi.org/10.3390/ma15207105>

Behrens, B.-A.; Huskic, A.; Rosenbusch, D.; Peddinghaus, J.; Wester, H.; Siegmund, M.; Giedenbacher, J.; Siring, J. (2022): Design, Characterisation and Numerical Investigations of Additively Manufactured H10 Hybrid-Forging Dies with Conformal Cooling Channels, Metals 2022, Vol. 12, Issue 7, 21. Juni 2022, DOI: <https://doi.org/10.3390/met12071063>

Behrens, B.-A.; Krimm, R.; Koß, J.; Höber, A. (2022): Bauteilbezogene Speicherung prozessrelevanter Daten - Eine flexible Nachrüstlösung zur Prozessdatenakquise, Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb (ZWF), Jahrgang 117, Heft 1/2-2022, S.66-70, De Gruyter Verlag, Berlin, DOI: <https://doi.org/10.1515/zwf-2022-1011>

Behrens, B.-A.; Rosenbusch, D.; Wester, H.; Siring, J. (2022): Numerical Investigations on Stresses and Temperature Development of Tool Dies during Hot Forging, Key Engineering Materials, 22. Juli 2022, Vol. 926, S.559-568, DOI: <https://doi.org/10.4028/p-sf68jl>



Foto: Heike Mischewsky

Behrens, B.-A.; Uhe J.; Ross, I.; Peddinghaus, J.; Ursinus, J.; Matthias, J.; Bährisch, S. (2022): Tailored Forming of hybrid bulk metal components, International Journal of Material Forming, 27. April 2022, DOI: <https://doi.org/10.1007/s12289-022-01681-9>

Behrens, B.-A.; Brunotte, K.; Wester, H.; Peddinghaus, J.; Till, M. (2022): Functionalisation of the Boundary Layer by Deformation-Induced Martensite on Bearing Rings by means of Bulk Metal Forming Processes, 31st International Conference on Metallurgy and Materials, Brno, Czech Republic, 18.-19. Mai 2022, Veröffentlicht in: Proceedings 31st International Conference on Metallurgy and Materials, S.250-255, DOI: <https://doi.org/10.37904/metal.2022.4394>

Konopka D.; Pape F.; Heimes N.; Behrens B.-A.; Möhwald K.; Poll G. (2022): Functionality Investigations of Dry-Lubricated Molybdenum Trioxide Cylindrical Roller Thrust Bearings, Coatings MDPI 2022, Vol. 12, Issue 15, DOI: <https://doi.org/10.3390/coatings12050591>

Lachmayer, R.; Behrens, B.-A.; Ehlers, T.; Müller, P.; Althaus, P.; Oel, M.; Farahmand, E.; Gembarski, P.C.; Wester, H.; Hübner, S. (2022): Process-Integrated Lubrication in Sheet Metal Forming, Journal of Manufacturing and Materials Processing 2022, 14. Oktober 2022, DOI: <https://doi.org/10.3390/jmmp6050121>

Liewald, M.; Bergs, T.; Groche, P.; Behrens, B.-A.; Briesenick, D.; Müller, M.; Niemietz, P.; Kubik, C.; Müller, F. (2022): Perspectives on data-driven models and its potentials in metal forming and blanking technologies, Production Engineering, Vol. 16, 02. März 2022, S.607-625, DOI: <https://doi.org/10.1007/s11740-022-01115-0>

Middendorf, P.; Rothgänger, M.; Peddinghaus, J.; Brunotte, K.; Uhe, J.; Behrens, B.A.; Quentin, L.; Kästner, M.; Reithmeier, E. (2022): In Situ Wear Measurement of Hot Forging Dies Using Robot Aided Endoscopic Fringe Projection, Key Engineering Materials, 22. Juli 2022, S. 1211-1220, DOI: <https://doi.org/10.4028/p-k81788>

Piwek, A.; Uhe, J.; Peddinghaus, J.; Brunotte, K. (2022): Tailored Forming: Drucküberlagertes Warmfließpressen, wt Werkstattstechnik online 2022, Heft 10, S.671-676, DOI: <https://doi.org/10.37544/1436-4980-2022-10-41>

Stockburger, E.; Zhang, W.; Wester, H.; Rosenbusch, D.; Behrens, B.-A. (2022): Process analyses of friction drilling using the Smoothed Particle Galerkin method, International Journal of Material Forming, Vol. 16, Issue 14, 17. Dezember 2022, DOI: <https://doi.org/10.1007/s12289-022-01733-0>

Thürer, S. E.; Peters, K.; Heidenblut, T.; Heimes, N.; Peddinghaus, J.; Nürnberger, F.; Behrens, B.-A.; Maier, H. J.; Klose, C. (2022): Characterization of the Interface between Aluminum and Iron in Co-Extruded Semi-Finished Products, Materials 2022; Vol. 15, Issue 5, 24. Februar, 2022, S.1692, DOI: <https://doi.org/10.3390/ma15051692>

Konferenzbeiträge - reviewed

Abdennadher, M.; Bouguecha, A.; Behrens, B.-A.; Stockburger, E.; Elleuch, R. (2022): Experimental Characterization of Coated Aluminum Sheets for Deep Drawing Applications, International Conference Design and Modeling of Mechanical Systems, Hammamet, Tunisia, 2021, Veröffentlicht in: CMSM 2021: Design and Modeling of Mechanical Systems - V, S.842-850, DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-031-14615-2_94

Behrens, B.-A.; Brunotte, K.; Wester, H.; Kock, C.; Kildonavicute, D. (2022): Determination of temperature dependence in Modified-Mohr-Coulomb failure model for process simulation of shear cutting, International Deep-Drawing Research Group Conference (IDDRG 2022), Lorient, France, 2022, Veröffentlicht in: IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, Volume 1238, DOI: <https://doi.org/10.1088/1757-899X/1238/1/012028>

Behrens, B.-A.; Farahmand, E.; Holländer, U.; Hübner, S.; Langohr, A. Albracht, L. (2022): Coating of manganese boron steel in oxygen-free atmosphere with nitrogen silane, Materials Science and Engineering Congress 2022 (MSE)

Behrens, B.-A.; Rosenbusch, D.; Wester, H.; Althaus, P. (2022): Comparison of three different ductile damage models for deep drawing simulation of high-strength steels, International Deep-Drawing Research Group Conference (IDDRG 2022), Lorient, France, 2022, Veröffentlicht in: IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, Volume 1238, DOI: <https://doi.org/10.1088/1757-899X/1238/1/012021>

Holländer, U.; Pfeffer, C.; Hübner, S.; Albracht, L.; Möhwald, K.; Behrens, B.-A.; Maier, H.J. (2022): Nickel-braze coated stainless steel sheets for the production of complex brazed assemblies, LÖT 2022, Düsseldorf, 2022, Veröffentlicht in: Proceedings of the 13th International Conference Brazing, High Temperature Brazing and Diffusion Bonding, DVS-Berichte Band 381, DVS Media GmbH, Düsseldorf, ISBN: 978-3-96144-183-9

Piwek, A.; Uhe, J.; Peddinghaus, J.; Ross, I.; Behrens, B.-A. (2022): Comparison of the joining zone development of hybrid semi-finished products after different extrusion processes, 31st International Conference on Metallurgy and Materials, Brno, Czech Republic, 18.-19. Mai 2022, Veröffentlicht in: Proceedings 31st International Conference on Metallurgy and Materials, S.205-210, DOI: <https://doi.org/10.37904/metal.2022.4398>

Konferenzbeiträge - nicht reviewed

Höber, A. (2022): Moderne Pressenantriebe - Entwicklungen am IFUM, Dresdner Werkzeugmaschinen-Fachseminar, Dresden, 04.-05. Juli 2022, Link: https://wzm-fachseminar.de/?page_id=2819

Höber, A.; Koß, J.; Krimm, R.; Behrens, B.-A. (2022): Digitalisierung der Umformtechnik - Akquis Analyse und Nutzung umformtechnischer Prozessdaten, 40. EFB-Kolloquium Blechverarbeitung, Europäische Forschungsgesellschaft für

Blechverarbeitung e.V., Hannover, 29.-30. März 2022, Veröffentlicht in: Pressen, Systeme, Prozesse der Zukunft - Effizienz + Digitalisierung Tagungsband des 40. EFB-Kolloquiums Blechverarbeitung, S.141-150, ISBN: 978-3-86776-586-2

Zeitschriften/Aufsätze - nicht reviewed

Behrens, B.-A.; Krimm, R.; Koß, J.; Höber, A. (2022): Bauteilbezogene Erfassung und Analyse umformtechnischer Prozessdaten, EFB-Forschungsbericht Nr. 583, Europäische Forschungsgesellschaft für Blechverarbeitung e.V., Hannover, 2022, ISBN: 978-3-86776-641-8

Behrens, B.-A.; Maier, H. J.; Fünfkirchler, T.; Arndt, M. (2022): Induktive Flanscheinzugsensorik für das Tiefziehen, Fosta-Forschungsbericht zum Projekt P 1217, 2022, Forschungsvereinigung Stahlanwendung e. V., ISBN: 978-3-96780-062-3

Behrens, B.-A.; Peddinghaus, J.; Diefenbach, J.; Ursinus, J.; Siegmund, M.; Kuwert, P. (2022): Ressourcenschonende Herstellung hochbelastbarer Massivbauteile durch Nachformen aus der Schmiedewärme, STAHL + TECHNIK, Ausgabe 1 (2022), S.58-60, Link: <https://www.stahl-und-technik.de/ausgaben>

Behrens, B.-A.; Vogt, H.; Herrmann, C.; Stein, C. (2022): Prozessstabilität bei der Organoblechumformung durch wärmeisolierende Werkzeugbeschichtungen, EFB-Forschungsbericht Nr. 577, Europäische Forschungsgesellschaft für Blechverarbeitung e.V., ISBN: 978-3-86776-635-7

Dröder, K.; Hürkamp, A.; Droß, M.; Behrens, B.-A.; Wester, H.; Stockburger, E. (2022): Form-schlüssige In-Mould-Verbindung zwischen FVK und einem mit Fließlochhülsen strukturierten Blecheinleger, EFB-Forschungsbericht Nr. 582, Europäische Forschungsgesellschaft für Blechverarbeitung e.V., Hannover, 2022, ISBN: 978-3-86776-640-1

Dültgen, P.; Pelshenke, C.; Peddinghaus, J.; Siegmund, M.; Paschke, H. (2022): Belastungsangepasste strukturierte Diffusionsbehandlungen zur Verbesserung des thermomechanischen Rissverhaltens von Schmiedegesenken, massivUMFORMUNG, Juni 2022, Fachzeitschrift des Industrieverbands Massivumformung e. V., S.40-47, Link: <https://www.massivumformung.de/fileadmin>

Dissertationen

Bohne, F. (2022): LAGRANGE'sche Methoden für die numerische Abbildung von gekoppelten Drapier- und Fließpressprozessen, Berichte aus dem IFUM, Band 1/2022, 18. Februar 2022, TEWISS-Verlag, ISBN: 978-3-95900-670-5



Vorfürungen und Versuche zum Industriekolloquium „Neue Potentiale Produktionstechnik“ im Versuchsfeld des IFUM.
Foto: Heike Mischewsky



Foto: Pro Werk

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 metallischen 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 Mikrogeometrie der Schneidkante oder der Eigenschaften von Werkzeugbeschichtungen entwickelt. Weiterhin steht die Effizienz von Zerspanprozessen sowie die Bearbeitung von schwer zerspanbaren Werkstoffen im Fokus. Ein Forschungsgebiet ist die Untersuchung der Zerspanung unter sauerstofffreier Atmosphäre innerhalb des Sonderforschungsbereichs 1368 „Sauerstofffreie Produktion“. Durch eine sauerstofffreie Atmosphäre ändern sich die chemischen Vorgänge während des Zerspanungsprozesses, sodass Verschleißverhalten und Spanbildungsmechanismen signifikant beeinflusst werden können. Die Ressourcenrückführung von in der Zerspanung anfallenden Titanspänen wird im Projekt „Return II“ erforscht. Bei der Herstellung großer Strukturbauteile für die Luft- und Raumfahrt wird bis zu 95 % des Materials zerspannt, welches bisher nur unzureichend in die Wertschöpfungskette zurückgeführt wird. Besonders hohes Potenzial bietet die Wiederverwertung als Pulver für die additive Fertigung, da hier deutlich weniger Prozessschritte zur Aufbereitung des Werkstoffs notwendig sind. Weiterhin wird im Schwerpunktprogramm 2231 des DFG der Einfluss des Kühlschmierstoffs (KSS) auf die tribologischen Verhältnisse in der Zerspanung untersucht. Dazu wurde ein Hobelprüfstand um die Möglichkeit der KSS-Zufuhr erweitert. Neben den grundlagenlastigen Forschungsprojekten werden mehrere Projekte in enger Abstimmung mit einzelnen Industriepartnern oder in Industriearbeitskreisen bearbeitet.

Innerhalb des Projekts „Steigerung der Energieeffizienz entlang der Prozesskette zur Fertigung von Hartmetallwerkzeugen“ wird das Potenzial von additiven Fertigungsverfahren und Grünbearbeitungsprozessen zur Steigerung der Ressourceneffizienz in der

Herstellung von Hartmetallwerkzeugen untersucht. Darüber hinaus werden in Kooperation mit verschiedenen Maschinenbauunternehmen auch Potenziale zur Energieeinsparung bei der Pulverherstellung und dem Sintern untersucht. In dem ZIM-geförderten Projekt „InnoCoating“ befasst sich das IFW gemeinsam mit einem Beschichtungshersteller mit der Entwicklung innovativer reibungsminimierender Schichtsysteme für die Trockenzerspanung von Aluminiumlegierungen. Hierbei soll das Potenzial selbstschmierender Magnéli-Phasen erstmals bei der Zerspanung von Aluminium im unterbrochenen Schnitt genutzt werden, indem die Schichtzusammensetzung gezielt entsprechend der Prozesstemperaturen ausgelegt wird.

SCHLEIFTECHNOLOGIE / Schleifen wird sowohl für die produktive Zerspanung von hochharten Werkstoffen als auch für die Erzeugung hochpräziser Oberflächen eingesetzt. Dabei sind neben dem Einsatz der Schleifwerkzeuge insbesondere auch deren Herstellprozess und die daraus resultierenden Eigenschaften von besonderer Bedeutung. Daher wird am IFW derzeit die Fertigung von Schleifwerkzeugen und deren Einfluss auf den Schleifprozess untersucht. Die Charakterisierung der Schleifwerkzeuge durch neu entwickelte Methoden ermöglicht dabei eine Verknüpfung der Schleifbelageigenschaften mit dessen Einsatzverhalten, sodass die Auswahl eines geeigneten Schleifwerkzeugs für einen bestimmten Anwendungsfall erleichtert wird. Um das Einsatzverhalten zu ermitteln, werden sowohl Schnittunterbrechungen zur Bestimmung der Spanbildungsmechanismen durchgeführt als auch industrielle Anwendungsfälle optimiert. Derzeit werden beispielsweise die Herstellung von PCBN-Schaftwerkzeugen („Ressourceneffizientes Schleifen von PCBN-Schaftwerkzeugen“) oder das Einsatzverhalten konventioneller Schleifwerkzeuge mit Stäbchenkorund („Grundlage für den wirtschaftlichen Einsatz von Stäbchenkorundscheiben“) in industriennahen AiF-Forschungsprojekten adressiert.

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

zeit neue Werkzeugkonzepte und optimiert die Prozessführung bei Seilschleifprozessen, sodass Kernkraftwerke zukünftig prozesssicher, umweltbewusst und ohne Gefährdung des Bedienpersonals rückgebaut werden können.

Arbeitsgruppe Maschinen und Steuerungen

MASCHINENKOMPONENTEN / Die geforderte Produktivität und Qualität der zerspanenden Bearbeitung stellen in Zukunft hohe Anforderungen an die Werkzeugmaschine. Eine Voraussetzung, um auch bereits bei Losgröße 1 eine hohe Qualität zu liefern, sind messende, adaptronische und intelligente Maschinenkomponenten. Die Abteilung Maschinenkomponenten beschäftigt sich mit der Erforschung und Entwicklung solcher Systeme. Schwerpunktthemen sind Konzepte zur passiven und aktiven Schwingungsdämpfung zur Produktivitätssteigerung, adaptronische Spanntechnik 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 einerseits im Projekt „TensorMill“ für die Fräsbearbeitung ein sensorisches Spannsystem und andererseits 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. Um aufgrund der Prozessüberwachung entsprechend während der Bearbeitung reagieren zu können, wird zudem an adaptronischen Maschinenkomponenten geforscht. Ziel des Projektes „CyberChuck“ ist ein elektrisch betätigtes Drehspannfutter mit sensorischen Fähigkeiten, das die Betätigungskraft misst und eine prozessparallele Regelung der Spannkraft erlaubt. Im Projekt „FGL-Spann“ wird derzeit der Einsatz einer verschleißarmen Formgedächtnislegierungs-Aktorik zur Substitution der Tellerfederpakete beim Werkzeugspannen inklusive einer Spannkraftüberwachung erforscht. Zudem ist das Ziel des Projekts „AllSpann“ ein formflexibles Spannsystem, um geometrisch komplexe Werkstücke im Bereich der additiven Fertigung aufwandsarm zu spannen. Durch eine umspannfreie Bearbeitung wird eine Reduktion von Rüst- und Nebenzeit um bis zu 70 % angestrebt. Neben den überwachenden Eigenschaften der Maschinenkomponenten wird auch an produktivitätssteigernden Maßnahmen durch aktive und passive Schwingungsdämpfung geforscht. Durch aktive Ruckentkopplung bei

Vorschubsachsen im Projekt „AiR“ werden Schwingungsamplituden um mehr als 50 % verringert. Zudem wird zurzeit eine Bohrstange entwickelt, die durch gezielte Pulsung des KSS-Volumenstroms eine Reduktion von Werkzeugschwingungen ermöglicht. Durch die Integration einer hydrostatischen Führung konnte das dynamische Verhalten eines Mehrkoordinaten-Antriebssystems eines Pinolenantriebs für Werkzeugmaschinen sowohl hinsichtlich erreichter Antriebsdynamik als auch Dämpfung positiv beeinflusst werden. 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.

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 „Quali-Wirb“ ermöglicht beispielsweise die Integration von Sensorik und Aktorik eine Prozessregelung zur hochpräzisen Herstellung von Gewinden mithilfe des Gewindewirbelns. Ein ähnlicher Ansatz wird im Projekt „Dekor-Schleifen“ erforscht. Hierbei werden Musterschliffbilder mithilfe des maschinellen Lernens analysiert, um anschließend geeignete Prozessparameter abzuleiten, die eine automatisierte Herstellung der Schliffbilder mittels eines Schleifroboter ermöglichen. Eine Prozessregelung zum mechanischen Festwalzen wird ebenfalls im Projekt „Pro-MeFe“ erarbeitet. Ein Fokus besteht hierbei darin, die wirkenden Walzkräfte präzise zu erfassen. Daneben wird im Exzellenzcluster PhoenixD eine magnetische Führung zur Kompensation von Fertigungsabweichungen bei der Ultrapräzisionsbearbeitung optischer Komponenten erforscht. Die Minderung von Fertigungsabweichungen ist ebenfalls bei der Bearbeitung dünnwandiger relevant. Dazu wird im Projekt „DefCon“ ein Spannfutter für die Drehbearbeitung entwickelt, welches eine Messung und Regelung von Werkstückverformungen ermöglicht. Die Regelung ganzer Prozessketten über mehrere Maschinen hinweg ist für die automatisierte Produktion individueller Bauteile unumgänglich. Während dies im bereits abgeschlossenen SFB 871 zur Regeneration komplexer Investitionsgüter eingesetzt wurde, fokussiert das BMBF-Projekt TempoPlant die Fertigung individualisierter Implantate. Das Zusammenspiel aus integrierter Messtechnik und Fertigungstechnik erlaubt dabei eine autonome Anpassung der Werkzeugwege innerhalb einer Qualitätsregelung. Zusätzlich werden die Fertigungs- und Messdatendaten zu Dokumentationszwecken in den zertifizierten Prozessen der Medizintechnik genutzt.

PROZESSÜBERWACHUNG UND -REGELUNG / In der Abteilung Prozessüberwachung und -regelung werden Methoden zur Detektion von Prozessfehlern und kritischen Maschinenzuständen sowie zur automatischen Anpassung und Optimierung 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 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 IIP-Ecosphere werden u. a. neue Ansätze zur teilautomatischen Parametrierung von Zyklen für das Wälzschälen entwickelt. Dadurch wird der hochproduktive, aber wissensintensive Wälzschälprozess für KMU zugänglicher. 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? Diese Frage beantworten die Wissenschaftler*innen mit dem selbst entwickelten Simulationssystem IFW CutS: Es simuliert die Effekte und Wechselwirkungen von Bearbeitungsprozess, Werkstück und Werkzeugmaschine. Die Fertigungsprozesse werden digital durchgeführt, um mögliche Fehlerursachen zu identifizieren, die ursächlich für das real auftretende Problem sind. Mittels Kompensationsstrategien und innovativer CAD/CAM-Technologien werden anschließend die NC-Maschinenprogramme optimiert, Prozesseffekte vorhergesagt und fehlerreduzierte Bauteile gefertigt. Die Vision besteht in einer virtuellen Prozessinbetriebnahme, um ressourcenschonend eine 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. Beispielsweise wird im DFG-geförderten Projekt LearnWZS eine echtzeitfähige Simulation des Werkzeugschleifprozesses entwickelt, mit der sowohl die Effizienz als auch die Qualität des Fertigungsprozesses erhöht wird. Dafür werden in der Prozessplanung maschinelle Lernalgorithmen angewandt, welche sich unabhängig von Werkstück, Werkzeug und Werkzeugmaschine selbstständig optimieren. Des Weiteren werden innerhalb des Zukunftslabors Produktion am Beispiel der Druckgussindustrie interdisziplinär Technologien entwickelt und erforscht, die eine selbstständige Optimierung von Fertigungsverfahren und Produktionsabläufen durch das Schließen der digitalen Prozesskette erlauben. Außerdem 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. Im Projekt IIP-Ecosphere „Next Level Ecosphere for Intelligent Industrial Production“ arbeiten Wissenschaftler gemeinsam mit 19 Partnern aus Industrie und Forschung an Methoden zum vereinfachten Einsatz von Künstlicher Intelligenz in der Fertigungsplanung und -steuerung. Hier fließen auch die Erkenntnisse aus dem parallellaufenden DFG-Grundlagenprojekt „Selbstoptimierende dezentrale Fertigungssteuerung“ ein. Zusätzlich erarbeitet das Zukunftslabor Produktion am Beispiel der Druckgussindustrie innovative und praxisrelevante Lösungen zur prozessübergreifenden Fertigungsplanung. Die Nutzbarkeit der modernen Planungs- und -Steuerungslogiken hängt wesentlich von der Qualität der verwendeten Eingangsdaten ab. Um Betriebsdaten auf einem möglichst hohen qualitativen Niveau zur Verfügung stellen zu können, wurde im Projekt „Lokofer“ gemeinsam mit den Partnern Fauser und ATS Elektronik an einem Lokalisierungs- und Kommunikationssystem zur betriebsbegleitenden Fertigungsplanung und -steuerung gearbeitet. Weitergeführt wird dieser Ansatz zusammen mit Point 8 im Projekt „AutoPlan“ durch die automatisierte Erstellung von Arbeitsplänen aus technischen Zeichnungen. Die Nachhaltigkeit der Produktion wird ebenfalls gefördert. Aufbauend auf den ersten Ergebnissen wird im Projekt Return II eine Planungsmethode zur unternehmensübergreifenden Energieeffizienzoptimierung

bei der Herstellung von Titanbauteilen entwickelt. Durch die ergänzenden Arbeiten der Partner Cronimet, DMG Mori und Eckart TLS sowie dem Helmholtz-Zentrum Hereon soll so eine Closed-Loop Prozesskette zur additiven Fertigung von Titanbauteilen realisiert werden. Um neben effizienten auch robuste Fertigungsabläufe zu planen, wird im Projekt MultiPEP die multikriterielle Personaleinsatzplanung unter Berücksichtigung der Robustheit von Produktionssystemen untersucht. Als Befähigertechnologie für die Planung spielen digitale Zwillinge eine wichtige Rolle. Am Beispiel der integrierten Instandhaltungsplanung wird mit der BaSys 4 Architektur eine Möglichkeit zur schnellen Konfiguration von Optimierungsmethoden und digitalem Zwilling erforscht.

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 zwanzigköpfigen Teams sind Automated-Fiber-Placement-Systeme, die gegenwärtig zu den bevorzugt eingesetzten Fertigungssystemen zur Herstellung von Hochleistungs-Leichtbaustrukturen zählen. Bereits drei neuartige Legesysteme wurden von Mitarbeitern des IFW entwickelt und realisiert. Sie sind für den roboterbasierten Einsatz konzipiert und verarbeiten duromere und thermoplastische Faserverbundmaterialien. Aufgrund der hohen Schmelztemperaturen von luftfahrtzertifizierten Thermoplasten, die bis zu 400°C betragen, forscht das Team an gekoppelten Methoden zur Aufschmelzung des Kunststoffes mit Hilfe eines VCSEL-Hochleistungslasers und einer schwingungsangeregten Konsolidierungseinheit. Eine Verbesserung der Fertigungsqualität erreichen die Wissenschaftler durch eine integrierte Online-Prozessüberwachung, die das Legeergebnis fortwährend thermografisch überwacht und so präventive Handlungsstrategien zur Qualitätssicherung ermöglicht. In diesem Zusammenhang forscht das IFW an Methoden des Maschinellen Lernens, gekoppelt mit einer strukturmechanischen Simulation. Dadurch gelingt es den Forschern erstmals, Fertigungsfehler zu klassifizieren und ihren individuellen Einfluss auf die mechanischen Bauteileigenschaften direkt im Prozess zu bewerten. Aktuelle Forschung setzt sich mit der Integration von Faseroptischen Sensoren in die Konsolidierungseinheit auseinander und ermöglicht dadurch die Messung der Prozess Temperatur direkt in der Schweißzone mit dem Ziel, ein besseres Verständnis über die komplexen Wirkzusammenhänge beim Konsolidieren von Hochleistungsthermoplasten zu erlangen. Ebenfalls erfolgreich umgesetzt wurden Vorhaben zur Entwicklung und Erforschung eines neuartigen hochflexiblen Drapierlegesystems für Trockenfasertextilien, mit dem es gelingt, kom-

plex geformte Strukturkomponenten im eigens entwickelten Continuous-Wet-Draping herzustellen. Aktuelle Forschungsarbeiten zu den geometrischen Fertigungsrestriktionen der Drapier- und Legetechnologien ermöglichen außerdem innovative Gestaltungsrichtlinien für zukünftige Maschinenkonzepte. Beispielsweise forscht das IFW im Luftfahrtforschungsprogramm VI an einem neuartigen multi-orbitalen TowPreg-Legesystem zur Herstellung von Luftfahrt-Leichtbaustäben in CFK-Sandwichbauweise gemeinsam mit der Fa. Schütze Stäbe. Die Erkenntnisse werden zusätzlich in eine integrierte Methode zur Auslegung von Faserverbundstruktur und Prozesskette überführt, mit der bereits im frühzeitigen Entwicklungsstadium unkonventionell versteifte Flugzeugumpfbauweisen bewertet werden können.

Ein weiterer Fokus der Forschergruppe liegt auf der patentierten Multilayer-Insert-Technologie, die im Rahmen des Schwerpunktprogramms 1712 zum Thema intrinsische Hybridverbunde erfolgreich entwickelt und erforscht wurde. Die auf dünnwandigen Hybridlaminaten basierende Verbindungstechnologie führt zu einer deutlichen Steigerung der einleitbaren Lasten und einer verbesserten Schadenstoleranz von Fügungen. Während die Anwendung der Hybridverbindungen im Flugzeugbau, Automobilbau und Sportgerätebau nachgewiesen wurde, finden aktuell Forschungsarbeiten zum Transfer der Technologie in den Landmaschinenbau gemeinsam mit der Fa. Maschinenfabrik Bernard Krone und M&D Composites Technology am Beispiel eines Carbon-Leichtbauchassis für einen 18t schweren Feldhäcksler sowie in den Sektor der erneuerbaren Energiegewinnung gemeinsam mit der Fa. Sustainable Marine Systems am Beispiel von Carbon-Rotorblättern für Gezeitenströmungsturbinen 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 Nachhaltigkeit“, „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

- 85 wissenschaftliche Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter
- 35 nichtwissenschaftliche Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter
- 238 studentische Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter
- 2 Auszubildende
- 5 FWJ-ler/FWJ-lerinnen

IFW 2022

Institut für Fertigungstechnik und Werkzeugmaschinen

Leitung

Prof. Dr.-Ing. Berend Denkena

Lehre

69 Masterarbeiten, 56 Studienarbeiten,
61 Bachelorarbeiten

Aktuelle Forschung

Fertigungsverfahren

Auslegung von Prozessstellgrößenmodulationen für die Stahlbearbeitung mit Kühlschmierung (AiF)

Belastungsoptimierte Auslegung von Schneidkantenmikrogeometrien für industrielle Prozesse (DFG)

Charakterisierung sintermetallisch gebundener Diamantschleifscheiben (MWK)

Effizientere Spritzgusswerkzeugen (ZiM)

Einsatzverhalten sintermetallischer Diamantschleifscheiben mit chemisch angebundenen Schleifkörnern (DFG)

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

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

Funktionalisierte Randzone für belastungsorientiertes Ermüdungsverhalten gehärteter Bauteile (DFG)

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

Gradierte Schleifscheiben für das Spannutenschleifen von Vollhartmetallfräsern (ZiM)

Grundlage für den wirtschaftlichen Einsatz von Stäbchenkorundschleifscheiben (AiF)

Hocheffiziente Seilschleifsegmente mittels additiver Siebdrucktechnologie (SiebSeil) (BMBF)

Kontinuierliches Wälzschleifen von Zerspanwerkzeugen (DFG)

Produktives Schleifen von PcBN mit Metallbindung (AiF)

Sauerstofffreie Zerspanung von Titanlegierungen (DFG)

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

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

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

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

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

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

TopGewinde – Tribologisch optimierte Oberflächen topografien zur Lebensdauersteigerung von Gewindedrieben durch das Wirbelverfahren (ZiM)

TRR-SIIRI 298 A4: Bedarfsgerechte Konstruktion und Herstellung von schadenstoleranten Implantatverbindungen (DFG)

Maschinen und Steuerungen

AiRII: Aktive Ruckentkopplung für Werkzeugmaschinen (DFG)

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

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

Kraftsensitive Führungswagen: Kraftsensitive Führungssysteme auf Basis direktabgeschiedener bauteilindividueller Sensorik

KSS Puls: Entwicklung eines aktiv gedämpften Werkzeughalters für einen Innenausschneidprozess mittels eines gepulsten Kühlschmiermittels (AiF)

Umgriffsfreie Führung: Grundlagen eines berührungslosen Aktors mit bidirektionaler Kraftwirkung für den Aufbau von umgriffsfreien Führungen von Spanenden Werkzeugmaschinen (DFG)

FGL-Spann: Entwicklung eines Werkzeugspannmechanismus für Spindeln auf Basis eines Formgedächtnislegierungs-Aktors zur verschleißfreien Werkzeugspannung (AiF)

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

Pinolenmotor: Hydrostatisch gelagerter Pinolendirektantrieb für Drehmaschinen (DFG)

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

TempoPlant: Teilautonome Fertigungszelle orthopädischer Implantate (BMBF)

DAMP: Entwicklung eines Dämpfer-Abstützmoduls zur Erhöhung der Produktivität und Prozesssicherheit für das BTA-Tiefbohren (ZiM)

QUALI-WIRB: Inprozessmesssystem und Online Qualitätsüberwachung beim Wirbeln (ZiM)

KIMM Dämpfung: Increasing the productivity of a mobile machine tool through the damping of structural elements (AiF)

ProMeFe: Entwicklung eines sensorischen mechanischen Festwalzwerkzeugs, eines Sensor- und Merkmalskonzepts sowie einer Prozessregelung im Projekt (ZiM)

Dekorschleifen: Adaptive Roboterschleifzelle zur Herstellung von Dekorschleifen auf komplex geformten Aluminiumprofilen (ZiM)

KIMM Energy Efficiency: Demonstration of energy consumption evaluation technology for energy efficiency in machine tool operation (AiF)

PhoenixD: Exzellenzclusters PhoenixD: Task Group M4: Machines, Automation and Organization (DFG)

ProKI: Demonstrations- und Transfernetzwerk KI in der Produktion (BMBF)

SFB1153 B5: Prozesskette zur Herstellung hybrider Hochleistungsbauteile durch Tailored Forming (DFG)

RoPro: Hochleistungsbauteile durch Tailored Forming

IIP-Ecosphere: Next Level Ecosystem for Intelligent Industrial Production (BMWl)

Lernende WZM: Autonome Berechnung von Stabilitätsgrenzen auf Basis sensorischer Strukturkomponenten eines Fräszentrums (DFG)

Vertical E2E: Vertikal Integrierte, nachhaltige End-to-End-Fabrik (NBank)

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

Produktionssysteme

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

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

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

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

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

BaSys4iPPS: BaSys 4 integrated PPS (BMBF)

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

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

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

Learn WZS: Lernende Prozessadaption für das Werkzeugschleifen (DFG)

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

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

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

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

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

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

Self: Selbstoptimierende dezentrale Fertigungssteuerung (DFG)

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

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

SPP231 (Flusimpro): Modellierung der Kühlwirkung beim Werkzeugschleifen unter Berücksichtigung prozessbedingter Unsicherheiten (DFG)

TempoPlant: Teilautonome Fertigungszelle für orthopädische Implantate (BMBF)

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

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

ZL Produktion: Zukunftslabor Produktion (MWK)

Veröffentlichungen (Auszug)

Beiträge in Büchern (reviewed)

Denkena, B., Bergmann, B., Hansen, N.: (2022): Einfluss von Sauerstoff auf das Schleifen von Titan, Jahrbuch Schleifen, Honen, Läppen und Polieren (2022), Nr. 70, Hrsg Hoffmeister, H.-W., Denkena, B., S. 38-48. ISBN: 978-3-8027-3176-1

Denkena, B., Handrup, M., Schmidt, C., Pillkahn, P., Katzsch, D., Reuter, L., Stelljes, F.: (2022): Energieeffiziente Prozessketten zur Herstellung eines reibungs-, gewichts- und lebensdaueroptimierten Antriebsstrangs, "Antriebsstrang 2025" - "Energieeffiziente Prozessketten zur Herstellung eines reibungs-, gewichts- und lebensdaueroptimierten Antriebsstrangs": gemeinsamer Abschlussbericht zum BMWK-Verbundprojekt (2022), Laufzeit: 01.09.2018-28.02.2022, Leibniz Universität Hannover, 136 Seiten.

Beiträge in Zeitschriften/Aufsätze (reviewed)

Wolters, P., Breidenstein, B., Denkena, B., Bergmann, B.: (2022): Design of tool grinding processes for indexable inserts made of rocks, The International Journal of Advanced Manufacturing Technology (2022) Nr. 124, published online 25. November 2022, S.887-905 DOI: <https://doi.org/10.1007/s00170-022-10557-w>

Denkena, B., Bergmann, B., Lang, R.: (2022): Influence of the powder metallurgy route on the mechanical properties of Cu-Cr-diamond composites, SN Applied Sciences, Vol. 161 (2022), Nr. 4, 10 Seiten DOI: <https://doi.org/10.1007/s42452-022-05048-2>

Bergmann, B., Dzierzawa, P.: (2022): Understanding the properties of bronze-bonded diamond grinding wheels on process behaviour, CIRP Annals - Manufacturing Technology, Vol. 71 (2022), published online 20. Mai 2022, S. 293-296, DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cirp.2022.04.014>

Denkena, B., Bergmann, B., Theuer, M., Wolters, P.: (2022): Geometrical process design during continuous generating grinding of cutting tools, The International Journal of Advanced Manufacturing Technology (2022), published online 28. June 2022, 12 Seiten. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00170-022-09573-7>

Denkena, B., Bergmann, B., Gartzke, T., Wilckens, M.: (2022): Approaches to tailor the cooling supply to the grinding process, SN Applied Sciences, Vol. 309 (2022) Nr. 4, 10 Seiten. DOI: <https://doi.org/10.1007/s42452-022-05198-3>

Prasanthan, V., Denkena, B., Bergmann, B.: (2022): Influence of XHV-adequate atmosphere on surface integrity, Production Engineering (2022), published online 02. July 2022, 7 Seiten. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11740-022-01143-w>

Denkena, B., Bergmann, B., Raffalt, D.: (2022): Operational behaviour of graded diamond grinding wheels for end mill cutter machining, SN Applied Sciences (2022), 10 Seiten. DOI: <https://doi.org/10.1007/s42452-022-04970-9>

Denkena, B., Bergmann, B., Worpenberg, S.: (2022): Simulation-based design of flank face modification for the milling of Ti-6Al-4V and Inconel 718, The International Journal of Advanced Manufacturing Technology (2022), 12 Seiten. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00170-022-09016-3>

Denkena, B., Bergmann, B., Geschwind, T.: (2022): Die Porosität eines Schleifwerkzeugs schon beim Mischen einstellen, WT Werkstattstechnik BD. 112 (2022), Nr. 3, S. 191-195. DOI: [10.37544/1436-4980-2021-3-89](https://doi.org/10.37544/1436-4980-2021-3-89)

Dänekas, C., Heikebrügge, S., Schubnell, J., Schaumann, P., Breidenstein, B., Bergmann, B.: (2022): Influence of deep rolling on surface layer condition and fatigue life of steel welded joints, International Journal of Fatigue 162 (2022), 13 Seiten. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijfatigue.2022.106994>

Denkena, B., Krödel, A., Wilckens, M.: (2022): Process limits in high-performance peel grinding of hardened steel components with coarse CBN grinding wheels, The International Journal of Advanced Manufacturing Technology (2022), published online 04. April 2022, DOI: <https://doi.org/10.1007/s00170-022-09026-1>

Ellersiek, L., Menze, C., Sauer, F., Denkena, B., Möhring, H.-C., Schulze, V.: (2022): Evaluation of methods for measuring tool-chip contact length in wet machining using different approaches (micro-textured tool, in-situ visualization and restricted contact tool), Production Engineering (2022), published online 02. April 2022, S. 635-646. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11740-022-01127-w>

Denkena, B., Elgeti, S., Ellersiek, L., Lee, J., Lui, H., Pape, F., Poll, G., Saelzer, J., Zabel, A.: (2022): Effizientes Schmieren der Spanbildungszone, WT Werkstattstechnik, BD. 112 (2022), Nr. 01-02, S. 44-49. DOI: [10.37544/1436-4980-2021-1-2-48](https://doi.org/10.37544/1436-4980-2021-1-2-48)

Fricke, L. V., Thürier, S. E., Jahns, M., Breidenstein, B., Maier, H. J., Barton, S.: (2022): Non-destructive, Contactless and Real-Time Capable Determination of the α' -Martensite Content in Modified Subsurfaces of AISI 304, Journal of Nondestructive Evaluation, Vol. 41 (2022) Nr. 72, published online 11. October 2022, 13 Seiten. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10921-022-00905-x>

Breidenstein, B., Vogel, N., Behrens, H., Dietrich, M., Andersson, J. M.: (2022): Determination of Local Residual Stress on Post-Treated TiAlN-Coated Tungsten Carbide Tools, Journal of Surface Investigation: X-ray, Synchrotron and Neutron Techniques, Vol. 16 (2022) No. 4, S. 663-671. DOI: [10.1134/S1027451022040231](https://doi.org/10.1134/S1027451022040231) ISSN: 1027-4510

Pape, F., Liu, H., Ellersiek, L., Krödel, A., Denkena, B., Poll, G.: (2022): Influence of Metal Working Fluids in Cutting Processes, Defect and Diffusion

Forum, Vol. 414 (2022), S. 51-57. DOI: <https://doi.org/10.4028/p-dnly6l>; ISSN: 1662-9507

Denkena, B., Krödel-Worbes, A., Müller-Cramm, D.: (2022): Wear-adaptive optimization of in-process conditioning parameters during face plunge grinding of PcBN, *Scientific Reports* (2022), 11 Seiten. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41598-022-05066-5>

Heikebrügge, S., Ottermann, R., Breidenstein, B., Wurzel, M. C., Dencker, F.: (2022): Residual Stresses from Incremental Hole Drilling Using Directly Deposited Thin Film Strain Gauges, *Experimental Mechanics* (2022), published online 14. January 2022, 13 Seiten. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11340-022-00822-0>

Liu, H. C., Pape, F., Zhao, Y., Ellersiek, L., Denkena, B., Poll, G.: (2022): On the Elastohydrodynamic Film-Forming Properties of Metalworking Fluids and Oil-in-Water Emulsions, *Tribology Letters*, Vol. 71 (2023), Nr. 10, published online 07. December 2022, 13 Seiten. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11249-022-01684-2>

Breidenstein, B., Bergmann, B., Beblein, S., Grzeschik, F.: (2022): FEM-based simulation of continuous wear of CrAlN-coated tools, 10th CIRP Global Web Conference – Material Aspects of Manufacturing Processes, *Procedia CIRP*, Vol. 115 (2022), online 25.-27. October 2022, S. 95-100. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.procir.2022.10.056>

Breidenstein, B., Denkena, B., Bergmann, B., Wolters, P., Picker, T.: (2022): Turning Copper and Aluminum Alloys with Natural Rocks as Cutting Tools, *materials* (2022), Vol. 15, Nr. 5, 12 Seiten. DOI: <https://doi.org/10.3390/ma15062187>, ISSN: 1996-194

Breidenstein, B., Denkena, B., Bergmann, B., Picker, T., Wolters, P.: (2022): Tool wear when using natural rocks as cutting material for the turning of aluminum alloys and plastics, *Production Engineering* (2022), published online 15. September 2022, 11 Seiten. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11740-022-01159-2>

Denkena, B., Krödel-Worbes, A., Müller-Cramm, D.: (2022): A Contribution to the Understanding of the Grinding of PcBN – Influence of Diamond Specification on Wear during Peripheral Grinding, *International Journal of Materials Science and Engineering*, Vol. 10 (2022), Nr. 3, S. 42-56. DOI: <https://doi.org/10.17706/ijmse.2022.10.3.42-56>

Denkena, B., Bergmann, B., Fromm, A., Klose, C., Hansen, N.: (2022): Influence of the atmosphere and temperature on the properties of the oxygen-affine bonding system titanium-diamond during sintering, *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology* (2022), 10 Seiten. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00170-022-09171-7>

Heikebrügge, S., Breidenstein, B., Bergmann, B., Dänekas, C., Schaumann, P.: (2022): Experimental and Numerical Investigations of the

Deep Rolling Process to Analyze the Local Deformation Behavior of Welded Joints, *Journal of Manufacturing and Materials Processing* (2022), 6,50, 12 Seiten. DOI: <https://doi.org/10.3390/jmmp6030050>

Fricke, L. V., Gerstein, G., Kotzbauer, A., Breidenstein, B., Barton, S., Maier, H. J.: (2022): High Strain Rate and Stress-State-Dependent Martensite Transformation in AISI 304 at Low Temperatures, *Metals* (2022), 12, 747, 15 Seiten. DOI: <https://doi.org/10.3390/met12050747>

Denkena, B., Breidenstein, B., Bergmann, B., Wolters, P.: (2022): Investigation of the material separation behaviour of rocks using scratch tests for the design of tool grinding processes, *SN Applied Sciences* (2022), 17 Seiten. DOI: <https://doi.org/10.1007/s42452-022-05038-4>

Budde, L., Prasanthan, V., Merkel, P., Kruse, J., Faqiri, M. Y., Lammers, M., Kriwall, M., Hemsdorf, J., Stonis, M., Hassel, T., Breidenstein, B., Behrens, B.-A., Denkena, B., Overmeyer, L.: (2022): Material dependent surface and subsurface properties of hybrid components, *Production Engineering* (2022), 13 Seiten. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11740-022-01128-9>

Denkena, B., Bergmann, B., Raffalt, D.: (2022): Dressing of hybrid-bonded graded diamond grinding wheels, *Production Engineering* (2022), published online 17. September 2022 7 Seiten. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11740-022-01163-6>, ISSN: 0944-6524

Denkena, B., Klemme, H., Kaiser, S., Shanib, M.: (2022): Intelligent Manufacturing Cell for Implants, 2022 IEEE International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management (IEEM) (2022), 07.-10. December 2022, Kuala Lumpur, Malaysia, S. 1578-1582. DOI: [10.1109/IEEM55944.2022.9989587](https://doi.org/10.1109/IEEM55944.2022.9989587)

Denkena, B., Klemme, H., Becker, J., Blech, H.: (2022): User-Specific Parameterization of Process Monitoring Systems, *Production Engineering* (2022), published online 16. April 2022, 8 Seiten. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11740-022-01130-1>

Schönemann, L., Riemer, O., Karpuschewski, B., Schreiber, P., Klemme, H., Denkena, B.: (2022): Digital surface twin for ultra-precision high performance cutting, *Precision Engineering*, Vol. 77 (2022), S. 349–359. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.precisioneng.2022.06.010>, ISSN: 0141-6359

Denkena, B., Klemme, H., Buhl, H.: (2022): Sensorische Schleifspindel fühlt Prozesskräfte beim Werkzeugschleifen, *ZWF*, Vol. 117 (2022), Nr. 10, S. 682-685. DOI: <https://doi.org/10.1515/zwf-2022-1130>, ISSN: 0947-0085

Bossemeier, H., Ahlborn, P., Kästner, M., Reithmeier, E.: (2022): Calibration of focus-adjustable cameras for triangulation sensors by model-based camera parameter estimation, *tm – Technisches Messen* (2022), S. 1-8, DOI: <https://doi.org/10.1515/teme-2022-0023>

Kellenbrink, C., Nübel, N., Schnabel, A., Gilge, P., Seume, J. R., Denkena, B., Helber, S.: (2022): A regeneration process chain with an integrated decision support system for individual regeneration processes based on a virtual twin, *International Journal of Production Research* (2022), published online 04. April 2022, 22 Seiten. DOI: [10.1080/00207543.2022.2051089](https://doi.org/10.1080/00207543.2022.2051089)

Denkena, B., Ahlborn, P.: (2022): Linear-rotary direct drive for multi-functional machine tools, *Cirp Annals - Manufacturing Technology*, Vol. 71 (2022) Nr. 1, published online 12. April 2022, S. 349-352. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cirp.2022.03.015>

Gerken, J. F., Klages, N., Biermann, D., Denkena, B.: (2022): Development and analysis of a mechatronic system for in-process monitoring and compensation of straightness deviation in BTA deep hole drilling, *Mechanical Systems and Signal Processing* 170 (2022), 19 Seiten. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ymssp.2022.108838>

Klemme, H., Reimer, S., Uhlmannsiek, J.: (2022): Modellierung der dynamischen Werkzeugnachgiebigkeit mithilfe der Receptance-Coupling-Analyse, *ZWF*, Vol. 117 (2022), Nr. 11, S. 758-762. DOI: <https://doi.org/10.1515/zwf-2022-1156>, ISSN: 0947-0085

Eichelberger, H., Reimer, S., Niederée, C., Palmer, G.: (2022): Virtuelle IIoT-Plattform für die Digitalisierung der Fertigung, *ZWF*, Vol. 117 (2022), Nr. 12, S. 884-887. DOI: <https://doi.org/10.1515/zwf-2022-1178>, ISSN: 0947-0085

Reimer, J., Wang, Y., Laridi, S., Urdich, J., Wilmsmeier, S., Palmer, G.: (2022): Identifying cause-and-effect relationships of manufacturing errors using sequence-to-sequence learning, *Scientific Reports*, Vol. 12 (2022), Nr. 22332, 11 Seiten. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41598-022-26534-y>

Denkena, B., Wichmann, M., Heide, K. M., Räker, R.: (2022): Laser Scanning Based Object Detection to Realize Digital Blank Shadows for Autonomous Process Planning in Machining, *Journal of Manufacturing and Materials Processing* (2022), 6, 1, 16 Seiten. DOI: <https://doi.org/10.3390/jmmp6010001>

Denkena, B., Wichmann, M., Arnold, D.: (2022): Erfasste Betriebsdaten und ihre Qualität, *ZWF*, Vol. 117 (2022), Nr. 12, S. 847-850. DOI: <https://doi.org/10.1515/zwf-2022-1161>, ISSN: 0947-0085

Denkena, B., Wichmann, M., Reuter, L.: (2022): Kostenvorteile durch adaptive Prüfplanung, *ZWF* (2022), Band 117, Nr. 4, S. 178-181.

Denkena, B., Wichmann, M., Huuk, J.: (2022): Digitale Werkstückmodelle in der Prozessplanung, *WT Werkstattstechnik*, Bd. 112 (2022), Nr. 11-12, S. 762-766. DOI: <https://doi.org/10.37644/1436-4980-2022-11-12-36>

Denkena, B., Wichmann, M., Kettelmann, S., Matthies, J., Reuter, L.: (2022): Ecological Planning of Manufacturing Process Chains, *sustainability* (2022), Vol. 14, Nr. 5, 17 Seiten. DOI: <https://doi.org/10.3390/su14052681>

Denkena, B., Dittrich, M.-A., Malek, T., Sleiman, K., Rettschlag, K., Jäschke, P., Kaierle, S.: (2022): Numerical investigation of the influence of process parameters and tool path on the temperature in the laser glass deposition (LGD) process, *Production Engineering* (2022), published online 14. September 2022, 10 Seiten. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11740-022-01157-4>

Fricke, L. V., Nguyen, H. N., Appel, J., Breidenstein, B., Maier, H. J., Zaremba, D., Barton, S.: (2022): Characterization of deformation-induced martensite by cryogenic turning using eddy current testing, 6th CIRP Conference on Surface Integrity, *Procedia CIRP* 108 (2022), S. 49–54. DOI: [10.1016/j.procir.2022.03.014](https://doi.org/10.1016/j.procir.2022.03.014)

Denkena, B., Breidenstein, B., Wichmann, M., Nguyen, H. N., Fricke, L. V., Barton, S., Maier, H. J.: (2022): Funktionsorientierte Stellgrößenauslegung beim Drehen, *WT Werkstattstechnik* Bd. 112 (2022), Nr. 11-12, S. 767-772. DOI: doi.org/10.37544/1436-4980-2022-11-12-41

Denkena, B., Schmidt, C., Schmitt, C., Kaczmirz, M.: (2022): Experimental Investigation on the Use of a PEI Foam as Core Material for the In-Situ Production of Thermoplastic Sandwich Structures Using Laser-Based Thermoplastic Automated Fiber Placement, *Materials*, Vol 15 (2022), Nr. 7141, 15 Seiten. DOI: <https://doi.org/10.3390/ma15207141>

Möllers, H., Schmidt, C., Meiners, D.: (2022): Spray binder for automated preforming: Spray process and preform properties, *Polymer Composites*, Vol. 1 (2022) Nr. 12, published online 02. October 2022, 12 Seiten. DOI: [10.1002/bit.27107](https://doi.org/10.1002/bit.27107)

Budelmann, D., Schmidt, C., Meiners, D.: (2022): Tack of epoxy resin films for aerospace-grade prepreps: Influence of resin formulation, B-staging and toughening, *Polymer Testing*, Vol. 114 (2022), Nr. 107709, 10 Seiten. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.polymertesting.2022.107709>

Dänekas, C., Heikebrügge, S., Kulikowski, J., Heide, K. M., Schaumann, P., Breidenstein, B., Bergmann, B.: (2022): Automatisierte Schweißnahtnachbehandlung für Offshore-Windenergieanlagen, *Stahlbau*, Vol. 10 (2022), Band 91, S. 683-695. DOI: [10.1002/stab.202200050](https://doi.org/10.1002/stab.202200050)

Heide, K. M., Heikebrügge, S., Dänekas, C., Breidenstein, B., Schaumann, P.: (2022): Automated geometry measurement and deep rolling of butt welds, *Welding in the World* (2022), published online 23. July 2022, 15 Seiten. DOI: <https://doi.org/10.1007/s40194-022-01346-w>

Beiträge in Zeitschriften/Aufsätze (unreviewed)

Denkena, B., Bergmann, B., Lang, R.: (2022): Optimierung von Diamantschleifscheiben, *VDI-Z*, Vol. 164 (2022), Nr. 07-08, S.42-44.

Ellersiek, L.: (2022): Kühlschmierstoff-Einsatz unter der Lupe, *Zerspanntechnik.de* (2022), online, 19. Juli 2022, 3 Seiten.

Denkena, B., Bergmann, B., Schaper, F.: (2022): Einsatzverhalten von pCBN- und PKD-Werkzeugen bei der sauerstofffreien Titanzer-spannung, *Diamond Business* (2022), Nr. 82, S. 20-25. ISSN: 1619-5558

Heckemeyer, A.: (2022): Prozessstellgrößen-modulation reduziert den Werkzeugverschleiß, *VDW Branchenreport* September (2022), S.14-16.

Worpenberg, S.: (2022): Wirtschaftliche Zerspaltung additiv gefertigter Titankomponenten, *Zerspaltungstechnik.de* (2022), erschienen online am 16.11.2022, 4 Seiten.

Denkena, B., Bergmann, B., Krafft, M.: (2022): Produktivitätssteigerung durch belastungsoptimierte Schneidkantenmikrogeometrien, *VDI-Z*, Bd. 164 (2022), Nr. 6, 24-26.

Denkena, B., Bergmann, B., Hurschler, C., Welke, B., Einfeldt, A.-C., Legutko, B.: (2022): Die Patientensicherheit bei Hüftendoprothesen erhöhen, *DeviceMed* (2022), Nr. 6, S. 76-77.

Denkena, B., Bergmann, B., Relard, A.: (2022): Produktivitätssteigerung durch Werkzeugverschleiß, *Zerspaltungstechnik.de* (2022), erschienen online am 18. Januar 2022, 2 Seiten

Denkena, B., Bergmann, B., Hein, M.: (2022): Verschleißverhalten nachgiebiger Diamantpolierwerkzeuge, *Diamond Business*, Vol. 4 (2022), Nr. 83, S. 42-47. ISSN: 1619-5558

Denkena, B., Bergmann, B., Murrenhoff, M.: (2022): Effiziente und ressourcenschonende Fertigung von Luftfahrtgetrieben, *Unter Span* (2022), S. 32-33. ISSN: 2365-7006

Denkena, B., Bergmann, B., Lang, R.: (2022): Metallisch gebundene Diamantschleifscheiben mit Zugabe von Chrom als Karbidbildner, *Diamond Business*, Vol.4 (2022), S. 26-31.

Denkena, B., Bergmann, B., Relard, A., Hein, M., Abel, J., Pötschke, J.: (2022): Energieeinsparung durch additiv gefertigte Zerspanwerkzeuge, *VDI-Z*, Bd. 164 (2022), Nr. 9, S. 48-50.

Denkena, B., Bergmann, B., Heckemeyer, A.: (2022): Prozessstellgrößenmodulation – Ansatz zur Leistungssteigerung beim Drehen, *WB Werkstatt + Betrieb* (2022), published online 12. April 2022, 11 Seiten.

Murrenhoff, M.: (2022): Laserquellen für die Präparation von Spanleitgeometrien geeignet, *VDW Branchenreport* (2022), S. 17-19.

Denkena, B., Bergmann, B., Heckemeyer, A.: (2022): Mehr Leistung beim Drehen, *WB Werkstatt + Betrieb* (2022), Nr. 2, S. 39.

Dzierzawa, P., Bergmann, B., Denkena, B.: (2022): Digitales Schleifwerkzeug: von der Herstellung bis zum Einsatz, *VDI-Z*, Bd. 164 (2022), Nr. 5, S. 53-55.

Denkena, B., Klemme, H., Kaiser, S., Winkler, M., Shanib, M.: (2022): Automatisierte Doku-

mentation zur Implantatfertigung, *Fertigungstechnik.de* (2022), online erschienen am 31. März 2022, 5 Seiten.

Denkena, B., Bergmann, B., Stoppel, D.: (2022): Fräsen mit signalbasierter Kraftrekonstruktion, *NC Fertigung*, Vol. 43 (2022), Nr. 12, S. 34-37.

Denkena, D., Brouwer, D., Zimmermann, M., Bergmann, B., Kaiser, S.: (2022): Mobile Fräsmaschinen zerspanen durch FEM-Einsatz stets präzise, *MaschinenMarkt* (2022), online erschienen 13. Mai 2022, 4 Seiten.

Denkena, B., Bergmann, B., Klages, N.: (2022): Qualitätsüberwachung beim Gewindewirbeln, *NC Fertigung*, Vol 43 (2022), Nr. 5, S. 74-76.

Denkena, B., Bergmann, B., Berlin, J., Handrup, M., Maiss, O.: (2022): Sensorisches Festzahnwerkzeug für die Prozessüberwachung, *mav* (2022), Nr. 1, S. 66-68.

Seume, J., Denkena, B., Bergmann, B., Buhl, H.: (2022): Nachhaltigkeit und Produktivitätssteigerung ohne Widerspruch, *Zukunft Digital* (2022), Nr. 01, S. 16-18.

Denkena, B., Bergmann, B., Schächinger, M.: (2022): Virtuelle Spannplanung erhöht Produktivität, *NC Fertigung* (2022), Nr. 6, S. 50-52.

Denkena, B., Klemme, H., Handrup, M., Schmidt, C.: (2022): Mikrostrukturen erhöhen die Effizienz von Flügelzellenpumpen, *MM MaschinenMarkt* (2022), online erschienen 17. August 2022, 5 Seiten.

Buhl, H.: (2022): Abdrängungskompensation beim Werkzeugschleifen, *phi Produktionstechnik Hannover* informiert (2022), online erschienen am 01. Juni 2022, 5 Seiten. DOI: <https://doi.org/10.48811/phi-22-018>

Denkena, B., Klemme, H., Wnendt, E., Meier, M.: (2022): Elektrisches Drehspannfutter für empfindliche Werkstücke, *MM MaschinenMarkt*, 128. Jahrgang (2022), Nr. 6, S. 42-45.

Denkena, B., Klemme, H., Reimer, S., Blech, H.: (2022): Baukasten für die effiziente Optimierung von Prozessparameterwerten, *Zukunft Digital* (2022), Nr. 1, S. 34.37.

Denkena, B., Klemme, H., Reimer, S.: (2022): Mit kombinierten Modellen Stabilitätsgrenze ermittelt, *IT & Production*, Vol. 23 (2022), S. 78-79.

Buhl, H., Leineweber, S.: (2022): Produktionsforschung deutschlandweit stärken: Netzwerkveranstaltung der WGP, *phi, Produktionstechnik Hannover* informiert (2022), online erschienen am 21. September 2022, 3 Seiten.

Becker, J. M.: (2022): Produktionstechnische Expertensysteme: Wälzschalen mit Künstlicher Intelligenz, *pzh* (2022), Das Magazin des Produktionstechnischen Zentrums der Leibniz Universität Hannover / Jahresbericht 2021, S. 18.

Blech, H., Becker, J. M.: (2022): Vernetzung von Maschinen mit dem umati Standard OPC UA, Mittelstand-Digital Magazin (2022) Nr. 1, S. 12-15.

Denkena, B., Klemme, H., Becker, J. M., Litwinski, K.: (2022): Neural Networks: From Image Processing to Process Monitoring, Emo Hannover (2022), publishe online 07. November 2022, 12 Seiten.

Denkena, B., Klemme, H., Becker, J. M., Litwinski, K.: (2022): Neuronale Netze: Von der Bildverarbeitung zur Prozessüberwachung, Emo Hannover (2022), online erschienen am 07. November 2022, 11 Seiten.

Denkena, B., Klemme, H., Klages, N.: (2022): Online-Oberflächenüberwachung beim Gewinde-wirbeln, mav (2022), Nr. 6, S. 56-58

Denkena, B., Klemme, H., Böhse, F.: (2022): Lineardirektantriebe entfalten ihr Potenzial, mav (2022), Nr. 4, S. 64-67.

Denkena, B., Klemme, H., Wnendt, E., Meier, M.: (2022): Elektrische Spannfutter für die Drehbearbeitung, WT WerkstattTechnik, Bd. 112 (2022), Nr. 7-8, S. 1-3

Denkena, B., Klemme, H., Böhse, M.-F.: (2022): Werkzeugmaschine mit aktiver Ruckentkopplung, VDI-Z, Bd. 164 (2022) Nr. 9, S. 39-41.

Denkena, B., Klemme, H., Böhse, M.-F.: (2022): Präzises Positionieren durch aktive Ruckentkopplung, NC Fertigung (2022), Nr. 1-2, S. 16-19

Denkena, B., Klemme, H., Wichmann, M., Bert-ram, S.: (2022): Lange Bohrstangen ohne Schwin-gungen?, NC Fertigung (2022), Nr. 7-8, S. 72-75. |

Denkena, B., Klemme, H., Ahlborn, P., Litwinski, K.: (2022): Mehrkoordinatenantrieb reduziert Bau-raumbedarf, NC Fertigung (2022), Nr. 9, S. 62-65.

Schmidtman, J.: (2022): Drahtlose Werkstück-überwachung in rauen Industrieumgebun-gen, phi Produktionstechnik Hannover infor-miert (2022), 4 Seiten DOI: <https://doi.org/10.48811/phi-22-006>

Denkena, B., Klemme, H., Stoppel, D.: (2022): Prozessregelung für höhere Genauigkeit beim Frä-sen, WB Werkstatt + Betrieb (2022), online er-schienen am 02. Dezember 2022, 5 Seiten.

Stoppel, D.: (2022): Künstliche Intelligenz in der Produktion: ProKI-Zentrum Hannover gestar-tet, phi Produktionstechnik Hannover informiert (2022), online erschienen am 29. November 2022, 4 Seiten.

Denkena, B., Klemme, H., Blech, H., Teige, C.: (2022): Sensorische Werkstückspannung für die sichere Fertigung von Flugzeugkomponenten, WB Werkstatt + Betrieb (2022), online erschienen am 02. Dezember 2022, 9 Seiten

Schreiber, P.: (2022): Solution Catalog and IloT Plat-form facilitate AI Deployment in Production, EMO Hannover (2022), published online 07. November 2022, 7 Seiten

Denkena, B., Klemme, H., Klages, N.: (2022): Qualitätsüberwachung beim Wirbeln von Außen-gewinden, VDI-Z BD 164 (2022), Nr. 4, S.20-22

Denkena, B., Klemme, H., Berlin, J., Maiss, O., Dove, M.: (2022): Prozessregelung beim mechani-schen Festwalzen, dima (2022), Nr. 3, S. 60-61

Denkena, B., Klemme, H., Handrup, M.: (2022): Maschinelles Lernen erhöht Prozesssi-cherheit in der Zerspanung von Tailored Forming Bauteilen, Zukunft.Digital (2022) Nr. 01, S. 28-31

Denkena, B., Klemme, H., Becker, J.: (2022): KI-basierte Überwachung und Parametrierung von Wälzschälzyklen im Projekt IIP Ecosphere, VDW Branchenreport (2022), S. 8-11

Schreiber, P.: (2022): Der IIP-Ecosphere Lösungs-katalog bringt KI-Lösungen auf den Punkt, Zu-kunft Digital (2022), Nr. 2, S. 40-41.

Wichmann, M., Breidenstein, B., Voelker, H.: (2022): Markierungsfreier Plagiat-schutz für spanend gefertigt Teile, MM Maschi-nenmarkt (2022), Nr. 8, S. 56-59.

Wulf, M.: (2022): Intelligente Fertigung: Wie schla-wird die Prozessplanung?, IndustryArena Com-petence network for production (2022), published online 20. September 2022, 3 Seiten

Reuter, L., Denkena, B., Wichmann, M.: (2022): Ökologische Fertigungsplanung, VDI-Z, BD. 164 (2022), Nr. 10, S.26-28.

Reuter, L.: (2022): Das IFW für VerticalE2E bei der Premium AEROTEC GmbH in Varel, Indus-tryArena competence network for production (2022), on-line erschienen am 01. April 2022, 2 Seiten

Reuter, L.: (2022): Fokus Ressourceneffizienz - Er-folgreicher Projektabschluss Antriebsstrang 2025, IndustryArena Competence network for production (2022), online erschienen am 13. Juli 2022, Seiten

Voelker, H.: (2022): Markierungsfreie Bauteil-identifikation dank einzigartiger Oberfläche, phi Produktionstechnik Hannover informiert (2022), online erschienen am 01. Juni 2022, Nr. 35, 2 Seiten DOI: <https://doi.org/10.48811/phi-22-010>, ISSN: 2198-1922

Settnik, S.: (2022): Integrierte Instandhaltungs-und Produktionsplanung in BaSys 4, Indus-tryArena Competence network for production (2022), online erschienen am 18. März 2022, 2 Seiten.

Settnik, S.: (2022): Zukunftscluster-Finalist „DualTwins4Industry“ eingereicht, IndustryArena Competence network for production (2022), onli-ne erschienen am 27. April 2022, 2 Seiten

Dierend, H., Wolf, A., Malek, T., Nguyen, H. N., Lachmayer, R., Denkena, B.: (2022): Digital Twins in Optics, PhoenixD Magazin (2022), S. 34

Kettelmann, S.: (2022): Ökologisch nachhaltig mit unternehmensübergreifenden Prozessketten, Indu-

stryArena competence network for production (2022), online erschienen am 16. August 2022, 2 Seiten

Denkena, B., Wichmann, M., Räker, R.: (2022): Adaptive Entgratung unter Einfluss von Formfehlern, Mittelstand-Digital Magazin (2022) Nr. 2, S. 42-45

Denkena, B., Wichmann, M., Pillkahn, P., Gläs-ner, T., Wenserski, J., Soffner, W.: (2022): Additive Prozesse in der automobilen Serie, Industrieanzei-ger (2022), Nr. 4, S. 38-41

Reuter, L.: (2022): Datenbasierte Qualitätsprüfun-gen reduzieren vermeidbare Prüfaufwände, Indu-stryArena Competence network for production (2022), online erschienen am 08. Dezember 2022, 2 Seiten

Denkena, B., Malek, T., Winkler, M., Wichmann M.: (2022): Controlling Coolant Pressure Brings Enormous Energy Savings, Open Mind The Cam Force (2022), online erschienen am 24. Oktober 2022, 3 Seiten.

Malek, T., Winkler, M., Denkena, B., Wichmann, M.: (2022): Energieeffiziente Pro-zessplanung, VDI-Z BD. 164 (2022), Nr. 4, S. 38-41.

Denkena, B., Wichmann, M., Wulf, M.: (2022): Revolutionäres Werkzeugschleifen, dank digitalem Zwilling, Diamond Business, Vol. 82 (2022) Nr. 3, S. 26-29

Denkena, B., Wichmann, M., Friebe, S., Heide, K.: (2022): Fräs- und Formwerkzeuge nachhaltig wiederaufbereiten, maschinenbau, Vol. 2 (2022), Nr. 6, 4 Seiten.

Fischer, L.: (2022): Frugale Digitalisierung, Mittel-stand-Digital Zentrum Hannover (2022), online er-schienen, 4 Seiten.

Digwa, C.: (2022): Digitale Tools für die Gastrono-mie, Mittelstand-Digital Zentrum Hannover (2022), online erschienen, 5 Seiten

Digwa, C.: (2022): Mehr Umsatz für die Gastrono-mie durch interaktive Speisekarten, Mittelstand-Digital Zentrum Hannover (2022), online erschie-nen, 6 Seiten

Digwa, C.: (2022): Restaurantmanagement Names KI, Foodservice (2022), Nr. 11, S. 194-195.

Denkena, B., Wichmann, M., Kaiser, S., Wink-ler, M.: (2022): Mit teilautonomer Fertigungszel-le MDR-Anforderungen erfüllen, DeviceMed (2022), Jahrgang 2018, Nr. 1-2, S. 62-63. ISSN: 1860-9414

Vorträge

Heikebrügge, S., Breidenstein, B., Bergmann, B.: (2022): Residual stresses of thick sheet butt welds influenced by deep rol-ling, 11th international conference on residual stresses (2022), 27.-30. March 2022, Nancy, France, 38 Seiten.

Heikebrügge, S., Breidenstein, B., Bergmann, B., Dänekas, C., Schaumann, P., Schubnell, J.: (2022): Identification of material properties for finite element simulation of the deep rolling process applied to welded joints, 10th CIRP Global Web Conference – Material Aspects of Manufacturing Processes, Procedia CIRP Vol. 115 (2022), 25.-27. October 2022, virtual conference, 21 Seiten.

Denkena, B., Bergmann, B., Wolters, P.: (2022): Wear reduction in continuous generating grinding of milling tools with CBN-grinding worms, 19th International Conference on Precision Engineering (2022), 28. November – 2. December 2022, Nara, Japan, 12 Seiten.

Puls, L.: (2022): In-situ measurement of the temperature inside the grinding wheel, Euspen, Special Interest Group Meeting: Thermal Issues (2022), 22.-23. March 2022, Zürich, Switzerland

Denkena, B., Ahlborn, P.: (2022): Mehrkoordinatenantriebstechnik für Vorschubachsen in Werkzeugmaschinen, 23. Dresdner Werkzeugmaschinen-Fachseminar (2022), 04. – 05. Juli 2022, Dresden, 19 Seiten.

Denkena, B., Kaiser, S.: (2022): Energy-efficient Machine Tools and Technologies, International Conference on Precision Engineering and Sustainable Manufacturing (PRESM 2022), 20.-22. July 2022, Jungmun, Jeju-do, Korea, 21 Seiten.

Denkena, B., Klemme, H., Böhse, F.: (2022): State space controller for actuator control of an active jerk decoupled feed drive, Precision Motion Systems & Control, Euspen, (2022), 15.-16. November 2022, Brabanthallen's-Hertogenbosch, The Netherlands, 27 Seiten.

Denkena, B., Klemme, H., Stoppel, D.: (2022): The impact of training data selection on machine learning algorithms using the example of force reconstruction, The 71th CIRP General Assembly (2022), 21.-27. August 2022, Bilbao, Spain, 14 Seiten.

Denkena, B., Wichmann, M., Noske, H., Stoppel, D.: (2022): Boundary conditions for the application of machine learning based monitoring systems for supervised anomaly detection in machining, CIRP ICM (2022), 16th CIRP International Conference on Intelligent Computation in Manufacturing Engineering, 13.-15. July 2022, virtual conference, 9 Seiten.

Digwa, C.: (2022): Digitalisierung in der Gastronomie - Was ist möglich? Was ist nötig?, "Impulse für den Mittelstand" der IHK Lüneburg-Wolfsburg (2022), 02. März 2022, Lüneburg, Deutschland, "Transformationstag" der Arbeitsagentur Hannover (2022), 18. Mai 2022, Hannover, Deutschland, MDZ-Webinar (2022), 12. Juli 2022, virtuelle Konferenz und IHK Lunchbreak (2022), 21. Juli 2022, 46 Seiten.

Digwa, C.: (2022): Gastronomie 4.0 - Ihr Vorteil durch digitale Ideen, Mittelstand-Digital Zentrum Hannover (2022), 03. Mai 2022, Hannover, Deutschland, 26 Seiten.

Digwa, C.: (2022): Gastro 4.0 - Herausforderungen, IHK Fachausschuss Tourismus (2022), 10. Oktober 2022, Osnabrück, Deutschland, "Impulse für den Mittelstand" – Gastro 4.0 der IHK (2022), 07. November 2022, Lüneburg-Wolfsburg, Deutschland, IHK Tourismusausschuss (2022), 09. November 2022, Braunschweig, Deutschland, 8 Seiten.

Digwa, C.: (2022): Start-up-Strategie, 4. Konsortialtreffen, Mittelstand-Digital Zentrum Hannover (2022), 07. November 2022, Garbsen, Deutschland, S. 35-39.

Digwa, C.: (2022): Digitalisierung in der Campus Brauerei, PIN-Industrieforum (2022), 08. November 2022, Hannover, Deutschland, 7 Seiten.

Fischer, L.: (2022): WissenSchaf(f)tUnternehmen Digitalisierung, Künstliche Intelligenz, Mittelstand-Digital Zentrum Hannover (2022), 08. November 2022, Hannover, Deutschland, 10 Seiten.

Denkena, B., Fischer, L.: (2022): Cutting-Edge research in Hannover, Invited Workshop on "Advanced Frugal Innovation" (2022), 28.-29. September 2022, Hannover, Germany, 17 Seiten.

Fischer, L., Malshe, A. P., Bapat, S., Digwa, C.: (2022): Understanding Frugal Engineering, Invited Workshop on "Advanced Frugal Innovation" (2022), 28.-29. September 2022, Hannover, Germany, 19 Seiten.

Konferenz (reviewed)

Denkena, B., Bergmann, B., Raffalt, D.: (2022): Manufacturing Of Graded Grinding Layers, World PM2022 Congress & Exhibition (2022), 09.-13. October 2022, Lyon, France

Denkena, B., Bergmann, B., Geschwind, T.: (2022): Determination Of The Influence Of The Mixing Quality On The Grinding Tool Bond After Sintering, World Powder Metallurgy Association (EPMA) - World PM2022 - Session 23 : Hard metals, cermets and diamond tools - Processing I (2022), 09.-13. October 2022, Lyon, France

Denkena, B., Bergmann, B., Lang, R.: (2022): Grinding Behaviour Of Metal-Bonded Diamond Grinding Wheels With An Additive Of Chromium As A Carbide-Forming Element, World PM2022 - Session 37: Hard metals, cermets and diamond tools - Processing II (2022), 09.-13. October 2022, Lyon, France

Breidenstein, B., Bergmann, B., Köhler, L.: (2022): In-situ measurement of the temperature inside the grinding wheel, Special Interest Group Meeting on Thermal Issues ETH (2022), 22.-23. March 2022, Zurich, Switzerland

Heikebrügge, S., Breidenstein, B., Bergmann, B., Dänekas, C., Schaumann, P., Schubnell, J.: (2022): Identification of material properties for finite element simulation of the deep rolling process applied to welded joints, 10th CIRP Global Web Conference – Material Aspects of Manufacturing Processes, Procedia CIRP Vol. 115 (2022), 25.-27.

October 2022, virtual conference, S. 30–35
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.procir.2022.10.045>

Denkena, B., Hurschler, C., Bergmann, B., Legutko, B., Gustav, M., Welke, B.: (2022): Influence of surface topography on junction strength of modular hip endoprostheses, CirpBioM2022 – V Cirp conference on BioManufacturing, Procedia CIRP 110 (2022), 22-24 June 2022 in Calabria, Italy, DOI: 10.1016/j.procir.2022.06.014, ISSN: 2212-8271

Budde, L., Merkel, P., Prasanthan, V., Bährisch, S., Faqiri, M. Y., Lammers, M., Stonis, M., Hermsdorf, J., Hassel, T., Uhe, J., Behrens, B.-A., Breidenstein, B., Overmeyer, L.: (2022): Combination of cladding process with subsequent hot forming as a new approach for the production of hybrid components, Solid Freeform Fabrication 2022: Proceedings of the 33rd Annual International Solid Freeform Fabrication Symposium – An Additive Manufacturing Conference (2022), 25.-27. July 2022, Austin, USA, S.

Coors, T., Faqiri, M. Y., Saure, F., Kahra, C., Büdenbender, C., Peddinghaus, J., Prasanthan, V., Pape, F., Hassel, T., Herbst, S., Nürnberger, F., Wester, H., Uhe, J., Breidenstein, B., Denkena, B., Behrens, B.-A., Poll, G., Maier, H. J.: (2022): Investigations on Additively Manufactured Stainless Bearings, Coating, Vol. 12 (2022), Nr. 1699, DOI: <https://doi.org/10.3390/coatings12111699>

Denkena, B., Bergmann, B., Kaiser, K.: (2022): Close-to-process compensation of geometric deviations on implants based on optical measurement data, 14th CIRP Conference on Intelligent Computation in Manufacturing Engineering, Procedia CIRP 112 (2022) 15.-17. July 2022, Gulf of Naples, Italy, S. 122.127, DOI: 10.1016/j.procir.2022.09.049

Denkena, B., Klemme, H., Stoppel, D.: (2022): Machine Learning Based Reconstruction of Process Forces, Advances in System-Integrated Intelligence, Proceedings of the 6th International Conference on System-Integrated Intelligence (SysInt 2022), 07.-09. September 2022, Genova, Italy, S. 23-32, DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-031-16281-7_3

Denkena, B., Klemme, H., Böhse, F.: (2022): State space controller for actuator control of an active jerk decoupled feed drive, Precision Motion Systems & Control, Euspen, (2022), 15.-16. November 2022, Brabanthallen's-Hertogenbosch, The Netherlands

Ottermann, R., Zhang, S., Denkena, B., Klemme, H., Kowalke, D., Korbacher, M., Dencker, F., Wurz, M. C.: (2022): In Situ Resistance Trimming of Directly Deposited Thin-Film Strain Gauges, IEEE Sensors (2022), 30. October - 2. November 2022, Dallas, Texas USA, ISBN: 978-1-6654-8464-0

Denkena, B., Klemme, H., Wnendt, E., Meier, M.: (2022): Sensing chuck for thin-walled workpieces, The 19th International Conference on Precision Engineering (ICPE, 2022), 28. November - 02. December 2022, Nara, Japan

Eichelberger, H., Palmer, G., Reimer, S., Vu, T. T., Do, H., Laridi, S., Weber, A., Niederee, C., Hildebrandt, T.: (2022): Developing an AI-enabled IIoT platform - Lessons learned from early use case validation, Third Workshop on Systems, Architectures, and Solutions for Industry 4.0, 16th European Conference on Software Architecture (ECSA 2022), 19.-23. September 2022, Prague, Czech Republic, DOI: <https://doi.org/10.48550/arXiv.2207.04515>

Goeing, J., Seehausen, H., Stania, L., Nübel, N., Salomon, J., Ignatidis, P., Dinklacker, F., Beer, M., Denkena, B., Seume, J. R., Friedrichs, J.: (2022): Virtual Process for Evaluating the Influence of Real Combined Module Variations on the Overall Performance of an Aircraft Engine, Proceedings of Global Power and Propulsion Society, GPPS Chania (2022), 12.-14. September 2022, Chania, Greece, DOI: [10.33737/gpps22-tc-89](https://doi.org/10.33737/gpps22-tc-89) ISSN: 2504-4400

Schönemann, L., Dörgeloh, T., Riemer, O., Schreiber, P., Klemme, H., Denkena, B.: (2022): Ultra-precision high performance cutting of nickel silver using a magnetically levitated feed axis, euspen's 22nd International Conference & Exhibition (2022) 30th May – 3rd June 2022, Geneva, CH

Denkena, B., Wichmann, M., Pillkahn, P.: (2022): Effect of mechanical finishing on residual stresses and application behavior of wire arc additive manufactured aluminum components, 6th CIRP Conference on Surface Integrity, Procedia CIRP 108 (2022), 08.-10. June 2022, Lyon, France, S. 135–140. DOI: [10.1016/j.procir.2022.03.026](https://doi.org/10.1016/j.procir.2022.03.026)

Denkena, B., Wichmann, M., Wulf, M.: (2022): Optimierte Prozessplanung durch digitale Zwillinge für das Werkzeugverschleifen, Schweizer Schleif-Symposium (2022), 06.-07. September 2022, Zürich, Schweiz,

Denkena, B., Dittrich, M.-A., Settnik, S. J.: (2022): Similarity-based Process and Set-up Time Estimation, Proceedings of the 8th CARV 2021 and the 10th World MCPC 2021, Aalborg, Denmark, Oct/Nov 2021, S. 603-611, DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-030-90700-6_68

Denkena, B., Breidenstein, B., Dittrich, M.-A., Wichmann, M., Nguyen, H. N., Fricke, L. V., Zarembo, D., Barton S.: (2022): Setting of deformation-induced martensite content in cryogenic external longitudinal turning, 6th CIRP Conference on Surface Integrity, Procedia CIRP 108 (2022), 08.-10. June 2022, Lyon, France, DOI: [10.1016/j.procir.2022.03.030](https://doi.org/10.1016/j.procir.2022.03.030)

Denkena, B., Horst, P., Heimbs, S., Schmidt, C., Reichert, L., Tiemann, T.: (2022): Automated fiber placement: The impact of manufacturing constraints on achieving structural property targets for CFRP-stiffeners, 16th CIRP Conference on Intelligent Computation in Manufacturing Engineering, CIRP ICME '22, (2022), 13.-15. July 2022, Virtual Conference

Herwig, A., Schmidt, C., Horst, P.: (2022): Investigation of the Strainfield surrounding complex-shaped local fiber metal hybrids, Composites Meet Su-

stainability – Proceedings of the 20th European Conference on Composite Materials, ECCM20, 26.-30. June 2022, Lausanne, Switzerland, DOI: <https://doi.org/10.1016/j.procir.2021.03.063>

Denkena, B., Schmidt, C., Schmitt, C., Kaczmirz, M.: (2022): In-situ Automated Fiber Placement System for Manufacturing of Aerospace-grade Thermoplastic Composites – Elastic Consolidation Roller, 6th International Conference & Exhibition on Thermoplastic Composites, ITHEC (2022), 12.-13. October 2022, Bremen, Germany, S. 205-208.

Denkena, B., Breidenstein, B., Wichmann, M., Nordmeyer, H., Reuter, L., Voelker, H.: (2022): Marker-free identification of milled surfaces by analyzing stochastic and kinematic surface features by means of wavelet transformation, 6th CIRP Conference on Surface Integrity, Procedia CIRP 108 (2022), 8th and 10th of June 2022, Lyon, France, S. 264–269. DOI: [10.1016/j.procir.2022.03.046](https://doi.org/10.1016/j.procir.2022.03.046)

Konferenz

Pape, F., Poll, G., Katzsch, D., Clemm, O., Denkena, B.: (2022): Investigations on micro structured surfaces to increase the efficiency of constant velocity joint shafts, 63. Tribologie-Fachtagung - Gesellschaft für Tribologie e.V. (2022), 26.-28. September 2022, Göttingen, Deutschland, 9 Seiten.

Denkena, B., Wichmann, M., Reuter, L., Schlenker, F.: (2022): Realizing digital twins in the aircraft industry by using simulation-based soft sensors, 22nd Machining Innovations Conference for Aerospace Industry 2022 (MIC 2022), 30. November - 1. December 2022, Hannover, Germany, S. 72-79.

Denkena, B., Schmidt, C., Schmitt, C., Kaczmirz, M.: (2022): In-situ Automated Fiber Placement System for Manufacturing of Aerospace-grade Thermoplastic Composites – Elastic Consolidation Roller, 6th International Conference & Exhibition on Thermoplastic Composites, ITHEC (2022), 12.-13. October 2022, Bremen, Germany, S. 205-208.

Denkena, B., Schmidt, C., Bogenschütz, M., Werner, S.: (2022): Determination and impact of fibre angle deviations in automated processing of carbon fiber non-crimp fabrics, ACM5 - 5th International Symposium on Automated Composites Manufacturing (2022), 06.-07. April 2022, Bristol, United Kingdom, 2 Seiten.

Reichert, L., Tiemann, T., Schmidt, C., Heimbs, S., Horst, P.: (2022): Investigation of Novel Fe-Based Modeling Approaches for Stiffened CFRP Aircraft Structures, Composites Meet Sustainability – Proceedings of the 20th European Conference on Composite Materials (2022) ECCM20, 26.-30. June 2022, Lausanne, Switzerland, 8 Seiten.

Fix, J., Schmidt, C., Meiners, D.: (2022): Effect of Tape Feed Parameters on Temperature in Prepreg Tape During Thermoplastic Automated Fiber Placement, 6th International Conference & Exhibition on Thermoplastic Composites (2022) ITHEC 2022, 12.-13. October 2022, Bremen, Germany, S. 177-180.

Friedel, A., Heimbs, S., Horst, P., Schmidt, C., Timmermann, M., Hakiri, F., Herwig, A.: (2022): Impact Automated Fibre Placement Induced Defects on the Compression Behaviour of CFRP Structures, SAMPE Europe Conference (2022), 15.-17. November 2022, Hamburg, Germany, 9 Seiten.

Wesentliche Neuanschaffungen

Modalanalyse Messsystem

DMG MORI CTX gamma 2000 TC Turn & Mill-Maschine

Photron FASTCAM NOVA S20
Hochgeschwindigkeitskamera
Hochpräzisionsbearbeitungszentrum Kern Micro HD zur Erforschung der Fertigung von optischen Systemen im Exzellenzcluster PhoenixD (Photonics, Optics, and Engineering – Innovation Across Disciplines)





Professor Marc Christopher Wurz, Institutsleiter

Geschichte des Instituts

Das IMPT behandelt seit 2004 am Standort des PZH verschiedenste Fragen der Mikroproduktionstechnik. Die Forschungsausrichtung wurde dabei maßgeblich von den Institutsleitern geprägt, die durch Ihre unterschiedlichen Expertisen das Institut weiterentwickeln konnte. So hat Prof. Gatz den Schwerpunkt der magnetischen Systeme geprägt, Prof. Rissing die Aufbau- und Verbindungstechnik als Forschungsfeld etabliert und Prof. Wurz den Schwerpunkt der Quantensysteme entwickelt. Prof. Wurz ist seit 1.10.2022 neuer Institutsleiter des IMPT konnte aber bereits in seiner Zeit bis 31.05.2020 als Oberingenieur des IMPT den Schwerpunkt der Quantentechnologien am IMPT verwurzeln. Das IMPT gilt sowohl fakultätsübergreifend in der LUH als auch darüber hinaus als verlässlicher Partner im Bereich der Grundlagenforschung als auch in der Entwicklung applikationsspezifischer Anwendungen. Zur Bewältigung dieser Aufgaben gliedert sich das Institut in drei Arbeitsgruppen auf. Die AG „Industriennahe Sensorik“ befasst sich mit der Integration von applikationsspezifischen Sensorsystemen auf Basis der Dünnschichttechnik zur Überwachung und Datenerfassung von produktionstechnischen Prozessen. Hieraus entwickelt sich derzeit auch ein Themenschwerpunkt, der sich der Aufgabe von „Embedded Systems“ widmet. Die AG „Magnetische und Biomedizinische Anwendungen“ verfolgt das Ziel miniaturisierte Implantate zu entwickeln und dabei die Mikrosystemtechnik als Enabling Technologie für Innovationssprünge zu nutzen. Dabei erfolgen diese Entwicklungen im Rahmen unserer langfristigen Kooperationen mit der Medizinischen Hochschule Hannover (MHH). Als dritte Arbeitsgruppe hat sich die „Quantentechnologie“ etabliert. Hier wird eine weitreichende Schlüsseltechnologie des 21. Jahrhunderts erforscht und auch in Demon-

strationsmustern mikro- und nanotechnologisch gefertigt. Darüber hinaus werden in dieser AG auch optischen Systeme beforscht, um die Gesamtheit eines miniaturisierten Quantensystems abbilden zu können.

Aus der Forschung

Die Technologieplattform des IMPT ist bewusst sehr breit aufgestellt damit verschiedenste wissenschaftliche Fragestellungen ganzheitlich betrachtet werden können und mit Hilfe der vorhandenen mikrosystemtechnischen Prozesskette umzusetzen. Ziele sind dabei neben der Fertigungstiefe auch mehr die Prozessstabilität zu berücksichtigen, um daraus ein gesichertes Prozessverständnis zu erlangen. 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 und für die Materialanalyse stehen sowohl FIB, XPS, EDX, Ramanspektrometrie zur Verfügung. Die mechanischen Größen auf dieser Skala werden mittels Nanoindenter und ein Tribometer bestimmt. So können mechanische Kontaktpaarungen bei Temperaturen bis zu 1.000 °C in Inert- bzw. Reaktivatmosphären untersucht werden. Damit verfügt das IMPT über ein breites Technologiespektrum um in-house Technologien für die Quantensysteme zu beforschen. Dieses Themenfeld umfasst neben der Quantensensorik auch Fragen im Bereich des Quantencomputings. Wichtiger Baustein ist dabei das Entwicklungs-Know-how für applikationsspezifische Aufbauten, um bspw. unter

Vakuum zu fügen oder auch mit reaktionsfreudigen Materialien wie Alkalimetallen umgehen zu können. Das Technologie-Know-how des IMPT umfasst daher die Dünnschichttechnik, Präzisions- und Oberflächenbearbeitung, Aufbau- und Verbindungstechnik sowie die Untersuchung der mechanischen Eigenschaften auf der Mikro- und Nanoskala. Rund um Fragestellungen entlang der Prozesskette verfügt das IMPT über die fertigungs- und messtechnische Ausstattung, um sowohl Mikrosystemtechnik für die Produktionstechnik als auch Prozessentwicklung zur Fertigung von Mikrosystemen insbesondere für den wachsenden Markt der Quantentechnologien durchzuführen. Hierfür betreibt das Institut einen ISO-5-Reinraum, in dem die Prozesskette abgebildet ist.

Neue Sensortechnologien lösen Industrieherausforderungen

Am IMPT werden verschiedene anwendungsspezifische Sensorlösungen entwickelt. Beispielsweise fördert das „Zentrale Innovationsprogramm Mittelstand (ZIM)“ das Projekt „Tiefziehsensorik: Entwicklung eines robusten induktiven Mikrosensors“. Das Folgeprojekt in Kooperation mit den zwei Industriepartnern GDH Metallverarbeitungs GmbH und KIMA Process Control GmbH erforscht die Weiterentwicklung der induktiven Tiefziehsensorik zur Überwachung der Ziehteilqualität. Der Sensorschwerpunkt liegt auf dem transformatorischen Prinzip, wobei die Sensorauslegung auf einer FEM-Analyse basiert. Das Sensorsignal ist dabei abhängig von der Position der Tiefziehblechkante über dem planaren Sensor. Hierbei wird neben der Prozessplanoptimierung auch eine Verschleißschuttschicht erforscht. Aufgrund der komplexeren Geometrie der Tiefziehteile kommen mehrere Sensoren gleichzeitig zum Einsatz. Unter Verwendung eines breiten Spektrums von Werkstoffen, Arbeitstemperaturen (bis 100 °C) und Umformparametern sollen Schadensfälle (Riss- oder Faltenbildung) erkannt werden, sodass frühzeitig eine Regelung stattfinden kann. Somit lässt sich die Ausschussquote reduzieren und die Prozessqualität steigern.

Im DFG-Projekt „Kraftsensitive Führungssysteme auf Basis direktabgeschiedener bauteilindividueller Sensorik“ forscht das IMPT mit dem Institut für Fertigungstechnik und Werkzeugmaschinen (IFW) und den Industriepartnern Focke und Bosch Rexroth an der Prozessüberwachung von Werkzeugmaschinen geforscht. 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 Linearprofilbahnen bewegen. Anhand von FEM-Simulationen werden optimale Sensorpositionen ermittelt, um Kräfte und Momente am Einzelwagen und im Verbund mittels Sensordatenfusion aufzunehmen. Es konnte bereits gezeigt werden, dass hohe Kraftauflösungen erreicht werden, die Deh-

nungen von weniger als 1 µm/m entsprechen. Die Anpassung des Sensorlayouts an den individuellen Anwendungsfall ist ein weiterer Vorteil, der diese Technologie attraktiv für Industrieanwendungen macht.

Auch bei weiteren 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. Für dieses Vorhaben 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 diese wertvolle Rückschlüsse über Schlupf, Tangentialkräfte und Normalkräfte im Wälzkontakt geben. Somit werden kritische Betriebszustände frühzeitig erfasst, sodass eine Regelung rechtzeitig eingreifen kann.

Im Rahmen der 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 ermöglicht eine niedrigere Sintertemperatur und der Einsatz von Ultraschall reduziert die Prozesszeiten. Gleichzeitig wird ein Sensor entwickelt, um die Temperaturerhöhung direkt in der Wirkzone bei Ultraschalleinwirkung zu messen.

Exzellenzcluster PhoenixD

In Zusammenarbeit mit dem Exzellenzcluster PhoenixD entwickelt und fertigt das IMPT eine kunststoffbasierte spritzgeossene 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 Formeinsätzen, Wafern oder Folien erzeugt werden.

Die Arbeiten an diesem Projekt konnten auch im Jahr 2022 erfolgreich weitergeführt 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 ungehauster Bauteile sowie Gitterstrukturen erfolgreich gefertigt werden konnten. Außerdem wurden erste Versuche zur strukturierten Aufbringung von MOFs mittels Lithografie in Kooperation mit dem ACI erfolgreich durchgeführt. Zukünftig wird durch eine Erweiterung des Anlagenparks im Rahmen der HARD-Initiative auch die Lichtwellenleiterfertigung aus den optisch hoch interessanten Materialien Glas und Diamant am IMPT möglich sein, wodurch interessante Verknüpfungspunkte mit anderen Arbeitsgruppen und Instituten innerhalb des Clusters entstehen. Besonders erwähnenswert ist hierbei die Erzeugung von Superkontinuen in Diamant-Lichtwellenleitern in Kooperation mit dem HOT. Es warten also noch einige spannende Herausforderungen für das kommende Jahr. Die erfolgreiche Zusammenarbeit mit den Arbeitsgruppen am ITA, IFUM, LZH, HOT und ACI wird auch im Jahr 2023 weitergeführt und intensiviert.

GaN4AP

Das Projekt GaN for Advanced Power (GaN4AP) ist ein internationales Kooperationsprojekt, das durch die EU-Initiative ECSEL gefördert wird und sich mit der Entwicklung von Spannungswandlersystemen auf Basis von Galliumnitridtransistoren befasst. Neben dem IMPT sind weitere Partner aus Deutschland, Italien, Tschechien, Polen, Niederlande und Frankreich involviert. Die Motivation der europäischen Forschungsgemeinschaft, gemeinschaftlich tätig zu werden, ist der weltweite Anstieg an Hybrid- und Elektroautos und der damit einhergehende Forschungsbedarf zur Erhöhung der Systemeffizienz. Vor allem in der Ladetechnik wird Hochleistungselektronik benötigt, um trotz hoher Spannungen und Strömen über 100 Ampere kompakte Platinen zu entwickeln.

Aufgrund seiner Eigenschaften ermöglicht das Halbleitermaterial Galliumnitrid den Aufbau von Transistoren, die im Vergleich zu Silizium mit höheren Schaltfrequenzen und deutlich höheren Spannungen betrieben werden können und dabei geringere Verluste aufweisen. Das IMPT ist am Projekt mit der Herstellung von Transformatoren und Induktivitäten in Planartechnik beteiligt, die aufgrund ihrer neuartigen Bauweise dabei helfen, den geringen Platz auf der Platine besser zu nutzen. Diese sind zum Ansteuern der Transistoren durch die galvanische Entkopplung des Steuersignals essenziell. Zum Aufbau der Transformatoren werden zwei Ansätze verfolgt: Ein Ansatz basiert auf der Integration des Bauteils direkt in die Leiterplatte, ein anderer nutzt sogenannte Molded Interconnect Devices (MIDs). Dabei werden die weichmagnetischen Kerne in eine Kunststoffmatrix eingebettet und das so entstandene Gehäuse mit Hilfe von Laser- und Beschichtungstechnologie funktionalisiert.

Die Entwicklung des letzteren Ansatzes zeigt dabei vielversprechende Ergebnisse. Ein weichmagnetischer Kern wird durch die Verwendung eines zwei-Stufen Spritzgussvorgangs mit PEEK umspritzt, sodass ein PEEK Substrat mit einer Höhe von weniger als 2,5 mm entsteht. Die Leiterbahnen um den Kern werden durch das Laser-Direktstrukturierungsverfahren auf dem PEEK Substrat realisiert. Die Verwendung eines Lasersystems im Gegensatz zum herkömmlichen Wickeln von Mikrospulen bietet einige Vorteile. Es können auf komplexe und teure Wicklungsmaschinen verzichtet werden und eine hohe Flexibilität und Komplexität des Designs sind umsetzbar. Die Nutzung von MID Technik ermöglicht es planare Spulen, Drosseln und Transformatoren für die Ladetechnik von Hybrid und Elektroautos zu produzieren, welche von dem Konsortium in GaN4AP gefordert wird.

Mechanische Mikrobearbeitung und -montage

Zur Herstellung mikroelektronischer mechanischer Systeme (MEMS) ist es erforderlich, typische Materialien wie Silizium, Aluminiumoxid oder Siliziumoxid zu strukturieren. In diesem Bereich verfügt das IMPT über mehr als 20 Jahre Erfahrung, um den hohen geometrischen Anforderungen an mikroskalige Strukturen durch spanende, z. B. Trennschleifen, oder chemisch-mechanische Bearbeitung gerecht zu werden.

Das Trennschleifen ist ein verbreitetes mechanisches Verfahren zur Vereinzelung von im Batch-Prozess gefertigten Silizium-Wafern zu einzelnen Chips, kann darüber hinaus aber auch zur hochpräzisen Strukturierung von Silizium angewendet werden. Am IMPT werden aktuell so pyramidenförmige Feldemissionsquellen mit einer Grundfläche von $200 \times 200 \mu\text{m}^2$ gefertigt. Die Spitzen gängiger Silizium-Feld-Emitter werden üblicherweise mittels nasschemischem Ätzen hergestellt, sind deutlich kleiner (wenige μm) und besitzen einen Spitzenradius von wenigen Nanometern. Eine an diesem kleinen Radius erzeugte Hochspannung führt zu einer großen elektrischen Feldstärke, wodurch wiederum Elektronen aus dem Material freigesetzt werden können. Die am IMPT hergestellten Emitter hingegen besitzen durch die bei der mechanischen Bearbeitung auftretenden Materialabsplitterungen am einkristallinen Silizium eine Vielzahl unendlich scharfer Kanten. Dadurch soll nicht nur eine Verringerung der notwendigen Emissionsspannung, sondern auch eine erhöhte Lebensdauer erreicht werden.

Ein weiteres Forschungsfeld am IMPT sind Mikrowerkzeugen. In einem Projekt werden Mikroschleifstifte hergestellt, die in Kombination mit einer elektrochemischen Oxidation der Bauteiloberfläche für eine optimierte mechanische Präzisionsbearbeitung führt. Die Mikroschleifstifte zeigen dabei bereits eine Verbesserung der Oberflächengüte bei einem Einsatz an reinen Kupfer-Werkstücken. Auch an Kupferoxiden, die chemisch und physikalisch hergestellt wurden, ist eine Verbesserung der Oberflächengüte zu erkennen, die über die, die bei reinen Kupferwerkstücken auftritt, hinausgeht. Die elektrochemische Oxidation des Kupfers ist durch

eine zusätzliche Oxidationskammer direkt in der Werkzeugmaschine integriert worden, sodass die Oxidation des Kupfers und die mechanische Bearbeitung als iterativer Prozess durchgeführt werden können. Dadurch können lokal hohe Oberflächengüten erreicht werden. Das zweite Projekt beschäftigt sich mit der Entwicklung von Mikrofräswerkzeugen. Die Herstellung erfolgt mittels Trockenätzverfahren und als Fräsermaterial wird Siliziumcarbid verwendet. Dadurch lassen sich mehrere Tausend Fräsköpfe gleichzeitig per Batchprozess fertigen, die anschließend per Fügeprozess auf einen Werkzeugschaft gefügt werden. Für den Fügeprozess werden verschiedene chemische und mechanische Oberflächenvorbehandlungen evaluiert, die zu einer besseren Haftung führen sollen. Hier zeigen sich besonders die mechanischen Bearbeitungen als vielversprechend. Als Fügemedium erweisen sich UV-aushärtende Klebstoffe als zielführend für eine schnelle und feste Fügung zwischen Fräskopf und Werkzeugschaft. Die Platzierung der Fräsköpfe erfolgt durch eine Pick-and-place-Maschine, mit der höchste Genauigkeiten bei der Ausrichtung im einstelligen Mikrometerbereich erreicht werden. Im Anschluss soll der gesamte Prozess dann mit dem Projektpartner auf einen industriellen Maßstab erweitert werden.

Mikrotribologie

Den Einfluss unterschiedlicher Atmosphären auf die auftretenden Verschleißmechanismen der Zerspan- und Umformtechnik untersucht das IMPT im Teilprojekt C03 „Werkzeugverschleißschutz“ des SFB 1368 „Sauerstofffreie Produktion“. Durch das Entfernen der nativen Oxidschicht und das Verhindern dessen Neubildung ist mit einer Änderung der maßgeblichen Verschleißanteile und deren Mechanismen sowie mit lokalen Legierungsbildungen zu rechnen. Hierzu wird durch die Nutzung einer Silandotierten Argon-Atmosphäre (Sauerstoffpartialdrücke $< 10^{-23}$ bar) eine sauerstofffreie, extreme Hochvakuum-adäquate Atmosphäre (XHV-adäquate Atmosphäre) geschaffen. Um die an der Kontaktstelle auftretenden Mechanismen möglichst isoliert betrachten und nachstellen zu können, werden applikationsspezifische Analysemethoden wie z.B. speziell metallisierte, flache Indenter-Spitzen aus Silizium für Adhäsionsmessungen entwickelt und validiert. Dadurch können grundlegende Erkenntnisse über die Kontaktadhäsion zwischen Festkörpern von makro- bis nanomechanischen Strukturen nach einer partiellen Entfernung und der definierten Einstellung der Oxidschichtdicke gewonnen werden. Die Entwicklung und Herstellung von bauteilinhärenten Sensoren auf der Oberfläche von Analysewerkzeugen wie Ball-on-Disc-Kugeln ermöglicht bspw. die Messung der reibinduzierten Temperaturerhöhung direkt in der Wirkzone im tribologischen Kontakt. Diese Ergebnisse werden zur Validierung und iterativen Erweiterung eines entwickelten Verschleißmodells in sauerstofffreier Umgebung verwendet. Die Ziele dieses Projekts sind zum einen die Identifizierung und Charakterisierung von Verschleißmechanismen in Silan-dotierten Atmosphären, um ein grundlegendes Verständnis mikrotribologischer Phänomene zu erreichen. Zum anderen werden die gewonnenen Erkenntnisse aus dem Material-

und Schichtverhalten genutzt, um etablierte Beschichtungen auf ihr Einsatzverhalten in XHV-adäquater Atmosphäre zu untersuchen und neuartige Beschichtungen durch die Zugabe von Reaktivgasen zu etablieren. Es werden dabei Mechanismen für karbid- und nitridbasierte Werkstoffsysteme (SiC, DLC, Si₃N₄ etc.) unter XHV-adäquaten Atmosphären erforscht. Des Weiteren wird der Einfluss der Silankonzentration auf mögliche tribologisch vorteilhafte und verschleißmindernde Si/SiO₂-haltige Deckschichten analysiert. Mittels Atmosphärendruckplasma und plasmaaktivierter chemischer Gasphasenabscheidung mit Reaktivgasen wie Acetylen, Ammoniak, Hexamethyldisiloxan oder Silan werden definierte Schichten erzeugt. Anschließend erfolgt die Charakterisierung in XHV-adäquater Atmosphäre im Rahmen von Modellversuchen hinsichtlich der tribologischen, mechanischen und Korrosionseigenschaften in unterschiedlichen Temperaturbereichen. Die gewonnenen Kenntnisse werden genutzt, um Verschleißschutzschichten auf Werkzeugen und Werkstücken für kooperierende Teilprojekte bereitstellen zu können.

Mikro meets Biomedizintechnik

Das Institut unterhält mehrere enge Kooperationen mit der medizinischen Hochschule Hannover im Rahmen biomedizinischer Forschungsthemen. Mit der Klinik für Pneumologie am DZL-Standort BREATH werden mikrofluidische Systeme weiterentwickelt um Lungengewebe über Multi-Omics Analysen untersuchen zu können. Innerhalb des SFB/TRR 298 SIIRI (Sicherheits-Integrierte und Infektions-Reaktive Implantate) werden zum einen Elektrodensträger mikrotechnologisch hergestellt, zum anderen Implantatbeschichtungen zur Haftungsverbesserung evaluiert. Es werden aber auch Möglichkeiten zur additiven Fertigung von neuartigen Implantatmaterialien und Lösungsansätze für die pharmakologische Funktionalisierung von Dentalimplantaten erforscht. Mit dem Verbundinstitut für Audioneurotechnologie und Nanomaterialien (VIANNA) wurden Arbeiten zu Mittelohr-Aktoren abgeschlossen, während Tätigkeiten zur Funktionalisierung für Cochlea-Implantate vertieft werden, im Sinne von ansteuerbaren Aktuierungen und durch Licht ausgelöste Arzneimittelfreigabe. Die Abscheidung von Flüssigmetallen auf flexible Substrate aus der Dampfphase wird zusammen mit der Klinik für Unfallchirurgie hinsichtlich des Einsatzes für intelligente, sich eines Schwelungsrückgangs anpassende Gipsverbände untersucht.

Quantentechnologie

Die Quantentechnologie gilt als Schlüsseltechnologie des 21. Jahrhunderts. Seit 2016 ist das IMPT in diesem zukunftssträchtigen Gebiet aktiv und befasst sich im Rahmen der Exzellenzcluster Quantum Frontiers und PhoenixD, der Forschungsinitiative Quantum Valley Lower Saxony (QVLS) sowie in zahlreichen Drittmittelprojekten mit mikro- und nanotechnologisch hergestellten Quantensystemen und optischen Systeme. 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. Den ersten Schritt in der Quantentechnologie stellte das Projekt KACTUS dar. Das Ziel war die Entwicklung von Atomchip-Systemen zur hochpräzisen Messung der Fallbeschleunigung, die Anwendungsgebiete liegen im Bereich der Quantenmetrologie und der Geodäsie. Dieses Projekt bildete den Grundstein für die Etablierung der Quantentechnologie als neue Arbeitsgruppe am IMPT. Neben weiteren Projekten in der Atomchip-Entwicklung, konnte das Forschungs- und Anwendungsspektrum deutlich erweitert werden. Anstatt sich auf ein einzelnes System zu fokussieren, betrachten wir einen ganzheitlichen Ansatz, der neben dem Quantensensor als Kern-Element – in diesem Fall der Atomchip – auch die Peripherie und das Packaging betrachtet. Dabei umfasst das Thema der Quantentechnologie am IMPT neben den Atomchips inzwischen auch die Bereiche des Quantencomputings und der Atomuhren. Der Status Quo sieht vor, dass die Quantenchips im Rahmen von Laboraufbauten zum Einsatz kommen. Somit bleibt jedes System ein Unikat, der Betrieb erfordert einen erheblichen personellen- und anlagentechnischen Aufwand. 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. Unsere Vision besteht daher in der Weiterentwicklung vom Mikro-Elektro-Mechanischen-System (MEMS) hin zu einem Mikro-Quanten-System (MQS), in dem alle benötigten Funktionen für den Betrieb eines Quantensystems vereint sind. Die Erfolgsgeschichte der letzten sechs Jahre führte zur Verstetigung der Quantentechnologie am PZH, so dass das IMPT zu dem maßgeblichen Ansprechpartner für mikrotechno-

logische 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) wieder.

Die derzeitigen Atomchips basieren auf Silizium als Substratmaterial und werden durch mikrotechnologische Verfahren gefertigt. Ein Nachteil liegt in der Tatsache begründet, dass das Siliziumsubstrat für die von den Lasern verwendeten Wellenlängen nicht transparent ist, das bedeutet, dass nur die Vorderseite des Atomchips für den Betrieb genutzt werden kann. Der Verwendung von Glas als transparentes Substrat ermöglicht völlig neue Designmöglichkeiten. Als Beispiel ist hier die rückseitige Annäherung der Laser-Strahlen zu nennen. 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 Isolations-schichten vermeidet. Aus diesem Grund streben wir die Entwicklung eines Glas-basierten 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.



Das Atomchip-System als Herzstück eines Quantengravimeters.
Foto: IMPT

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, inertial-sensitive 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 ange-

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

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 „Quantum-Frontiers“ teil. Das IMPT ist Teil mehrerer Teams. In QVLS T2.4 befassen wir uns aufbauend auf unserer Expertise im Bereich der Atomchip-Fertigung mit der Entwicklung und dem Aufbau eines Atomchips mit der Möglichkeit, ein Glasgehäuse auf der Oberfläche des Atomchips aufzubringen und diesen zu kapseln. In diesem Zuge evaluieren wir die Fügetechniken hinsichtlich der Hermetizität. In einer neuartigen Implementierung dieser Atomchips mit einer Gitter-basierten magneto-optischen Falle soll ferner die Integration eines optischen Gitters in die Atomchip-Oberfläche erfolgen. In QVLS T3.1 entwickeln wir Prozesse und Methoden, um einen Ionenfallen-Chip mitsamt 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 verdampfbaren Gettermaterialien (NEG) ausgeführt werden soll. Weiterhin entwickeln und charakterisieren wir eine Plattform für chip-basierte Atomquellen für die Nutzung in Quantensensoren.

QGyro+

In dem Forschungsprojekt QGyro+ sollen hochgenaue Quanteninertialsensoren zur Stützung konventioneller Inertialnavigationssensoren entwickelt und getestet werden, die für eine autonome Navigation eingesetzt werden können. Das zentrale Ziel des Vorhabens ist es, einen Sechs-Achsen-Quanteninertialnavigationssensor zu entwickeln. Mit diesem Gerät sollen driftfreie und hochgenaue Quanteninertialsensoren erstmals für den Einsatz in der autonomen Navigation getestet werden, um den Weg zu neuen Anwendungsfeldern zu eröffnen. Dieser Sensor soll im Projektverlauf als kompakte Experimentalplattform aufgebaut und eingesetzt werden (QINS-Experimentalplattform). Das IMPT ist verantwortlich für den Transfer von Atomchiptechnologie und Spiegelreferenzflächen vom Demonstrator hin zum Prototypen, für die Durchführung von Optimierungen und Anpassungen, für die Miniaturisierung des Vakuumsystems hin zur UHV-Mikrokammer, für die Miniaturisierung der Vakuumperipherie (Pumpen, Sensoren etc.) sowie für die Entwicklung und Optimierung von Packaging und Fügeverfahren.

InnoVaQ - Innovative Vakuumtechnologie für Quantensensoren

Bei dem Forschungsvorhaben InnoVaQ werden drei Technologien entwickelt, die es gemeinsam erlauben, einen hochkompakten Ultrahochvakuum-Aufbau für einen auf Strontium-Atomen basierenden Quantensensor zu realisieren. Die zunehmende Miniaturisierung im Bereich der Quantensensorik führt langfristig nicht nur zu einer Verkleinerung des Gehäuses, sondern bedingt auch eine Vakuumperipherie in der entsprechenden Größenordnung. Da Messgeräte mit einer Kapazität bis hinunter zu UHV vergleichbare oder weitaus größere Innenvolumina als die geplanten miniaturisierten UHV-Kammern selbst aufweisen, muss neben einer Pumptechnik auch eine entsprechende Druckmessvorrichtung entwickelt werden. Der in diesem Vorhaben anvisierte Druckbereich liegt im Ultrahochvakuum (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 Ziel-drucks 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.

- 25 wissenschaftliche Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter
- 7 nichtwissenschaftliche Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter
- 24 studentische Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter
- 3 Auszubildende
- 3 FWJ-ler/in

IMPT 2022

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
Regelsensorik (ENDEMAR)
Verbrauchsreduzierung durch neuartige wartungs-
freie Sensoren in Gebäuden und Quartieren durch
intelligenten Energiefluss (BMW)

Gallium Nitride for Advanced Power (GaN4AP):
Entwicklung von Hochleistungstransformatoren
auf Galliumnitridbasis zur Leistungssteigerung in
der Hochleistungselektronik (ECSEL EU)

Magnetic Measurement Advances (MagMA):
Entwicklung möglicher zerstörungsfreier, prozess-
integrierbarer Messmethoden und -einrichtungen
zur Bestimmung magnetischen Eigenschaften und
der Qualität von abgeschiedenen magnetischen
Dünnschichten (Industrieprojekt mit Global-
Foundries)

SFB/TRR 298 Sicherheitsintegrierte und infektions-
reaktive Implantate (SIIRI):
Teilprojekt A06: Herstellung von mikrotechnolo-
gisch gefertigten Elektrodenträgern zur Untersu-
chung des Impedanz Verhaltens von Cochlea Im-
plantaten abhängig von der räumlichen Lage (DFG)
Teilprojekt B04: Entwicklung einer mikrofluidi-
schen, implantatintegrierten, kontaktlos
aktuierbaren Lösung zur Freisetzung von Pharma-
zeutika an der Grenzfläche eines dentalen Implan-
tats (DFG)
Teilprojekt A08: Anschubfinanzierung – Entwick-
lung und Erforschung einer Zinnbeschichtung zur
Steigerung der Lösungsfähigkeit von Knochen-
zement (DFG)

BREATH FlexFonds: Optimierung eines Spatial
Transcriptomic Microfluidic Device zur Hoch-
durchsatz-Untersuchung von Lungenproben:
Designvariationen zur Herstellung von Mikro-flui-
dischen Analysesystemen zum Befüllen mit Mul-
tichannel-Pipetten

Arbeitsgruppe Industriennahe Sensorik

Ultraschall-Silbersintern:
Untersuchung der Wirkmechanismen beim ultra-
schallunterstützten einkomponentigen und mehr-
komponentigen Silberverbundungsintern zur
Montage von leistungselektronischen Bauelemen-
ten (DFG)

SFB 1368 Sauerstofffreie Produktion:
Teilprojekt C03: Untersuchung tribologischer Sys-
teme für Werkzeugbeschichtungen in inerter Atmo-
sphäre (SFB1368 / DFG)

SPP2305 Integrierte Sensorik für intelligente Groß-
wälzlager (ISiG):
Sensorintegrierende Maschinenelemente als Weg-
bereiter flächendeckender Digitalisierung (DFG)

MicroMill:
Entwicklung eines mehrstufigen Mikrofräasers mit
bis zu 50 µm Durchmesser aus Siliziumkarbid für
die spanende Präzisionsbearbeitung sowie Entwick-
lung eines parallelisierten Herstellungsverfahrens
auf Basis des Trockenätzens (ZIM)

Polygrind:
Entwicklung einer selbstschärfenden Planschleif-
scheibe mit Abrasivkörnern (17,5 m%) in eine mi-
krostrukturierte Epoxidharz-Matrixstruktur für
Durchmesser von 200 und 400 mm und integrier-
ten Kühlkanälen mit Durchmesser 100 µm (ZIM)

MagDat:
Dynamische Magnet-Datenspeicherung auf ther-
misch gespritzten Schichten (DFG)

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

ForceSense:
Kraftsensitive Führungssysteme auf Basis direktab-
geschiedener 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- & 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 LIIDE-
basierten Atomchips (FZJ)

MMC:
Metrologic Micro Cells (PTB)

Veröffentlichungen (Auszug)

Beiträge in Zeitschriften

M. Arndt: Entwicklung eines piezoelektrischen
Kraftsensor-Arrays, phi - Produktionstechnik
Hannover informiert, Newsletter Nr. 34 / März
2022, <https://doi.org/10.48811/phi-22-002>, 2022

L. Steinhoff: Herstellung und Evaluierung von
Mikroschleifstiften. phi - Produktionstechnik
Hannover informiert, Newsletter Nr. 36 / Sept. 2022,
ISSN:2198-1922. <https://doi.org/10.48811/phi-22-013>, 2022

L. Sommer, M. Prediger, D. Rosenbusch:
Berufsfeld Wissenschaft und Technik: Ein erster
Einblick nach der Schule. phi - Produktionstechnik
Hannover informiert, Newsletter Nr. 37 / Dezember
2022

Journal (reviewed)

**S. Heikebrügge, R. Ottermann,
B. Breidenstein, M. C. Wurz, F. Dencker:** Residual
Stresses from Incremental Hole Drilling Using
Directly Deposited Thin Film Strain Gauges.
Experimental Mechanics, <https://doi.org/10.1007/s11340-022-00822-0>, 2022

**H. Luu, S. Raugel, F. Dencker, M. C. Wurz,
N. Merkert:** Nanoindentation in alumina coated Al:
Molecular dynamics simulations and experiments.
Surface & Coatings Technology, Elsevier,
<https://doi.org/10.1016/j.surfcoat.2022.128342>, 2022

**T. Herrman, A. K. Schierz, M. S. Prediger,
J. Reifner, J. Meißner, M. C. Wurz,
P. Behrens:** Effect of PEG functionalization on the
saturation magnetization of magnetic nanoporous
core-shell nanoparticles. International Journal on
Magnetic Particle Imaging, Vol. 8, Suppl. 1, Article
ID 2203009, Infinite Science Publishing, <https://doi.org/10.18416/ijmpi.2022.2203009>, 2022

**T. Khvan, L. Noels, D. Terentyev, F. Dencker, D.
Stauffer, U. D. Hangen, W. Van Renterghem, V.
Cheng, A. Zinovev:** High temperature
nanoindentation on iron: Experimental and

computational study. Journal of Nuclear Materials 567, Elsevier, <https://doi.org/10.1016/j.nucmat.2022.153815>, 2022

Yangyang Long, M. Arndt, F. Dencker, M. C. Wurz, J. Twiefel, J. Wallaschek: Impact of surface texture on ultrasonic wire bonding process. (JMR&T) Journal of Materials Research and Technology, Elsevier, <https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2022.07.187>, 2022

L. Diekmann, A. Kassner, F. Dencker, M. C. Wurz: Nonevaporable getter-MEMS for generating UHV conditions in small volumina. (JVST B) Journal of Vacuum Science & Technology B, AVS, <https://doi.org/10.1116/6.0001991>, 2022

M. Rodriguez-Diaz, S. Raugel, M. C. Wurz, M. Szafarska, R. Gustus, K. Möhlwald, H. J. Maier: Young's Modulus and Residual Stresses of Oxide-Free Wire Arc Sprayed Copper Coatings. MDPI Coatings, 2022

M. Arndt, F. Dencker, M. C. Wurz, Y. Long, J. Twiefel: Detection of joining mechanisms at different locations of the wire/substrate interface during ultrasonic wire bonding via a PZT-based sensor array. Journal of Materials Processing Technology, <https://doi.org/10.1016/j.jmatprotec.2022.117826>, 2022

Konferenz (reviewed)

A. M. Zawacka, M. S. Prediger, A. Kassner, F. Dencker and M. C. Wurz: "Approaches for a Solely Electroless Metallization of Through-Glass Vias," 2022 IEEE 72nd Electronic Components and Technology Conference (ECTC), San Diego, CA, USA, 2022, pp. 889-897, doi: 10.1109/ECT-C51906.2022.00145.

L. Steinhoff, F. Dencker, M. C. Wurz: Production and characterisation of batch manufactured flexible micro-grinding tools for finishing metallic surfaces. Proc. eupen 22nd, Geneva, CH, 2022

S. Raugel, F. Dencker, M. C. Wurz: Batch Fabrication of Silicon indenter tips for adhesion investigations using Deep Reactive Ion Etching (DRIE). Nanobrücken 2022 - Nanomechanical Testing Conference and Bruker User Meeting, Prague, Czech Republic, 2022

S. Raugel, F. Dencker, M. C. Wurz: Influence of oxide layers on plastic deformability of copper. 7th World Tribology Congress 2022

M. Arndt, T. Fünfkirchler, S. Hübner, F. Dencker, M. C. Wurz, B. A. Behrens: Monitoring of the flange draw-in during deep drawing processes using a thin-film inductive sensor. WGP - Wissenschaftliche Gesellschaft für Produktionstechnik, 2022

R. Ottermann, S. Zhang, B. Denkena, H. Klemme, D. Kowalke, M. Korbacher, F. Dencker, M. C. Wurz: In Situ Resistance Trimming of Directly Deposited Thin-Film Strain Gauges. IEEE Sensors 2022, <https://doi.org/10.1109/SENSOR52175.2022.9967357>, 2022

O. Altun, P. Oladazimi, M. Wäwer, S. Raugel, M. C. Wurz, K. Barienti, F. Nürnberger, R. Lachmayer, I. Mozgova, O. Koepfer, S. Auer: Enhanced findability and reusability of Engineering Data by Contextual Metadata. ICED23, 2022

Konferenz

S. Hädeler: Integrierte Sensorik im Gummiverbund. WIP Elastomerforum, Osnabrück, Deutschland, 2022

M. S. Prediger, E. Müller, M. Reulbach, M. C. Wurz, E. Jakubowitz: Development and investigation of tin coatings for increased bone cement detachment at implant interfaces. 1st International SIIRI Symposium: CRC/TRR 298 SIIRI - Safety-Integrated and Infection-Reactive Implants, 2022

T. Bierwirth, F. Dencker, E. Fischer, M. C. Wurz: Fabrication of a Low Profile Planar Transformer Using Molded Interconnect Device Technology. Electronics System-Integration Technology Conference (ESTC) 2022

S. Raugel, F. Dencker, M. C. Wurz: Concept and fabrication of functionalized indenter tips for adhesion studies in XHV-adequate atmosphere. MSE Congress 2022

D. Konopka, F. Pape, R. Ottermann, T. Steppeler, F. Dencker, M. C. Wurz, G. Poll: Characterization of an Anti-Wear Coating for Application of Highly Loaded Smart Thin-Film Sensors. Balttrib International Conference, 2022

L. Steinhoff, F. Dencker, M. C. Wurz: Application of batch manufactured flexible micro-grinding tools on copper and oxidized copper surfaces. 63. Tribologie-Fachtagung der GfT, 2022

M. Reulbach, M. Aue, H. Windhagen, M. S. Prediger, F. Nürnberger, E. Jakubowitz: The effect of tin coating in combination with phosphoric acid primers on bone cement bond strength to total hip stem alloys. MSE 2020 - Materials Science and Engineering Congress, Darmstadt, Deutschland, 2022

Wesentliche Neuanschaffungen

Konfokales Ramanmikroskop alpha300 apyron von Fa. WITec / Oxford Instruments

Spektrales Ellipsometer SENpro von Fa. SENTECH Instruments GmbH

Mikromanipulator für Elektronenmikroskopie Fa. Kleindiek Nanotechnik GmbH



Mädchen und Technik 2022: Zum 13. Mal war das PZH der Ort um praktische Erfahrungen zu machen und Spaß an naturwissenschaftlich-technischen Projekten zu haben.

*Professor Hans-Josef Endres, Institutsleiter*

Geschichte des Instituts

Beim Institut für Kunststoff- und Kreislauftechnik (IKK) handelt es sich um das jüngste PZH-Institut am Campus Maschinenbau. Das IKK ist inzwischen etwas mehr 3 Jahre alt und die zugehörigen baulichen Maßnahmen sind überwiegend abgeschlossen, sodass das IKK zunehmend operativ in seinen folgenden vier Bereichen tätig wird:

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

Am IKK beschäftigen sich die WissenschaftlerInnen mit der Entwicklung von nachhaltigen und kreislauffähigen Polymerwerkstoffen sowie der zugehörigen Prozesstechnologie, der Kunststoffherstellung und -verarbeitung, dem Recycling, der Materialprüfung und Kunststoffanalytik sowie der Nachhaltigkeitsbewertung von Werkstoffen, Bauteilen, Prozessen und End-of-Life-Szenarien. Das IKK ergänzt mit seiner Kunststoffkompetenz das fachliche Profil des PZH.

Im zurückliegenden Kalenderjahr wurden sechs Drittmittelanträge und zehn größere Industrieprojekte des IKK bewilligt.

Aus der Forschung

Kunststoffe prägen unseren Alltag und sind maßgeblich für den technischen Fortschritt der letzten Jahrzehnte verantwortlich. Ihre Erfolgsgeschichte begann vor mehr als 100 Jahren damit, dass es gelungen war, aus kurzlebigen natürlichen Rohstoffen langlebige

Werkstoffe zu machen. Seitdem hat die Kunststoffbranche einen unglaublich fantastischen Job gemacht. Heute sind alle Bereiche des alltäglichen Lebens wie medizinische Versorgung, Hausbau, Sport oder Mobilität ohne Kunststoffe ebenso undenkbar wie zukünftige Megatrends, beispielsweise der Leichtbau, die E-Mobilität, die Digitalisierung, die additive Fertigung oder die Bioökonomie. Kunststoffe ermöglichen unseren heutigen Wohlstand und den zukünftigen Fortschritt.

Die sehr erfolgreiche Kunststoffindustrie basiert jedoch bisher in vielen Bereichen auf einem Modell der Linearwirtschaft. Häufig werden die hochwertigen und langlebigen Polymerwerkstoffe auch für kurzlebige, minderwertige, ökologisch unsinnige Produkte eingesetzt, ohne dass es dazu werterhaltende Kreislaufkonzepte gibt. In der Vergangenheit lag der Fokus vorrangig auf der Optimierung der Gebrauchs- und Verarbeitungseigenschaften der Polymerwerkstoffe oder daraus hergestellter Produkte, ungeachtet der „End-of-Life Szenarien“.

Parallel zur Erfolgsgeschichte der Kunststoffe wird zunehmend bewusst, dass die vielen vorteilhaften Eigenschaften in der Verarbeitungs- und Gebrauchsphase gleichzeitig mit einigen Herausforderungen bei der Wiederverwertung von Kunststoffen verbunden sind. Der Einsatz petrobasierter Rohstoffe als Polymerfeedstock verbunden mit einer geopolitischen Rohstoffabhängigkeit und die Persistenz der Kunststoffe bei nicht sachgemäßer Entsorgung werden zunehmend zu einem ökologischen Problem, was sich beispielsweise auch an der stetig wachsenden Marine-Litter-Problematik zeigt. So, wie für Glas, Metall oder Papier ist auch im Kunststoffbereich die konsequentere Einführung einer Kreislaufwirtschaft notwendig. Die Recyclingfähigkeit von



kurz- und langlebigen 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 von Kunststoffbauteilen von der Verantwortlichkeit für deren Wiederverwertung entkoppelt haben. Wenn die Kreislauffähigkeit als weiteres Qualitätsmerkmal beim Produktdesign konsequent mit einfließt, werden wir zukünftig neue und andere 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 spätere Recyclingfähigkeit konsequent mitberücksichtigt wird (Design for Recycling) und gleichzeitig ebenso ein Material- und Produktdesign erfolgt, das den Wiedereinsatz der erzeugten Rezyklate erlaubt (Design for Recyclates). Dies erfordert auf technischer Seite die zuverlässige Bereitstellung hochwertiger und standardisierter Rezyklatqualitäten sowie die Weiterentwicklung der Kunststoff-Recyclingtechnologien. Dazu müssen

- ▶ die Strategien zur effektiveren Verwertung von Kunststoffen und Verbundwerkstoffen insbesondere im Hinblick auf deren chemische Zusammensetzung,

- ▶ die mechanischen, thermischen, rheologischen, optischen und olfaktorischen Eigenschaften der Rezyklate sowie
- ▶ ökologische und sozioökonomische Faktoren der zugehörigen Prozesse weiterentwickelt werden.

Hier setzen die Forschungsarbeiten des IKK an.

Neben dem erneuerbaren petrochemischen Kohlenstoff sind auch biobasierte und biologisch abbaubare Kunststoffe ein weiterer Forschungsschwerpunkt des IKK. Ende 2021 ging dazu am IKK der Bewilligungsbescheid für das Vorhaben "Mehrskalige Analyse aquatischer Abbaumechanismen von Polymerwerkstoffen" ein. Die finanzielle Unterstützung erfolgt durch Mittel des Europäischen Fonds für regionale Entwicklung (EFRE) als Teil der Reaktion der Union auf die COVID-19-Pandemie finanziert. Mit dieser Förderung wurden Mittel für Investitionen zur technischen Ausstattung genehmigt, die für die Untersuchungen der marinen Abbaubarkeit von Kunststoffen maßgeblich sind.

Im Rahmen des Projektes wird ein mehrskaliges, flexibles Prüflabor zur Untersuchung der aquatischen Abbaubarkeit von Polymerwerkstoffen entstehen. Dazu werden neben klassischen Laborversuchen Mikro- und Mesokosmen aufgebaut, die in der Lage sind, kontrolliert die natürlichen Bedingungen aquatischer Ökosysteme nachzubilden. Durch diesen mehrskaligen Aufbau 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 resultierenden Abbauverhalten und

den zugrundeliegenden Abbaumechanismen untersucht werden. Die detaillierte Analyse der Abbauvorgänge wird auf chemischer und morphologischer Ebene erfolgen und auch die Abbauprodukte im wässrigen System werden erfasst.

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. So werden gezielt aquatisch abbaubare Bauteile zur Unterstützung des Anwuchses von neu angepflanztem Seegras (Projektförderung BMBF) ebenso untersucht wie die Mechanismen beim Abbau von Reifenabrieb (Projektförderung DBU). Die Ergebnisse dienen u. a. dazu, angepasste bzw. neuartige Polymerwerkstoffe zu entwickeln, die für Anwendungen mit nicht zu vermeidendem Eintrag in die Umwelt vorteilhafte Abbaueigenschaften aufweisen.

Ein weiteres Projekt, das in 2022 am IKK durchgeführt wurde, ist die neunmonatige Konzeptphase zu KuRT - "Ressourceneffiziente Kreislaufwirtschaft – Kunststoffrecyclingtechnologien" im Rahmen des Projektes ReWerk - Ganzheitliche Recycling-Wertschöpfungsketten. Das Projekt wird durch das BMBF gefördert und hat zum Ziel, das trotz der konsequenten Weiterentwicklung der Recyclingbranche niedrige Niveau beim Kunststoffrecycling im Hinblick auf Quoten und Qualitäten zu verbessern.

Ein weiterer Schwerpunkt des IKK im Bereich des Kunststoffrecyclings stellt die Normierungsarbeit dar. Unter der Konsortialführung des Instituts wurde in den vergangenen zwölf Monaten der Entwurf zur DIN SPEC 91446, Klassifizierung von Kunststoff-Rezyklaten durch Datenqualitätslevels für die Verwendung und den (internetbasierten) Handel erarbeitet. Initiiert wurde die DIN SPEC von der cirplus GmbH. Der Status Quo der Normung im Bereich der Circular Economy weist Lücken auf, die geschlossen werden sollen. So sind in Normen und Standards bislang keine Anforderungen an Kunststoffrezyklate zur Herstellung neuer Produkte definiert. Ist die Definition gelungen, könnte das zu einer stärkeren Nutzung von Rezyklaten führen, für die auf der einen Seite zunehmend politischen Vorgaben für Rezyklatquoten im Kunststoffbereich erlassen werden, ohne dass jedoch auf der anderen Seite der Begriff „Rezyklat“, die zulässigen Inputströme und Recyclingtechnologien, die Qualitätsangaben für Rezyklate oder auch die Berechnung der Quote geregelt sind.

Das IKK leitet zudem im Rahmen des Normierungsprozesses ein großes Teilvorhaben zur Erstellung einer Normungsroadmap im Bereich der Circular Economy von Kunststoffen sowie verschiedene DIN-Arbeitskreise und lädt interessierte Fachleute zur Mitarbeit ein.

Ende letzten Jahres startete das zweijährige Projekt mit der Sartorius AG, in dem das IKK untersucht, inwieweit es möglich ist, die in

den verschiedensten biopharmazeutischen Applikationen eingesetzten Filtersysteme des Industriepartners wieder aufzubereiten. Die Herausforderung des Projektes liegt darin, herauszufinden, ob und wie die unterschiedlichen Konstruktionsmaterialien und -polymere der Filtersysteme voneinander zu trennen sind, um sie in den Produktionskreislauf zurückzuführen. Darauf aufbauend wird ein nachhaltigeres Design für die Filtersysteme entwickelt.

Bei den Biokunststoffen ist das vom BMEL geförderte Vorhaben „Analyse zum Rohstoff-, Technologie- und Nachhaltigkeitspotenzial biobasierter Kunststoffe 2020 und 2030 für Deutschland“ mit einer dreijährigen Laufzeit ein richtungsweisendes Projekt. In dem Vorhaben mit dem Akronym „BK-Markt“ untersucht das IKK den deutschen Markt biobasierter Kunststoffe, um auszuloten, welche nachwachsenden Rohstoffe und biobasierten Zwischenprodukte zukünftig verfügbar sein werden, wie geschlossene Stoffströme für nachwachsende Rohstoffe maximiert werden können und auf nationaler Ebene nachhaltig realisierbar sind.

Innerhalb der Richtlinie „Zentrales Innovationsprogramm Mittelstand“, kurz ZIM-Richtlinie, arbeiten die Konstruktionsbüro Hein GmbH, das IfW – Institut für Fertigungstechnik und Werkzeugmaschinen und das IKK gemeinsam an der Entwicklung einer Kühlkanalstruktur, die zukünftig für effizientere Werkzeugtemperierung und für eine genauere sowie schnellere Prozessführung im Spritzgießbereich sorgen soll. Das zweijährige Projekt trägt den Titel „Strukturierung der Temperierkanäle von Spritzgießwerkzeugen zur Erzeugung beständig wirkender, turbulenter Strömungen mit verbessertem Wärmeübergang“ (TurbuStruk).

Im Rahmen von verschiedenen Industriekooperationen werden u.a. mit der KraussMaffei Extrusion GmbH, ARBURG GmbH + Co KG, EREMA GesmbH, der Maag Gruppe, Linde AG und ZwickRoell GmbH & Co. KG sowie weiteren Industriepartnern gemeinsame Forschungsaktivitäten im Bereich der produkt- und kunststoffspezifischen Vorbehandlungs- und Aufreinigungsprozesse und Optimierung der Rezyklatperformance durchgeführt. Dem IKK werden dazu auch industrieseitig neueste Recyclingtechnologien als Dauerleihgabe zur Verfügung gestellt. Diese sind mit umfassenden Modulen zur Online- und Inline-Analytik ausgerüstet. Dadurch ist eine Überwachung, Steuerung und Optimierung der resultierenden Rezyklatqualität, wie beispielsweise Viskosität, Feuchtegehalt, chemische Zusammensetzung oder Kontaminationen der Kunststoffschmelzen sowie Geruchsemissionen und Farbsteuerung bereits direkt während des Recyclingverfahrens möglich.

20 wissenschaftliche Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter
5 nichtwissenschaftliche Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter
25 studentische Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter

IKK 2022

Institut für Kunststoff- und Kreislauftechnik

Leitung

Prof. Dr.-Ing. Hans-Josef Endres

Lehre

11 Masterarbeiten, 6 Studienarbeiten
8 Bachelorarbeit

Aktuelle Forschung

SkalAb: Mehrskalige Analyse aquatischer Abbaumechanismen von Polymerwerkstoffen
Förderung: EFRE, REACT-EU

ReWerk - Ganzheitliche Recycling-Wertschöpfungsketten
Förderung: BMBF, PTJ

Abbauverhalten von Reifenabrieb in aquatischen Ökosystemen
Förderung: Promotionsstipendium Deutsche Bundesstiftung Umwelt (DBU)

MabiKu: Biobasierte und bioabbaubare Kunststoffe – Lösungsoption der Marine Litter-Problematik?
Förderung: BMEL, Projektträger FNR

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

NKC: Norddeutsches Kunststoffkompetenz-Center
Förderung: Region Hannover, Wirtschaftsförderung

DIN SPEC 91446 „Standards for trading and processing plastic waste feedstock and recyclates“
Das IKK ist verantwortlich für die wissenschaftliche Konsortialleitung der DIN SPEC 91446.

TurbuStruk: Optimierung von Spritzgießprozessen
Förderung: ZIM

BK-Markt
Rohstoffströme, Kreislaufwirtschaft, CO₂-Fixierung, Klimaschutz und Nachhaltigkeit
Förderung: BMEL, Projektträger FNR

Recycling von Multilayer-Kunststofffolien
Industrieprojekt

Recycling vernetzter Schaumstoffe
Industrieprojekt

Charakterisierung eines neuartigen Verbundwerkstoffs
Industrieprojekt

Ecodesign in der Pharmabranche
Industrieprojekt

Kriechverhalten von Kunststoffen
Industrieprojekt

Simulation von Spritzgießprozessen
Industrieprojekt

Ökologische Bewertung von Werkstoffen aus nachwachsenden Rohstoffen
Industrieprojekt

KMU-Technologietransfer Region Hannover
Entwicklung eines umfassenden Förderprojektes im Bereich der energieeffizienten und nachhaltigen Produktion von Kunststoffbauteilen.

Veröffentlichungen

Zeitschriften/Aufsätze (reviewed)

F. Bittner, H.-J. Endres (2022): μ CT-Based Topography Analysis of Inaccessible Surfaces Exemplified by a Biofouling-Covered Plastic, Chemie Ingenieur Technik, 94, S. 186-193
DOI: 10.1002/cite.202100170

L. Veltmaat, F. Mehrens, H.-J. Endres, J. Kuhnert, P. Suchde (2022): Mesh-free simulations of injection molding processes, Physics of Fluids 34
DOI: 10.1063/5.0085049

M. Koch, S. Spierling, V. Venkatachalam, H.-J. Endres, M. Owsianiak, E. Blikra Vea, C. Daffert, M. Neureiter, I. Fritz (2022): Comparative assessment of environmental impacts of 1st generation (corn feedstock) and 3rd generation (carbon dioxide feedstock) PHA production pathways using life cycle assessment, Science of The Total Environment, 2022, 160991
DOI: 10.1016/j.scitotenv.2022.160991
ISSN: 0048-9697

Ó. Ögmundarson, L. S. Kalweit, V. Venkatachalam, R. Kristjánsdóttir, H.-J. Endres, S. Spierling (2022): Plastic Packaging Waste Management in Iceland: Challenges and Opportunities from a Life Cycle Assessment Perspective, Sustainability 2022, 14, 16837
DOI: 10.3390/su142416837

V. Venkatachalam, M. Pohler, S. Spierling, L. Nickel, L. Barner, H.-J. Endres (2022): Design for Recycling Strategies Based on the Life Cycle Assessment and End of Life Options of Plastics in a Circular Economy, Macromolecular Chemistry and Physics, 0(0):2200046
DOI: 10.1002/macp.202200046
ISSN: 1022-1352

Y. Celik, M. Shamsuyeva, H.-J. Endres (2022): Thermal and Mechanical Properties of the Recycled and Virgin PET - Part I, Polymers 14, Nr. 7, S. 1326 DOI: 10.3390/polym14071326

Beiträge in Büchern (reviewed)

H.-J. Endres
REM-Untersuchung von Kunststoffen. Foto: Nico Niemeyer

(2022): Biodegradable Plastics: End of Life Scenarios, Plastics in the Aquatic Environment - Part I. The Handbook of Environmental Chemistry, vol 111. Springer, Cham., 69-109
DOI: 10.1007/978-3-030-84117-1
ISBN: 978-3-030-84117-1

Zeitschriften/Aufsätze

M. Shamsuyeva (2022): Recycling von post-industriellen und post-consumer Textilabfällen, phi – Produktionstechnik Hannover informiert, Newsletter Nr. 34 / März 2022
DOI: 10.48811/phi-22-004
ISSN: 2198-1922

M. Shamsuyeva (2022): Kunststoffrecycling: Wie Normen den Technologietransfer beschleunigen, phi – Produktionstechnik Hannover informiert, Newsletter Nr. 36 / September 2022
DOI: 10.48811/phi-22-017
ISSN: 2198-1922

Wesentliche Neuanschaffungen

Elektronenmikroskop Joel JSM-IT510LA

Elektrodynamische Prüfmaschine ZwickRoell LTM3





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.

Aus der Forschung

TRANSPORTTECHNIK / Wer Gurtförderanlagen betreibt und sicher gehen will, dass die Fördergurte auch über viele Kilometer und im ununterbrochenen Einsatz halten, wird nur geprüfte und zertifizierte Fördergurte verwenden. Und mit einiger Wahrscheinlichkeit sind deren Fördergurtverbindungen am ITA geprüft worden. Denn die entsprechende DIN-Norm 22110-3, die weltweit anerkannt ist, wurde am ITA mitentwickelt, und das ITA ist die einzige universitäre und damit unabhängige Einrichtung weltweit, die nach dieser Norm prüft. Fördergurtmuster aus aller Welt, beispielsweise für Erzminen in Südamerika oder für Bergbaugebiete in Asien, werden hier auf ihre Zeitfestigkeit geprüft. Mit großen Umlaufprüfständen haben die Mitarbeiter in den vergangenen 35 Jahren auch Fördergurte mit höchster Festigkeit geprüft. Gurtverbindungen stellen die Schwachstelle aller Fördergurte dar. Aus diesem Grund sind zwei Entwicklungsziele für Stahlseilgurtverbindungen erkennbar: Zum einen soll die Verbindungsfestigkeit der Stahlseilfördergurte gesteigert werden.

Zum anderen soll der Aufwand für die Herstellung der Verbindungen ohne Einbußen bei der Verbindungsfestigkeit gesenkt werden. In jedem Fall ist die genaue Auslegung der Gurtverbindungen Voraussetzung für den sicheren Betrieb der gesamten Förderanlage. Seit Dezember 2009 steht der weltweit größte Umlaufprüfstand nun hier an der Leibniz Universität Hannover. Die Gesamtkraft, die er für die Tests aufwenden kann, ist mehr als dreimal so groß wie bisher: 3.500.000 Newton. Neben dem Betrieb der Umlaufprüfstände arbeiten die Mitarbeiter dieses Bereichs unter anderem auch daran, Fördergurtverbindungen simulativ abbilden zu können oder diese im automatisierten Prozess mittels Wasserstrahlschneiden vorzubereiten. Darüber hinaus werden fördertechnische Anlagen in höherem Maße automatisiert und neue Kommunikationstechniken integriert. Weitere aktuelle Themen sind die Entwicklung neuer Berechnungsansätze für die Dimensionierung von Schlauchgurtanlagen, eine Machbarkeitsanalyse für das Recycling von Fördergurten im Pyrolyseprozess und das Integrieren von Zwischenantrieben in immer längeren Förderbandanlagen mittels 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-, abbautechnischen sowie logistischen

Abläufen. In Verbindung mit angepasster Software zur Messdaten-auswertung 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. Eine zentrale Idee ist das intelligente Bauteil, das Strukturen enthält, welche als Sensor oder Datenspeicher wirken.

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. Am Institut werden hierzu optische Strukturen drucktechnisch erzeugt und in Zusammenarbeit mit den anderen Partnern zu komplexen optischen Systemen kombiniert. Ein gemeinsames Ziel ist beispielsweise ein System zur Untersuchung der menschlichen Gesundheit, welches zuhause eingesetzt werden kann und den behandelnden Mediziner*innen automatisiert Informationen übermittelt.

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 mehrlageriger 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, Experimente 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 Forscher*innen eine Aufgabe der Arbeitsgruppe. Im Rahmen eines DFG-Gerätezentrum steht die Anlage anderen Wissenschaftler*innen offen. Durch diese entstehen Einblicke in viele interessante Forschungsgebiete und Kontakte zu internationalen Institutionen und Kooperationen.

18 wissenschaftliche Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter
9 nichtwissenschaftliche Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter
41 studentische Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter

Leitung

Prof. Dr.-Ing. Ludger Overmeyer

Lehre

16 Masterarbeiten, 13 Studienarbeiten,
10 Bachelorarbeiten, 1 Projektarbeit

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.

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 Sichteinschränkungen des Fahrers durch Fahrzeugkomponenten und Ladung ausgeglichen und

Fahrzeug- sowie Auftragsdaten situationsabhängig mit dem Fahrer vernetzt werden. Dabei soll die Interaktion mit dem Assistenzsystem mittels Gesten und virtuellen Elementen erfolgen.

Um das Projektziel zu erreichen sind drei wesentliche Teilziele umzusetzen: Die räumliche Erfassung der Fahrzeugumgebung mit Transformation der Aufnahmen für eine Anzeige in der AR-Brille, die echtzeitfähige Erfassung der Bedienerblickrichtung und die Realisierung eines Interaktionssystems basierend auf Gesten und virtuellen Anzeige- und Bedienelementen. Für die Umsetzung der räumlichen Aufnahme der Umgebung des Flurförderzeugs, werden mehrere Kameras am Fahrzeug montiert. Der relevante und aus Sicht des Bedieners versperrte Bereich wird auf diese Weise vollständig räumlich erfasst. Anhand der Blickrichtungsdaten werden gezielt die Kameras und Kameraausschnitte abgerufen, die für das aktuelle Sichtfeld erforderlich sind und über das virtuelle Display der AR-Brille mit den Sichteinschränkungen überlagert. Über die AR-Brille können zusätzliche Informationen zu Fahrwegen oder prozessbedingte Warnungen eingeblendet werden.

Das entstehende Gesamtsystem bildet die Grundlage für eine intensive Vernetzung von Fahrer, Fahrzeug und Umgebung durch die Schaffung eines kognitiven technischen Systems, welches die Sicherheit und Entscheidungsfähigkeit des Fahrers maßgeblich verbessert.

Förderung durch: AIF, IFL

PhoenixD - Flexografischer Druck von optischen Netzwerken

Optische Präzisionssysteme schnell und kostengünstig mittels additiver Fertigung realisieren: Dies ist die Vision von PhoenixD. In diesem Teilprojekt wird an der Fertigung von planaren optischen Netzwerkstrukturen geforscht. Hierzu soll ein klassischer Druckprozess, der Flexodruck, verwendet werden, um eine kostengünstige Produktion zu ermöglichen.

Förderung durch: DFG im Rahmen der Exzellenzstrategie des Bundes und der Länder innerhalb des Exzellenzclusters PhoenixD

DIGITRUBER – Data Mining und KI zur optimierten prozessübergreifenden Steuerung

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

Förderung durch: BMBF

OptiK-Net

Das Projekt OptiK-Net umfasst die Möglichkeit flexible optische Leiterstrukturen anwendungs- und industrienah in den Herstellungsprozess konventioneller Leiterplatten zu integrieren. Optische Wellenleiter in elektronischen Strukturen gelten in der Industrie als schwer umsetzbar, jedoch weisen sie erhebliche Vorteile und Gestaltungsspielräume gegenüber Leiterplatten mit rein elektrischen Leiterbahnen auf. Insbesondere ihre hohe

Bandbreite und geringe Störanfälligkeit ermöglichen neue Lösungen in Kommunikationsnetzwerken. Im Projekt OptiK-Net werden Herausforderungen, die die derzeitige industrielle Anwendung hemmen, adressiert, indem eine exemplarische Prozesskette zur Herstellung einer optoelektronischen Starr-Flex-Leiterplatte realisiert wird. Innerhalb dieser Prozesskette werden zwei neuartige Ansätze verfolgt; der Direktdruck der optischen Wellenleiter und die direkte Integration dieser in elektrische Leiterplatten. Für den Direktdruck der optischen Wellenleiter werden der Flexodruck, Tiefdruck und Siebdruck als konventionelle Druckverfahren betrachtet. Diese Verfahren ermöglichen einen hohen Durchsatz gleichartiger Wellenleiterstrukturen, sodass sie bezüglich ihrer Qualität und Eignung als industrieller Prozess bewertet werden können. Durch die Integration in einen Starr-Flex-Verbund kann die Kommunikation entkoppelter elektrischer Schaltungen realisiert werden.

Förderung durch: BMBF

3D-Mehrlagendruck von Mechatronik Integrated Devices

Im 3D-Mehrlagendruck (3D-MLD) Projekt wird der Einsatz der additiven Fertigung zur generativen Erzeugung mehrlageriger Schaltungen auf räumlichen Schaltungsträgern untersucht. Der Ansatz basiert auf einer alternierenden Beschichtung der Bauteiloberfläche mit funktionalen Tinten und einer lokalen Laserbearbeitung. Neben der Lasersinterung von Leiterbahnpfaden ermöglicht der Laserabtrag von isolierenden Schichten auch die Fertigung von Durchkontaktierungen zwischen den Lagen.

FÖRDERUNG durch: BMWi

3D-CopperPrint

In 3D-CopperPrint wird der Einsatz der Additiven Fertigung (3D-Druck) zur generativen Erzeugung von Kupferleiterbahnen auf adaptiven räumlichen Schaltungsträgern untersucht. Dieser Prozess kann für die Herstellung von elektrisch-mechanischen Hybridbauteilen als Alternative zu bestehenden Verfahren verwendet werden. Der Ansatz basiert auf dem Auftrag von kupfergefüllten Lacken auf die Oberfläche von dreidimensionalen Objekten und das anschließende photothermische Lasersintern der Pfade.

Förderung durch: BMWi, AiF (IGF)

3D-MosquitOprint

3D-MosquitOprint untersucht die Integration von optisch transparenten Wellenleiter 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)

Aufbau eines aktiven Fallturms

Im Rahmen des Aufbaus der Forschungseinrichtung Hannover Institute of Technology (HITec) wird vom Institut für Transport- und Automati-

sierungstechnik (ITA) ein aktiver Fallturm, der Einstein-Elevator, aufgebaut. Die Auslegung, die Konstruktion und der Aufbau der Anlage werden in Zusammenarbeit mit dem Centre for Quantum Engineering and Space-Time Research (QUEST) durchgeführt. Ziel ist es, Experimente unter Schwerelosigkeit, aber auch unter Schwerbedingungen durchführen zu können, wie sie beispielsweise auf Mond oder Mars vorherrschen. Der Einstein-Elevator - made in Hannover - ist das weltweit erste Forschungsgroßgerät für physikalische und produktionstechnische Experimente unter einstellbaren Schwerbedingungen im Bereich von 0g bis 5g. Ein hoher Grad der Automatisierung ermöglicht eine hohe Wiederholrate von bis zu 300 Experimenten pro Tag. Förderung durch: DFG und Land Niedersachsen (Projekträger)

Technische Daten:
 Flugdauer bei 0 g: 4 s
 Freifallhöhe: 20 m
 Experimentnutzlast: 1.000 kg
 Wiederholrate: 300 Experiment/Tag
 Beschleunigungen: $0\text{ g} < a < 5\text{ g}$
 Restbeschleunigung: max. 10-6 g
 Vakuumqualität: 10-2 mbar
 Elektrische Antriebsleistung: 4,8 MW

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 Gerätezentrums „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)

Aufsätze (reviewed)

Aman, W.; Nothdurft, S.; Hermsdorf, J.; Kaierle, S.; Szafarska, M.; Gustus, R.; Overmeyer, L. (2022): Laser beam brazing of aluminum alloys in XHV-adequate atmosphere with surface deoxidation by ns-pulsed laser radiation, *Journal of Laser Applications* 34, 022005
 DOI: 10.2351/7.0000574

Biester, K.; Budde, L.; Barroi, A.; Lammers, M.; Hermsdorf, J.; Ludger Overmeyer, L. (2022): Investigation of deposition welding in vertical and horizontal position with a coaxial laser wire welding head, *Int J Adv Manuf Technol* 120, 5399-5410
 DOI: 10.1007/s00170-022-09013-6

Budde, L.; Biester, K.; Huse, M.; Lammers, M.; Hermsdorf, J.; Overmeyer, L. (2022): Empirical Model for the Description of Weld Seam Geome-

try in Coaxial Laser Hot-Wire Deposition Welding Processes with Different Steel Wires, *Lasers Manuf. Mater. Process.* 9, 193-213
 DOI: 10.1007/s40516-022-00170-w

Budde, L.; Biester, K.; Merkel, P.; Lammers, M.; Kriwall, M.; Hermsdorf, J.; Stonis, M.; Behrens, B.-A.; Overmeyer, L. (2022): Investigation of the material combination 20MnCr5 and X45CrSi9-3 in the Tailored Forming of shafts with bearing seats, *Prod. Eng. Res. Devel.*
 DOI: 10.1007/s11740-022-01119-w

Budde, L.; Prasanthan, V.; Merkel, P.; Kruse, J.; Faqiri, M. Y.; Lammers, M.; Kriwall, M.; Hermsdorf, J.; Stonis, M.; Hassel, T.; Breidenstein, B.; Behrens, B.-A.; Denkena B.; Overmeyer, L. (2022): Material dependent surface and subsurface properties of hybrid components, *Prod. Eng. Res. Devel.*
 DOI: 10.1007/s11740-022-01128-9

Overmeyer, L.; Gottwald, S. N.; Springer, M.; Düsing, J. F. (2022): On-the-fly bare die bonding based on laser induced forward transfer (LIFT), *CIRP Annals*, Volume 71, Issue 1, Pages 41-44
 DOI: 10.1016/j.cirp.2022.03.042

Stöber, R.; Sönmez, C.; Kumpe, H.; Böning, C.; Stonis, M.; Overmeyer, L. (2022): Zugang zum öffentlichen Raum – Vermessungen mit Multikoptern unterstützen mittels digitalem Abbild, *Logistics Journal : Proceedings*, Vol. 2022
 DOI: 10.2195/lj_proc_stoerber_de_202211_01
 Zeitungen/Aufsätze

Raupert, M.; Pusch, M. (2022): Additive Fertigung in Schwerelosigkeit durch das Laserauftragschweißen, *phi – Produktionstechnik Hannover* informiert, Newsletter Nr. 35 / Juni 2022 Weitere Informationen
 DOI: <https://doi.org/10.48811/phi-22-007>
 ISSN: 2198-1922

Konferenz (reviewed)

Abel, A.; Sayilgan, V.; Bernhard, R.; Hermsdorf, J.; Kaierle, S.; Overmeyer, L. (2022): Advances in powder bed based Additive Manufacturing of metal-glass-hybrid-components, *Procedia CIRP*, Volume 111, Pages 111-114
 DOI: 10.1016/j.procir.2022.08.066
 ISSN: 2212-8271

Aman, W.; Nothdurft, S.; Hermsdorf, J.; Kaierle, S.; Szafarska, M.; Gustus, R.; Maus-Friedrichs, W.; Overmeyer, L. (2022): Influence of an oxygen-free atmosphere on laser beam brazing of aluminium with prior surface deoxidation by pulsed laser radiation, *Procedia CIRP*, Volume 111, Pages 762-765
 DOI: <https://doi.org/10.1016/j.procir.2022.08.122>

Budde, L.; Lammers, M.; Hermsdorf, J.; Kaierle, S.; Overmeyer, L. (2022): Laser Metal Deposition welding with high carbon steel wire material 100Cr6, *Procedia CIRP*, Volume 111, Pages 224-227
 DOI: 10.1016/j.procir.2022.08.054

Desens, M.; Wesang, K.; Rettschlag, K.; Werbter, K.; Jäschke, P.; Overmeyer, L.; Kaierle, S. (2022): Large-scale CO₂ laser-based sol-gel annealing of titanium dioxide on borosilicate glass, *Procedia CIRP*, Volume 111, Pages 701-704
DOI: 10.1016/j.procir.2022.08.012
ISSN: 2212-8271

Hirt, S.; Wippo, V.; Geiger, M.; Jaeschke, P.; Kaierle, S.; L. Overmeyer, L. (2022): Laser-based repair of carbon fiber reinforced polymers with polyamide 6 matrix material

Jütte, L.; Poschke, A.; Küster, B.; Overmeyer, L. (2022): Quantitative performance evaluation in an augmented reality view enhancement driver assistant system, *Proceedings Volume 12226, Applications of Digital Image Processing XLV; 1222617*
DOI: 10.1117/12.2633264

e, J.; Mrzljak, S.; Gerdes, L.; Wippo, V.; Kaierle, S.; Overmeyer, L.; Walther, F.; Jaeschke, P. (2022): Macroscopic simulation model for laser cutting of carbon fibre reinforced plastics, *Procedia CIRP*, Volume 111, Pages 496-500
DOI: 10.1016/j.procir.2022.08.078

Kuklik, J.; Mente, T.; Wippo, V.; Jaeschke, P.; Kaierle, S.; Overmeyer, L. (2022): Expert system-supported optimization of laser welding of additively manufactured thermoplastic components, *Procedia CIRP*, Volume 111, Pages 470-474
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.procir.2022.08.070>

Kuklik, J.; Mente, T.; Wippo, V.; Jaeschke, P.; Kuester, B.; Stonis, M.; Kaierle, S.; Overmeyer, L. (2022): Laser welding of additively manufactured thermoplastic components assisted by a neural network-based expert system, *Proceedings Volume 11994, High-Power Laser Materials Processing: Applications, Diagnostics, and Systems XI; 119940G*
DOI: 10.1117/12.2609365

Leffers, L.; Roth, B.; Overmeyer, L. (2022): Polymer optical bend sensor based on eccentric fiber Bragg gratings for 3D shape detection, *Proceedings Volume 11998, Organic Photonic Materials and Devices XXIV; 1199808*
DOI: 10.1117/12.2609764

Leineweber, S.; Reitz, B.; Overmeyer, L.; Sundermann L.; Klie, B.; Giese, U. (2022): Additive manufacturing and vulcanization of natural and synthetic rubbers, *Tagungsband 18. Fachkolloquium Wissenschaftliche Gesellschaft für Technische Logistik e.V. (WGTL 2022)*, S. 19 - 27, Bremen
DOI: 10.2195/lj_proc_leineweber_de_202211_01
ISBN: 978-3-00-073192-1

Leschke, J.; Emde, B.; Hermsdorf, J.; Overmeyer, L. (2022): Underwater laser ablation process using an Yb:YAG laser source for the weakening of mild steel sheets for the deflagration of hazardous substances, *Procedia CIRP*, Volume 111, Pages 754-757
DOI: 10.1016/j.procir.2022.08.119

Pflieger, K.; Olsen, E.; Overmeyer, L. (2022): Flexographically printed optical waveguides for complex low-cost optical networks, *Proceedings Volume 12007, Optical Interconnects XXII; 120070G*
DOI: 10.1117/12.2606364

Seel, A.; Kreutzjans, F.; Küster, B.; Stonis, M.; Overmeyer, L. (2022): Deep Reinforcement Learning Based UAV for Indoor Navigation and Exploration in Unknown Environments, *8th International Conference on Control, Automation and Robotics (ICCAR)*, pp. 388-393
DOI: 10.1109/ICCAR55106.2022.9782602

Sleiman, K.; Legutko, M.; Rettschlag, K.; Jäschke, P.; Overmeyer, L.; Kaierle, S. (2022): CO₂ laser based welding of borosilicate glass by Laser Glass Deposition, *Procedia CIRP*, Volume 111, Pages 466-469
DOI: 10.1016/j.procir.2022.08.068.

Zander, C.; Düsing, J. F.; Hohenhoff, G.; Jäschke, P.; Kaierle, S.; Overmeyer, L. (2022): Spatially resolved temperature detection by double scanner and high speed pyrometry for process stabilization of SLS processes, *Proc. SPIE 11992, Laser 3D Manufacturing IX, 119920C*
DOI: 10.1117/12.2607361

Konferenz

Aurich, P.; Böning, C.; Stonis, M.; Overmeyer, L. (2022): Throughput Analysis for Layout Opti-

misation of Modular Conveyor Systems, *Proceedings of the Conference on Production Systems and Logistics: CPSL 2022*
DOI: 10.15488/12196

Berichte

Leineweber, S.; Sundermann, Overmeyer, L.; Klie, B.; Giese, U. (2022): Abschlussbericht: Additive Fertigung von hochviskosen zu vernetzten Kautschuken im AME-Verfahren (Additive Manufacturing of Elastomers) – Elastomer 3D, *dkg-rubber.de*

Beiträge in Büchern

Hoffmann, GA.; Wienke, A.; Kaierle, S.; Overmeyer, L. (2022): Conditioning of Flexible Substrates for the Application of Optical Waveguides, *Optical Polymer Waveguides*. Springer, Cham.
DOI: 10.1007/978-3-030-92854-4_4
ISBN: 978-3-030-92854-4

Sleiman, K.; Rettschlag, K.; Jäschke, P.; Kaierle, S.; Overmeyer, L. (2022): Experimental Investigation of Additive Manufacturing of Fused Silica Fibers for the Production of Structural Components in the Laser Glass Deposition Process, In: Lachmayer, R., Bode, B., Kaierle, S. (eds) *Innovative Product Development by Additive Manufacturing 2021*. Springer, Cham.
DOI: 10.1007/978-3-031-05918-6_18

Vortrag

Leineweber, S.; Sundermann, L.; Overmeyer, L.; Klie, B.; Giese, U. (2022): Additive manufacturing of elastomers using extrusion based Fused-Filament-Fabrication, *Deutsche Kautschuk-Tagung und International Rubber Conference 2021 (DKT IRC 2021)*

Wesentliche Neuanschaffungen

Wasserstrahlchneideanlage

Laserbearbeitungsstation



Neuanschaffungen: Wasserstrahlchneideanlage (links), Laserbearbeitungsstation. Foto: ITA

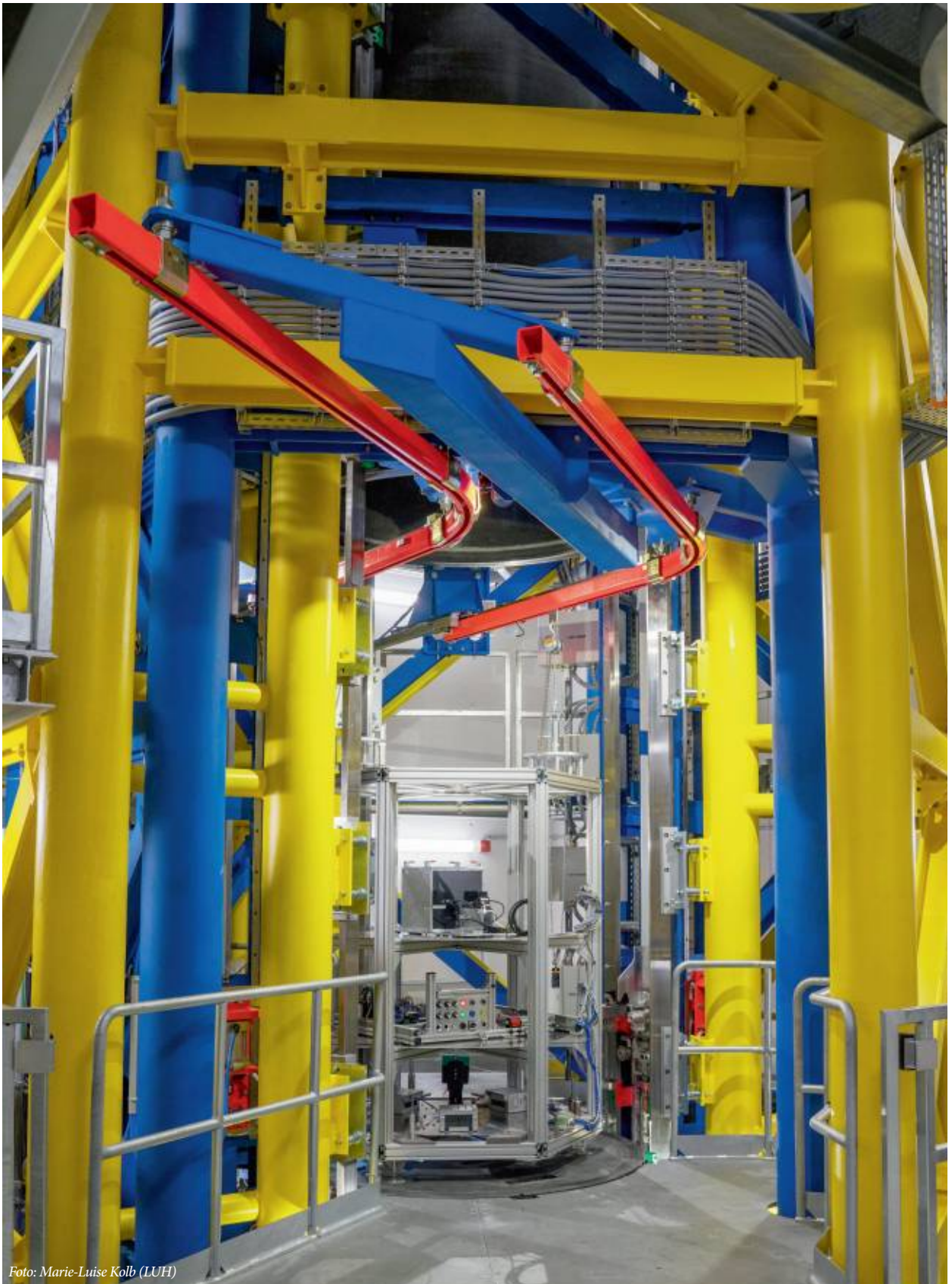


Foto: Marie-Luise Kolb (LUH)



Professorin Annika Raatz, Institutleiterin

Geschichte des Instituts

Das Institut für Montagetechnik (match) wurde 2013 zeitgleich mit der Berufung von Annika Raatz an der Leibniz Universität gegründet und ist eins der acht Institute im Produktionstechnischen Zentrum Hannover (PZH). Am match werden zukunftsweisende Ideen für die automatisierte und robotergestützte Montage und Handhabung in der Produktion verfolgt. Als essenzieller Bestandteil der Wertschöpfungskette komplettiert die durch das match repräsentierte Montagetechnik die am PZH abgebildete Prozesskette der Produktionstechnik. Die wissenschaftlichen Arbeiten des Instituts lassen sich unter den vier Forschungsschwerpunkten zusammenfassen:

- ▶ Robotergestützte Montage- und Handhabungsvorgänge
- ▶ Maschinenkonzepte und Systemintegration
- ▶ Entwicklung und Optimierung von Handhabungs- und Montageprozessen
- ▶ Intelligente Maschinenkomponenten auf Basis von Smart Materials

In einer Vielzahl von Kooperationen wird von mittlerweile 18 wissenschaftlichen Mitarbeiter*innen an Lösungen für Fragestellungen der modernen Industrie geforscht. Neben der Forschung setzt sich das Team des match in der Lehre für den Einsatz moderner Konzepte und Methoden ein, um die Studierenden mit vielen praktischen Projekten und Modulen für die Anwendung der theoretischen Inhalte zu begeistern.

Aus der Forschung

Soft Material Robotics / Im Forschungsbereich Soft Material Robotic Systems arbeitet das match an Roboterstrukturen aus weichen und nachgiebigen Materialien, die im Gegensatz zu ihren

Pendants aus harten Materialien wie Stahl oder Aluminium eine inhärente Sicherheit im Kontakt mit dem Menschen aufweisen. Der Paradigmenwechsel von Robotern aus harten Materialien hin zu nachgiebigen Strukturen verspricht eine Erhöhung der Flexibilität robotergestützter Systeme. Dabei macht sich die Soft Material Robotics die Nachgiebigkeit des verwendeten Materials zunutze. Silikone und Elastomere führen zu einer erhöhten Anpassungsfähigkeit der Roboterstrukturen, die klassische Robotersysteme nicht aufweisen können. Entsprechend entwickelte Roboter können sich ihrer Umgebung anschmiegen, ohne dass es zu einer Beschädigung am Roboter oder der Umgebung kommt. Anwendungsgebiete für Soft Robotics finden sich unter anderem in der Medizin, der Landwirtschaft, der Industrie, der Meeresforschung und bei Haushaltsrobotern.

Das match widmet sich in seiner Forschung der Frage, wie diese Vorteile in Zukunft nutzbar gemacht werden können. Mit der erhöhten Flexibilität gehen auch neue Herausforderungen für das Design, die Modellierung und die Regelung softer Robotersysteme einher. Auch wenn die Forschung im Feld der Soft Robotics seit ihrer Einführung bereits große Fortschritte vorweisen kann, so fehlt es bis heute dennoch an Beispielen, die es aus den Laboren heraus in die reale Anwendung geschafft haben. Die Erforschung und Entwicklung standardisierter Entwicklertools für das Systemdesign, Modellierung und Regelung sowie darüber hinaus die Erarbeitung unterstützender Technologien aus den Bereichen Sensorik und funktionaler Materialien sind die Ziele des DFG Schwerpunktprogramms „Soft Material Robotic Systems“. Seit 2019 wird dieses Programm vom match koordiniert, in dem deutschlandweit 13 Einrichtungen in unterschiedlichen Projekten die Erforschung softer Roboter vorantreiben. Nachdem in der ersten Förderphase vor allem Grundlagenforschung betrieben wurde, liegt nun mit Beginn der zweiten Förderperiode im letzten Jahr der Fokus auf kon-



ROV 6000 Kiel und Soft Material Robotic Sauger.
Foto: match

kreteren Anwendungsbereichen für soft robotische Systeme. Im Zuge dessen wurde bereits ein neues Teilprojekt gestartet, welches sich mit der Entwicklung eines soften aktuierten Saugers für die Entnahme von Sedimentproben in der Tiefsee befasst. Im Vergleich zu klassischen Robotern hätte ein softer Roboter hier den Vorteil, dass die Komplexität und das Gewicht des Systems massiv reduziert werden kann bei gleichzeitiger Erhöhung der möglichen Reichweite des Saugers und der damit verbundenen verbesserten Funktionalität. Das Ziel ist es, den Roboter so zu konzipieren, dass das gesamte System leicht zu skalieren ist und so an verschiedene Anwendungsszenarien angepasst werden kann.

Das match behandelt außerdem im Rahmen des Schwerpunktprogramms zusammen mit dem Institut für mechatronische Systeme (imes) und dem Institut für Dynamik und Schwingungen (IDS) Design-, Modellierungs- und Regelungsmethoden für soft pneumatische Manipulatoren. Ziel ist die Erstellung einer generalisierten Toolbox, mit der Anwender verschiedenste Designs modellieren, testen und weiterentwickeln können.

Im Rahmen des Koordinationsprojekts richtete das match 2022 zwei Workshops bei internationalen Robotik Konferenzen aus. Unter dem Titel „Leveraging advancements in smart materials science: Soft robots gaining new abilities through smart and functional materials“ diskutierten zwölf der einflussreichsten Forscher:innen auf dem Gebiet der Soft Robotics und Materialwissenschaften zu neuartigen Materialien und deren Einsatz in der Soft Robotics auf der International Conference on Robotics and Automation (IEEE ICRA). Der Workshop in Philadelphia fand breites Interesse in beiden Fachgebieten und war mit über 100 Teilnehmenden, online sowie in Präsenz, sehr gut besucht. Bei der International Conference on Intelligent Robots and Systems (IEEE IROS) in Kyoto, der zweitgrößten Robotikkonferenz nach der ICRA, organisierte das



Mobile Roboterplattform MiR600 mit MRK-fähigem UR16e Leichtbaurobster. Foto: match

match einen Workshop zu „Soft Robots for Humanity“. Dieser brachte Wissenschaftler:innen aus der Robotik, der Soft Robotics, der Ethik und Bildung zusammen und diskutierte Ansätze von soft robotischen Systemen in der Medizin, der Pflege und Rehabilitation sowie der Lehre, welche eine bessere Welt von morgen schaffen können.

Mobile Robotik / Das match widmet sich im Bereich der mobilen Robotik der Erforschung von Multirobotersystemen beim Transport und der Handhabung von Großbauteilen. In einem mobilen Multirobotersystem kollaborieren zu diesem Zweck mehrere kleine mobile Roboter, indem diese an verschiedenen Stellen das Bauteil greifen. Durch die Auswahl und Anzahl der mobilen Roboter sowie ihre Anordnung um das Bauteil entsteht ein hoch flexibles Handhabungs- und Montagesystem. Ohne ein solches System müssten immer größere und komplexere Handhabungsgeräte konstruiert werden, um den steigenden Bauteildimensionen und Montageanforderungen gerecht zu werden. Zur Optimierung von Handhabungs-, Transport- und Montageprozessen werden komplexe Aufgabenstellungen in einfachere Teilaufgaben zerlegt und an ein Multirobotersystem übergeben. Ein positiver Nebeneffekt ist, dass die reduzierten Anforderungen an einzelne Roboterplattformen eine Wiederverwendung bestehender Roboter für neue Aufgaben ermöglicht, was besonders unter dem Aspekt der Nachhaltigkeit zunehmend an Relevanz gewinnt. Die Herausforderung bei Multirobotersystemen besteht darin, die voneinander unabhängigen mobilen Roboterplattformen miteinander interagieren zu lassen. Die Kooperation der mobilen Roboter ist in allen Prozessschritten zwingend erforderlich und reicht von dem gemeinsamen Aufnehmen eines Gegenstands über die Bewegung der einzelnen mobilen Roboter in einer Formation bis zum Ablegen des Gegenstands an der Zielposition. Zur Lösung dieser Problemstellungen werden am match Algorithmen und Verfahren in den Bereichen

skalenunabhängige Aufgabenabstimmung und Aufgabenverteilung, Greifpunktbestimmung und -verteilung, Formationsbestimmung und -optimierung, Modellierung und Regelung, Sensorik und Messtechnik sowie Steuerung und Kommunikation entwickelt.

Kryotechnische Automatisierung / Im Rahmen des von der DFG geförderten Projektes: „Methoden zur Automatisierung von Handhabungsprozessen unter kryogenen Umgebungsbedingungen“ werden am match in Kooperation mit dem Fraunhofer-Institut für Biomedizinische Technik (IBMT, Sulzbach/Saar) Ansätze zur Automatisierung der Handhabungsprozesse in Biobanken für die Kryokonservierung im Temperaturbereich unterhalb von -130°C erforscht. Die Herausforderung besteht darin, die Funktionalität der Maschinenkomponenten (Gelenke, Sensorik, Energieversorgung etc.) in diesem Temperaturbereich zu gewährleisten, um die Biobank bei einem konstant niedrigen Temperaturniveau betreiben zu können. Dies soll die Beschädigung der Proben durch Temperaturschwankungen verhindern und gleichzeitig die Effizienz und Reproduzierbarkeit der Handhabungsprozesse steigern. Die Basis des Automatisierungssystems bildet ein Parallelroboter. Dessen Struktur erlaubt es, die Antriebstechnik vom Tieftemperaturbereich zu entkoppeln und außerhalb, d. h. im Warmbereich, zu platzieren. Um die Antriebsbewegung an die Endeffektor-Plattform zu übertragen, werden am match Methoden zur Gestaltung passiver Festkörpergelenke erforscht, sodass diese bei den geforderten Temperaturen eingesetzt werden können. Nach der erfolgreichen Erforschung der grundlegenden Technologien in der ersten Förderphase, ist das Ziel der zweiten Phase die Erforschung und Realisierung eines Pick-and-Place Workflows bei tiefen Temperaturen zur Handhabung von kryokonservierten Proben, die sowohl in Kryoröhrchen als auch in speziellen Mikrotiterplatten eingefroren sind. Dafür wird ein Demonstrator konzipiert und realisiert, mit dem das Zusammenspiel der einzelnen, in der ersten Förderphase realisierten, Komponenten getestet und der automatisierte Handhabungsprozess in einer kryogenen Arbeitsumgebung validiert werden kann. Kern ist ein DELTA-Parallelroboter mit vertikal angeordneten Elektrospondeln als Schubantriebe. Die passiven Gelenke der Struktur sind als Kardangelenke ausgelegt, die aus mehreren monolithischen Festkörpergelenken zusammengesetzt sind.

Präzisionsmontage / In der Präzisionsmontage werden Bauteile auf wenige Mikrometer genau montiert. Übliche Anwendungsfelder sind Produkte aus der Medizintechnik sowie optische und mikromechanische Systeme (MEMS). Konventionelle Roboter und entsprechende Peripherie stoßen dabei an ihre Grenzen. Das Institut für Montagetechnik entwickelt neuartige Montagestrategien und -prozesse, um den hohen Anforderungen der Präzisionsmontage gerecht zu werden.

Das Exzellenzcluster PhoenixD hat sich zum Ziel gesetzt, intelligente, kompakte und adaptive optische Systeme mit völlig neuen Funktionalitäten zu entwickeln. Das match befasst sich in diesem

Kontext mit Präzisionsmontageaufgaben und adaptiven Montagekonzepten. Ein neues Forschungsthema ist der Einsatz eines magnetischen Levitationssystems, das nicht nur zum Werkstücktransport zwischen den einzelnen Produktionsprozessen, sondern gleichzeitig auch für eine mikrometeregenaue Bauteilmanipulation mit sechs Freiheiten genutzt werden soll. Nach dem prinzipiellen Nachweis der Eignung für Präzisionsmontageaufgaben durch Genauigkeitsuntersuchungen wurde ein entsprechendes System der Firma MAFU im Jahr 2022 angeschafft.

Ein weiterer Forschungsansatz des match in PhoenixD ist die elektrostatische Self-Assembly. Dabei werden in einem speziellen Design leitfähige Strukturen in die Bauteile integriert. Durch angelegte Spannung eingebrachte Ladungsverschiebungen führen zu einer Anziehung der Bauteile, wodurch sich diese zueinander ausrichten. Die erreichbare Genauigkeit liegt im Sub-Mikrometerbereich und findet ohne externe Handhabungsgeräte statt. Das eröffnet eine bachtfähige Produktion und ein hohes wirtschaftliches Potential.

Neben der Entwicklung von Montagekonzepten und bedarfsangepasster Hardware steht insbesondere die Nutzung von Prozess- und Simulationsdaten aus der gesamten Entwicklungs- und Produktionskette von PhoenixD im Fokus. Die Zusammenfassung von Simulations-, Entwicklungs- und Fertigungsdaten in einem einheitlichen Datenformat soll sowohl eine Vorhersage der Montagequalität als auch sich selbst optimierende Montagesysteme ermöglichen.

Ein weiterer Schwerpunkt des match liegt in der Entwicklung und Optimierung von Klebprozessen. In diesem Bereich wurde die erfolgreiche Kooperation mit Siemens Healthineers fortgesetzt. Bei der Herstellung von Röntgendetektoren ist eine hohe Präzision und die Zuverlässigkeit der Fügeverbindung entscheidend. In verschiedenen Projekten wurde im Jahr 2022 an der Optimierung von Klebprozessen gearbeitet, die zukünftig in die Serienproduktion umgesetzt werden.

Pfadplanung für roboterbasierte additive Fertigung / Im Rahmen des DFG geförderten Transregio 277 werden die Grundlagen für zukunftsfähige additive Fertigungsverfahren in der Baubranche entwickelt. Hierbei liegt der Fokus neben der Automatisierung, zur Überwindung des Fachkräftemangels, auf der Erforschung nachhaltigerer und flexibler Produktionsmethoden. Bisherige Forschungsergebnisse ermöglichen bereits eine schalungsfreie und reproduzierbare Herstellung von topologieoptimierten Betonbauteilen, wodurch eine signifikante Reduktion des Materialeinsatzes und der Abfallprodukte erzielt werden konnte. Insbesondere die Entwicklung skalierbarer und flexibler Produktionsmittel bietet nun einen neuen Ansatz, die bisherige umfangreiche Anlagentechnik zur Herstellung großskaliger Gebäudekomponenten zu reduzieren.

Im Teilprojekt B04 des TRR 277 beschäftigen sich die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler am match mit der Befähigung

mobiler Roboter für die Ausführung additiven Fertigungsverfahren. Grundlage bilden die bisher entwickelten Bahnplanungsmethoden und Regelungsmethoden, welche auf der Versuchsanlage des Instituts für Tragwerksentwurf an der Technischen Universität Braunschweig reproduzierbare Produktionsergebnisse erzielen. Die zukünftige Forschung am match fokussiert nun die Herausforderungen für den Transfer auf Systeme mit mobilen Roboterplattformen als Basis. Im Gegensatz zu herkömmlichen Pick-and-Place Aufgaben muss für additive Fertigungsverfahren die Genauigkeit während der Verfahrensbewegung möglichst hoch sein, um ein exaktes Ablegen des Materials auf vorab gedruckten Betonschichten zu sichern. Eine Steigerung der Bahnengenauigkeit soll durch die Entwicklung neuer Mapping- und Lokalisierungsalgorithmen erzielt werden. Weiterführend gilt es, das zeitabhängige Materialverhalten frischer Betone, welches während des Aushärtens zu Schrumpfung und Formveränderung führt, während des Druckprozesses zu kompensieren. Bisherige Regelungsmethodiken und Sensorsysteme werden daher auf den Einsatz mobiler Roboter adaptiert. Herausforderungen bestehen dabei in der reduzierten Tragfähigkeit sowie der Auflösung von Systemen mit erweitertem Freiheitsgrad. Die Untersuchung und Erprobung der entwickelten Methoden erfolgt am match unter Verwendung eines maßstabsgetreuen Ersatzprozesses.

Sauerstofffreie Produktion / Im Rahmen des Sonderforschungsbereichs 1368 „Sauerstofffreie Produktion“ beschäftigt sich das match mit klebstoffbasierten Montageprozessen in technisch sauerstofffreier Atmosphäre. Eine Reduzierung des Sauerstoffgehalts auf bisher nicht erreichbar niedrige Werte wird durch die Dotierung einer Inertgasatmosphäre mit hochreaktivem Silan erreicht. Dieses reagiert mit dem Restsauerstoff der Umgebung zu Siliziumdioxid und Wasser, wodurch eine Atmosphäre entsteht, die hinsichtlich des Sauerstoffgehalts einem extrem hohen Vakuum (XHV) entspricht. Eine XHV-adäquate Atmosphäre bietet das Potenzial, bereits etablierte Prozesse um neue Möglichkeiten zu erweitern, die Leistungsfähigkeit der hergestellten Produkte signifikant zu steigern und darüber hinaus neuartige Prozesse zu ermöglichen.

Klebstoffbasierte Montageprozesse finden ein immer breiteres industrielles Anwendungsspektrum und ersetzen oder ergänzen an vielen Stellen andere Fügetechnologien. Ein Grund hierfür sind die Vorteile des Klebens gegenüber konventionellen Fügeverfahren. Zu nennen sind hier beispielsweise die Möglichkeiten, heterogene Fügepartner zu verbinden, das Gewicht der Fügeverbindung zu reduzieren oder empfindliche Bauteile zu kleben. Demgegenüber stehen eine aufwendige Prozesskontrolle und ein hoher Zeitaufwand. Um diesen Herausforderungen entgegenzuwirken, untersucht das match das Kleben in sauerstofffreier Umgebung. Zum einen wird hierdurch eine Produktivitäts- und Qualitätssteigerung für Einkomponentenklebstoffe erwartet, welche durch die gezielte Zugabe der Aushärtekomponente (Sauerstoff, Feuchtigkeit etc.) erreicht wird. Zum anderen werden Klebverbindungen ohne zwischenliegende Oxidschichten untersucht. Metalle reagieren mit dem Sauer-

stoff der Umgebung, was zur Bildung einer meist unerwünschten Oxidschicht führt. Durch das Arbeiten in XHV-adäquater Atmosphäre wird die Möglichkeit geschaffen, reine Metalle nach einer Desoxidation ohne zwischenliegende Oxidschichten zu kleben. Im Vergleich zu konventionellen Klebverbindungen bietet diese Direktverbindung das Potenzial für mechanische, thermische, elektrische und chemische Eigenschaften höherer Funktionalität und neue Fügepartner-Klebstoff-Kombinationen.

Um Erkenntnisse über die Eigenschaften von Klebstoffen auf oxidierten und oxidfreien Fügepartnern zu gewinnen, werden verschiedene analytische Methoden eingesetzt. Die technischen Eigenschaften der Klebungen, wie beispielsweise die Festigkeit, werden am match über zerstörende Prüfverfahren, wie beispielsweise den quasistatischen Zugversuch, direkt in sauerstofffreier Umgebung ermittelt. Um die Zusammenhänge zwischen gemessenen technischen Eigenschaften und der Adhäsion auf molekularer Ebene zu verstehen, kooperiert das match mit dem Clausthaler Zentrum für Materialforschung. Dort werden Methoden der Oberflächenphysik wie die Röntgen-Photoelektronenspektroskopie oder die Rasterkraftmikroskopie eingesetzt, um die Adhäsion an der Grenzfläche zwischen Klebstoff und Fügepartner zu untersuchen.

Erste Untersuchungen haben gezeigt, dass das Kleben in XHV-adäquater Atmosphäre neue Möglichkeiten für eine flexible Prozesskontrolle und Klebverbindungen mit höherer Funktionalität bietet. Um das erarbeitete Prozessverständnis zu vertiefen, werden die Untersuchungen auf weitere Klebstoffe und hybride Fügepartnerverbindungen ausgeweitet. Darüber hinaus werden die Erkenntnisse zeitnah auf anwendungsnahe Herausforderungen der Klebtechnik angewandt.

Lehre / Seit dem Bestehen des Instituts arbeitet das match daran, neue Konzepte und Methoden in die Lehre einzubringen. Auch im Jahr 2022 war dies ein wichtiges Bestreben, um die Herausforderungen zu meistern, die die Corona-Situation für die Lehre mit sich brachte. Praxisorientierte Veranstaltungen wie das Bachelorprojekt sind ein wichtiger Bestandteil des Lehrplans, denn im Mittelpunkt stehen nicht nur die rein technischen Studieninhalte, sondern Motivationsförderung und die Vermittlung von Problemlösungskompetenz im gemeinsamen Miteinander.

Sehr positive Resonanz findet die Mastervorlesung „Robotergetriebene Montageprozesse“. Am Beispiel einer realitätsnahen Problemstellung können die Teilnehmenden in Kleingruppen selbst Lösungsansätze zur Realisierung eines Montageprozesses erarbeiten. Die Praxiseinheiten stellen dabei die Teilaspekte Simulation, Sensorintegration und Programmierung in den Fokus.

Im Rahmen der Vorlesung „Handhabungs- und Montagetechnik“ erlernen die Studierenden die Grundlagen der Montageplanung, der Montagegerechten Produktgestaltung sowie wichtige Grundlagen aus dem Bereich der Handhabungstechnik. Im Rahmen eines

freiwilligen studentischen Projektes übernehmen die Studierenden selbst die Planung und Auslegung der Montage für ein selbstgewähltes Produkt. Einem ähnlichen Weg folgt die Vorlesung Industriroboter für die Montagetechnik. Die im letzten Jahr als reine Onlineveranstaltung angebotenen Vorlesungen werden nun wieder in Präsenz stattfinden und durch Videoaufzeichnungen, ein aktives Forum und Onlinesprechstunden unterstützt.

Seit Mitte des letzten Jahres besitzt das match den Explorationsroboter Spot von Boston Dynamics. Der auf den Namen EMMA (kurz für Exploration of Maneuvers during Match's Autonomous missions) getaufte vierbeiniger Laufroboter, der bezüglich seiner Struktur und Fortbewegung deutliche Ähnlichkeit zu einem Hund aufweist, soll u.a. eingesetzt werden, um autonom Müll auf dem Campus aufzusammeln und zur Sortierung an einem zentralen Sammelpunkt abzuliefern. Im Gegensatz zu rad- oder kettengebundenen mobilen Robotern ist EMMA dabei extrem flexibel hinsichtlich Bodenbegebenheit und Einsatzort. Gleichzeitig ist es ihr möglich, in Gebäude oder Räume zu gelangen, selbstständig Türen zu öffnen und Treppen zu steigen. Zur Durchführung dieser Aufgaben erstellt EMMA mithilfe ihrer fünf Tiefenbildkameras sowie zwei LiDAR-Sensoren eine 3D-Karte der Umgebung, um sich auf dem Campus zu orientieren. Damit EMMA mit ihrer näheren Umgebung interagieren kann, besitzt sie einen Roboterarm auf ihrem Rücken, der ihr mittels eines Greifers das Festhalten und Heben von Gegenständen ermöglicht. Unmittelbar neben dem Greifer befindet sich eine weitere Kamera, mit der EMMA Nahaufnahmen

von Objekten auf dem Boden machen kann. Bei der Suche nach Müll wird EMMA von Studierenden unterstützt. Im Rahmen einer Lehrveranstaltung wird die Klassifizierung der vom Laufroboter erkannten Objekte mittels neuronaler Netze realisiert. Diese Netze bestimmen den optimalen Greifpunkt eines Objektes für den Transport und bestimmen die Art des Mülls zur Sortierung am Sammelpunkt.

Ebenfalls mit neuronalen Netzen befasst sich das Masterlabor „Machine Learning in der Produktionstechnik“. Im Labor wird den Studierenden die praktische und anwendungsnahe Implementierung von künstlichen neuronalen Netzen in der Produktionstechnik vermittelt. Die Studierenden haben die Aufgabe, einen Recyclingprozess für Getränkeverschlüsse zu entwickeln. Hierbei durchlaufen die Studierenden den gesamten Lösungsprozess - von der Erstellung eines Datensatzes, über die Programmierung und dem Training von Neuronalen Netzen in Python, bis hin zur Validierung der Methoden im Versuch.

18 wissenschaftliche Mitarbeitende
3 nichtwissenschaftliche Mitarbeitende
43 studentische Mitarbeitende

match 2022

Institut für Montagetechnik

Leitung

Prof. Dr.-Ing. Annika Raatz

Lehre

19 Masterarbeiten, 20 Studienarbeiten,
7 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 TP C07 Flexible Handhabung schmiedewarmer Hybridbauteile (DFG)

Exzellenzcluster PhoenixD (Photonics, Optics, and Engineering – Innovation Across Disciplines): Prä-

zisionsmontage, Montage photonisch integrierter Systeme, Montagestation auf Basis eines magnetischen Levitationssystems und Self Assembly (Design, Herstellung und Montage von Präzisionsoptik) (DFG)

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

SFB 871, Regeneration komplexer Investitionsgüter:
TP A05 Anpassungsfähige bauteilschonende Demontage im Regenerationspfad (DFG)

Methoden zur Automatisierung von Handhabungsprozessen unter kryogenen Umgebungsbedingungen (DFG)

Modellbasierte Erhöhung der Flexibilität und Robustheit einer aerodynamischen Zuführanlage für die Hochleistungsmontage (DFG)

SFB/Transregio 277 Additive Fertigung im Bauwesen – Die Herausforderung des großen Maßstabs (DFG) TP B04 Process Control and Adaptive Path Planning for Additive Manufacturing Processes Based on Industrial Robots with an Extended Degree of Freedom

SFB 1368 Sauerstofffreie Produktion - Prozesse und Wirkzonen in sauerstofffreier Atmosphäre zur Entwicklung zukunftsfähiger Produktionstechniken und Fertigungsverfahren; 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

Veröffentlichungen (Auszug)

Aufsätze (reviewed)

Blankemeyer, S.; Kolditz, T.; Busch, J.; Seitz, M.; Nyhuis, P.; Raatz, A. (2022): Adaptive aerodynamic part feeding enabled by genetic algorithm. In: Prod. Eng. Res. Devel. 16, 1–8 (2022), DOI: <https://doi.org/10.1007/s11740-021-01076-w>

Dörfler K., Dielemans G., Lachmayer L., Recker T., Raatz A., Lowke D., Gerke M. (2022): Additive Manufacturing using mobile robots: Opportunities and challenges for building construction. In: Cement and Concrete Research, Vol. 158, 106772 DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2022.106772>

Middendorf, P.; Blümel, R.; Hinz, L.; Raatz A., Kästner, M.; Reithmeier E. (2022): Condition assessment and damage characterization of turbine blades during inspection cycles and component-protective disassembly processes. In: *Sensors* 2022, 22 (14), 5191, DOI: <https://doi.org/10.3390/s22145191>

Bücher (reviewed)

Schüppstuhl T., Tracht K., Raatz A. (eds) (2022): *Annals of Scientific Society for Assembly*. In: *Handling and Industrial Robotics 2021*, Springer Vieweg, Berlin, Heidelberg, ISBN: 978-3-030-74032-0

Konferenz (reviewed)

Berthold, R.; Wiese, M.; Raatz, A. (2022): Investigation of Lateral Compression Effects in Fiber Reinforced Soft Pneumatic Actuators. In: 2022 International Conference on Electrical, Computer, Communications and Mechatronics Engineering (ICECCME), DOI: <https://doi.org/10.1109/ICECCME55909.2022.9988565>

Blankemeyer, S.; Kolditz, T.; Busch, J.; Seitz, M.; Nyhuis, P.; Raatz, A. (2022): Adaptive aerodynamic part feeding enabled by genetic algorithm. In: *Production Engineering res. Devel.* 16, pp. 1-8 (8 Seiten, open access), DOI: [10.1007/s11740-021-01076-w](https://doi.org/10.1007/s11740-021-01076-w)

Blümel, R., Raatz, A. (2022): Research on Gentle Loosening of Solidified Bolted Joints for Complex Capital Goods. In: The 29th CIRP Conference on Life Cycle Engineering (LCE), DOI: <https://doi.org/10.1016/j.procir.2022.02.090>

Böhler D., Mai I., Freund N., Lachmayer L., Raatz A., Lowke D. (2022): Influence of Material and Process Parameters on Hardened State Properties of Shotcrete 3D-Printed Elements. In: *Third RILEM International Conference on Concrete and Digital Fabrication*, Vol. 37, DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-031-06116-5_38

Garcia Morales, D. S.; Jiang, Ch.; Raatz, A. (2022): Sensitivity Analysis for 3D Printed Soft Pneumatic Actuators from 2D Origami Patterns to Functional Systems. In: *IEEE International Conference on Soft Robotics (Robosoft)*, (accepted)

Dielemans, G.; Lachmayer, L.; Recker, T.; Atanasova, I.; Hecht, C.; Matthäus, C.; Raatz, A.; Dörfler, K. (2022): Mobile Additive Manufacturing: A Case Study of Clay Formwork for Bespoke in Situ Concrete Construction. In: *RILEM International Conference on Concrete and Digital Fabrication*, DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-031-06116-5_3

Ince, C.-V.; Geggier, J.; Raatz, A. (2022): Fin Ray gripper for handling of high temperature hybrid forging objects. In: 9th CIRP Conference on Assembly Technology and Systems (CATS), DOI: <https://doi.org/10.1016/j.procir.2022.02.164>

Jahn, P.; Hentschel, J.; Raatz, A. (2022): Design and Analysis of a Compliant Parallel Robot with Cardan Joints for a Cryogenic Working Environment. In: *Advances in Robot Kinematics 2022*, DOI: [10.1007/978-3-031-08140-8_24](https://doi.org/10.1007/978-3-031-08140-8_24)

Kolditz, T.; Müller, P.; Bansmann, D.; Raatz, A. (2022): Flexible Aerodynamic Part Feeding Using High-Speed Image Processing. In: *Production at the Leading Edge of Technology*, DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-030-78424-9_45

Kolditz, T.; Raatz, A. (2022): Aerodynamic Feeding 4.0: A New Concept for Flexible Part Feeding. In: 9th CIRP Conference on Assembly Technology and Systems (CATS), DOI: <https://doi.org/10.1016/j.procir.2022.02.153>

Lachmayer L., Dörrie R., Kloft H., Raatz A. (2022): Process Control for Additive Manufacturing of Concrete Components. In: *RILEM International Conference on Concrete and Digital Fabrication*, Vol. 37, Seite 351-356, DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-031-06116-5_52

Lachmayer L., Recker T., Dielemans G., Dörfler K., Raatz A. (2022): Autonomous Sensing and Localization of a Mobile Robot for Multi-step Additive Manufacturing in Construction. In: *Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spatial Inf. Sci.*, XLIII-B1-2022, Seite 453-458, DOI: <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLIII-B1-2022-453-2022>

Lachmayer, L.; Recker, T.; Raatz, A. (2022): Contour Tracking Control for Mobile Robots applicable to Large-scale Assembly and Additive Manufacturing in Construction. In: *Procedia CIRP*, Vol. 106, 2022, Seite 108-113 (9th CIRP CATS), DOI: <https://doi.org/10.1016/j.procir.2022.02.163>

Lurz, H.; Recker, T.; Raatz, A. (2022): Spline-based Path Planning and Reconfiguration for Rigid Multi-Robot Formations. In: 9th CIRP Conference on Assembly Technology and Systems (CATS), DOI: <https://doi.org/10.1016/j.procir.2022.02.174>

Olssommer, Y. Jahn, P. Raatz, A. Ihmig, F. (2022): Induktive Energieübertragung in eine kryogene Umgebung. In: *Tagungsband zur deutschen Kälte- und Klimatagung 2022*

Recker T., Zhou B., Stüde M., Wielitzka M., Ortmaier T., Raatz A. (2022): LiDAR-Based Localization for Formation Control of Multi-Robot Systems. In: Schüppstuhl T., Tracht K., Raatz A. (eds) *Annals of Scientific Society for Assembly, Handling and Industrial Robotics 2021*. Springer, Cham, DOI: [10.1007/978-3-030-74032-0_30](https://doi.org/10.1007/978-3-030-74032-0_30)

Schappeler, M., Jahn, P., Raatz, A., Ortmaier, T. (2022): Combined Structural and Dimensional Synthesis of a Parallel Robot for Cryogenic Handling Tasks. In: Schüppstuhl T., Tracht K., Raatz A. (eds) *Annals of Scientific Society for Assembly, Handling and Industrial Robotics 2021*, DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-030-74032-0_6

Stucki, M.; Schumann, C.; Raatz, A. (2022): Alignment Process for Glass Substrates Using Electrostatic Self-Assembly. In: Behrens BA., Brosius A., Drossel WG., Hintze W., Ihlenfeldt S., Nyhuis P. (eds) *Production at the Leading Edge of Technology*. WGP 2021. Lecture Notes in Production Engineering. Springer, Cham, DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-030-78424-9_50

Recker, T.; Lurz, H.; Raatz, A. (2022): Smooth Spline-based Trajectory Planning for Semi-Rigid Multi-Robot Formations. In: 2022 IEEE 18th International Conference on Automation Science and Engineering (CASE), DOI: [10.1109/CASE49997.2022.9926604](https://doi.org/10.1109/CASE49997.2022.9926604)

Kolditz, T.; Hentschel, J.; Raatz, A. (2022): Analyzing Natural Resting Aspects of Arbitrary Components Using a Physics Engine. In: *Proceedings of the 7th MHI Colloquium 2022, Karlsruhe* (accepted)

Ekanayaka, V.; Lachmayer, L.; Raatz, A.; Hürkamp, A. (2022): Approach to optimize the inter-layer waiting time in additive manufacturing with concrete utilizing FEM modeling. In: *Procedia CIRP Design*, Vol. 109, Seite 562-567, DOI: <https://doi.org/10.1016/j.procir.2022.05.295>

Wiese, M.; Cao, B.-H.; Raatz, A. (2022): Towards accurate modeling of modular soft pneumatic robots: from volume FEM to Cosserat rod. In: *IEEE/RSJ Int. Conf. on Intelligent Robots and Systems (IROS)*, DOI: [10.1109/IROS47612.2022.9981628](https://doi.org/10.1109/IROS47612.2022.9981628)

Dörfler, K.; Dielemans, G.; Lachmayer, L.; Recker, T.; Raatz, A.; Lowke, D.; Gerke, M. (2022): Additive Manufacturing using mobile robots: Opportunities and challenges for building construction. In: *Cement and Concrete Research*, Vol. 158, 2022, 106772, ISSN 0008-8846, <https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2022.106772>

Dielemans, G.; Lachmayer, L.; Recker, T.; Atanasova, L.; Hecht, C. M.; Matthäus, C.; Raatz, A.; Dörfler, K. (2022): Mobile Additive Manufacturing: A Case Study of Clay Formwork for Bespoke in Situ Concrete Construction. In: Buswell, R., Blanco, A., Cavalaro, S., Kinnell, P. (eds) *Third RILEM Int. Conf. on Concrete and Digital Fabrication*. DC 2022. RILEM Bookseries, vol 37. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-031-06116-5_3

Konferenz

Ince, C.-V.; Raatz A. (2022): Automatisierung der flexiblen Handhabung schmedewarmer Tailored Forming Bauteile. In: *Tagungsband Fachtagung VDI-Mechatronik 2022*, Seite 7-12

Wesentliche Neuanschaffungen

OCA 50EC von DataPhysics Instruments GmbH: Automatisches, optisches Kontaktwinkelmessgerät

M-Drive Transportsystem von Mafu Robotics GmbH: Magnetisches Levitations-Transportsystem zur präzisen Positionierung von Werkstückträger in 6 Freiheiten.

PreciFluid System von PreciFluid System Corporation: Volumetrisches Dispenssystem Applikation von niedrig- und hochviskosen Klebstoffen



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 Strangpressen wird die Verarbeitung dieser Werkstoffe untersucht. Die Gießtechnik umfasst die Legierungsentwicklung von Aluminium- und Magnesiumlegierungen, die Prozess-

entwicklung sowie die Herstellung von Halbzeugen für die strangpresstechnische Weiterverarbeitung. Neben der Anpassung der mechanischen Kennwerte an die Anforderungen des Einsatzgebietes liegt ein weiterer Schwerpunkt auf der Entwicklung neuer Implantatwerkstoffe, z. B. biokompatibler Magnesium- sowie Niob-Zirkonium-Legierungen. Der Einfluss einer Umformung auf die Eigenschaften der Legierungen wird mittels Strangpressen oder Walzen untersucht. In diesem Zusammenhang sind vor allem die mechanischen Eigenschaften sowie die Mikrostruktur und Textur vor und nach der Umformung von Interesse. Die Erzeugung maßgeschneiderter Verbundstrukturen und hybrider Werkstoffe, bei denen die positiven Eigenschaften verschiedener Materialien kombiniert werden, gewinnt kontinuierlich an Bedeutung. Die Herstellung von Werkstoffverbunden wie Aluminium-Kupfer, Aluminium-Titan und Aluminium-Stahl wird sowohl mittels gießtechnischer Verfahren, zum Beispiel im Druckguss, als auch durch das Verbundstrangpressen untersucht. Neben der Grundlagenforschung werden Themen aus der industrienahen Forschung bearbeitet. Hier sind unter anderem die Entwicklung von Implantaten aus resorbierbaren Magnesiumlegierungen, die Prozessentwicklung für das Magnesium- und Aluminiumstrangpressen sowie die werkstoffkundliche Charakterisierung von stranggepressten und gegossenen Bauteilen zu nennen.

Füge- und Oberflächentechnik / In diesem Bereich liegen die Forschungsschwerpunkte in der werkstoff- und prozesstechnischen Entwicklung neuer Löt- und Sinterverfahren für metallische und metall-keramische Werkstoffverbunde sowie neuer Beschichtungsverfahren zur Herstellung metallischer und keramischer Korrosions- und Verschleißschutzschicht-

ten. 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 Auftragslötens und des Auftragsinterns insbesondere Verfahren des Thermischen Spritzens (Atmosphärisches Plasma-, Lichtbogen-, Hochgeschwindigkeitsflam- und Kaltgas-spritzen) eingesetzt. Neben der langjährigen Forschung zum flussmittelfreien Verbindungs- und Auftragslötens wird als neuer Forschungsschwerpunkt beim atmosphärischen Plasma- und Lichtbogenspritzen die Entwicklung von Prozessen verfolgt, die in sauerstofffreien Inertgasatmosphären passivierungsfreie (oxidfreie) und somit stoffschlüssige Grenzflächenübergänge zur Bauteiloberfläche sowie im Schichtgefüge ermöglichen, mit dem Ziel, deutlich höhere Festigkeiten zu erreichen. Im Gegensatz dazu werden in einem weiteren Forschungsschwerpunkt Haftfestigkeiten thermisch gespritzter Schichten gezielt gering eingestellt, so dass in Urformwerkzeuge applizierte Beschichtungen auf das Bauteil (zum Beispiel Gussbauteil) transplantiert werden können, wobei eine Mikrostrukturierung als Positiv-/Negativ-Abformung mit übertragen werden kann. Des Weiteren werden Verfahren der physikalischen Gasphasenabscheidung (engl.: physical vapour deposition, kurz PVD) eingesetzt. Forschungsschwerpunkt ist hier die Entwicklung von im RF-Magnetronsputtering-Prozess erzeugten Molybdänoxidschichten für die Trockenschmierung von Wälzkontakten. Die experimentellen Untersuchungen in den unterschiedlichen Themengebieten werden durch Forschungsbeiträge zur physikalischen Modellierung und Simulation der genannten Prozesse unterstützt.

Technologie der Werkstoffe / Zu den Arbeitsschwerpunkten dieses Bereichs zählen die Stahlmetallurgie, Wärmebehandlung und Simulation, Mikrostrukturanalysen sowie Fragestellungen zur Materialprüfung und Materialermüdung. Im Fokus der Forschungsaktivitäten stehen neben der Mikrostrukturcharakterisierung und Legierungsentwicklung die gesteuerte Wärmebehandlung von metallischen Werkstoffen wie Vergütungsstählen mittels umweltfreundlicher Luft-Wasser-Spraykühlung und deren numerische Abbildung mittels der Finite-Elemente-Methode. Die Spraykühlung lässt sich sehr flexibel und vielfältig einsetzen und stellt sicher, dass die Werkstoffe schnell und gleichmäßig abgekühlt werden. Neben industriell weit verbreiteten Werkstoffen stehen zunehmend Sonderwerkstoffe wie Hochtemperatur-, Formgedächtnis- und Hochentropielegierungen im Mittelpunkt

aktueller Untersuchungen. Das Team der Materialprüfung ermittelt statische, zyklische und dynamische Materialkennwerte metallischer Werkstoffe und arbeitet als Dienstleister für Prüfaufträge intensiv mit Industrieunternehmen zusammen.

Unterwassertechnik / 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 Unterserserschweiß- und schneidprozessen, die zunehmend auch für Reparaturen an Off-Shore-Windparks notwendig sind. Die Zusatzwerkstoffe für das Unterserserschweißen werden am UWTH entwickelt und getestet. Auch im Bereich der Lichtbogenschweißtechnik werden im UWTH Forschungs- und Entwicklungsaufgaben durchgeführt. So wird beispielsweise das magnetisch bewegte Lichtbogenschweißen für die Bohrtechnik etabliert und im Bereich des Additive Manufacturing gearbeitet. Hierbei erfolgen die Schweißprozessentwicklung sowie der Prototypenbau des Schweißequipments im UWTH. Auch Wasserstrahltechniken werden am UWTH erforscht und genutzt – unter anderem für den Einsatz in der Biomedizintechnik. Dabei wird untersucht, wie sich Gewebe untersuchungsspezifisch präparieren lässt oder wie Fördergurte unter Einsatz dieser Technologie repariert werden können. Im Bereich der Elektronenstrahlbearbeitung wurde in den letzten Jahren das Schneiden mit dem atmosphärischen Elektronenstrahl entwickelt und untersucht. Vermehrt wird hier die 3D-Fertigung von Bauteilen fokussiert. Ferner ist der Bereich Korrosionsprüfung am UWTH angesiedelt. In diesem werden sowohl F & E-Aufgaben bearbeitet als auch Dienstleistungen auf dem Gebiet der Korrosion metallischer Werkstoffe durchgeführt.

Zerstörungsfreie Prüfverfahren / Im Bereich Zerstörungsfreie Prüfverfahren (ZfP) liegen die Schwerpunkte der Forschungsarbeiten in der Entwicklung und Weiterentwicklung zerstörungsfreier Prüftechniken zur Fehlerprüfung, Materialcharakterisierung und zerstörungsfreien Bestimmung von Materialkennwerten (Festigkeit, Härte, Gefüge, etc.) sowie der Anlagen- und Prozessüberwachung. Die Forschungsarbeiten umfassen dabei Prüftechniken aus den Bereichen Radiografie, Thermografie, Ultraschalltechnik, elektromagnetischer Prüftechniken und Schallemissionstechnik. Ein Fokus liegt in der Entwicklung von Sensorik, welche auch unter widrigsten Umgebungseinflüssen eingesetzt werden kann. Diese Sensorik ermöglicht es innerhalb von Prozessketten Daten zu generieren, die zur Anpassung von Fertigungsprozessen verwendet werden können. So kann beispielsweise

mittels einer neu entwickelten Hochtemperatur-Sensortechnik die Mikrostrukturevolution und damit resultierende Bauteileigenschaften von Schmiedeteilen in situ in der Abkühlphase bestimmt werden, um eine Echtzeit-Prozessregelung zu realisieren. So kann ein gewünschtes Zielgefüge kontrolliert eingestellt werden und eine Qualitätssicherung während des Prozessschrittes der Wärmebehandlung erfolgen. Auch die prozesssichere Einstellung von Randzoneneigenschaften gedrehter Bauteile konnte durch die Integration von zerstörungsfreier Prüftechnik in einer Werkzeugmaschine umgesetzt werden. Ein weiterer Fokus liegt auf der Zustandsbewertung von Schweißnähten an Offshore-Strukturen. Ziel ist hierbei die Detektion und Bewertung von Fehlern wie Rissen im gesamten Schweißnahtvolumen unterhalb der Wasserlinie sowie die Bewertung der Härte in der Wärmeeinflusszone. Auch Prüftechniken zur zerstörungsfreien Bewertung des Zustandes von hochbelasteten Bauteilen wie Turbinenschaufeln werden im Bereich ZfP entwickelt. Durch eine Kombination von elektromagnetischen und thermografischen Prüftechniken kann das Schichtsystem dieser Bauteile in Hinblick auf den mikrostrukturellen Zustand und potentielle Fehler bewertet werden. Neben den Entwicklungstätigkeiten besteht eine intensive Zusammenarbeit mit der Industrie hinsichtlich der Integration zerstö-

rungsfreier 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.

49 wissenschaftliche Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter
27 nichtwissenschaftliche Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter
43 studentische Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter
6 Auszubildende

IW 2022 Institut für Werkstoffkunde

Leitung

Prof. Dr.-Ing. Hans Jürgen Maier

Lehre

29 Masterarbeiten, 29 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 1368: Sauerstofffreie Produktion
Vorprojekt 03: Erzeugung hybrider Halbzeuge in XHV-adäquater Atmosphäre und deren Verarbeitung an Normalatmosphäre mittels Verfahren der Massivumformung am Beispiel des Strangpressens (DFG)

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

SFB/TRR 298: Sicherheitsintegrierte und infektionsreaktive Implantate
Teilprojekt B04: Aktive Stimulus-responsive Implantate (DFG)

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

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

Fortis - Füge- und Oberflächentechnik

Dynamische Magnet-Datenspeicherung auf thermisch gespritzten Schichten (DFG)

Entwicklung einer optischen Inspektionsmethode (spektroskopische Ellipsometrie) zur Bewertung des Oberflächenzustands von zu lötenden Metalloberflächen (AiF)

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

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

Lotapplikationsverfahren für Bipolarplatten (AiF/ZIM)

Schmierstoffeinsparung bei Mehrstufenwerkzeugen durch thermisch oxidierte Werkzeugoberflächen aus 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 Sinterbeschichtung für das Formhärten mit konduktiver Erwärmung (DFG)

SFB 871: Regeneration komplexer Investitionsgüter
Transferprojektantrag T17: Erhöhung der Lebens-

dauer der Outer Air Seal Beschichtung in der Hochdruckturbine durch die Entwicklung einer neuen Haftvermittlerschicht und deren Applikation durch Thermisches Spritzen (DFG)

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

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

TW – Technologie der Werkstoffe

Charakterisierung des Kriechverhaltens einer Nickelbasis-Superlegierung unter nicht-isothermen Bedingungen und Modifikation der Kriechlebensdauer mittels Stromimpulsbehandlung (DFG)
Einstellung von Mikrostruktur und Degradationsverhalten oxidpartikelmodifizierter Fe-Legierungen durch selektives Elektronenstrahlschmelzen (DFG)

Entwicklung einer Spraykühlung für Schmiedebauteile bis 5 kg zur lokalen Anpassung mechanischer Werkstoffeigenschaften und Prozessintegration der Wärmebehandlung in den Schmiedeprozess mit Reduktion der Prozesswärme um 50 % und der Nettoenergie um 25 % (AiF/ZIM)

Entwicklung polykristalliner zweiphasiger CoNiAl-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 infekti-onsreaktive Implantate
Teilprojekt A08: Gewebeschonende Entfernung von Hüft- und Knieendoprothesen (DFG)

SPP 2006: Legierungen mit komplexer Zusammensetzung – Hochentropielegierungen (CCA – HEA)
Teilprojekt 05: Untersuchungen des Zusammenhangs zwischen Mikrostruktur und funktionaler Ermüdung in Hochentropie-Formgedächtnislegierungen (DFG)

SPP 1959: Manipulation of matter controlled by electric and magnetic fields: Towards novel synthesis and processing routes of inorganic materials
Teilprojekt: Micromechanisms of the electro-plastic

effect in magnesium alloys investigated by means of electron microscopy (DFG)

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

UWTH

Entwicklung neuer Scheibenelektrodenwerkstoffe für das Kontaktlichtbogentrennschleifen (CAMG) durch additive Fertigung und prototypische Umsetzung der Schneidtechnologie als robuste Variante für automatisierte Unterwasserschneidaufgaben beim Rückbau kerntechnischer Anlagen Teilvorhaben: CAMG-Prozess (BMBF)

Entwicklung und Erprobung eines Schneidkopf-wechselsystems zum Wasserabstrahlstrahlschneiden (BMW i + LND)

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

SFB 1153: Prozesskette zur Herstellung hybrider Hochleistungsbauteile durch Tailored Forming
Teilprojekt A4: Lokale Anpassung von Werkstoffeigenschaften an Umformrohlängen durch Auftragschweißen zur Erzeugung gradiert hybrider Bauteile (DFG)
Teilprojekt T1: Ressourceneffiziente Produktionstechnik für Großwälzlager durch hybride Werkstoffsysteme (DFG)

SFB 1368: Sauerstofffreie Produktion
Teilprojekt B05: Kontrolle des Sauerstoffgehaltes im thermischen Lichtbogen und die Wirkung auf den Werkstoffübergang zur Herstellung von sauerstoff-freien Fügeverbindungen (DFG)

School for Additive Manufacturing:
Subproject 11 - Process-integrated self-regulation of the Wire and Arc Additive Manufacturing (WAAM) process to produce graded designed materials (MWK)

Simul-oxycut: Erforschung und Simulation des Strömungsverhaltens der Massenstromgeregelten Brenngas-Sauerstoffmischung im Bereich des Mischrohres und in der Brenngasdüse zur Verhinderung von Flammenrückschlägen (ZIM/ AiF)

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

Untersuchung und Optimierung der Prozessparameter und Werkzeuge zum Unterwasserkleben von Halterungssystemen (DVS/ AiF)

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

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

ZfP - Zerstörungsfreie Prüfverfahren

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

Prüfkonzert zur Detektion von rissbehafteten Schweißnähten an Offshore-Strukturen unterhalb der Wasserlinie (AiF/FSM)



Vorbereitung einer Probe in einer Handschuhbox in sauerstofffreier Umgebung. Foto: Leo Menzel

Zerstörungsfreie Detektion des Restaustenitgehalts in der Wärmebehandlungsroute beim Härten von Wälzlagerstählen (AiF/AWT)

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

SFB 871: Regeneration komplexer Investitionsgüter

Teilprojekt A01: Zerstörungsfreie Charakterisierung von Beschichtungen und Werkstoffzuständen hochbeanspruchter Triebwerksbauteile (DFG)

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

SPP2305: Lastsensitive Zahnwelle mit sensorischem Werkstoff (DFG)

Qualifizierung von metallischen Werkstoffen in Wasserstoffatmosphäre unter zyklischen Lasten (N-Bank)

Veröffentlichungen (Auszug)

Zeitschriften reviewed

Barton, S.; Weiss, M. K.-B.; Maier, H. J.: In-Situ Characterization of Microstructural Changes in Al-loy 718 during High-Temperature Low-Cycle Fatigue. *Metals* 12, 2022 (11), 1871

Berg, M.; Hassel, T.: Challenges in communicating the future of high-level radioactive waste disposal. *TATuP* 31, 2022 (3), 18-23

Bobylev, D.; Wilhelmi, M.; Lau, S.; Klingenberg, M.; Mlinaric, M.; Petená, E.; Helms, F.; Hassel, T.; Haverich, A.; Horke, A.; Böer, U.: Pressure-compacted and spider silk-reinforced fibrin demonstrates sufficient biomechanical stability as cardiac patch in vitro. *Journal of biomaterials applications* 36, 2022 (6), 1126-1136

Bobzin, K.; Brögelmann, T.; Kruppe, N. C.; Maier, H. J.; Heidenblut, T.; Besserer, H.-B.; Kahra, C.; Janowitz, J.: CrN/AlN nanolaminates. *Journal of Vacuum Science & Technology A* 40, 2022 (1), 13414

Brätz, O.; Klett, J.; Wolf, T.; Henkel, K.-M.; Maier, H. J.; Hassel, T.: Induction Heating in Underwater Wet Welding—Thermal Input, Microstructure and Diffusible Hydrogen Content. *Materials* (Basel, Switzerland) 15, 2022 (4), 1417

Budde, L.; Prasanthan, V.; Kruse, J.; Faqiri, M. Y.; Lammers, M.; Hermsdorf, J.; Stonis, M.; Hassel, T.; Breidenstein, B.; Behrens, B.-A.; Denkena, B.; Overmeyer, L.: Investigation of the influence of the forming process and finishing processes on the properties of the surface and subsurface of hybrid components. *Int J Adv Manuf Technol* 119, 2022 1-2, 119-136

Budde, L.; Prasanthan, V.; Merkel, P.; Kruse, J.; Faqiri, M. Y.; Lammers, M.; Kriwall, M.; Hermsdorf, J.; Stonis, M.; Hassel, T.; Breidenstein, B.; Behrens, B.-A.; Denkena, B.; Overmeyer, L.: Material dependent surface and subsurface properties of hybrid components. *Prod. Eng. Res. Devel.* 16, 2022 (5), 647-659

terial dependent surface and subsurface properties of hybrid components. *Prod. Eng. Res. Devel.* 16, 2022 (5), 647-659

Denkena, B.; Bergmann, B.; Fromm, A.; Klose, C.; Hansen, N.: Influence of the atmosphere and temperature on the properties of the oxygen-affine bonding system titanium-diamond during sintering. *Int J Adv Manuf Technol* 120, 2022 11-12, 7187-7196

Denkena, B.; Breidenstein, B.; Dittich, M.-A.; Wichmann, M.; Nguyen, H. N.; Fricke, L. V.; Zarembo, D.; Barton, S.: Setting of deformation-induced martensite content in cryogenic external longitudinal turning. *Procedia CIRP* 108, 2022 (5), 170-175

Fricke, L. V.; Gerstein, G.; Kotzbauer, A.; Breidenstein, B.; Barton, S.; Maier, H. J.: High Strain Rate and Stress-State-Dependent Martensite Transformation in AISI 304 at Low Temperatures. *Metals* 12, 2022 (5), 747

Fricke, L. V.; Nguyen, H. N.; Appel, J.; Breidenstein, B.; Maier, H. J.; Zarembo, D.; Barton, S.: Characterization of deformation-induced martensite by cryogenic turning using eddy current testing. *Procedia CIRP* 108, 2022 (0), 49-54

Fricke, L. V.; Thürer, S. E.; Kahra, C.; Bährisch, S.; Herbst, S.; Nürnberger, F.; Behrens, B.-A.; Maier, H. J.; Klose, C.; Barton, S.: Non-destructive Evaluation of Workpiece Properties along the Hybrid Bearing Bushing Process Chain. *J. of Material Eng and Perform* 11, 2022 (2), 5725

Fricke, L. V.; Thürer, S. E.; Jahns, M.; Breidenstein, B.; Maier, H. J.; Barton, S.: Non-destructive, Contactless and Real-Time Capable Determination of the α' -Martensite Content in Modified Subsurfaces of AISI 304. *J Nondestruct Eval* 41, 2022 (4), 123

Fromm, A. C.; Barenti, K.; Selmanovic, A.; Thürer, S. E.; Nürnberger, F.; Maier, H. J.; Klose, C.: Oxygen-Free Compound Casting of Aluminum and Copper in a Silane-Doped Inert Gas Atmosphere. *Inter Metalcast* 20, 2022 (1), 1701027

Gurel, S.; Nazarahari, A.; Canadinc, D.; Gerstein, G.; Maier, H. J.; Cabuk, H.; Bukulmez, T.; Cananoglu, M.; Yagci, M. B.; Tokar, S. M.; Gunes, S.; Soykan, M. N.: From corrosion behavior to radiation response. *Intermetallics* 149, 2022, 107680

Hassel, T.; Maier, H. J.; Alkhimenko, A.; Davydov, A.; Shaposhnikov, N.; Turichin, G.; Klimova, O.: Investigation of the mechanical properties and corrosion behaviour of hybrid L 80 Type 1 and duplex steel joints produced by magnetically impelled arc butt welding. *Journal of Advanced Joining Processes* 5, 2022 (9), 100109

Hölscher, L. V.; Hassel, T.; Maier, H. J.: Detection of the contact tube to working distance in wire and arc additive manufacturing. *Int J Adv Manuf Technol* 120, 2022, 989-999

Huang, J.; Voigt, M.; Wackenrohr, S.; Ebbert, C.; Keller, A.; Maier, H. J.; Grundmeier, G.: Influence

of hydrogel coatings on corrosion and fatigue of iron in simulated body fluid. *Materials & Corrosion*, 2022, 599

Klett, J.; Bongartz, B.; Viebranz, V. F.; Kramer, D.; Hao, C.; Maier, H. J.; Hassel, T.: Investigations into Flux-Free Plasma Brazing of Aluminum in a Local XHV-Atmosphere. *Materials* (Basel, Switzerland) 15, 2022 (23), 8292

Rodriguez Diaz, M.; Szafarska, M.; Gustus, R.; Möhwald, K.; Maier, H. J.: Oxide Free Wire Arc Sprayed Coatings—An Avenue to Enhanced Adhesive Tensile Strength. *Metals* 12, 2022 (4), 684

Sheveleva, T.; Wäwer, M. L.; Oladazimi, P.; Koepler, O.; Nürnberger, F.; Lachmayer, R.; Auer, S.; Mozgova, I.: Creation of a Knowledge Space by Semantically Linking Data Repository and Knowledge Management System - a Use Case from Production Engineering. *IFAC-PapersOnLine* 55, 2022 (10), 2030-2035

Svetlov, I. L.; Epishin, A. I.; Petrushin, N. V.; Gerstein, G.; Nolze, G.; Maier, H. J.: Creep of Directionally Solidified Eutectics Ni/Ni3 Al-NbC under Thermal Cycling. *Inorganic Materials: Applied Research* 13, 2022 (4), 1099-1108

Thürer, S. E.; Peters, K.; Heidenblut, T.; Heimes, N.; Peddinghaus, J.; Nürnberger, F.; Behrens, B.-A.; Maier, H. J.; Klose, C.: Characterization of the Interface between Aluminum and Iron in Co-Extruded Semi-Finished Products. *Materials* (Basel, Switzerland) 15, 2022 (5), 1692

Viebranz, V. F.; Hassel, T.; Maier, H. J.: Microstructural Investigation of a FeMnAlNi Shape Memory Alloy Processed by Tungsten Inert Gas Wire and Arc Additive Manufacturing. *Metals* 12, 2022 (10), 1731

Viebranz, V. F.; Hassel, T.; Niendorf, T.; Maier, H. J.: Welding characteristics and microstructure of an industrially processed Fe-Mn-Al-Ni shape memory alloy joined by tungsten inert gas welding. *Weld World* 333, 2022, 68

Wackenrohr, S.; Torrent, C. J. J.; Herbst, S.; Nürnberger, F.; Krooss, P.; Ebbert, C.; Voigt, M.; Grundmeier, G.; Niendorf, T.; Maier, H. J.: Corrosion fatigue behavior of electron beam melted iron in simulated body fluid. *npj Mater Degrad* 6, 2022 (1), 1917

Wolf, M.; Flormann, J.; Steinhoff, T.; Gerstein, G.; Nürnberger, F.; Maier, H. J.; Feldhoff, A.: Cu-Ni-Based Alloys from Nanopowders as Potent Thermoelectric Materials for High-Power Output Applications. *Alloys* 1, 2022 (1), 3-14

Zeitschriften

Denkena, B.; Breidenstein, B.; Wichmann, M.; Nguyen, H. N.; Fricke, L.; Barton, S.: Funktionsorientierte Stellgrößenauslegung beim Drehen. *wt Werkstattstechnik online* 11, 2022, 767-772

Fromm, A.; Gawlytta, R.; Holzmann, E.; Klose, C.; Maier, H. J.: Oxidfreier Verbundguss - Optima-

le Wärmeleitung zwischen artfremden Verbundpartnern. Giesserei Special 109, 2022, 32-40

Heinrich, C.; Lohrengel, A.; Gansel, R.; Maier, H. J.: Lastsensitive Zahnwelle mit sensorischem Werkstoff. VDI-Bericht 2408 – 9. VDI-Fachtagung Welle-Nabe-Verbindungen 2022, 2022, 253-257

Vorträge

Barenti, K.; Nürnberger, F.: Cold Roll Bonding under Oxygen-free Conditions, MSE 2022, Darmstadt, 27.09.2022-29.09.2022

Evers, P.; Gustav, M.; Jakubowitz, E.; Maier, H. J.; Nürnberger, F.; Reulbach, M.; Windhagen, H.: In silico model of inductive heating for tissue-conserving hip and knee arthroplasty removal, MSE 2022, Darmstadt, 27.09.2022-29.09.2022

Fromm, A.; Maier, H. J.; Klose, C.: Volumetric Characterization of an Aluminum and Copper Composite by X-Ray Microscopy, MSE 2022, Darmstadt, 27.09.2022-29.09.2022

Gansel, R.; Maier, H. J.; Barton, S.: PoD-Studie für die Wirbelstromprüfung von Ermüdungsrissen an Stumpfnahten. DGZfP – 2. Fachseminar Wirbelstromprüfung, Schweinfurt, 14.-15.09.2022

Hassel, T.: Hybride Schneidverfahren zum thermischen trennen dickwandiger Reaktorbauteile unter Wasser (HugeCut und CAMGproFit). FORKA Statusseminar des BMBF (Projekträger GRS), Berlin, 2022

Hassel, T.; Bongartz, B.; Hao, C.; Viebranz, V. F.: Study of the electron-temperature and -density distribution in the silane-doped thermal plasma on the basis of optical emission spectroscopy, MSE 2022, Darmstadt, 27.09.2022-29.09.2022

Hinte, C.; Gerstein, G.; Maier, H. J.: Microstructure Improvement of High Entropy Shape Memory Alloys by Thermo-mechanical Forming, MSE 2022, Darmstadt, 27.09.2022-29.09.2022

Konferenz (reviewed)

M. Nicolaus, M. Benedde, R. Walther, K. Möhwald, H. J. Maier: Yttria coatings as wear protection layer in the semiconductor industry. Proceedings from the International Thermal Spray Conference (May 4-6), 2022, Vienna, Austria DVS-Berichte, Band 380, DVS Media GmbH, 2022, 939-944

Rodriguez Diaz, M., Szafarska, M., Nicolaus, M., Möhwald, K., Maier, H. J.: Potentials of thermal spraying processes in silane-doped inert gases. In: DVS (Hrsg.): Thermal Spray 2022: Proceedings from the International Thermal Spray Conference. Wien. 04.05.2022-06.05.2022. DVS Media, Düsseldorf, 2022, S. 199-204

Thürer, S. E.; Uhe, J.; Schäfke, F. P.; Heimes, N.; Nürnberger, F.; Behrens, B.-A.; Klose, C.: Lateral Angular Co-Extrusion of Aluminum and Steel for the Manufacturing of Coaxial Composite Profiles. Proceedings of the Twelfth International

Aluminum Extrusion Technology Seminar (ET, 22), May 3-5, Orlando, Florida 1, 2022, 183-193

Viebranz, V. F.; Hassel, T.; Maier, H. J.: Direct energy deposition additive manufacturing of Fe-Mn-Al-Ni: On the challenges of producing polycrystalline material for the use in damping applications, MSE 2022, Darmstadt, 27.09.2022-29.09.2022

Konferenz

H. J. Maier, M. R. Diaz, K. Möhwald, A. Fromm, R. Gawlytta, C. Klose: Sauerstofffreie Produktion in fünf von sechs Fertigungshauptgruppen. In: T. Königstein, A. W. (Hrsg.): Tagungsband 8. GTV Kolloquium Thermisches Spritzen & Laser Cladding. GTV Verschleißschutz GmbH, Luckenbach, 2022, S. 31-41

Fröck, L.; Vaccari, L.; Gatzke, J.; Flüge, W.; Hassel, T.: Prozessparameter und Werkzeuge zum Unterwasserkleben von Halterungssystemen. DVS Congress 2022, Koblenz, 19.09.2022-21.09.2022

Hölscher, L. V.; Hassel, T.; Maier, H. J.: Process Integrated Closed-loop Control in Wire-Arc-Additive- Manufacturing. IIW 2022 International Conference on Welding and Joining: Innovative Welding and Joining Technologies to achieve Carbon Neutrality and promote Sustainable Development, 2022 (75), 83-86

Huang, J.; Voigt, M.; Wackenrohr, S.; Ebbert, C.; Keller, A.; Maier, H. J.; Grundmeier, G.: Influence of Hydrogel Coatings on Corrosion and Fatigue of Iron in Simulated Body Fluid. Posterbeitrag, EUROCORR 2022, Berlin, 28.08.2022-01.09.2022

Lendiel, I., Wolf, T., Schmidt, E., Klett, J., Hassel, T.: Fortschritte beim nassen Unterwasserschweißen durch den Einsatz von Doppelmantel-Fülldraht. DVS Congress 2022, DVS Media GmbH, Koblenz, 19.09.2022-21.09.2022

Mlinaric, M.; Jemaa, H.; Hassel, T.; Maier, H. J.: An Experimental and Numerical Study of Damage Due to Particle Impact on Sapphire Orifices Used in High-Pressure Water Jet Cutting. Machines 10, 2022 (9), 756

Wolf, T.; Brätz, O.; Maier, H. J.; Henkel, K.-M.: Ermüdungsfestigkeit von nass geschweißten Offshore-Stählen. In: DVS Berichte (Hrsg.): DVS CONGRESS 2022. 19.09.2022 – 21.09.2022, Koblenz, 2022

Wesentliche Neuanschaffungen

Planetenmühle Pulverisette 5 classic line (Fa. Fritsch)

Beheizbare Werkzeugkassette für 10 MN-Strangpresse (Fa. Marx)

Gamma-Projektor Exertus VOX 100 (Fa. Oserix)

Flat Panel Detector 4343HE (Fa. Varex Imaging)

Roboter und Positionierer Kuka KR C5 und DKP 400 (Fa. Kuka)

Magnetarc-Schweißmaschine (Fa. Kuka)



Durch langjährige intensive Kontakte ist das IW mit zahlreichen Partnereinrichtungen in der Ukraine verbunden und engagiert sich daher besonders in der Flüchtlingshilfe. 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 hochrangige Forschung und innovative Technologien geprägt ist. Die TEWISS GmbH stellt damit eine Schnittstelle zwischen Wissenschaft und Anwendung dar. Das Unternehmensziel – der Transfer neuer Erkenntnisse, Technologien und Maschinen in die Industrie und das Handwerk – wird in mehreren Geschäftsfeldern (siehe Kasten) auf jeweils unterschiedliche Art und Weise verfolgt. Dabei macht sich die TEWISS GmbH die Perspektive ihrer Kunden zu eigen. Je nach Aufgabenstellung werden Aufträge durch die TEWISS GmbH allein, in Kooperation mit Forschungseinrichtungen oder auch im Verbund mit Unternehmen und Forschungseinrichtungen bearbeitet. Projekte werden zum Beispiel als Kundenauftrag oder in Form von geförderten Kooperationsprojekten durchgeführt.

Sondermaschinen und Ingenieurleistungen für Industrie, Handwerk und Wissenschaft

Im Geschäftsfeld Sondermaschinen und Ingenieurleistungen entwickeln und bauen die TEWISS-Ingenieure Maschinen und Anlagen wie zum Beispiel Prüfmaschinen, Prototypen, Produktionsmaschinen sowie Roboterzellen und Vorrichtungen für die Industrie, für Handwerksbetriebe und für wissenschaftliche Einrichtungen. Zum Leistungsumfang gehören die Konzepterstellung gemeinsam mit dem Kunden, die Konstruktion (Mechanik und Elektrik), der Anlagenbau (Steuerung und Mechanik), die Programmierung der Steuerung und der Benutzeroberfläche, die Inbetriebnahme beim Kunden sowie die Schulung der zukünftigen Bediener. Neben dem Bau von schlüsselfertigen Anlagen bietet die TEWISS GmbH Ingenieurleistungen als Einzelleistungen an. Typische Beispiele sind die Entwicklung von Mess- und Regelungstechnik im Kundenauftrag, die Erbringung von Konstruktionsleistungen oder die Programmierung von Steuerungen und Mikrocontrollern. Da-

bei spielt keine Rolle, wie hoch oder niedrig der bestehende Technisierungsgrad ist. Die TEWISS GmbH entwickelt Lösungen für jedes Level und ist im gesamten Bundesgebiet sowie im angrenzenden Ausland tätig.

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

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

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

Cobots - Potential für die Automatisierung flexibler Produktionsabläufe

Zum Technologietransfer zählt auch das von der TEWISS GmbH zusammen mit drei weiteren Partnern betriebene und mit öffentlichen Mitteln geförderte RoboHub Niedersachsen. Im Hub werden Schulungen und Workshops sowie Netzwerkaktivitäten rund um das Thema Cobot und Roboterautomation 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 Geschäftsbe- reich Technologietransfer und Innovationsberatungen. Themenfelder sind die Produktionstechnik, der allgemeine Maschinenbau, die Mikroelektronik sowie die Entwicklung von Produkten. In Kooperation mit Wirtschaftsförderern und Netzwerken besuchen die TEWISS-Ingenieure Betriebe, die nach Ideen für ihre eigene Weiterentwicklung suchen oder Hilfe bei der Realisierung von vorhandenen Ideen oder konkreten technischen Problemen im Unternehmen benötigen.

Die Leistungen der TEWISS GmbH umfassen Unterstützung bei der Strukturierung und Priorisierung von Zielen, praktische und theoretische Machbarkeitsstudien, die Recherche von existierenden technischen Lösungen, die Vermittlung von Partnern, die eigenständige Erbringung von Ingenieurleistungen sowie den Bau von Sondermaschinen. Die Möglichkeiten zur Inanspruchnahme von Fördermitteln werden dabei berücksichtigt. Die Beratungen sind immer individuell: Es geht darum, konkrete und für den Kunden umsetzbare Lösungen zu finden.

Der TEWISS Verlag - Publikationen aus den Bereichen Technik und Wissen

Der TEWISS Verlag publiziert Dissertationen und Habilitationen, Tagungsbände und Projektberichte sowie vorle-

sungsbegleitende Materialien aus dem PZH sowie aus anderen Instituten und Einrichtungen. Über 1.250 Bücher zu ingenieur-, natur- und sozialwissenschaftlichen Themen sind mittlerweile im TEWISS Verlag erschienen. Der Verlag fördert dabei insbesondere die Erstellung von Schriftenreihen von Instituten und unterstützt auf diese Weise die Verbreitung wissenschaftlicher Erkenntnisse wie auch das Marketing der wissenschaftlichen Einrichtungen. Derzeit werden etwa 25 Schriftenreihen aus den Bereichen Maschinenbau und Elektrotechnik betreut. Im vergangenen Jahr sind 120 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 280 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 2021:	2,047 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. Serjoshia 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 Optimierungsoptimierung, Produktionsoptimierung / Lean Production, Projektmanagement, Workshopmoderationen
- 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 2022:

- Strategieentwicklung: Entwicklung einer Werkstrategie für einen Flugzeughersteller.
- Fabrikplanung: Realisierungsplanung und Realisierungsüberwachung im Rahmen der Errichtung einer Galvanikfabrik für einen Werkzeughersteller.
- Fabrikplanung: Investitionsplanung für mehrere Werke in der Luftfahrtindustrie.
- Anlagenplanung: Erstellung einer Ausschreibungsunterlage für die Beschaffung einer automatisierten Zelle zur Werkzeugeinstellung und -montage bei einem Zerspanungsunternehmen.
- Forschungsprojekt zur Energiebilanzierung und zum Energiemanagement in der Produktion.

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

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



ProWerk GmbH

Hauptaktivität der ProWerk GmbH ist die Reduzierung von Produktherstellkosten von neu zu entwickelnden oder bereits bestehenden Produkten.

Im Rahmen von Entwicklungsprojekten wird die Methode Design-to-Cost eingesetzt:

Die Entwicklungsprojekte werden von der Marktanalyse bis hin zum Aufbau eines Prototyps unter ständiger Überwachung von Herstellkosten und Terminen begleitet. Hierbei analysiert ProWerk alle an der Wertschöpfung beteiligten Prozesse und Vorgänge und liefert konkrete technische Lösungen, mit denen Bauteile, Baugruppen und Prozesse kostengünstiger und effizienter gestaltet werden können. Durch die enge Kooperation mit Forschungseinrichtungen werden dabei auch neuste Erkenntnisse in die Produktentwicklung transferiert. Zudem gewährleistet ProWerk die unternehmensübergreifende Transparenz der Produktherstellkosten zu jedem Zeitpunkt der Entwicklung. Hierfür setzen wir den eigens entwickelten ProWerk-Kostennavigator ein, eine Methode zur Prognose der Gesamtherstellkosten der Entwicklungsobjekte. Eine konsequente Weiterentwicklung der Methoden ist die entwicklungsbegleitende Hochrechnung und Minimierung der Lebenszykluskosten (LCC), die ein wesentliches Maß zur Beurteilung des Kundennutzens und somit zunehmend ausschlaggebend für Kaufentscheidungen sind. Aus diesem Grund analysiert und optimiert ProWerk Entwicklungsprojekte nach der erweiterten Design-to-LCC Methode – getreu dem Motto der ProWerk-Ingenieure: Answer while Engineering.

Bei bereits bestehenden Produkten wird die ProWerk-Produktklinik eingesetzt:

In der Produktklinik wird eine bestehende Anlage, Maschine oder Maschinenkomponente in einer 360°-Analyse entlang des Wertstroms bis hin zur Inbetriebnahme beim Kunden hinsichtlich der Kostentreiber analysiert. Zusätzlich wird häufig auch ein Wettbewerbsvergleich durchgeführt. Im Ergebnis erhalten unsere Auftraggeber eine fundierte Aussage zu Einsparpotenzialen und einen detaillierten Maßnahmenkatalog. ProWerk begleitet anschließend die Umsetzung der Maßnahmen zur Kostenreduzierung – gern auch erfolgsabhängig.

Kontakt ProWerk GmbH
Dr.-Ing. Heiko Noske
Tel.: 07000-7769375
Mail: info@prowerk.eu
Web: www.prowerk.eu



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. Hans-Josef Endres
Prof. Dr.-Ing. Marc-Christopher Wurz
(Vorstandssprecher 2022 / 2023)

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, Heike Mischewsky

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 978-3-95900-812-9

Das PZH Magazin 2023 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.



HANNOVER



Grüne Ideen
werden gefördert:
**mit bis zu
10.000 Euro!**



Hannover Region Green Economy fördert nachhaltige Unternehmensprojekte

GUTE AUSSICHTEN FÜR MACHER:INNEN: JETZT GRÜNE UNTERNEHMENSIDEE UMSETZEN!

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

Mit unserer Initiative **Hannover Region Green Economy** unterstützen wir technologisch innovative und nachhaltige Projekte von Unternehmen aus der Region Hannover – mit bis zu 10.000 Euro und der Möglichkeit, sich mit Expertinnen/Experten aus Wissenschaft und Technik auszutauschen. **Sprechen Sie uns an!**



WIRTSCHAFTSFÖRDERUNG

Region Hannover

DMG MORI GREENMODE – ENERGIEEFFIZIENZ PUR



ENERGIEEFFIZIENZ IM STANDARD*

KOMPONENTEN

1. Strukturoptimierte Maschine
2. Bremsenergie-Rückgewinnung
3. LED-Beleuchtung
4. Frequenzgeregelter Pumpen und effiziente Motoren
5. Energieeffiziente Kühlaggregate
6. Zero Sludge-Späneförderer
7. zeroFOG Öl-Nebelabschneider
8. Automatisierte An- und Abschaltung

PROZESSE

1. KI-basierte Späneentsorgung
2. Energie Dashboard

*Abhängig vom Maschinentyp



BIS ZU
40 %
ENERGIE-
EINSPARUNG**

100 % KLIMANEUTRALE MASCHINEN-HERSTELLUNG

LIEFERANTEN + **DMG MORI**



GREENMODE – ENERGY PACKAGE ALS OPTION

COOLANT FLOW CONTROL
→ 22 % ENERGIEEINSPARUNG



+ Die smarte Druck- und Durchflussregelung

AIR CONTROL
→ 5 % ENERGIEEINSPARUNG



+ Neuartige On/Off-Schaltung mit Überwachung

FEED CONTROL
→ 3 % ENERGIEEINSPARUNG



+ Intelligenter, leistungsabhängiger Vorschub



1,7 JAHRE
AMORTATIONSZEIT***

** Im Vergleich zu Vorgängermaschinen

*** Beispielrechnung nach deutschen Einheitspreisen, abhängig vom Maschinentyp 10,34 Ct/KWh; 3.000 Maschinenstunden/Jahr