

# ***iwb*-Jahresbericht 1/2021**

Institut für Werkzeugmaschinen und Betriebswissenschaften (*iwb*)



© Sebastian Kissel

# Editorial



© Uli Benz / TUM

Liebe Leserinnen, liebe Leser,

hinter uns allen liegt ein anstrengendes Jahr, das uns in fast allen Lebensbereichen massive Einschränkungen und Herausforderungen beschert und über weite Strecken sowohl im Privaten als auch im Beruflichen an unsere Grenzen gebracht hat. Auch im Hinblick auf die derzeitige Lage werden wir wohl noch einige Zeit mit diesen Herausforderungen leben und ihnen weiterhin gerecht werden müssen.

Trotzdem, oder besser genau deswegen, möchten wir uns in diesem Newsletter auf die positiven und guten Dinge des letzten Jahres an unserem Institut fokussieren. Wir haben in dieser intensiven Zeit nicht nur auf vieles verzichtet, sondern auch viel gelernt, sind trotz Distanz in manchen Dingen näher zusammengerückt und konnten uns allen voran in

der Digitalisierung von Forschung und Lehre deutlich weiterentwickeln.

Das letzte aktive Jahr meines Kollegen Gunther Reinhart vor seinem lange geplanten Eintritt in den Ruhestand begann im Frühjahr mit einem Paukenschlag, der auch die TUM und das *iwb* erschütterte. Deutschland begab sich in einen vollständigen Lockdown und das Institut musste quasi über Nacht auf einen komplett digitalen Betrieb umstellen. Dort, wo wir uns früher noch mit Diskussionen über die maximale Anzahl von Homeoffice-Tagen pro Monat beschäftigt haben, stand nun die Frage im Raum, wann es überhaupt wieder möglich sein wird, vor Ort am Institut zu arbeiten. Der erste Schock war jedoch schnell verdaut: Durch den unermüdlichen Einsatz unseres motivierten Teams waren wir in kürzester Zeit auch von Zuhause aus arbeitsfähig und gewöhnten uns

schnell an den Austausch und die Kooperation über Programme wie beispielsweise Microsoft Teams oder Zoom. Die Projekte liefen, so gut es ging, weiter, und in einem gemeinsamen Kraftakt war es uns möglich, unsere gesamte Lehre in kürzester Zeit für das Sommersemester zu digitalisieren. Unzählige Stunden Videomaterial zu unseren Vorlesungen und Life-Sessions zu den Übungen entstanden, um unseren Studierenden das unbehinderte Fortkommen in ihrem Studium zu ermöglichen. So kamen wir sehr erfolgreich durch diese spannende Zeit und merkten kaum, wie schnell und unvermeidbar der Abschied von Gunther Reinhart näher rückte. Im Herbst mussten wir dann mit den viel zitierten weinenden und lachenden Augen meinen langjährigen Institutsleiterkollegen in den Ruhestand verabschieden. Corona-bedingt fand dieser Abschied nur im kleinen Kreis und vorschriftsgemäß „maskiert“ statt. Jedoch ist ja aufgeschoben bekanntlich nicht aufgehoben, und so werden wir, sobald die Corona-Situation es zulässt, noch eine angemessene Würdigung im großen Kreis der *iwb*-Familie feiern.



Neben der großen Frage, wie es sich wohl ohne einen zweiten Kapitän am Steuer des *iwb* anfühlen würde, beschäftigte uns natürlich auch die Frage seiner Nachfolge. Wird jemand

berufen? Wann wird dies geschehen? Wer wird es sein und wird diese Person in unser Institut passen? Trotz frühzeitiger Vorbereitungen wurden wir durch ein langwieriges Berufungsverfahren auf die Folter gespannt, weshalb wir uns dann aber zu Beginn dieses Jahres umso mehr freuten, als wir um die Nachfolge erfuhren: Ab Juni 2021 wird unser ehemaliger Mitarbeiter Dr.-Ing. Rüdiger Daub mich in der Institutsleitung unterstützen. Somit kann unser *iwb* dann wieder wie gewohnt mit zwei Professoren an der Spitze aufwarten. Rüdiger Daub wird als Lehrstuhlinhaber in gemeinsamer Berufung mit der Fraunhofer Gesellschaft in einem neuen Kooperationsmodell die Verantwortung für unsere Batterieforschung übernehmen.

In diesem Sinne sind wir zuversichtlich, dass auch das Jahr 2021 wieder ein erfolgreiches für das Institut wird. Wir werden weiterhin mit größter Flexibilität, viel Ideenreichtum und Motivation an unseren Themen forschen, unsere Industriepartner bestmöglich bei ihren Bedarfen unterstützen und für unsere Studierenden exzellente Lehre bieten. So nehmen wir für uns aus dem Jahr 2020 mit, dass das *iwb* und sein Team – wenn wir weiterhin an unserer Institutssphilosophie und unserer Mission festhalten, wie wir das in den vergangenen Monaten getan haben – bestens für die Zukunft gewappnet ist.

Wir hoffen, dass dieser Newsletter Ihnen viele positive Beispiele zeigt, wie wir am *iwb* mit den Herausforderungen der letzten Monate umgegangen sind, und die Vorfreude auf die kommenden Monate mit spannenden Projekten, inspirierender Lehre und innovativer Forschung weckt. Ich wünsche Ihnen viel Spaß beim Lesen.

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Michael F. Zäh'.

Ihr Michael Zäh

# Die *iwb*-Organisation

Als eine der großen produktionstechnischen Forschungseinrichtungen in Deutschland umfasst das *iwb* zwei Lehrstühle der Fakultät für Maschinenwesen in Garching bei München. Die beiden Ordinariate, der Lehrstuhl für Betriebswissenschaften und Montagetechnik sowie der Lehrstuhl für Werkzeugmaschinen und Fertigungstechnik, definieren die Forschungsinhalte und Themenschwerpunkte des Instituts. Diese liegen in den Bereichen Additive Fertigung, Batterieproduktion, Lasertechnik, Montagetechnik und Robotik, Nachhaltige Produktion, Produktionsmanagement und Logistik sowie auf dem Gebiet Werkzeugmaschinen. Die Führung des

Institutes ist Aufgabe des Institutsleitungskreises, der derzeit aus Professor Michael F. Zäh sowie mehreren erfahrenen Assistentinnen und Assistenten besteht. Mit zukunftsweisenden, wissenschaftsorientierten Ansätzen einerseits und anwendungsnahen, im Unternehmen direkt implementierbaren Lösungen andererseits, forscht das *iwb* in Grundlagen- und Verbundprojekten sowie in bilateralen Kooperationen mit Industriepartnern. Das *iwb* steht dabei in enger Verbindung mit der Fraunhofer-Einrichtung für Gießerei-, Composite- und Verarbeitungstechnik IGCV in Augsburg.

## Institutsleitungskreis



Professor Dr.-Ing. Michael F. Zäh

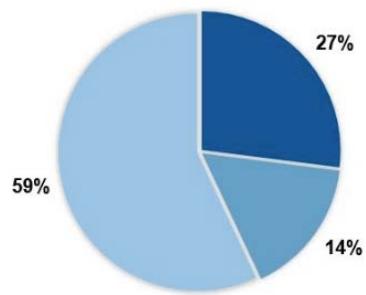
Additive Fertigung	Werkzeugmaschinen	Lasertechnik	Nachhaltige Produktion	Montagetechnik und Robotik	Produktionsmanagement und Logistik	Batterieproduktion
Abteilungsleiter: Andreas Wimmer <ul style="list-style-type: none"><li>• Additive Fertigungsprozesse</li><li>• Prozessketten- und Bauteilgestaltung</li></ul>	Abteilungsleiter: Thomas Semm <ul style="list-style-type: none"><li>• Strukturverhalten</li><li>• Prozessverhalten</li><li>• Reibschweißen</li><li>• Intelligente Werkzeugmaschinen</li></ul>	Abteilungsleiter: Christian Städter <ul style="list-style-type: none"><li>• Laserfertigungstechnik</li><li>• Intelligente Fügesystemtechnik</li></ul>	Abteilungsleiterin: Susanne Vernim <ul style="list-style-type: none"><li>• Energieorientierte Produktionsplanung und -steuerung</li><li>• Transparenzschaffung</li><li>• Einführung der Kreislaufwirtschaft</li></ul>	Abteilungsleiterin: Daria Leiber <ul style="list-style-type: none"><li>• Cyber-physische Montageanlagen</li><li>• Industrielle Robotik</li></ul>	Abteilungsleiter: Harald Bauer <ul style="list-style-type: none"><li>• Innovationsmanagement in der Produktion</li><li>• Mensch in der Fabrik</li><li>• Data Analytics im Produktionsmanagement</li></ul>	Abteilungsleiter: Florian Günter <ul style="list-style-type: none"><li>• Elektrodenherstellung und -design</li><li>• Zellproduktion und -qualität</li></ul>

# *iwb*-Personalstruktur und -Finanzen 2020



© Tanja Kühnau

## Die Struktur der Forschungsmittel

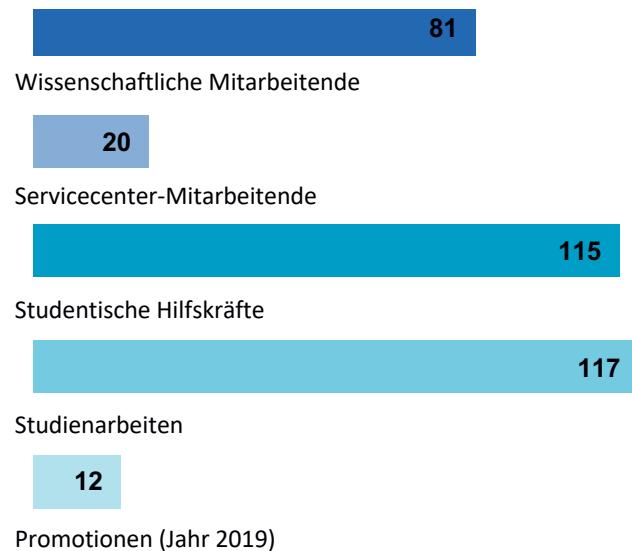


■ Öffentlich geförderte Projekte  
Grundlagenforschung, Anwendungsforschung

■ Haushaltsmittel  
Technische Universität München

■ Industriell geförderte Projekte  
kurzfristig (<= 12 Monate)  
langfristig (>12 Monate)

## Die Personalstruktur 2020



\* Stand: 01/2020

\* Stand: 07/2020

# Ehrungen und Auszeichnungen 2019/2020



© Janez Kotar Photography

## **Best Paper Award der 52nd CIRP Conference on Manufacturing Systems**

für Philipp Bauer für das Paper: *Free-Form Surface Analysis and Linking Strategies for High Registration Accuracy in Quality Assurance Applications.*

Veröffentlichung mit dem Titel *Adaptive Active Vibration Control for Machine Tools with Highly Position-Dependent Dynamics.*

## **Best Paper Award der 53rd CIRP Conference on Manufacturing Systems**

für Thomas Semm, Daniel Spescha, Nino Ceresa, Michael F. Zäh, Konrad Wegener mit dem Paper: *Efficient Dynamic Machine Tool Simulation with Included Damping and Linearized Friction Effect.*



## **Best Paper Award 2019 des International Journal of Automation**

Im Rahmen der 69. CIRP General Assembly in Birmingham erhielten Robin Kleinwort, Jonathan Platz und Prof. Michael F. Zäh den Best Paper Award 2019 für die herausragende

# Prof. Gunther Reinharts Wechsel in den Emeritus-Stand



**Nach 27 Jahren als Ordinarius des Lehrstuhls für Betriebswissenschaften und Montagetechnik am *iwb* wurde Prof. Dr.-Ing. Gunther Reinhart zum 1.10.2020 emeritiert.**

Bereits nach seinem Studium des Maschinenbaus an der Technischen Universität München entschied sich Prof. Dr.-Ing. Gunther Reinhart für die Produktionsforschung und begann seine wissenschaftliche Karriere im Jahre 1987 mit einer Promotion am Institut für Werkzeugmaschinen und Betriebswissenschaften. Der Promotion folgten fünf Jahre als leitender Angestellter bei der BMW AG. 1993 wurde Herr Reinhart auf den Lehrstuhl für Betriebswissenschaften und Montagetechnik am *iwb* berufen und kehrte somit selbst zu seiner Alma Mater zurück. Neben den bereits vorhandenen schuf er gleich zu Beginn eine neue Vorlesung zum Thema Qualitätsmanagement, wozu er ebenfalls ein Buch verfasste. Gleichzeitig vertrat er solange den Lehrstuhl für Werkzeugmaschinen und Fertigungstechnik von Prof. Joachim Milberg, der für den Vorsitz im Vorstand von BMW beurlaubt war, bis Prof. Michael F. Zäh 2002 auf den zweitgenannten Lehrstuhl berufen wurde. Der Lehrstuhl für Betriebswissenschaften und Montagetechnik ist in seiner wissenschaftlichen

Arbeit stets auf Themen der Arbeitsgestaltung, der Fabrik- und Anlagenplanung, der PPS sowie der Robotik ausgerichtet. Dabei hat Reinhart stets neue Trends, wie die Humanisierung der Arbeitswelt, die Methoden der Schlanken Produktion oder die Digitalisierung der Produktion, aufgegriffen und in vielfältigen Forschungsprojekten zum Nutzen der Gesellschaft angewandt. Das Fördervolumen, welches er dazu von der DFG und von Stiftungen über die Landes- und Bundesförderung bis hin zur EU einwarb, betrug in den 27 Jahren über 80 Mio. €.

In den vergangenen 10 Jahren baute er außerdem in Augsburg aus dem dort bereits vorhandenen Produktionstechnischen Anwendenzentrum ein mittlerweile sehr erfolgreiches Fraunhofer Institut IGCV mit über 150 Mitarbeitenden auf.

In jüngerer Zeit beschäftigte sich Herr Reinhart mit den Themen Cyber-physische Produktionsysteme, Mobile Roboter und Mensch-Roboter-Kooperation sowie Mensch in der Fabrik. Besonders zu erwähnen ist der Aufbau einer 20-köpfigen Gruppe aus Wissenschaftlern und Wissenschaftlerinnen zur Erforschung von Prozessen und Anlagen für die Batterieproduktion.

---

## PROMOTIONEN 2019/2020

---

### 2019

Kai Philipp Bauer (re)  
Simone Dietrich (zh)  
André Heckert (zh)  
Manuel Keßler (zh)  
Toni Krol (zh)  
Corinna Liebl (zh)  
Thilo Martens (re)  
Joachim Michniewicz (re)  
Julia Pielmeier (re)  
Christian Rebelein (zh)  
Benedikt Sager (re)  
Patrick Schmitz (zh)  
Alexander Schönmann (re)  
Tobias Steinhäußer (re)  
Ulrich Teschemacher (re)  
Christian Zeller (zh)

### 2020

Christine Anstätt (re)  
Fabian Bayerlein (zh)  
Julia Berg (re)  
Andreas Ganser (zh)  
Christian Gebbe (re)  
Veit Hammerstingl (re)  
Sven Hawer (zh)  
Lucas Kiefer (re)  
Gregor Lux-Gruenberg (re)  
Christopher Lock (re)  
Max Lutter-Günther (re)  
Richard Popp (zh)  
Michael Seebach (zh)  
Peter Simon (re)  
Joscha Schnell (re)  
Dominik Schmid (zh)  
Florian Schlather (zh)  
Susanne Vernim (re)  
Eric Unterberger (re)  
Manuel Voit (re)  
Sepp Wimmer (zh)  
Thomas Semm (zh)  
Sebastian Pieczona (zh)  
Andreas Bachmann (zh)

---

# Strategieprozess 2020

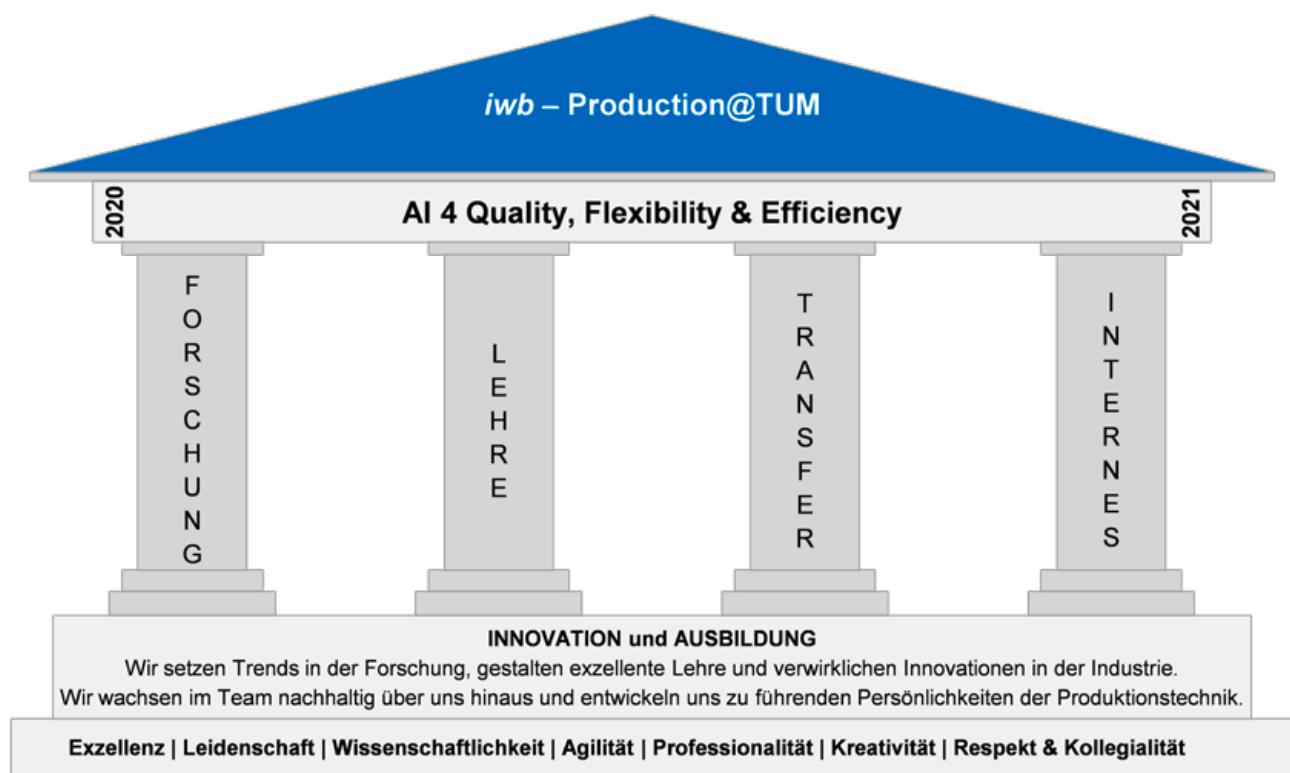
**Wir setzen Trends, gestalten exzellente Lehre und verwirklichen Innovationen in der Industrie**

**Nachdem die letzte Aktualisierung unserer Strategieelemente schon ein paar Jahre zurücklag, haben wir uns entschieden diese einer umfassenden Überprüfung, Überarbeitung und Ergänzung zu unterziehen. Auch wenn dieser Prozess noch nicht vollständig abgeschlossen ist, möchten wir die Gelegenheit nutzen, den aktuellen Stand und die bisherigen Ergebnisse vorzustellen.**

Eine Strategie hilft in erster Linie dabei, unsere gesteckten Ziele zu erreichen und unser Institut langfristig erfolgreich zu halten. Sie dient als Bindeglied zwischen den Entscheidungen der Institutsleitung und dem Team, da sie diese verständlich und nachvollziehbar macht. Eine Strategie erklärt also warum bestimmte Maßnahmen und Aktivitäten sinnvoll und notwendig sind und welchen Beitrag sie zur Zielerreichung des Instituts leisten.

**Bestehendes prüfen und anpassen – aus implizit wird explizit**

Zunächst einmal ist es nötig, die eigene Mission, also den eigenen Zweck der Existenz, zu kennen. Jede:r aktive und ehemalige *iwb*-ler:in wird sich sicherlich auf Anhieb an unser berühmtes Drei-Säulen-Modell erinnern, das besagt, dass wir neben der Forschung und der Lehre auch die Zusammenarbeit mit der Industrie als Kernelement unserer Arbeit betrachten. Bei diesem Strategieelement konnten wir also auf Bestehendes zurückgreifen, das wir lediglich einer intensiven Prüfung auf Aktualität und Attraktivität unterzogen haben. In der Abbildung stellt unsere Mission die Basis unseres Strategiehauses dar, auf welcher die drei Säulen unserer Arbeit ruhen. Die vierte Säule umfasst alle institutsinternen Aufgaben, denen wir uns widmen, um möglichst leistungsfähig und effizient zu arbeiten.



Die Strategieelemente am *iwb* und ihr Zusammenspiel

Mit den beiden Schlagworten „INNOVATION“ und „AUSBILDUNG“ sind eigentlich die beiden wesentlichen Aspekte unserer Mission genannt, welche wie folgt geschärft wurde: **Wir am iwb setzen Trends in der Forschung, gestalten exzellente Lehre und verwirklichen Innovationen in der Industrie. Wir wachsen im Team nachhaltig über uns hinaus und entwickeln uns zu führenden Persönlichkeiten der Produktionstechnik.**

Diese Mission fußt auf einem Set von Werten, die unsere Institutskultur und unsere Art der Zusammenarbeit charakterisieren. Diese Werte haben wir in einer umfassenden Umfrage am Institut herausgearbeitet. Dabei waren alle Institutsmitglieder eingebunden, wodurch es uns gelang aus dem impliziten Wissen und Verständnis eines und einer jeden Einzelnen eine explizit bekannte und kommunizierbare Sammlung von Werten zu kondensieren. Sie bilden die Basis für unser Miteinander am Institut und schaffen so eine transparente Grundlage für eine vertrauensvolle Zusammenarbeit innerhalb des Instituts aber auch mit unseren externen Partnern.

### **Neues ergänzen – Institutsprogramme zur inhaltlichen Schwerpunktsetzung**

Um unserer Strategie auch eine inhaltliche Ausrichtung zu ermöglichen, haben wir uns dafür entschieden zukünftig sogenannte Institutsprogramme auszurufen. Da wir als Forschungsinstitut zu großen Teilen von öffentlichen Fördergeldern abhängig sind, fällt es uns schwer uns inhaltlich auf eine sehr konkrete Vision zu beschränken und nur daran zu arbeiten. Stattdessen versuchen wir zukünftig durch kurzfristige, 1–2 Jahre dauernde Institutsprogramme inhaltliche Schwerpunkte in unserer Forschungsarbeit zu setzen. So können wir übergeordneten Trends begegnen, die sehr relevant für die Forschungs- und Industriearbeit werden, und unsere Arbeit und die Ausbildung unserer Institutsmitglieder darauf ausrichten.

Als erstem Thema für das Institutsprogramm 2020/2021 widmen wir uns der Künstlichen Intelligenz. Mit dem Programmtitel „AI 4 Quality, Flexibility & Efficiency“ setzen wir einen Schwerpunkt in der Anwendung von Methoden der Künstlichen Intelligenz, um Prozesse innerhalb der Produktion besser, flexibler und effizienter zu gestalten. Im Jahr 2020 wurden bereits knapp 20 Forschungs- und Industrieprojekte in diesem Themenfeld gestartet und viele Weitere bei unterschiedlichen Fördergebern beantragt. Darüber hinaus haben unsere Wissenschaftler:innen in zahlreichen Veröffentlichungen ihre Erkenntnisse zur Weiterentwicklung und Anwendung von Methoden der Künstlichen Intelligenz der Öffentlichkeit präsentiert.

Zudem haben wir es geschafft, als erstes Institut an der Fakultät Maschinenwesen, einen Aufschlag in der Ausbildung zukünftiger Manufacturing Data Scientists zu machen. Dazu haben wir im Sommersemester 2020 eine sehr erfolgreiche Vorlesung unter dem Titel „AI in Production“ gestartet (mehr dazu im ausführlichen Beitrag zum Institutsprogramm).

Diese sehr gute Wissensbasis im Bereich der Methodenentwicklung und Anwendung der Künstlichen Intelligenz werden wir auch im nächsten Jahr weiter ausbauen. Wir freuen uns schon darauf, gemeinsam mit unseren Partnern in den unterschiedlichsten Anwendungsfeldern, von der Werkzeugmaschine über die Laser-technik bis ins Produktionsmanagement, an einer weiteren Optimierung der Produktionsprozesse zu arbeiten.



**Dr.-Ing. Susanne Vernim**  
Abteilungsleitung  
Nachhaltige Produktion

# Abteilung Additive Fertigung



Abbildung 1: Baujob nach der Fertigung auf der neuen Trumpf TruPrint 2000 des *iwb*.

Die Additive Fertigung ist eine Schlüsseltechnologie bei der Digitalisierung der Produktionstechnik. Schließlich ermöglicht kein anderes Fertigungsverfahren einen derart stringenten und direkten Weg vom digitalen CAD-Modell zum physischen Bauteil. Formen und Werkzeuge entfallen, sodass mithilfe der Additiven Fertigung flexibel und schnell auf Änderungen reagiert werden kann sowie eine wirtschaftliche Individualisierung von Massenprodukten ermöglicht wird. Zusätzlich eröffnet die Additive Fertigung durch die schichtweise Erzeugung von Bauteilen bisher ungekannte Möglichkeiten für die Topologieoptimierung und Funktionsintegration.

Die Abteilung Additive Fertigung (AF) besteht derzeit aus 13 wissenschaftlichen Mitarbeitern und Mitarbeiterinnen, die sich hauptsächlich mit der Verarbeitung von metallischen Werkstoffen beschäftigen. Zum Verfahrens-Portfolio zählen aktuell das Laser-Strahlschmelzen (Powder Bed Fusion Laser-Based/Metals, PBF-LB/M), die lichtbogen- und drahtbasierte

Additive Fertigung (Wire Arc Additive Manufacturing, WAAM), das Pulver-Binderverfahren (Binderjetting) sowie das Tintenstrahldrucken (Inkjetprinting). Die Themengruppe Additive Fertigung besitzt zwei Forschungsfelder, welche die inhaltliche Schwerpunktsetzung der Arbeitsgruppe widerspiegeln.

## Additive Fertigungsprozesse

Das Forschungsfeld Additive Fertigungsprozesse beschäftigt sich detailliert mit den Wechselwirkungen in additiven Fertigungsprozessen. Der Schwerpunkt liegt hierbei auf der Erfassung und Beschreibung der grundlegenden Wirkzusammenhänge und der auftretenden physikalischen Effekte. Das dabei gewonnene fundierte Prozessverständnis dient dazu, einerseits die Robustheit und Prozesssicherheit von additiven Fertigungsverfahren zu verbessern. Andererseits bildet es den Ausgangspunkt für die Entwicklung von neuen Verfahren und Verfahrensderivaten sowie für die Befähigung zum Einsatz neuer Materialien.

## Prozessketten und Bauteilgestaltung

Das Forschungsfeld Prozessketten- und Bauteilgestaltung beschäftigt sich im Gegensatz zum Forschungsfeld Additive Fertigungsprozesse mit übergeordneten Fragestellungen, die sich durch den Einsatz der Additiven Fertigung in modernen Produktionssystemen ergeben. Dabei liegen weniger die Wirkzusammenhänge bei einem einzelnen additiven Prozess im Fokus, vielmehr werden die Wechselwirkungen des additiven Fertigungsverfahrens mit vor- und nachgelagerten Prozessschritten betrachtet. Zu den Forschungsschwerpunkten zählen beispielsweise Methoden zur Beherrschung bzw. zur Kompen-sation von Bauteilverzug entlang der gesamten additiven Prozesskette, aber auch die ganzheitliche Betrachtung von Additiver Fertigung und geeigneter spanender Nachbearbeitung.

## Aktuelle Projekte

- ADAM II – Legierungsentwicklung für die Additive Fertigung II
- Asimov – Anatomiespezifische Implantat-verankerung mittels optimierter Verformungseigenschaften
- DaNiSh – Entwicklung neuartiger Nickelba-sis-Superlegierungen mit herausragenden Materialeigenschaften für Anwendungen im Turbomaschinenbau
- EMBerAM – Entwicklung einer Methodik zur Bewertung der Industrialisierbarkeit und Wirtschaftlichkeit der Additiven Fertigung von Komponenten unter besonderer Be-rücksichtigung der Anforderungen aus dem Karosseriebau
- MAWELA – Entwicklung eines Pulver-Bin-der-basierten additiven Fertigungsverfahrens für die Serienproduktion von Leichtbauteilen aus Magnesiumlegierungen

- ProSim – Erhöhung des Prozessverständ-nisses beim Laser-Strahlschmelzen durch experimentelle und numerische Analyse aller wesentlichen Wirkzusammenhänge
- REGULUS – Ressourceneffiziente Fertigung von großvolumigen Luftfahrt-Struktur-komponenten
- ShapeAM – Befähigung additiver Ferti-gungstechnologien zur Herstellung von Funktionsbauteilen mit hohen Qualitätsan-forderungen für den industriellen Einsatz
- SimGas – Experimentelle und theoretische Untersuchung des Prozessgaseinflusses beim Laser-Strahlschmelzen
- TRR 277 A02 – Pulverbettbasiertes 3-D-Druck mittels selektiver Zementintrusion – Partikel-Oberflächenfunktionalisierung, Partikelsynthese und Integration von Be-wehrung mittels WAAM
- TRR 277 A06 – Laser-Strahlschmelzen von Stahlelementen für das Bauwesen – Grund-lagen zur Auslegung und mechanischen Belastbarkeit
- WAAMSim – Simulationsgestützte Verzugs-beherrschung beim WAAM

## Abgeschlossene Projekte

- AscentAM – Simulation des Laser-Strahl-schmelzens von Triebwerkskomponenten
- ForAdd HM-Tools – Entwicklung eines Ver-fahrens zur Hartmetallverarbeitung mittels pulverbettbasierten 3D-Druck für komplexe Hartmetallwerkzeuge



**M. Sc. Andreas Wimmer**

Abteilungsleitung  
Additive Fertigung

# Abteilung Werkzeugmaschinen

Der Fokus der Abteilung Werkzeugmaschinen liegt auf der interdisziplinären Entwicklung, Konstruktion und Optimierung von Werkzeugmaschinen sowie der Umsetzung einer dafür geeigneten methodischen Vorgehensweise. Ein Schwerpunkt bildet dabei die Untersuchung und Optimierung des dynamischen Verhaltens von Maschinenstrukturen. Hierzu werden Verfahren zur Simulation und zur experimentellen Analyse des Strukturverhaltens, der Zerspan- und Reibschißprozesse sowie der Regelung von Werkzeugmaschinen eingesetzt.

Des Weiteren werden Werkzeuge und Vorgehensweisen zur automatisierten Verschleißvorhersage von Antriebskomponenten erarbeitet. Durch detailliertes Systemwissen sowie den Einsatz und die Vernetzung diverser Sensorik in der Werkzeugmaschine wird in der Abteilung Werkzeugmaschinen der digitale Zwilling der Werkzeugmaschinendesigns, aber auch zur adaptiven Anpassung des Reibschiß- sowie des Zerspanprozesses genutzt werden.

Die in den Forschungsprojekten gesammelten Erkenntnisse werden stetig an die Industrie transferiert. Beispielhaft sind hierbei in 2019 der EMO-Messeauftritt zum Thema Condition Monitoring sowie das Seminar „Digitaler Zwilling der Werkzeugmaschine“ zu nennen.

## Strukturverhalten

Höchste Dynamik und Präzision von Werkzeugmaschinen sind die Voraussetzungen für die effiziente und wirtschaftliche Fertigung von Werkstücken mit hohen Genauigkeitsanforderungen und makellosen Oberflächen. Um den wachsenden Anforderungen an die Leistungsfähigkeit von Werkzeugmaschinen gerecht zu werden, werden im Forschungsfeld Strukturverhalten Methoden zur Analyse und

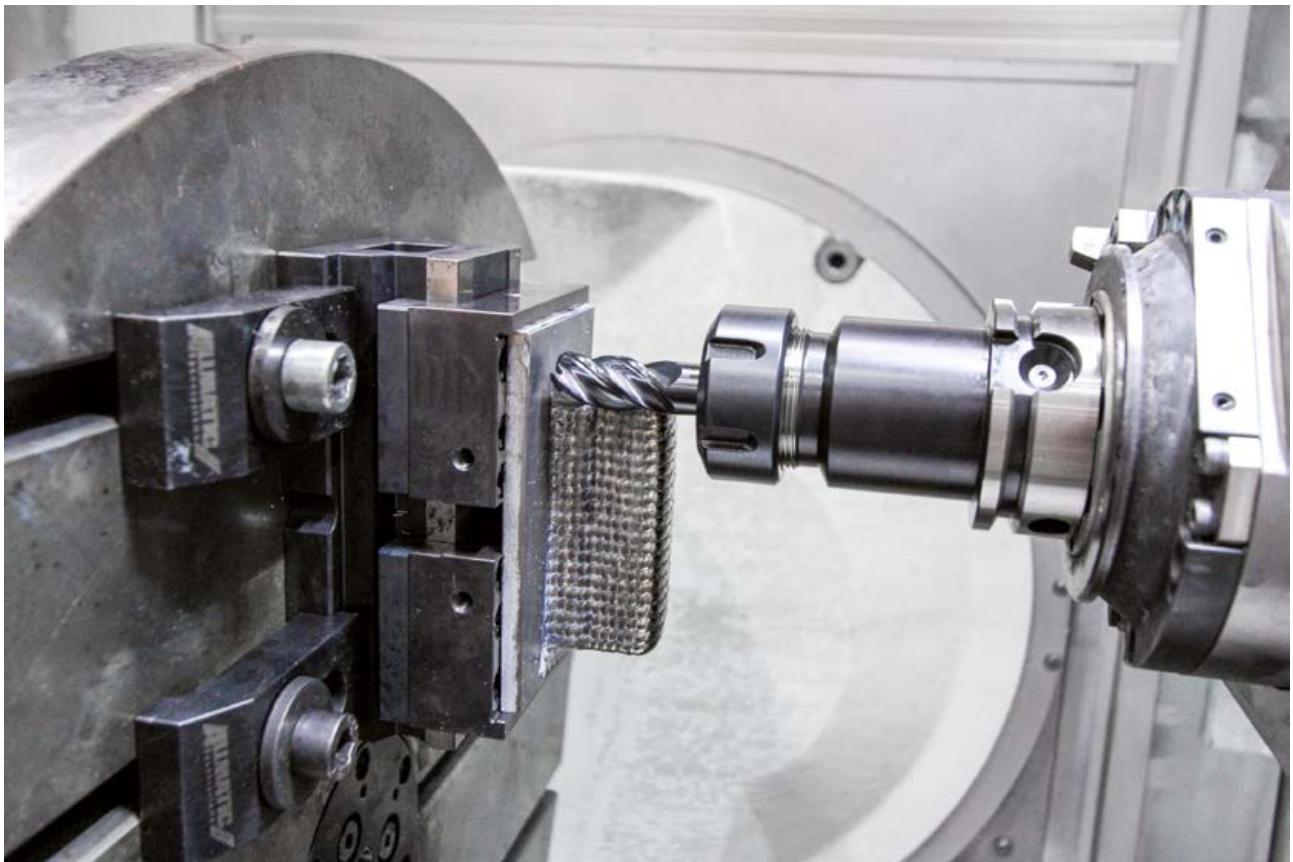
Optimierung des statischen und dynamischen Verhaltens von Werkzeugmaschinen (weiter-) entwickelt. Durch die Simulation von komplexen, mechatronischen Systemen, lassen sich Verbesserungspotenziale identifizieren, welche die Leistungsfähigkeit steigern und sowohl die Bearbeitungsgenauigkeit als auch die Wirtschaftlichkeit erhöhen.

## Prozessverhalten

Durch die Optimierung des Prozessverhaltens lassen sich Zerspanprozesse effizienter und produktiver gestalten. Dabei liegt der Fokus auf schwer zerspanbaren Werkstoffen oder Bauteilen, die mit neuartigen Fertigungsverfahren, wie beispielsweise der Additiven Fertigung, hergestellt wurden. Es werden verschiedene Ansätze verfolgt, die eine Optimierung hinsichtlich der Bearbeitungszeit und des Werkzeugverschleißes ermöglichen. Zu diesen Ansätzen zählen die Simulation des Zerspanprozesses zur Regelung des Prozessverhaltens, die ultraschallunterstützte Zerspanung, auch in Kombination mit kryogener Minimalmengenschmierung und die Auslegung geeigneter Prozessketten für die Nachbearbeitung additiv gefertigter Bauteile.

## Intelligente Werkzeugmaschinen

Moderne Werkzeugmaschinen sind längst in der Welt von Industrie 4.0 angekommen. Sie haben nicht nur interne Regelungen und Steuerungen, sondern auch eine Vielzahl von Vernetzungsmöglichkeiten und Schnittstellen nach außen. Diese neuen Fähigkeiten von Werkzeugmaschinen können in Anwendungsfeldern wie der vorhersagenden Instandhaltung, in der Energiedatenanalyse oder zum Closed-Loop Manufacturing eingesetzt und genutzt werden. Neben der Nutzung der Daten für die Produktion, stellt sich jedoch auch die Frage nach der Datensicherheit. Welche Daten könnten kritisch sein, wenn sie von den Werkzeugmaschinen



Spanende Nachbearbeitung additiv gefertigter Strukturen

nach außen gelangen und z. B. Rückschlüsse auf Bearbeitungszeiten oder Frästrategien zulassen? Das Forschungsfeld Intelligente Werkzeugmaschine widmet sich in diesem Umfeld den Fragestellungen der Datengewinnung und -auswertung sowie dem Zurückspielen von Schalt- und Steuerbefehlen.

### Reibschweißen

Das Forschungsfeld Reibschweißen widmet sich der Qualifizierung der Verfahren für schwer schweißbare Werkstoffe bzw. für die Kombination verschiedenartiger Werkstoffe. Beispiele für aktuelle Forschungsarbeiten sind die Prozessüberwachung beim Rührreibschweißen mittels maschinellen Lernens, die Anwendung des Rührreibschweißens in der internen Kontaktierung von Lithium-Ionen-Batterien oder die Herstellung von Kunststoff-Metall-Verbunden mittels Reibpressfügen.

### Aktuelle Projekte

- Anonymization4Optimization – Anonymisierung von Prozessdaten zur Optimierung von Werkzeugmaschinen unter Verwendung von Cloud-Services
- AProKI – Analyse der Prozessantworten beim Rührreibschweißen mittels künstlicher Intelligenz
- CLM4.0 – Entwicklung eines intelligenten, vernetzten Systems zur online und offline Prozessoptimierung von Werkzeugmaschinen
- FSWBatt – Rührreibschweißen von Trägerfolien und Ableitern für prismatische Batteriezellen

- Identifikation und Modellierung von prozessinduzierten Dämpfungen bei Werkzeugmaschinen
- KRYOSONIC II – Ultraschallunterstützte Zerspanung mit kryogener Minimalmengenschmierung
- PreCoM – Predictive Cognitive Maintenance Decision Support System
- Regulus – Ressourceneffiziente Fertigung von großvolumigen Luftfahrt-Strukturkomponenten
- Wärmequellenmodellierung beim Reibpressfügen
- ShapeAM – Befähigung additiver Fertigungstechnologien zur Herstellung von Funktionsbauteilen mit hohen Qualitätsanforderungen für den industriellen Einsatz
- SPP 2086 – Modellbasierte Bestimmung der Randzoneneigenschaften bei der Fräsbearbeitung von Ti-6Al-4V
- Verzugsbeherrschung beim Schleifen durch rechnergestützte Auslegung von Verzugskompensationsstrategien
- Zerspanung von Hochleistungswerkstoffen mit ultrasonisch modulierter Schnittgeschwindigkeit
- MobaReg – Entwicklung einer prozessmomentenbasierten Temperaturregelung für das Rührreibschweißen
- Lokale Dämpfungsmodellierung zur Simulation und Optimierung des dynamischen Verhaltens von Werkzeugmaschinen
- SPP 1640 – Bindemechanismen beim Rührreibschweißen von Mischverbindungen
- Synergie I – Synchronisierte und energie-adaptive Produktionstechnik zur flexiblen Ausrichtung von Industrieprozessen auf eine fluktuierende Energieversorgung



**Dr.-Ing. Thomas Semm**

Abteilungsleitung  
Werkzeugmaschinen

### **Abgeschlossene Projekte**

- Click&Weld – Steigerung der industriellen Anwendbarkeit des Rührreibschweißens durch ein wissensbasiertes und anwenderfreundliches Bedienkonzept
- FSW-Leg – Synthese von Nicht-Gleichgewichts-Legierungen durch Rührreibschweißprozesse

# Abteilung Lasertechnik

**Das *iwb* bündelt seine Kompetenzen im Bereich der Lasertechnik mit der gleichnamigen Abteilung, die im November 2020 aus der Abteilung Füge- und Trenntechnik hervorgegangen ist. Der Fokus der neu formierten Abteilung liegt in der Erforschung neuer Anwendungsfelder für laserbasierte Prozesse und der datenbasierten Qualitätssicherung.**

Laserstrahlung wird in der Industrie seit vielen Jahren für anspruchsvolle Aufgaben in der Materialbearbeitung eingesetzt. Die aktuelle Produktionstechnik, wie beispielsweise im Bereich der Elektromobilität, wird aufgrund steigender Qualitätsansprüche und neuer Materialkombinationen vor komplexe Herausforderungen gestellt. Diese können durch die hohe Präzision und Flexibilität von laserbasierten Fertigungsprozessen bewältigt werden.

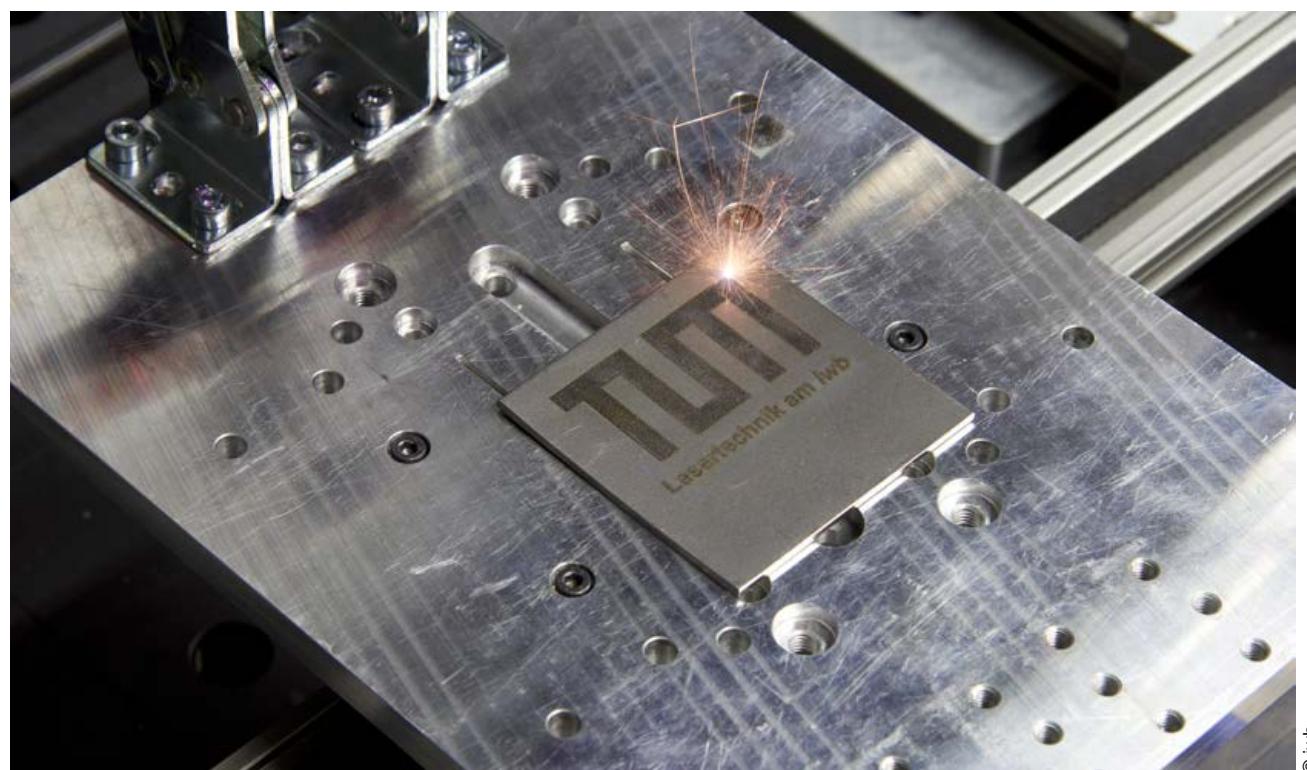
Obwohl das Prinzip der Laserstrahlerzeugung bereits lange bekannt ist, entwickelt sich die

Photonikbranche stetig weiter. Neuartige Laserstrahlquellen zeichnen sich beispielsweise durch die Emission von hochenergetischen Pulsen oder Strahlung im sichtbaren Wellenlängenbereich aus. In Kombination mit moderner Messtechnik eröffnen sich stetig neue Möglichkeiten für die Prozessentwicklung und -kontrolle.

## Laserbasierte Fertigung am *iwb*

Die Forschung im Bereich der angewandten Lasertechnik ist bereits seit 20 Jahren fester Bestandteil des *iwb*. Durch enge Kooperation mit nationalen und internationalen Partnern werden regelmäßig innovative Konzepte und Lösungen umgesetzt.

Die Kompetenzen in der Lasermaterialbearbeitung wurden zum 01.11.2020 in Form einer eigenen Abteilung gebündelt. Zum Jahresende 2020 umfasst das Team der Lasertechnik am *iwb* insgesamt 13 wissenschaftliche



Oberflächenstrukturierung eines Stahlblechs mittels Laserstrahlung

©iwb

Mitarbeitende. Der Fokus liegt dabei auf zwei Kernthemen: der Erforschung laserbasierter Prozesse für neue Anwendungsfelder und der präzisen Erfassung und aussagekräftigen Analyse von Prozessdaten.

### Kernkompetenzen in der Lasertechnik

Um diesen Schwerpunkten Rechnung zu tragen, wurden zwei Gruppen innerhalb der Abteilung gebildet. Das Forschungsfeld Laserfertigungstechnik widmet sich der Weiterentwicklung laserbasierter Fertigungsverfahren, z.B. dem Fügen, Strukturieren, Schneiden und Auftragsschweißen von unterschiedlichen Werkstoffen. Dabei wird stets Bezug auf konkrete Anwendungen und Herausforderungen der Industrie, wie zum Beispiel der Automobil- und Luftfahrtbranche, genommen.

Die Digitalisierung schafft neue Potenziale für den Einsatz von Lasertechnik. Im interdisziplinären Forschungsfeld Intelligente Fügesystemtechnik befassen sich die Mitarbeiter deshalb mit der systematischen Erfassung und der Interpretation von Messdaten. Ein Ziel ist es, die in Messsignalen enthaltenen Informationen für die Regelung von Prozessen und die Qualitäts sicherung zu nutzen. Neben modernen Sensor technologien kommen dafür auch Methoden des Maschinellen Lernens zum Einsatz.

Als Schnittstelle zwischen Wissenschaft und Industrie verfügt die neue Abteilung über einen umfassenden Anlagenpark in der Versuchshalle am Standort Garching bei München. Mittlerweile werden dort über zehn Laserstrahlquellen und zahlreiche Mess- und Analysesysteme betrieben. Eine multilaterale Zusammenarbeit mit produzierenden Unternehmen, den Herstellern von System- und Messtechnik sowie anderen öffentlichen Forschungseinrichtungen wird dabei stets gepflegt. Das gesamte Team blickt positiv in die Zukunft und freut sich auf spannende Projekte im Jahr 2021 und darüber hinaus!

### Aktuelle Projekte

- RoKtoLas – Robotergeführte, scannerbasierte optische Kohärenztomographie für das Remote-Laserstrahlschweißen zur Flexibilisierung von Prozessketten im Karosseriebau
- ProFeLi – Produktionstechnik für Festkörp batterien mit Lithium-Metall-Anode
- ReViSEDBatt – Resonanzen, Vibrat ionen, Erschütterungen, Externe mechanische Kräfte und Aufklärungsmethoden für Lithium-Ionen-Batterien
- iMoBatt – Innovatives funktionsintegriertes Moduldesign für modulare Batteriepacks
- InnoCase – Innovative Gehäusekonzepte für großformatige Lithium-Ionen-Batterien
- InQuZell – Intelligente Qualitätssicherung und -dokumentation für die laserbasierte zellinterne Kontaktierung

### Abgeschlossene Projekte in 2020

- ProLasKu – Steigerung der Prozesseffizienz und der Schweißnahtqualität beim Laserstrahlschweißen von Kupferwerkstoffen durch innovative Systemtechnik
- SurfaLIB – Verbesserte Lithium-Ionen Batterien durch Modifikation der Elektrodenoberfläche



**M. Sc. Christian Stadter**

Abteilungsleitung  
Lasertechnik

# Neue Abteilung Nachhaltige Produktion

**Im Oktober 2020 entstand aus dem Forschungsfeld *Nachhaltige Produktion* eine neue, gleichnamige Abteilung am *iwb*. Unter dem Leitthema werden ökonomisch, ökologisch und sozial nachhaltige Konzepte für die Produktion erforscht und innovative Lösungen entwickelt.**

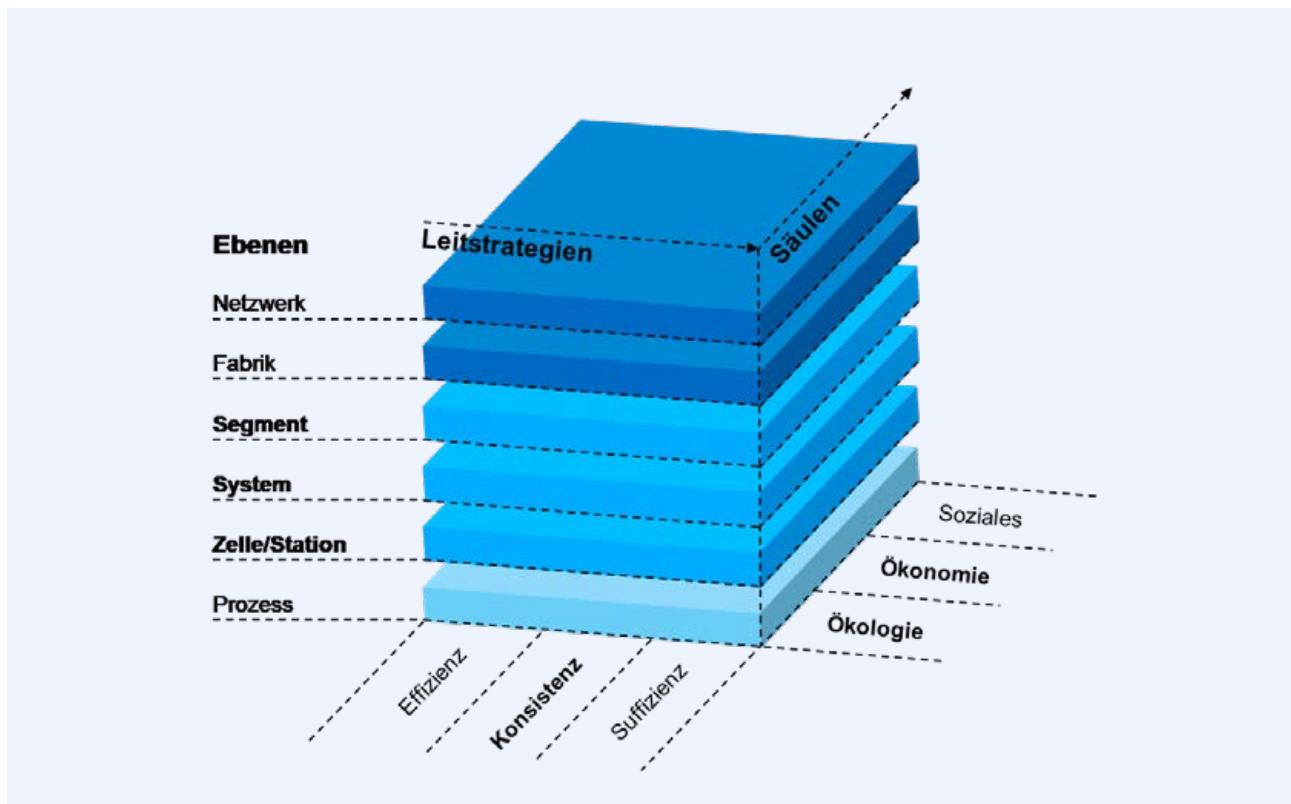
Am *iwb* arbeiten wir an unterschiedlichsten, produktionstechnischen Themen. In einigen der Abteilungen liegt ein Fokus schon seit längerer Zeit auf der Ressourceneffizienz oder der Energieflexibilität. Um unsere Kompetenzen innerhalb des *iwb* zu bündeln, wurde im Frühjahr 2020 ein eigenes Forschungsfeld mit dem Namen *Nachhaltige Produktion* gegründet. Gesellschaftlich, wirtschaftlich und förderpolitisch wird diesem Thema aktuell und auch zukünftig ein besonderer Stellenwert zugeschrieben. Mit der Gründung einer vollwertigen Abteilung Anfang Oktober 2020 wurde deshalb

die Möglichkeit geschaffen, auch mit externen Partnern aus Industrie und Wissenschaft in den Austausch zu gehen, unsere Kompetenz auszuweiten und den Fokus verstärkt auf diesen umfassenden Themenbereich zu legen.

## Forschungsrahmen der Abteilung

Die *Sustainable Development Goals* (SDGs) der Vereinten Nationen bilden die Leitlinien unserer Forschungsvorhaben. Unseren Beitrag zum Erreichen der Nachhaltigkeitsziele in Deutschland leisten wir mit Fokus auf

- das SDG 7 *Affordable and Clean Energy*,
- das SDG 9 *Industry, Innovation and Infrastructure* und
- das SDG 12 *Responsible Consumption and Production*.



Forschungsrahmen der Abteilung Nachhaltige Produktion

*Nachhaltige Produktion* verstehen wir als die Schaffung von Gütern und Dienstleistungen unter Nutzung von Prozessen und Systemen, die keine negativen Umwelteinflüsse bedingen, Energie- und Ressourceneffizienz sicherstellen, ökonomisch rentabel sowie verträglich für Mitarbeitende, die Verbraucher und die Gesellschaft sind.

Aktuelle und zukünftige Vorhaben der Abteilung ordnen sich in den Forschungsrahmen in der Abbildung ein. Der Fokus liegt auf Lösungsansätzen, welche auf Segments- bis Zell- oder Stationsebene in der Fabrik anwendbar sind und besonders die Konsistenz als Leitstrategie adressieren. Darüber hinaus liegen die Schwerpunkte auf der Säule der Ökologie ergänzend zur grundlegend ökonomisch-nachhaltigen Auslegung.

Um zur nachhaltigen Produktion zu befähigen und damit die Wettbewerbsfähigkeit produzierender Unternehmen in Deutschland und Europa zu sichern, arbeiten wir aktuell an folgenden Forschungsthemen:

### **Industrielle Kreislaufwirtschaft**

Durch die steigende Kundennachfrage nach ressourcenschonenden Produkten sind produzierende Unternehmen dazu aufgerufen, ihre Produktion umzugestalten. Die Einführung von Systemen für die Kreislaufwirtschaft gilt allerdings als kostenintensiv und komplex. Der Einsatz wissensbasierter Ansätze sowie Simulationen zur Abbildung der Systeme ermöglicht im Hinblick auf das Remanufacturing die Integration der Prozessschritte der Demontage und der Remontage in bestehende Montagesysteme. Solche sogenannten *Hybrid Manufacturing Remanufacturing Systems* (HMRS) sind für Unternehmen sowohl ökonomisch als auch ökologisch vorteilhaft. Im Forschungsprojekt *DREAMS* und zukünftig in *RETHINK* werden die Integrierbarkeit von Demontage und Remontage in bestehende Montagelinien

bewertet, hybride Linien in das ERP-System eingebunden und die Planung und Steuerung von HMRS konzipiert.

### **Datenbasierte Untersuchung von Produktionsprozessen**

Um Nachhaltigkeitspotenziale in der Produktion effizient zu identifizieren, bietet sich der Einsatz datenbasierter Methoden, wie *Data Mining* oder *Process Mining*, an. Im Forschungsprojekt *ProVSA* werden automatisiert erfasste Daten für eine digitale Wertstromanalyse verarbeitet, um darauf aufbauend prädiktive und präskriptive Analysen zur Verbesserung von Produktions- und Planungsprozessen zu ermöglichen. Weiterhin soll der standardmäßig ökonomische Fokus der Wertstrommethode um Aspekte der ökologischen und sozialen Nachhaltigkeit erweitert werden.

### **Energieflexible Steuerung von Produktionsanlagen**

Im Forschungsprojekt *SynErgie II* werden Industrieprozesse und Querschnittstechnologien zu einem plan- und steuerbaren Energieeinsatz befähigt. Der Fokus des *iwb* liegt dabei in der prototypischen Umsetzung des Konzepts der Energiesynchronisation in der *Energieflexiblen Modellregion Augsburg*. Darüber hinaus wird untersucht, wie Produktionsanlagen an eine erneuerbare Energieversorgung angepasst werden können.

### **Integration erneuerbarer Energien in Produktionssysteme**

Die Nutzung sauberer Energie steht vor dem Hintergrund der CO<sub>2</sub>-Bepreisung immer stärker im Fokus produzierender Unternehmen. Die Integration erneuerbarer, dezentraler Energieerzeugertechnologien eröffnet Unternehmen die Möglichkeit, zeitweise unabhängig von strompreispolitischen Entscheidungen und volatilen Marktpreisen zu sein. Die voranschreitende

Entwicklung von Kleinkraftwerken führt zu einer Vielzahl von netzparitätischen Technologien, sodass die Motivation der dezentralen Erzeugung weiter steigt. Ausgehend von den unternehmensspezifischen Zielen wird ein Vorgehen erarbeitet, mit dessen Hilfe Energieverbraucher des Produktionssystems analysiert werden können. Davon ausgehend sollen die Erzeugungstechnologien ausgewählt und dimensioniert sowie geeignete Betriebsstrategien für die Produktionsmittel identifiziert werden. Diese Thematik wird ebenfalls im Rahmen von *SynErgie II* erforscht.

### Ressourceneffizienz in der Batterieproduktion

Im engem Austausch mit der Abteilung *Batterieproduktion* wird die Ressourceneffizienz in der Herstellung von Li-Ionen-Speichern untersucht. Konzepte zur Steigerung der Energie- und Stoffeffizienz fehlen bisher. Mithilfe von dynamischen Material- und Energieflussmodellen werden im Projekt *E-Qual* Ressourcenströme transparent gemacht. Darauf aufbauend werden Methoden zur Effizienzsteigerung entwickelt und in Demonstratorlinien angewandt.

### Perspektiven der Nachhaltigen Produktion

Die Grundlagen der nachhaltigen Produktion und die Erkenntnisse aus den Forschungsprojekten werden auch in die Lehre einfließen, sodass zukünftige Generationen von Ingenieur:innen die Bedeutung sowie die wichtigsten Konzepte einer nachhaltigen Produktion kennen und in den industriellen Einsatz bringen können. Darüber hinaus ist der Aufbau einer Lernfabrik für Kreislaufwirtschaft im Rahmen der beantragten Verlängerung des *Mittelstand 4.0-Kompetenzzentrums Augsburg* geplant. Die enge Zusammenarbeit mit der Industrie ist auch in der Abteilung *Nachhaltige Produktion*

wichtiger Innovationstreiber, weshalb die Kompetenzen der Abteilung in Form von bilateralen Projekten angeboten werden.



**M. Sc. Julia Schulz**

Abteilung  
Nachhaltige Produktion



**M. Sc. Julia Horsthofer-Rauch**

Abteilung  
Nachhaltige Produktion



**Dr.-Ing. Susanne Vernim**

Abteilungsleitung  
Nachhaltige Produktion

---

## iwb-VERÖFFENTLICHUNGEN

Zaeh, M.F.; Rebelein, C.; Semm, T.: Predictive simulation of damping effects in machine tools. *CIRP Annals*, 2019

Zaeh, M.F.; Schnoes, F.; Obst, B.; Hartmann, D.: Combined offline simulation and online adaptation approach for the accuracy improvement of milling robots. *CIRP Annals*, 2020

### Weitere Informationen:

[www.iwb.mw.tum.de/publikationen/](http://www.iwb.mw.tum.de/publikationen/)

---

# Abteilung Montagetechnik und Robotik

**Die Montage ist der letzte Wertschöpfungsschritt in der Produktion und ist somit entscheidend für Qualität und Preis der Produkte sowie die Liefertreue des Unternehmens.**

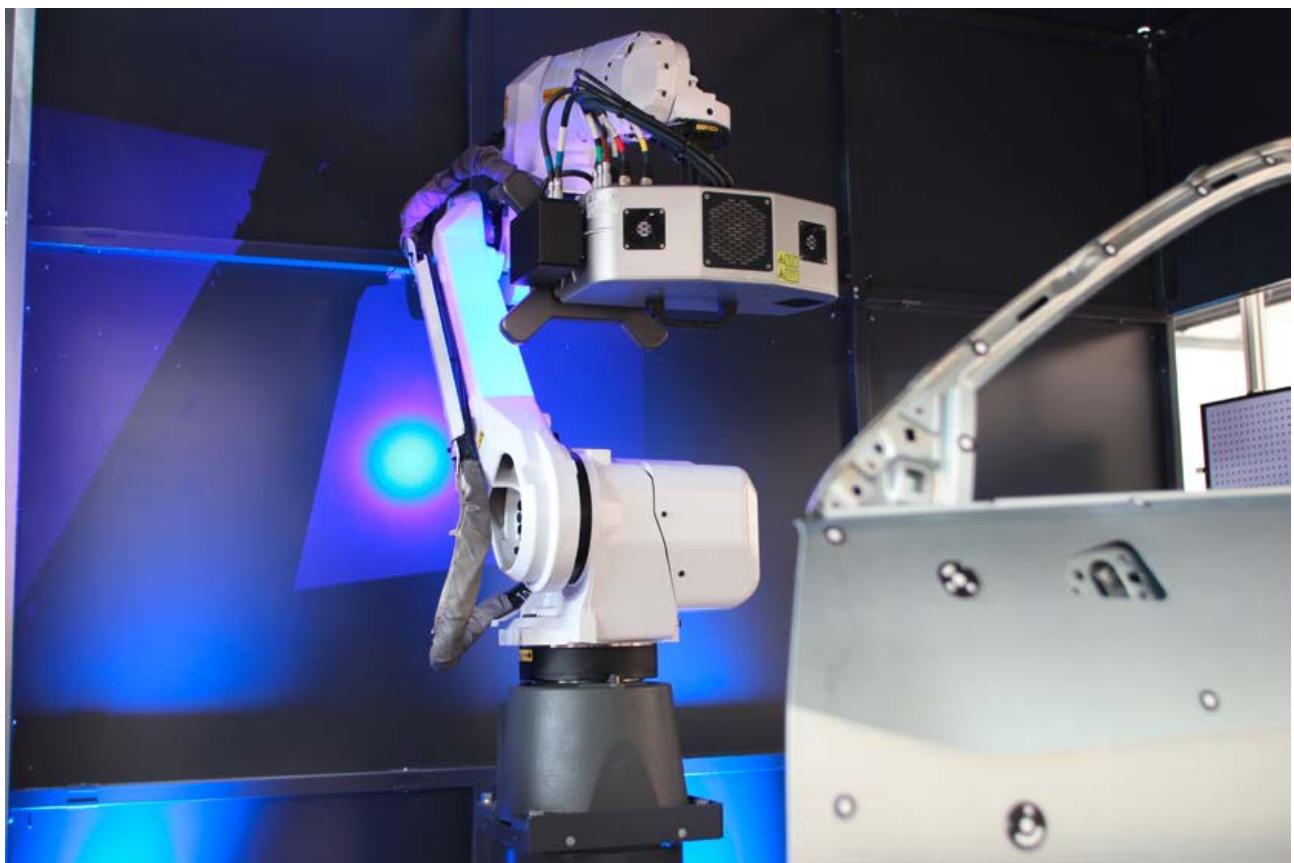
**Gleichzeitig stellt die Montage höchste Anforderungen an die Technik, die Logistik und die Systemintegration. Im Kontext der vierten industriellen Revolution ergeben sich hierbei viele neue Lösungsansätze. Am *iwb* beschäftigt sich eine eigene Abteilung mit Themen der Robotik, der künstlichen Intelligenz und dem Internet der Dinge im Bereich der Montage.**

Die Abteilung Montagetechnik und Robotik (MR) besteht derzeit aus zehn wissenschaftlichen Mitarbeitern und Mitarbeiterinnen, die an Innovationen im Bereich der Montageplanung, der Qualitätssicherung und der Instandhaltung arbeiten. Dabei stehen Fähigkeiten-basierte Ansätze zur Modellierung

von Montageprozessen, simulative Studien zur Absicherung der Montageplanung sowie Künstliche Intelligenz für die Bilderkennung und Qualitätssicherung sowie die prädiktive Instandhaltung im Fokus. Gleichzeitig ermöglicht die Abteilung durch Vorlesungen wie z.B. „Künstliche Intelligenz in der Produktionstechnik“ oder „Intelligent vernetzte Produktion“ den Transfer von der Forschung in die Lehre. Um eine intensive inhaltliche Zusammenarbeit der Mitarbeitenden zu ermöglichen, gliedert sich die Abteilung in zwei Forschungsfelder (FF) zu den Themen „Industrielle Robotik“ und „Cyberphysische Montagesysteme“.

## Cyberphysische-Montagesysteme

Das Forschungsfeld Cyberphysische Montagesysteme beschäftigt sich mit Digitalisierungsthemen entlang des gesamten Produktlebens-



© Tanja Kühnau

Ein Sechs-Achs-Vertikal-Knickarmroboter mit einer 3D-Kamera zur Qualitätssicherung

zyklus von Montageanlagen. Das Forschungsfeld arbeitet an intelligenten Algorithmen zur Ableitung von Montagereihenfolgen aus CAD-Produktmodellen und für die automatisierte Planung von Montageanlagen. Virtuelle Modelle zur erleichterten Inbetriebnahme und zur Überwachung von Montageanlagen sind ein weiterer Schwerpunkt des Forschungsfelds. Ein neues Thema ist die Integration von Demontagelinien in bestehende Produktionssysteme im Kontext der Kreislaufwirtschaft. Das Know-how des FFs lässt sich auch live in der *iwb*-Versuchshalle erleben, z.B. am Lego-Roboter-Demonstrator, der auf Basis eines beliebigen Lego-CAD-Modells automatisiert einen entsprechenden Bausatz montiert.

## Industrielle Robotik

Die Mitglieder des Forschungsfelds Industrielle Robotik beschäftigen sich mit der Befähigung von robotergestützten Systemen für neue Applikationen in der Montage. Eine langjährige Kernkompetenz ist dabei die roboterbasierte Qualitätssicherung mit optischen Sensoren. Daneben liegt der Fokus des FFs auf der Handhabung von formlabilen Teilen (z.B. zur Montage von Kabeln), dem Bin-Picking und der prädiktiven Instandhaltung von Industrierobotern. Die Aktivitäten des FFs werden durch mehrere Anlagen im MR-Versuchsfeld greifbar gemacht. Unter anderem existiert ein Versuchsstand für die roboterbasierte Geometrievermessung von Bauteilen sowie eine Roboterzelle für beschleunigte Verschleißtests von Robotergetrieben.

## Aktuelle Projekte

- Details zu den genannten Projekten finden Sie auch auf der Website des *iwb*.
- AutoKaR – Automatisierte Kalibrierung von Robotersystemen zur Steigerung der Bahntreuegenauigkeit
- iBinPick – Vereinzelung mittels 3D-Bildverarbeitung und Griff in die Kiste

- KIVI – Künstliche Intelligenz zur Vorhersage der Lebensdauer und Einsatzsicherheit von Industrierobotern
- RoMaFo – Roboterassistenzsystem und maschinelles Sehen zur Montage von formlabilen Bauteilen bei kundenindividuellen Produkten
- IntellProMo – Intelligente, automatisierte Prozessüberwachung von Montageanlagen
- iMoBatt – Innovatives funktionsintegriertes Moduldesign für modulare Batteriepacks
- IntelliSpin – Intelligentes Electrospinning in der Zellfertigung mittels maschinellem Lernen
- RDS2-Production – Modelling and decision-making platform for reconfigurable, digitalized and sustainable production systems
- ASSISTANT – Learning and robust decision support systems for agile manufacturing environments

## Abgeschlossene Projekte

- FORobotics – Mobile, ad-hoc cooperating roboter teams
- ProMoA – Produktbasierte automatische modellbasierte Anlagenentwicklung
- CyMePro – Cyber-physische Messtechnik zur 3D-Digitalisierung in der vernetzten Produktion



**M. Sc. Daria Leiber**

Abteilungsleitung  
Montagetechnik und Robotik

# Abteilung Produktionsmanagement & Logistik

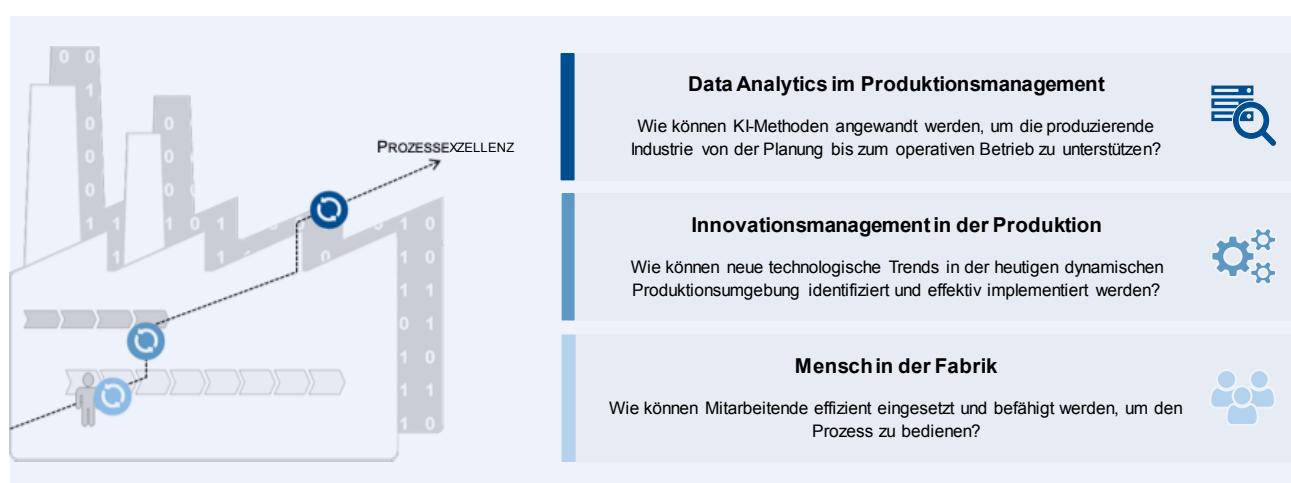
**Unter dem Motto „Der Prozess ist der Chef“ zielt die Abteilung Produktionsmanagement und Logistik auf Prozessexzellenz in der Produktion ab.**

Für exzellente Produktionsprozesse ist die Auswahl und effiziente Nutzung von Betriebsmitteln sowie der optimierte Einsatz der Mitarbeitenden und deren Kompetenzen essentiell. Am *iwb* werden neue Systeme und Methoden entwickelt, um die hierfür notwendigen Planungstätigkeiten zu unterstützen.

Für die strategische Planung stellt das Forschungsfeld *Innovationsmanagement in der Produktion* moderne Analyse- und Bewertungsmethoden zur Identifikation von potenzialträchtigen Produktionstechnologien zur Verfügung. Durch die Kombination mit Methoden des Änderungsmanagements wird die schnelle Integration neuer Technologien in das Produktionssystem ermöglicht. Ergänzend hierzu werden im Forschungsfeld *Mensch in der Fabrik* die notwendigen Kompetenzen der Mitarbeitenden in einer digitalisierten Produktion identifiziert und Methoden für die gezielte Mitarbeitendenqualifikation erforscht.

In der taktischen und operativen Produktionsplanung gilt es, Prozessverschwendungen zu erkennen, die Produktionsplanung und Steuerung zu optimieren sowie die Mitarbeitenden bei ihren Produktionstätigkeiten geeignet zu unterstützen. Im Forschungsfeld *Data Analytics im Produktionsmanagement* kommen hierfür Methoden der Künstlichen Intelligenz zum Einsatz, um die notwendige Transparenz über Prozesse und zukünftige Ereignisse zu erzeugen. So können beispielsweise mit dem Digitalen Zwilling der Auftragsabwicklung oder der Integration von Predictive Maintenance optimierte Produktionsprogramme ermittelt werden. Durch die Entwicklung von Assistenzsystemen und Algorithmen zur Mitarbeitereinsatzplanung wird zudem im Forschungsfeld *Mensch in der Fabrik* sichergestellt, dass die Mitarbeitenden die Produktionsprozesse effizient und nachhaltig ausführen können.

Die Umsetzung der entwickelten Systeme und Methoden benötigt ein ausgeprägtes Verständnis über deren Auswirkungen auf das Produktionssystem und setzt die Akzeptanz der Belegschaft voraus. Um dies sicherzustellen, werden die Ergebnisse der Abteilung im industrienahen



Forschungsfelder der Abteilung Produktionsmanagement und Logistik

*InnovationLAB* des *iwb* erprobt und erlebbar umgesetzt. Unternehmen können im Rahmen von individuellen Workshops neueste Technologien gemeinsam mit den Experten des Instituts kennenlernen und Innovationen für ihre Produktion entwickeln.

## Aktuelle Projekte

- ASSISTANT – Learning and robust decision support systems for agile manufacturing environments
- BeKoMi – Beanspruchungs- und kompetenzorientierte Mitarbeitereinsatzplanung
- CogniPlant – Cognitive Platform to enhance 360° Performance and Sustainability of the European Process Industry
- Mittelstand 4.0 Kompetenzzentrum Augsburg
- PreCoM – Condition Monitoring und prädiktive instandhaltungsintegrierte Produktionsplanung
- ProdTech – Bewertung des Wettbewerbspotenzials von Produktionstechnologie
- SFB 768 – Transferprojekt T7: Leitfaden für das Änderungsmanagement in der Produktion
- PreCoM – Condition Monitoring und prädiktive instandhaltungsintegrierte Produktionsplanung

## Abgeschlossene Projekte

- Effizientes Datenmanagement für den Einsatz mathematischer Optimierungsmodelle in der Produktionsstrategie
- FOREL2 – Forschungs- und Technologiezentrum für ressourceneffiziente Leichtbaustrukturen der Elektromobilität 2
- SFB 768: Zyklomanagement von Innovationsprozessen – Verzahnte Entwicklung von Leistungsbündeln auf Basis technischer Produkte



**M. Eng. Harald Bauer**  
Abteilungsleitung  
Produktionsmanagement & Logistik

---

## VORSCHAU AUF TERMINE 2021

### Montagekongress

04.–05.05.2021 (in virtueller Form)

### ees Europe

20.–21.07.2021

### Automatica

22.–24.06.2021

### Virtuelle CIRP General Assembly

22.–28.08.2021

Aufgrund der aktuellen Corona-Situation möchten wir Sie darum bitten, weitere Termine auf unserer Homepage nachzusehen unter [www.iwb.tum.de/veranstaltungen](http://www.iwb.tum.de/veranstaltungen). Die Termine des *iwb* e.V. erfahren Sie unter [www.iwbev.de](http://www.iwbev.de)

---

# Abteilung Batterieproduktion

**Insbesondere aufgrund der wachsenden Nachfrage durch die Elektromobilität kommt der Verfügbarkeit von Batteriezellen eine zunehmende Bedeutung zu. Um größere Unabhängigkeit von asiatischen Herstellern zu erreichen, soll die Batterieproduktion am Standort Deutschland befähigt werden. Die produktionstechnische Forschung am *iwb* soll zur Etablierung einer nachhaltigen und effizienten Zellfertigung beitragen.**

## Anlagenportfolio

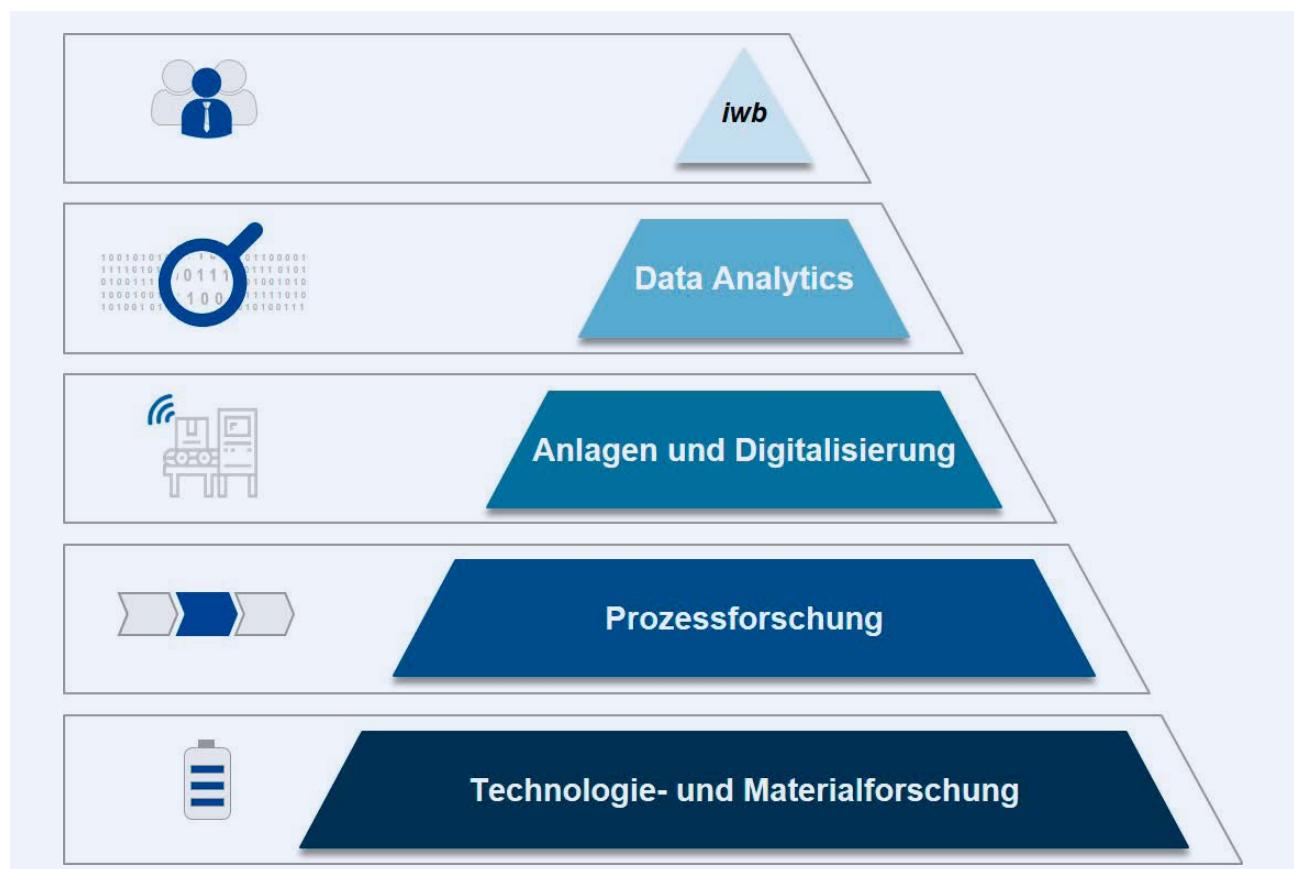
Das *iwb* verfügt inzwischen über 10 Jahre Forschungs- und Industrieerfahrung im Bereich der Batterieproduktion. In der Abteilung arbeitet aktuell ein Team von 14 wissenschaftlichen Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern eng zusammen.

Die bestehende Infrastruktur bildet auf industrienahen Anlagen mit hohem

Automatisierungsgrad alle Fertigungs- und Montageschritte sowie die Formierung und das Testen von Batteriezellen ab. Es können verschiedene Zellformate mit Kapazitäten vom mAh-Bereich bis zu zweistelligen Ah gefertigt werden. Die Forschung an der zukunftsweisenden Technologie der Festkörperzelle erweitert das Portfolio der Abteilung. Auch Themen der Brennstoffzelle werden beleuchtet. Aktuell werden hierzu das Battery Innovation Lab (Eröffnung 02/2021) sowie ein Festkörperbatterielabor aufgebaut, welche umfangreiche Anlagen zur Erforschung und Entwicklung dieser Themen beheimaten werden.

## Forschungsschwerpunkte

Die Forschungsaktivitäten der Abteilung Batterieproduktion lassen sich in vier Bereiche untergliedern (s. Abbildung).



Forschungsschwerpunkte der Abteilung Batterieproduktion

Die verschiedenen „Batterieprodukte“ von der konventionellen Lithium-Ionen-Zelle über die Festkörper- bis zur Brennstoffzelle werden hinsichtlich verschiedener Materialien und Technologien untersucht. Hierbei liegt der Schwerpunkt auf der Befähigung der Produktion neuartiger Materialien und der Produktcharakterisierung zur Qualitätssicherung.

Im Bereich der Prozessforschung werden die einzelnen Prozessschritte vom Mischen bis zur Zellfinalisierung vertieft analysiert. Ziel ist es, über den Aufbau von umfangreichem Prozessverständnis, die Verarbeitungsprozesse weiterzuentwickeln und zu optimieren.

Die Industrie 4.0 bietet auch für eine effiziente Batterieproduktion am Standort Deutschland enormes Potenzial. Grundlage hierfür sind digitalisierte und innovative Produktionsanlagen. Die Abteilung arbeitet hierzu unter anderem an Möglichkeiten der schlanken Digitalisierung der Produktion und dem Tracking & Tracing von Zwischenprodukten und Zellen.

Durch die Digitalisierung stehen Daten über Produkte, Anlagenzustände und deren Parameter zur Verfügung. Diese werden genutzt, um über datengetriebene Modelle, Data-Mining-Ansätze und prädiktive Analyseverfahren eine Steigerung der Produktivität, Qualität oder auch der Ressourceneffizienz zu erreichen.

## Enge Kooperationen

Synergien durch interdisziplinäre Zusammenarbeit ergeben sich aus den Kooperationsplattformen innerhalb der TUM im Bereich Batterieforschung, in welche das *iwb* eingebunden ist. Im Netzwerk TUM.Battery, in dem über 100 Mitarbeiter an fünf Fakultäten die gesamte Wertschöpfungskette der Batterie erforschen, bildet das *iwb* den Abschnitt der Produktion ab. Die Forschung und Entwicklung von Festkörperbatterien erfolgt in enger Kooperation mit

der nicht-wirtschaftlichen, außeruniversitären Forschungseinrichtung TUM.Int Research GmbH, einer Enkel-Gesellschaft der TUM.

## Aktuelle Projekte

- BatterI4.0 – Leitfaden zur Digitalisierung der Batteriezellproduktion
- Cell-Fill – Prozess-Struktur-Eigenschaftsbeziehung für Befüllungs- und Wettingprozesse von großformatigen Lithium-Ionen-Batterien
- E-Qual – Datenbasierte Prozess- und Methodenentwicklung zur Effizienz- und Qualitätssteigerung in der Li-Ionen-Zellproduktion
- ExZellTUM III – Exzellenzzentrum für Batteriezellen an der TU München III
- InnoCase – Innovative Gehäusekonzepte für großformatige Lithium-Ionen-Batterien
- MiKal – Optimale Elektrodenstruktur und -dichte durch integrierte Auslegung von Misch- und Kalandrierprozess
- ProFeLi – Produktionstechnik für Festkörperbatterien mit Lithium-Metall-Anode
- ProfiStruk – Prozess- und Anlagenentwicklung zur prozessintegrierten Inline-Strukturierung von Lithium-Ionen-Elektroden
- Sim4Pro – Digitalisierungsplattform – Simulation für die Batteriezellproduktion
- SPIDER – Sichere und präolithiierte Batterien mit hoher Energiedichte auf der Basis von Schwefel-Steinsalzen und Siliziumchemie
- TrackBatt – Tracking und Tracing in der Batterieproduktion

## Abgeschlossene Projekte

- Cell-Fi – Beschleunigung der Elektrolytaufnahme durch optimierte Befüllungs- und Wettingprozesse
- DELIZ – Produktionstechnisches Demonstrationszentrum für Lithium-Ionen-Zellen
- EEBatt – Dezentrale stationäre Batteriespeicher zur effizienten Nutzung erneuerbarer Energien und Unterstützung der Netzstabilität
- ExZellITUM – Exzellenzzentrum für Batteriezellen an der Technischen Universität München
- ExZellITUM II – Exzellenzzentrum für Batteriezellen an der Technischen Universität München II
- FELIZIA – Festelektrolyte als Enabler für Lithium-Zellen In Automobilen Anwendungen
- ProKal – Prozessmodellierung der Kalandrierung energiereicher Elektroden
- ProLIZ – Produktionstechnik für Lithium-Ionen-Zellen
- SPICY – Silicon and polyanionic chemistries and architectures of Li-ion cell for high energy battery
- SurfaLib – Oberflächenvorbehandlung von Batterie-Materialien



**M. Sc. Florian Günter**

Abteilungsleitung  
Batterieproduktion

## EINSTELLUNGEN 2019/2020

Name	Einstieg 2019
Bähr, Siegfried	15.04.2019
Bernauer, Christian	11.11.2019
Büchler, Tobias	15.09.2019
Dillinger, Fabian	18.01.2019
Grabmann, Sophie	01.05.2019
Gropp, Robert	15.09.2019
Hagemeister, Jan	22.07.2019
Hille, Lucas	01.07.2019
Keilhofer, Josef	07.10.2019
Kick, Michael	18.01.2019
Nentwich, Corbinian	18.01.2019
Schieber, Christian	01.05.2019
Schmucker, Benedikt	01.04.2019
Sigl, Martina	23.05.2019
Singer, Celestine	01.05.2019
Stock, Sandro	11.11.2019
Wimmer, Matthias	18.01.2019
Zhao, Fan Xiao	15.05.2019

Name	Einstieg 2020
Christian, Lisa	15.06.2020
Dirr, Jonas	15.04.2020
Fischer, Andreas	01.07.2020
Gärtner, Quirin	01.09.2020
Gebauer, Daniel	15.03.2020
Geiger, Christian	01.11.2020
Götz, Dominik	01.02.2020
Grimm, Karina	15.04.2020
Kashoaa, Ute	11.05.2020
Leeb, Matthias	01.04.2020
Leiber, Leonie	24.02.2020
Lietz, Annette	15.03.2020
Maier, Maria	01.08.2020
Mair, Thomas	01.10.2020
Prottung, Sophia	20.01.2020
Sommer, Alessandro	07.01.2020
Tanz, Lukas	01.03.2020
Töpper, Hans-Christoph	17.02.2020
Vieltoft, Fabian	16.03.2020
Wagner, Sarah	01.12.2020
Wenzler, David	01.05.2020

# Neuer Cobot für das *iwb*

**Leichtbauroboter erfreuen sich in den letzten Jahren großer Beliebtheit, um Mensch-Roboter-Kollaborationen und taktil geregelte Montagevorgänge zu realisieren. Deshalb wurden am *iwb* zwei neue Cobots angeschafft.**

Leichtbauroboter zeigen großes Potenzial zur flexiblen und effizienten Automatisierung von Montage- bzw. Logistikprozessen. Konventionelle Roboterapplikationen besitzen Schutzeinrichtungen wie Zäune oder Lichtvorhänge, um Kollisionen zwischen Mensch und Roboter zu verhindern. Die Substitution dieser Einrichtungen durch Drehmoment-geregelte Roboter in Kombination mit geeigneter Sensorik zur Mensch-Erkennung ermöglicht eine flächenreduzierte Realisierung von Applikationen, die zusätzlich einen geringen Inbetriebnahmeaufwand verursachen.

### Nutzung von Leichtbaurobotern am *iwb*

Die Roboter werden am *iwb* vielfältig eingesetzt. Im Bereich der Lehre wurde im Industrieroboterpraktikum ein thematischer Block zur Mensch-Roboter-Kollaboration geschaffen. Neben theoretischen Grundlagen werden praktische Aspekte wie Ablaufgestaltung, Programmierung und Anwendungen taktiler Regelkonzepte adressiert. Derzeit wird ein weiterer Lehrinhalt zum Robot Operation System (ROS) aufgebaut, welches in der Forschung weit verbreitet ist, um Roboterapplikationen zu realisieren. Die praktische Umsetzung ist dabei in der Simulation und am Cobot geplant. Weiter dienen die Roboter als flexible Plattform zur Umsetzung von Forschungsprojekten. Im BM-Wi-ZIM-Projekt iBinPick wird mit dem Roboter der Griff in die Kiste („Bin Picking“) erforscht. Durch die kleine Größe kann der Roboter ebenfalls mobil bei Veranstaltungen zur Demonstration von Forschungsergebnissen eingesetzt



© Tobias Hase/Fakultät für Maschinenwesen

Batteriemontage mit Cobot

werden, z. B. am 30. Deutschen Montagekongress (2019) oder auf der Studieninformationsmesse der Fakultät Maschinenwesen.

### Danksagung

Die Autoren des Beitrags danken dem *iwb* e.V., den Bundesministerien für Bildung und Forschung sowie für Wirtschaft und Energie und der J. Schmalz GmbH für die Unterstützung des Projektes.



**M. Sc. Corbinian Nentwich**

Abteilung  
Montagetechnik & Robotik



**M. Sc. Sebastian Roder**

Abteilung  
Montagetechnik & Robotik

# „Am iwb soll man innovatives Arbeiten erleben können“

Prof. Reinhart

**Die Lernfabrik für Schlanke Produktion (LSP) soll im Sinne des Lean-Gedankens kontinuierlich in Richtung InnovationLAB weiterentwickelt werden. Ziel ist es, eine Umgebung zu schaffen, die innovatives Arbeiten am iwb erlebbar macht.**

Ausgangspunkt für die Entwicklung des InnovationLAB bildet die modulare und flexible Montageumgebung der LSP und die darin vermittelte Lean-Management-Arbeitskultur. In der LSP sind Abbilder verschiedener Produktionsansätze – von einer klassischen Werkstattfertigung bis hin zu einer ausgetakteten Fließmontage sowie diverse Materialversorgungsstrategien – darstellbar.

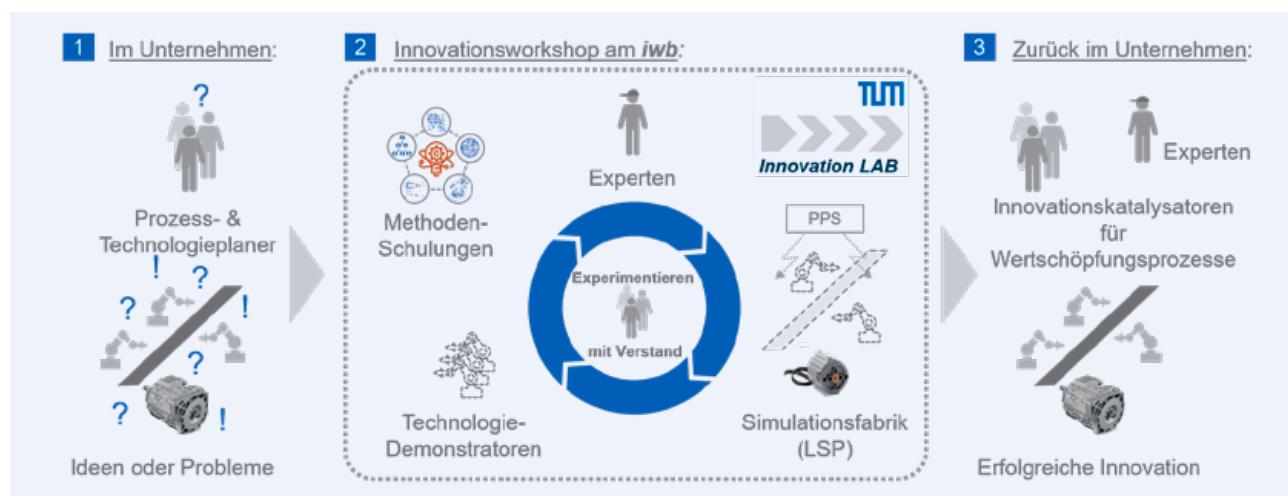
Die zahlreichen am iwb entwickelten Demonstratoren für innovative Technologien in der Montage sollen in diese Umgebung integriert und damit erlebbar gemacht werden. Dazu zählen zum Beispiel intelligente, kamerabasierte Assistenzsysteme, Augmented-Reality-Brillen oder kollaborative Roboter. Durch den praktischen Einsatz der Technologien in der LSP kann deren positiver Beitrag zur Wertschöpfung im Sinne eines problembasierten Lernansatzes für

Studierende, Praktiker:innen und Forscher:innen zugänglich gemacht werden. In Verbindung mit bestehenden und zu entwickelnden Methodenschulungen können im InnovationLAB Probleme zukünftig ganzheitlich verstanden werden. Außerdem können innovative Ideen im geschützten Raum umgesetzt sowie durch strukturiertes Experimentieren erlebbar gemacht werden.

## Innovationskatalysatoren für Wertschöpfungsprozesse

Das Zielbild des InnovationLAB ist in der Abbildung unten dargestellt. Adressiert wird eine vielfältige Zielgruppe aus Industrie, Forschung und Lehre, also zum Beispiel Mitarbeitende eines Unternehmens, Studierende oder Projektpartner. Die potenziellen Besucher:innen vereint das Interesse und Engagement, den Herausforderungen aus der Praxis mit innovativen Ideen und Lösungsansätzen zu begegnen.

Im InnovationLAB am iwb werden von Experten, die als Trainer oder Mentoren agieren, Innovationsworkshops durchgeführt. Die Workshops werden mit Methodenschulungen und Technologiedemonstrationen eingeleitet.



Konzept des iwb-InnovationLAB

Darauf aufbauend werden in Gruppen Ideen und Lösungsstrategien für vorher definierte Problemstellungen generiert und diese unmittelbar als Prototypen in der Simulationsfabrik getestet. Im Zentrum der Innovation steht somit der Wertschöpfungsprozess, wodurch sich das InnovationLAB von anderen Innovationslaboren oder Kreativwerkstätten abgrenzen soll. Durch dieses „Experimentieren mit Verstand“ entsteht ein wertschöpfungsorientierter Lernprozess und die Teilnehmenden erleben innovative Arbeiten anhand von praxisnahen Herausforderungen. Dabei steht ihnen die Gesamtheit der Ressourcen des InnovationLAB zur Verfügung. Dazu zählen neben den Technologiedemonstratoren und der Simulationsfabrik (LSP) auch verschiedene Kreativbereiche.

Die Besucher verlassen das InnovationLAB als Innovationskatalysatoren für Wertschöpfungsprozesse und kehren ausgestattet mit neuen Ideen und Fähigkeiten in ihre Unternehmen zurück. Die Experten des InnovationLAB stehen weiterhin als Mentoren oder Trainer zur Verfügung und können bei der Transferierung der Erkenntnisse in Anschlussprojekten unterstützen. Darüber hinaus erhalten die Teilnehmenden Zugang zum erweiterten *iwb*-Netzwerk, das Universitäten, Unternehmen und Start-ups umfasst.

### **Experimentieren mit Verstand**

Die Besonderheit des InnovationLAB liegt in einem methoden-gestützten, strukturierten kontinuierlichen Lernprozess, welchen wir als „Experimentieren mit Verstand“ bezeichnen. Im Gegensatz zu einer klassischen Kreativwerkstatt soll im InnovationLAB am *iwb* der Beitrag von Methoden und Technologien zur Wertsteigerung von Prozessen im Mittelpunkt stehen. Die Teilnehmenden können ihre Ideen und potenziellen Lösungsansätze direkt in einer realitätsnahen, haptischen Simulationsumgebung erproben und testen. Ziel ist es, iterative, kurzyklische Lernerlebnisse zu schaffen. Die entwickelten Konzepte werden unmittelbar mit Hilfe von Prototypen

validiert. Die identifizierten Verbesserungspotenziale können somit direkt für die weiterführenden Iterationsstufen genutzt werden. Dieses Vorgehen führt zu schnellen Lernfortschritten, löst praxisnahe Herausforderungen und erhöht die Problemlösekompetenzen der Teilnehmenden.



**MBA & Eng. Fabian Dillinger**

Abteilung  
Produktionsmanagement & Logistik



**M. Sc. Quirin Gärtner**

Abteilung  
Produktionsmanagement & Logistik



**M. Sc. Maria Maier**

Abteilung  
Nachhaltige Produktion



**Dipl.-Ing. Felix Brandl**

Abteilung  
Produktionsmanagement & Logistik

# Inhouse Consulting – das Arbeiten am *iwb* leichter machen

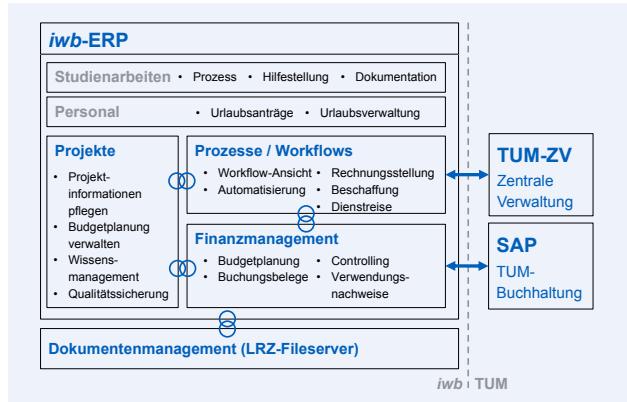
**Das Projekt „Inhouse Consulting“ ist eine im Jahr 2020 gestartete Initiative, um die Geschäftsprozesse des *iwb* zu überdenken und die Abläufe langfristig effizient und nachhaltig zu gestalten. Das Arbeiten am *iwb* zu erleichtern, dies ist die übergeordnete Zielstellung.**

## Eine solide Basis für Innovation

Das *iwb* zeichnet sich durch Innovationskraft im Bereich der Produktionstechnik aus. Kreative Ideen entstehen in den Köpfen der Mitarbeitenden und das umso mehr, wenn die gesamte Methoden- und Fachkompetenz auf die inhaltliche Arbeit konzentriert ist. Aus diesem Grund sollten die täglichen Geschäftsprozesse nur einen kleinen Anteil der Arbeitszeit einnehmen. Dieses Ziel zu erreichen, setzt eine solide Wissensbasis voraus. Durch den intensiven Austausch mit den TUM-seitigen Schnittstellen und die Analyse des *iwb*-internen Status quo wurden schnell Synergieeffekte und Potenziale deutlich, die langfristig genutzt werden können. So implementierte das Projektteam eine eigens als Prozessübersicht deklarierte Wiki-Seite im TUM-Intranet – ein wichtiger Wissensknotenpunkt, von dem sowohl erfahrene als auch junge Mitarbeitende profitieren.

## Ein neues ERP-System für das *iwb*

Um langfristig die Geschäftsprozesse zu unterstützen und zu festigen, soll ein neues ERP-System entwickelt und eingeführt werden. Insbesondere die Eindeutigkeit und die Flexibilisierung der Geschäftsprozesse sowie der Mehrwert für die Mitarbeitenden stehen dabei im Vordergrund. Zu diesem Zweck werden die Themen der Prozessabläufe, des Finanzcontrollings und der Dokumentation von Daten eingehend betrachtet und überdacht. Bei der



Systemstruktur des angestrebten Management-Systems

Umsetzung des Systems können Synergieeffekte zu einem bereits im Aufbau befindlichen System der Fakultät genutzt werden, indem die seitens des Lehrstuhls notwendigen Funktionalitäten ergänzt werden. Damit entsteht nicht nur ein System von dem das *iwb* profitiert, die Nutzung kann auch einfach auf weitere Lehrstühle ausgerollt werden. In diesem Zusammenhang hat die angestrebte Lösung auch bereits die Aufmerksamkeit der Munich School of Robotics and Machine Intelligence geweckt.

## Danksagung

Für die bisherige Unterstützung möchte ich dem Projektteam danken. Dazu gehören Benedikt Schmucker, Michael Milde, Roman Hartl, Leonie Leiber und Andreas Bachmann als verantwortlicher ILK.



**M. Sc. Christoph Wunderling**  
Abteilung  
Lasertechnik

# KI@iwb – Institutsschwerpunkt KI in der Produktionstechnik

**Einen ähnlichen Hype wie Industrie 4.0 und Digitalisierung in Forschung und Industrie ausgelöst haben, erfährt nun auch die Künstliche Intelligenz (KI). In gewisser Weise ist sie eine logische Weiterentwicklung digitaler Lösungen und bietet weitreichende Möglichkeiten die Produktionstechnik zu verbessern.**

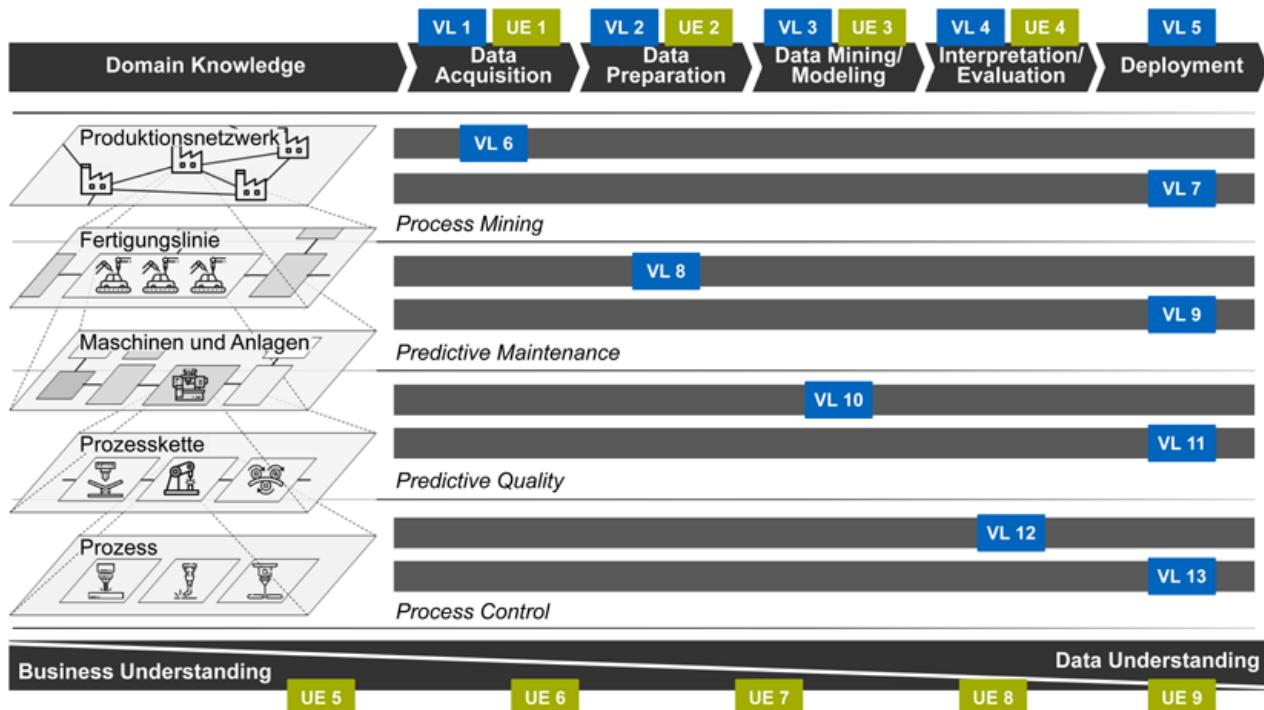
Produzierende Unternehmen in Deutschland und Europa behaupten nach wie vor einen Wettbewerbsvorsprung gegenüber Konkurrenten aus Niedriglohnländern bei der Herstellung individueller und hochqualitativer Produkte. Infolge des zunehmenden Kostendrucks sind Produktionssysteme erforderlich, die eine wirtschaftliche Produktion komplexer Unikate ermöglichen. Um die dafür notwendigen hochflexiblen und komplexen Produktionsverfahren und -systeme prozesssicher einsetzen zu

können, birgt der Einsatz von Methoden der Künstlichen Intelligenz erhebliche Potenziale.

## KI in der Institutsstrategie

Am *iwb* haben wir uns das Ziel gesetzt diese Potenziale in der Forschung, der industriellen Anwendung und der Lehre bestmöglich zu heben. Im Rahmen des aktuellen Strategieprozesses wurde das Institutsprogramm als Werkzeug geschaffen, um uns institutsübergreifend und zeitlich befristet mit einem Fokusthema auseinanderzusetzen. Es stellt eine Art Schwerpunktprogramm dar und ermöglicht uns, einen inhaltlichen Fokus in unserer Arbeit zu setzen, ohne von der bewährten Abteilungs-Struktur abzuweichen.

Das Institutsprogramm für 2020/2021 trägt den Namen „AI 4 Quality, Flexibility & Efficiency“. Unter diesem Motto arbeiten wir daran, durch



Vorlesungs- (VL) und Übungseinheiten (UE) des Moduls „KI in der Produktionstechnik“ zur Ausbildung von Manufacturing Data Scientists an der TUM

die Anwendung von Methoden der Künstlichen Intelligenz die Qualität, die Flexibilität und die Effizienz innerhalb der Produktion zu verbessern. Wie sich das Institutsprogramm in unsere Strategie eingliedert, können Sie im themenspezifischen Artikel zum Strategieprozess in diesem Newsletter nachlesen.

Das Ziel des Institutsprogramms ist es, unsere Arbeit in den vier Säulen Forschung, Lehre, Transfer und Internes zu inspirieren und voranzutreiben. Während im Bereich der Forschung schon einige Projekte mit einem Schwerpunkt auf der Anwendung von KI-Methoden gestartet wurden, haben wir gerade im Bereich der Lehre an der Fakultät Maschinenwesen noch deutlichen Handlungsbedarf erkannt, welchen wir seit dem Sommersemester 2020 mit einer neuen Vorlesung adressieren.

### **KI in der Lehre – Ausbildung von Manufacturing Data Scientists**

Ein wesentlicher Erfolgsfaktor und derzeit großes Hemmnis für den Einsatz von Methoden der KI in Unternehmen sind die benötigten spezifischen Kompetenzen des Personals.

Produzierende Unternehmen weisen ein breites Domänenwissen auf, haben häufig jedoch keine Kompetenzen im Bereich der KI. Hingegen fehlt Expertinnen und Experten, die Qualifikationen in der Anwendung von KI-Methoden besitzen, ohne einschlägige Ausbildung der Zugang zu den notwendigen Grundlagen der Domäne der Produktionstechnik. Mit der von uns geschaffenen Vorlesung „KI in der Produktionstechnik“ legen wir einen ersten Grundstein zur Ausbildung von Manufacturing Data Scientists an der TUM.

Die Lehrveranstaltung vermittelt sowohl die Grundlagen und die Anwendung von Methoden der Datenerhebung, der Signalanalyse und der statistischen Modellierung (angelehnt an den Prozess des Knowledge Discovery in

Databases) als auch die Grundlagen der Domäne der Produktionstechnik (s. Abbildung). Das Ziel ist die Vermittlung eines Grundverständnisses zu KI-basierten Methoden und den Herausforderungen für eine erfolgreiche Umsetzung datengetriebener Lösungen auf unterschiedlichen Produktionsebenen.

Im Rahmen der Modulveranstaltung, die Studierenden der Ingenieurwissenschaften, der Informatik und der Mathematik offensteht, werden neben akademischen Anwendungsfällen aus der Forschung industrielle Implementierungen KI-basierter Systeme diskutiert. Rund 60 Studierende konnten im Rahmen der erfolgreichen Erstabhaltung im vergangenen Sommersemester die erlernten Grundlagen und Methoden an seriennahen Datensätzen selbstständig umsetzen und erste Erfahrungen für einen Transfer auf Anwendungsfälle aus dem Bereich der Produktionstechnik sammeln.



**M. Sc. Christian Stadter**

Abteilungsleitung  
Lasertechnik



**Dr.-Ing. Susanne Vernim**

Abteilungsleitung  
Nachhaltige Produktion



**M. Sc. Maximilian Benker**

Abteilung  
Werkzeugmaschinen



**M. Sc. Thomas Semm**

Abteilungsleitung  
Werkzeugmaschinen

# Forschungsprojekt PROLEI auf dem FOREL-Kolloquium 2019 erfolgreich abgeschlossen

**Metall küsst Kunststoff – Unter diesem Motto endete am 31. August 2019 das Forschungsprojekt PROLEI, das die Qualifizierung der Metall-Kunststoff-Hybridbauweise für die industrielle Serienfertigung von Leichtbaustrukturen erzielte.**

Transportmittel sind in der Gesellschaft zur Selbstverständlichkeit geworden. Wer kann heutzutage schon auf den Bus, die Bahn, das Flugzeug oder den eigenen PKW verzichten? Eher im Gegenteil – der Bedarf nach individueller Mobilität steigt kontinuierlich. Auf Basis dieser Entwicklungen sieht sich sowohl die Luftfahrt- als auch die Automobilindustrie in der Verantwortung nachhaltige und ressourcenschonende Lösungen anzubieten.

### **PROLEI verbindet Flugzeug- und Automobilbau**

Für innovative Lösungskonzepte sind neue Produktionsprozesse erforderlich, mit denen Leichtbaukonstruktionen in Metall-Kunststoff-Bauweise wirtschaftlich realisiert werden können. Im Projekt konnte durch die Entwicklung der Fertigungsprozesse und deren Automatisierung die Serienfertigung unmittelbar vorbereitet werden, obwohl sich die Anforderungen im Bereich Luftfahrt und Automotive teils stark unterscheiden. Eine Schlüsselrolle spielten dabei die Erforschung der Füge- und deren Vorbehandlungsprozesse.

### **Abschluss auf dem FOREL-Kolloquium**

FOREL ist eine national übergreifende und offene Plattform, die zur Entwicklung von Hightech-Leichtbausystemlösungen für E-Fahrzeuge der Zukunft dient. Das jährlich stattfindende FOREL-Kolloquium ist hierzu die Diskussionsplattform, auf der die Fachexperten

aus Industrie und Forschung zusammenkommen, um sich über den Leichtbau der Zukunft auszutauschen. Als ein zentraler Bestandteil des FOREL-Kolloquiums 2019 wurden die Projektergebnisse von PROLEI vor den Augen des Projektträgers Karlsruhe in einer eigenen Session erfolgreich präsentiert. Innerhalb von drei Vorträgen wurden mit starker Beteiligung des iwb folgende Themen adressiert:

- Laserbasierte Oberflächenvorbehandlung von Metallen
- Robotergestützte Applikation duroplastischer Halbzeuge
- Reibpressfügen von Metall-Composite-Strukturen

### **Dank**

Dieses Forschungs- und Entwicklungsprojekt wurde mit Mitteln des Bundesministeriums für Bildung und Forschung (BMBF) im Programm „Innovationen für die Produktion, Dienstleistung und Arbeit von morgen“ gefördert (Förderkennzeichen 02P16Z002) und vom Projektträger Karlsruhe (PTKA) betreut. Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt bei den Autoren. Wir danken für die Förderung des Projekts.



**M. Sc. Christoph Wunderling**

Abteilung  
Lasertechnik



**M. Sc. Stefan Meyer**

Abteilung  
Werkzeugmaschinen

# Gesteigerte Anwendbarkeit des FSW durch intelligente Datenauswertung: Projekte *Click&Weld* und *MobaReg* erfolgreich abgeschlossen

**Nach mehreren Jahren der Grundlagenforschung auf dem Gebiet des Rührreibschweißens (FSW) liegt der Forschungsschwerpunkt des *iwb* auf der Steigerung der industriellen Anwendbarkeit des Verfahrens.**

Beim Rührreibschweißen handelt es sich um ein Pressschweißverfahren, bei dem ein rotierendes Werkzeug die Fügepartner lokal entfestigt und verröhrt. Es entsteht eine stoffschlüssige Fügeverbindung, jedoch ohne den Werkstoff dabei aufzuschmelzen. Das Verfahren eignet sich besonders zum Fügen von Aluminiumlegierungen, z. B. für Leichtbaustrukturen.

## **Click&Weld**

Ein zentraler Bestandteil des Click&Weld-Systems war die Erstellung einer Prozessdatenbank. Um diese mit Prozesswissen zu befüllen, wurden umfangreiche experimentelle Untersuchungen durchgeführt und mit Hilfe der Datenbank dokumentiert. Ein weiteres Arbeitspaket war die Programmierung des sogenannten FSW-Moduls, das die Schnittstelle des Anlagenbedieners zur Software darstellt und eine effiziente Spezifikation der Schweißaufgabe ermöglicht. Ein datenbankgebundener Algorithmus erstellt anschließend automatisiert das Schweißprogramm. Auf diese Weise wurde an der FSW-Anlage des *iwb* ein Demonstratorbauteil gefertigt, das die Funktionsfähigkeit des Click&Weld-Systems unterstreicht. Zur Auswertung der Prozesskräfte und -temperaturen wurde abschließend ein auf Künstlicher

Intelligenz basierender Algorithmus entwickelt, der die Qualität der gefertigten Schweißnaht abschätzen kann.

## **MobaReg**

Das Ziel des Projektes MobaReg war der Aufbau eines Systems zur Regelung der Schweißtemperatur ohne Temperaturmesstechnik. Das dafür nötige Signal wurde aus dem gemessenen Moment, der Anpresskraft sowie der Werkzeugdrehzahl berechnet. Dafür wurde zuerst das Signal des Prozessmoments über Werkstoff- und Reibgesetze berechnet und die Differenz zum gemessenen Moment einem ausgleichenden, dynamischen Beobachterglied zugeführt. Das ermittelte Temperatursignal wurde mittels eines modellbasierten Reglers auf einen Sollwert eingestellt. Der Fehler der Temperaturmodellierung lag für ein breites Prozessfenster bei maximal 12%. Die Funktionalität des Gesamtsystems konnte an Blind-, Überlapp- und Stumpfstößen validiert werden.

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses  
des Deutschen Bundestages



## **Dank**

Die IGF-Vorhaben 19389 N (Click&Weld) und 19516 N (MobaReg) wurden über die AiF im

Rahmen des Programms zur Förderung der industriellen Gemeinschaftsforschung (IGF) vom Bundesministerium für Wirtschaft und Energie aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages gefördert. Das Forschungsprojekt Click&Weld wurde gemeinsam mit dem Institut für Flugzeugbau (IFB) der Universität Stuttgart bearbeitet.



**M. Sc. Roman Hartl**

Abteilung  
Werkzeugmaschinen



**M. Sc. Martina Elisabeth Sigl**

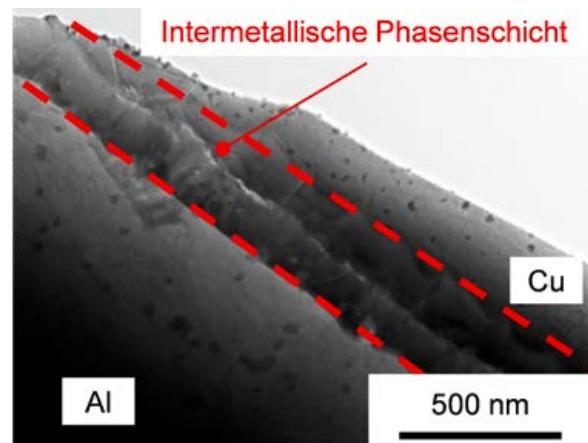
Abteilung  
Werkzeugmaschinen

## Bindemechanismen beim Rührreibschweißen von Al-Cu-Mischverbindungen

**Im DFG-Schwerpunktprogramm 1640 „Fügen durch plastische Deformation“ wurden Fügeprozesse für Metall-Mischverbindungen untersucht. Nach insgesamt sechs Jahren Forschung endete Ende 2019 die dritte Förderphase des Teilprojekts A6 am iwb. Das Forschungsvorhaben zielt auf ein vertieftes Verständnis der Vorgänge an den Grenzflächen von rührreibgeschweißten Mischverbindungen ab.**

Das Rührreibschweißen (FSW) ist ein innovatives Fügeverfahren, bei dem die Werkstücke mit einem rotierenden Werkzeug lokal an den Stoßflächen plastifiziert und durchmischt werden, um eine stoffschlüssige Verbindung zu erzeugen. Da bei diesem Verfahren die Schmelztemperatur der Grundwerkstoffe nicht überschritten wird, ist es möglich, Verbindungen artfremder Werkstoffkombinationen (z.B. Aluminium (Al) und Kupfer (Cu)) zu realisieren.

Die Verbindungsbildung beim Rührreibschweißen von Metall-Misch-Verbindungen wird von zwei verschiedenen Bindemechanismen beeinflusst: dem Formschluss und dem Stoffschluss. Es wurde gezeigt, dass der mechanische Formschluss die durchschnittliche Scherzugfestigkeit



Transmissionselektronenmikroskop-Aufnahme der Grenzfläche

nur geringfügig beeinflusst. Als wesentlicher Bindemechanismus wurde die metallische Bindung an der Grenzfläche der Fügepartner und der damit einhergehende Stoffschluss identifiziert. Einen großen Einfluss auf die Scherzugfestigkeit hat dabei die Dicke der durch Interdiffusion erzeugten intermetallischen Phasenschicht.

Da die Dicke dieser intermetallischen Phasenschicht von der Prozesstemperatur beeinflusst wird, wurde in der letzten Förderphase eine Temperaturregelung zum Fügen von Al-Cu-Verbindungen aufgebaut und auf verschiedene Fügepartnergeometrien angewandt. Durch den Einsatz eines temperaturgeregelten Prozesses

wurde eine deutliche Steigerung in der Homogenität der mechanischen Festigkeiten erreicht. Dies ist auf eine konstante intermetallische Schichtdicke zurückzuführen. Der Zusammenhang zwischen der Prozesstemperatur und der Schichtdicke kann über ein analytisches Arrhenius-Modell, das im Rahmen dieses Projekts entwickelt wurde, beschrieben werden.

Insgesamt wurde gezeigt, dass die temperaturgeregelte Prozessführung eine gezielte Einstellung der intermetallischen Schichtdicke, sowie eine Kontrolle der Grenzflächenmorphologie ermöglicht. Die Temperaturregelung bildet

somit die Grundlage für eine prozesssichere Anwendung des FSW im industriellen Umfeld.

## Dank

Das *iwb* bedankt sich bei der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG) für die Förderung des Forschungsprojekts.



**M. Sc. Sophie Grabmann**

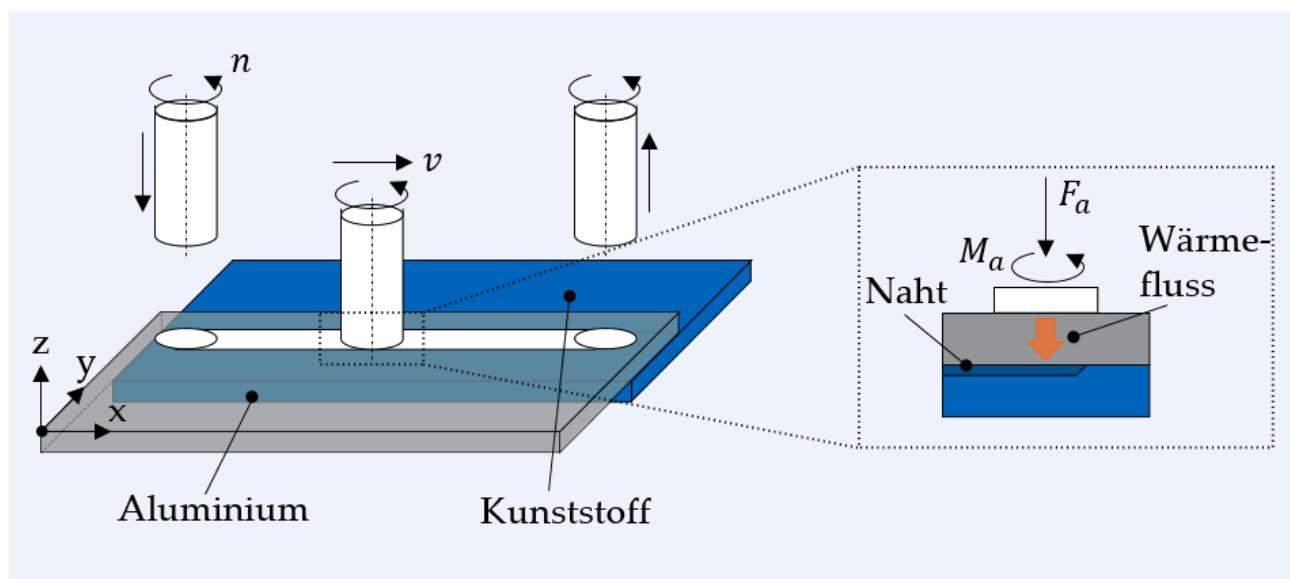
Abteilung  
Batterieproduktion

# Reibpressfügen als innovative Fügetechnik für Kunststoff-Metall-Verbunde

Im Forschungsprojekt „Wärmequellenmodellierung für das Reibpressfügen von Kunststoff-Metall-Verbunden“ stehen Hybridverbunde im Blickpunkt der Forschung. Ausschlaggebend für eine gute Verbundfestigkeit sind die Temperaturen in der Fügezone zwischen Kunststoff und Metall. Diese Grenzschichttemperatur kann jedoch nicht direkt erfasst werden, weshalb

eine Modellierung des Wärmeflusses essentiell für die geregelte Prozessführung ist.

Durch den Einsatz von Werkstoffverbunden aus Metallen und Kunststoffen können einzigartige und vielfältige Eigenschaften in Strukturauteilen abgebildet werden. Jedoch sind thermische Fügeverfahren aufgrund der unterschiedlichen



Verfahrensablauf des Reibpressfügens

Werkstoffeigenschaften der beiden Fügepartner herausfordernd. Ein vielversprechender Ansatz ist das Reibpressfügen (RPF).

### Verfahrensablauf

Das Reibpressfügen ist ein modifizierter Röhrebschweißprozess zur Verbindung von thermoplastischen Kunststoffen mit Metallen. Dazu wird in einem ersten Prozessschritt die Oberfläche des metallischen Fügepartners vorbehandelt. Dadurch wird die Oberflächentopologie und -topographie modifiziert, wodurch bestimmte Haftmechanismen verstärkt werden. Anschließend werden die Kunststoffkomponenten im Überlappstoß auf den metallischen Werkstoff gelegt und mittels eines RPF-Werkzeugs gefügt. Hierbei wird das rotierende Werkzeug auf die Oberfläche des metallischen Fügepartners gedrückt und mit einer kontinuierlichen Bewegung entlang der Füge naht bewegt. Durch die Reibung wird Wärmeenergie zwischen dem Fügepartner und dem Werkzeug erzeugt. Durch Wärmeleitung wird der Kunststoff in der Fügezone aufgeschmolzen und kann an der vorbehandelten Oberfläche anhaften.

### Zielsetzung und Vorgehensweise

Das Ziel des Forschungsprojektes ist es, den Wärmefluss in den Fügeverbund und damit die Temperatur in der Fügezone in Abhängigkeit der Prozessparameter zu bestimmen. Dazu soll

durch aufgezeichnete Prozessdaten die eingebrachte Wärmeleistung berechnet werden. Anschließend können Wärmeleitungsmodelle zur Berechnung der Grenzflächentemperatur aufgebaut und kalibriert werden.

### Erste Erkenntnisse

Bisher wurden Strategien zur Steigerung der Verbundfestigkeit mittels geeigneter Oberflächenmodifikation des metallischen Fügepartners erarbeitet. Parallel dazu wurde eine Methode zur kraftgeregelten Prozessführung mittels eines modellprädiktiven Ansatzes erarbeitet und auf weitere Materialkombinationen übertragen. Aufbauend auf dieser Methode, sowie durch Implementierung der Wärmeleitungsmodelle, soll im Folgenden die Temperatur in der Fügezone geregelt werden.

### Dank

Dieses Forschungsprojekt wird gefördert durch die Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG) – 418104776. Wir danken an dieser Stelle ganz herzlich dafür.



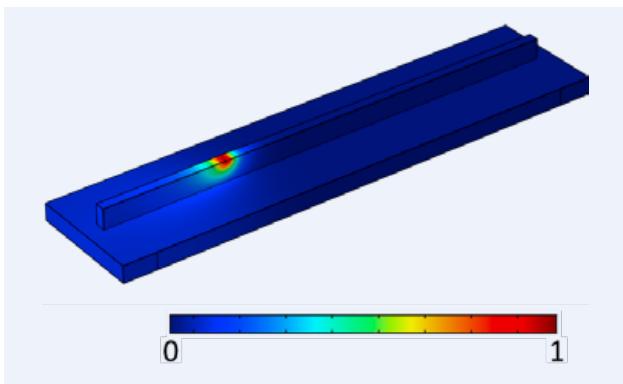
**M. Sc. Stefan Meyer**

Abteilung  
Werkzeugmaschinen

## WAAMSim – Simulationsgestützte Verzugsbeherrschung beim Wire Arc Additive Manufacturing

Das Forschungsprojekt WAAMSim setzt sich zum Ziel, die wirtschaftliche First-Time-Right-Fertigung von qualitativ hochwertigen Bauteilen mittels Wire Arc Additive Manufacturing (WAAM) für Aluminium- und Titanbauteile zu ermöglichen.

Zusammen mit den Projektpartnern soll die Prozessfähigkeit, die Zuverlässigkeit und die Wirtschaftlichkeit des WAAM derart gesteigert werden, dass das Verfahren für den industriellen Einsatz geeignet ist.



Simulation des Wärmeeintrags durch den Aufbau einer neuen Schicht

Beim WAAM werden dreidimensionale metallische Bauteile durch das schichtweise Auftragen von Schweißnähten gefertigt. Als Resultat des WAAM-Prozesses liegt eine endkonturnahe Geometrie vor, welche anschließend durch eine spanende Nachbearbeitung auf die Endkontur gebracht wird.

## Motivation

Eine besondere Herausforderung beim WAAM stellt der prozessbedingte thermische Verzug dar. Durch das wiederholte Überschweißen der darunterliegenden Schichten wird dem Bauteil während des Entstehungsprozesses periodisch Wärme zugeführt.

Hohe Temperaturgradienten um die Prozesszone induzieren dabei lokale Eigenspannungen, die sich im Gesamtbauteil akkumulieren und den unerwünschten Verzug hervorrufen oder als Resteigenspannungen im Bauteil verbleiben.

Eine Verzugsminimierung wird aktuell nach dem Prinzip „Versuch und Irrtum“ durch das Fertigen und iterative Anpassen der Prozessparameter erreicht. Dieser heuristische Ansatz ist zeit- und kostenintensiv. Um einen wirtschaftlichen Einsatz von WAAM in der Industrie zu ermöglichen, ist die Verzugsbeherrschung daher von entscheidender Bedeutung.

## Vorgehen

Zunächst gilt es, die Auswirkungen von Prozess- und Umgebungsparametern beim WAAM auf die resultierenden Bauteileigenschaften zu verstehen und in einem Simulationsmodell abzubilden. Dadurch können die Ausprägungen von thermisch induzierten Eigenspannungen und Verzügen prognostiziert werden. Die Modelle ermöglichen somit eine simulationsgestützte Prozessgestaltung. Das Ziel dabei ist es, geeignete Prozessparameter abzuleiten, die zu einem maßhaltigen Bauteil mit den gewünschten mechanischen Eigenschaften führen.

Die Wirtschaftlichkeit des WAAM wird hierdurch gesteigert, da die einzelnen Iterationsschritte zum Erreichen der maßhaltigen Bauteilgeometrie innerhalb der Simulationsumgebung durchgeführt werden und somit keine Kosten für Anlagennutzung, Verbrauchsmaterial und Bedienpersonal anfallen.

## Dank

Das Forschungsprojekt wird vom Bayerischen Staatsministerium für Wirtschaft, Landesentwicklung und Energie gefördert. An dieser Stelle danken wir herzlich dafür.



**M. Sc. Xiao Fan Zhao**

Abteilung  
Additive Fertigung

# Das *iwb* auf neuen Wegen – Die Digitalisierung der Prozessindustrie

**Seit Oktober 2019 beteiligt sich das *iwb* an einem neuen EU-geförderten Forschungsprojekt. Das Ziel ist dabei die Entwicklung und Implementierung eines tiefgreifenden Digitalisierungskonzeptes für die Prozessindustrie mit dem Ziel der Effizienzsteigerung.**

Das Projekt Cogniplant wird im Rahmen des EU-Programms HORIZON 2020 gefördert und besitzt eine Laufzeit bis Anfang 2023. Das gewählte Akronym steht dabei für „Cognitive Plant“ und vermittelt bereits dadurch die Vision einer mitdenkenden und intelligenten Fabrik. Um dieses Ziel zu erreichen, wurde ein breit aufgestelltes Konsortium gebildet. Es beinhaltet unter anderem akademische und industrielle Partner aus Spanien, Italien und Österreich. Besonders hervorzuheben ist dabei die enge Kooperation zwischen dem Lehrstuhl für Anlagen- und Prozesstechnik (apt) und dem *iwb*. Die vier industriellen Anwendungspartner beschäftigen sich mit der Herstellung von Stahl, Aluminium, Kalk und Schleifmitteln. Sie bilden damit einen interessanten und vielfältigen Querschnitt über verschiedene Themenbereiche der Prozessindustrie.

## Vorgehen

Das Projekt Cogniplant gliedert sich in drei Phasen: Co-Digitize, Co-Analyse und Co-Decide. Im ersten Schritt sollen relevante Daten aus den Produktionsanlagen identifiziert, zentral gesammelt und anschließend visualisiert werden. Diese Daten werden im zweiten Projektabschnitt tiefgehend analysiert, um wertvolles und neuartiges Prozesswissen zu generieren. Dazu gehören beispielsweise die Erkennung von Mustern sowie die Beschreibung von komplexen Zusammenhängen zwischen Performanceindikatoren und der Gesamtleistung der Produktionsanlagen. Im abschließenden Schritt



Logo des EU-Projektes Cogniplant

Co-Decide erfolgt die Bündelung der bisher erarbeiteten Erkenntnisse und Ansätze in Form eines Digitalen Zwillings der Produktionsanlagen mit dem Ziel der Unterstützung industrieller Entscheidungsprozesse. Die erarbeiteten Konzepte und Ansätze werden im Projektverlauf bei den Anwendungspartnern implementiert und evaluiert. Das *iwb* ist während des Projektes unter anderem verantwortlich für die Beschreibung der industriellen Anforderungen sowie die Aufnahme von detailliertem Prozesswissen über die betrachteten Anwendungsfälle.

## Fazit

Das *iwb* beschäftigt sich bereits seit längerem mit der Digitalisierung produzierender Unternehmen. Das Projekt Cogniplant bietet nun allerdings einen interessanten Einblick in die Herausforderungen und Potenziale der Digitalisierung der Prozessindustrie. Es bleibt abzuwarten, welche spannenden Forschungsergebnisse und Inspirationen für künftige Forschungsaktivitäten im weiteren Projektverlauf entstehen.



**M. Sc. Fabian Sippl**

Abteilung  
Produktionsmanagement & Logistik

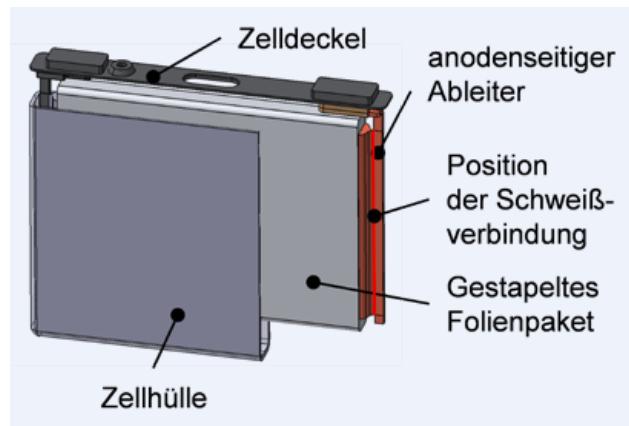
# Kontaktierung von Batterieträgerfolien mittels Rührreibschweißen: FSWBatt

**Das Ziel des Forschungsprojektes FSWBatt ist es, das Rührreibschweißen (FSW) als Verfahren für die Kontaktierung von Trägerfolien und Ableitern aus Kupfer und Aluminium für prismatische Batteriezellen zu qualifizieren. Der Einsatz des FSW soll langfristig die hohen Ausschusskosten in der Zellfertigung senken und gleichzeitig die maximal verschweißbare Folienzahl steigern.**

In Zeiten der Energiewende nehmen Energiespeicher eine Schlüsselrolle ein. Insbesondere in der Elektromobilität werden aufgrund der hohen Energiedichte hauptsächlich Lithium-Ionen-Batterien verwendet. Eine große Herausforderung für die Produktionstechnik stellt die reproduzierbare Erfüllung der hohen Qualitätsanforderungen im Herstellungsprozess dar.

Bei der zellinternen Kontaktierung werden jeweils die unbeschichteten Metallträgerfolien der Anode und der Kathode verschweißt und mit einem Ableiter verbunden (vgl. Abb.). Dabei entstehen artgleiche Kupfer- bzw. Aluminiumverbindungen. Aufgrund der geringen Foliedicken ist die Prozessführung sehr anspruchsvoll. Aktuell eingesetzte Fügeverfahren, wie das Ultraschallschweißen, weisen jedoch einige Defizite auf. Als Beispiel ist hier die mangelnde Reproduzierbarkeit zu nennen. Im Rahmen des Forschungsprojekts FSWBatt soll ein alternatives Fügeverfahren zur internen Kontaktierung erforscht werden. Das Rührreibschweißen gilt als robustes Fügeverfahren, bei dem keine thermische Beeinflussung der wärmeempfindlichen Batteriekomponenten erwartet wird.

Im Rahmen des Projektes werden zunächst geeignete Werkzeug- und Spannkonzepte für die anspruchsvolle Fügeaufgabe entwickelt. Darauf aufbauend werden Schweißversuche an Probekörpern durchgeführt und ein



Schematischer Aufbau einer prismatischen Lithium-Ionen Batteriezelle

Prozessparameterfenster identifiziert. Um die Eignung des FSW für die interne Kontaktierung beurteilen zu können, ist im Projekt eine Potenzialanalyse anhand eines Vergleichs mit alternativen Fügeverfahren vorgesehen. Diese kann Unternehmen als Entscheidungsgrundlage zur Auswahl eines geeigneten Fügeprozesses für die zellinterne Kontaktierung dienen.

## Dank

Das IGF-Vorhaben 00.048 EWN (FSWBatt) wird über die AiF im Rahmen des Programms zur Förderung der industriellen Gemeinschaftsforschung (IGF) vom Bundesministerium für Wirtschaft und Energie aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages gefördert. Hierfür sei herzlich gedankt.



**M. Sc. Sophie Grabmann**  
Abteilung  
Batterieproduktion

# RoMaFo – Roboterassistenzsystem und maschinelles Sehen zur Montage formlabiler Bauteile

**Die industrielle Montage von Kabeln findet aufgrund deren Formlabilität aktuell überwiegend manuell statt. Die Automatisierung dieses Prozesses bietet jedoch reichlich Potenzial zur Effizienzsteigerung. Daher ist das Ziel des Forschungsprojekts RoMaFo die Befähigung eines Robotersystems zur automatisierten Kabelmontage.**

## Konzept

Zur Umsetzung des Forschungsvorhabens kommt ein Leichtbauroboter zum Einsatz. Um diesen für die automatisierte Kabelmontage zu befähigen, werden zum einen Ansätze des maschinellen Sehens implementiert. Hierfür

wird eine 3D-Kamera verwendet. Zum anderen wird ein mechatronisches Greifersystem entwickelt, welches den speziellen Anforderungen der Kabelmontage gerecht wird.

## Prozessschritte

Für den erfolgreichen Einsatz in der industriellen Praxis muss die gesamte Prozesskette eines Montagevorgangs betrachtet werden. Daher werden Voruntersuchungen zu den Prozessschritten Kabelbereitstellung und -erkennung, Greifen, Manipulation und Fügen durchgeführt. Weiterhin werden auch Qualitätsprüfung und Vollständigkeitskontrolle mithilfe zusätzlicher Sensorik berücksichtigt.

## Industrielle Anwendung

Für die Umsetzung der automatisierten Kabelmontage werden allgemeingültige Greif- und Steckstrategien entwickelt. Diese können zum Beispiel bei der Verdrahtung von Schaltschränken



Versuchsstand



Greifen eines Kabels

oder der Prüfung elektronischer Messgeräte Anwendung finden. Da derartige Prozesse in der heutigen Produktion überwiegend manuell durchgeführt werden, bieten die neu entwickelten Methoden, Ansätze und Lösungen des Forschungsprojekts RoMaFo großes Potenzial für eine effiziente und ergonomische Kabelmontage.

## Dank

Wir danken dem Bayerischen Staatsministerium für Wirtschaft, Landesentwicklung und Energie (StMWi) für die Förderung des Projekts.



**M. Sc. Daniel Gebauer**

Abteilung  
Montagetechnik & Robotik



**Dott. Mag. Jonas Dirr**

Abteilung  
Montagetechnik & Robotik

# Der Beitrag der deutschen Industrie zur Energiewende – das Kopernikus-Projekt SynErgie

**In dem Projekt SynErgie II bereiten sich über 80 Partner aus Forschung und Industrie auf die Veränderungen durch die erneuerbare Energieversorgung vor. Die deutsche Industrie hat einen Anteil von 44 % des Netto-strombedarfs und ist damit einer der Haupt-Stakeholder in der Energiewende.**

Der Umgang mit der fluktuierenden Energieversorgung durch den Ausbau der erneuerbaren Energiequellen wird notwendiger denn je. Im Jahr 2019 wurden 42,6 % des Bruttostromverbrauchs aus erneuerbaren Energien erzeugt. Das ist fast so viel, wie die konventionellen Stromerzeuger produzierten. Der entscheidende Unterschied ist, dass mit den erneuerbaren Energien die Stromerzeugung kaum steuerbar ist, sondern schwer vorherzusagenden Wetterbedingungen unterliegt.

Eine Lösung ist die nachfrageseitige Energieflexibilität, das sogenannte Demand-Side-Management (DSM) der Industrie. 2016 sind die vier bundesweiten Kopernikus-Projekte zur Energiewende gestartet. In den Bereichen

Power-to-X, Systemintegration, neue Netzstrukturen und Industrieprozesse (SynErgie) wurden die Forschungsschwerpunkte gelegt. Nach dem Erfolg der letzten drei Jahre bei Forschungsarbeiten im Bereich der Energieflexibilität von Industrieprozessen kann das Projekt SynErgie mit 10 Mio. Euro pro Jahr in die zweite Förderphase starten.

In der ersten Phase des Projekts war das *iwb* maßgeblich an den Arbeiten im Bereich Produktionsinfrastruktur beteiligt. Hierbei wurden die Energieflexibilitätspotenziale von prozess-übergreifenden Versorgungsanlagen erforscht. Ganz konkret wurde ermittelt, welchen Beitrag Energiewandler und -speicher in der Produktion beim Verschieben von Energiemengen über die Zeit leisten können. Außerdem wurden Leitfäden zur Identifikation von Energieflexibilitätspotenzialen in der Industrie entwickelt. Diese Grundlagenarbeit zur Identifikation von Flexibilitäten mündet 2020 in einer VDI-Richtlinie zur energieflexiblen Fabrik. Die Richtlinie zur Transparenzschaffung ist bereits das zweite Blatt der Richtlinie des Fachausschusses



© Tanja Kühnau

#### Vernetzte, energieflexible Hydraulik

208.1, in dem das *iwb* eine große Rolle spielt. In der ersten Richtlinie zur energieflexiblen Fabrik wurden erstmals alle Begriffe rund um die Energieflexibilität in der Industrie definiert und beschrieben.

Mit SynErgie II sind nun die nächsten drei Jahre der insgesamt 10-jährigen Förderung gestartet. Es ist geplant, dass sich die Forschungsinhalte nun deutlich in Richtung der Umsetzung in der Industrie bewegen. Herr Professor Zäh leitet die Arbeiten in der *Energieflexible Modellregion Augsburg*. Hier werden alle Stakeholder der Energiewende an einen Tisch gebracht. Nicht nur die Industrieunternehmen sind Teil des Projekts, sondern auch die Energieversorger, die Netzbetreiber, Verbände, Forschungseinrichtungen, Bürgerinitiativen und viele mehr. Bei den geförderten und assoziierten Unternehmen der Region werden Plattformen aufgebaut, um die vorhandenen Energieflexibilitätspotenziale an den Energiemarkt kommunizieren zu können oder Abrufsignale entgegenzunehmen. Somit tragen die Unternehmen zur Nutzung der erneuerbaren Energien in der Modellregion bei.

#### GEFÖRDERT VOM



Bundesministerium  
für Bildung  
und Forschung

#### Dank

Die Autoren bedanken sich herzlich beim Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) für die finanzielle Unterstützung und beim Projektträger Jülich (PtJ) für die Betreuung des Kopernikus-Projektes SynErgie (03SFK3E1).



#### M. Sc. Valerie Scharmer

Abteilung  
Nachhaltige Produktion



#### M. Sc. Julia Schulz

Abteilung  
Nachhaltige Produktion

# Das *iwb* setzt auf intelligente Batteriezellproduktion

**Im Jahr 2020 startete das neue und mit 30 Millionen Euro vom Bundesministerium für Bildung und Forschung geförderte Kompetenzcluster „Intelligente Batteriezellproduktion“, kurz InZePro. Das *iwb* ist durch verschiedene Projekte im Cluster vertreten.**

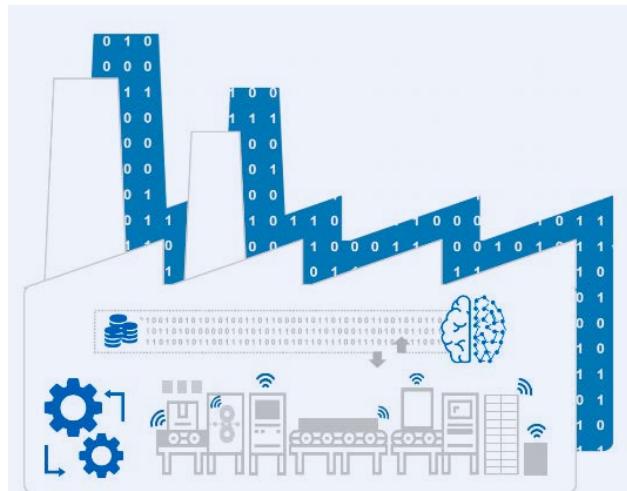
Das übergeordnete Ziel des Kompetenzclusters ist die Steigerung der Produktivität sowie Flexibilität der Batteriezellproduktion in Deutschland. Verfolgt wird dies durch die vier Schwerpunktbereiche innovative agile Anlagen-technik, Digitalisierung, künstliche Intelligenz sowie virtuelle Produktionssysteme.

Das Kompetenzcluster ist Teil des Dachkonzepts „Forschungsfabrik Batterie“ des Bundesministeriums für Bildung und Forschung, das sich den nachhaltigen Aufbau einer Batteriezellproduktion in Deutschland zum Ziel gesetzt hat. Damit soll der schnelle Transfer von Forschungsergebnissen in die Industrie erfolgen. Die Koordination von InZePro wird von den produktionstechnischen Instituten der RWTH Aachen, der TU Braunschweig, dem KIT in Karlsruhe und der TU München übernommen.

2020 sind bereits zwei Forschungsprojekte innerhalb des Clusters gestartet, an denen das *iwb* beteiligt ist. Dazu zählen das Begleitprojekt BatterI4.0 sowie das Forschungsprojekt TrackBatt.

## BatterI4.0

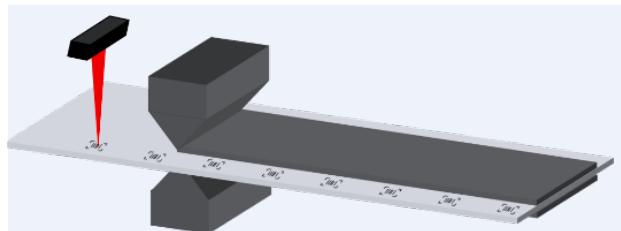
Die Einführung von Industrie 4.0 in deutschen Unternehmen hat diesen zu maßgeblichen Wettbewerbsvorteilen verholfen. In der Batteriezellproduktion fehlen bislang jedoch Konzepte zu deren Umsetzung. Ein Hilfsmittel zur Bewertung und Verortung bereits bestehender



Visionsbild des Kompetenzclusters InZePro

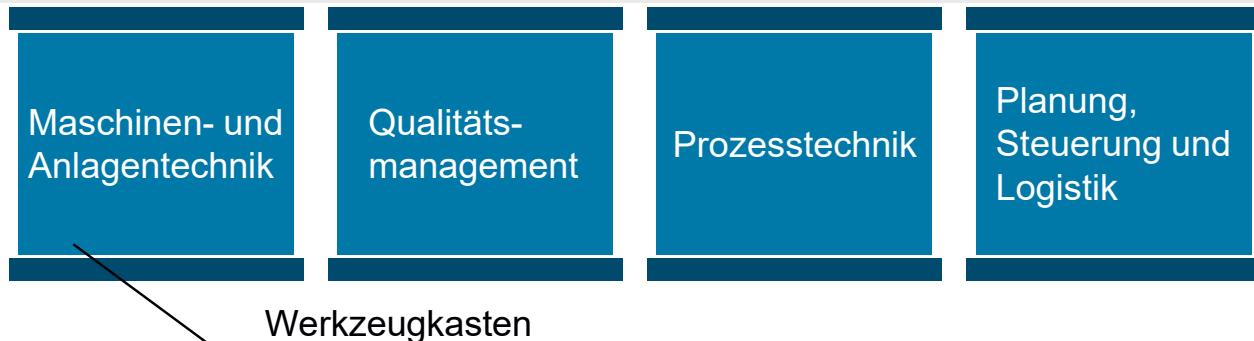
Technologien sowie für die Erarbeitung neuer Ideen und Lösungen ist noch nicht verfügbar. Aus diesem Grund zielt das von vier Instituten durchgeführte Begleitprojekt BatterI4.0 auf die Erforschung und Ausarbeitung eines Digitalisierungsleitfadens.

Der Leitfaden basiert auf vier Säulen, die individuelle Werkzeugkästen darstellen. Diese repräsentieren die produktionstechnischen Bereiche der Batteriezellherstellung und beinhalten Methodiken in verschiedenen Anwendungsebenen und Entwicklungsstufen. Sie dienen der Einordnung bereits bestehender Technologien in der Batteriezellproduktion, der Bewertung von Digitalisierungsansätzen sowie der Entwicklung von Digitalisierungsideen und -konzepten. Jedes der beteiligten Institute ist für die Erarbeitung eines Werkzeugkastens



Markierungsverfahren in der Batteriezellproduktion

## Digitalisierungsleitfaden Batterieproduktion



Projektstruktur von BatterI4.0

verantwortlich. Das wbk in Karlsruhe für Maschinen- und Anlagentechnik, das *iwb* in München für Qualitätsmanagement, das IWF in Braunschweig für Prozesstechnik und das PEM in Aachen für Planung, Steuerung und Logistik.

Durch die Anwendung der Werkzeugkästen in der Batteriezellproduktion sollen Digitalisierung und Industrie 4.0 in allen produktionstechnischen Bereichen systematisch umgesetzt werden können. Im Rahmen des Projekts soll die Umsetzung deswegen auch bei ausgewählten Forschungs- und Industriepartnern erprobt werden. Dabei wird nicht nur das Potenzial des Leitfadens aufgezeigt, sondern auch eine iterative Verbesserung aller Anwendungsebenen und Entwicklungsstufen der Werkzeugkästen vorgenommen.

### TrackBatt

Die Umsetzung von Industrie 4.0-Anwendungen unterstützt die Produktion bei der Transformation hin zu effizienteren Prozessen, höherer Produktqualität und Kosteneinsparungen. Das Akronym TrackBatt steht für „Tracking und Tracing in der Batterieproduktion“, also der Rückverfolgung von einzelnen Prozessschritten in der Produktion von Batteriezellen. Zusammen mit dem Institut für Werkzeugmaschinen und Fertigungstechnik, dem Institut für Füge- und Schweißtechnik, dem Institut für Partikeltechnik der TU Braunschweig und dem Zentrum für

Sonnenenergie- und Wasserstoff-Forschung in Ulm werden zwei wesentliche Schwerpunkte des Projektes verfolgt. Zum einen wird ein Digitalisierungskonzept entwickelt, welches durch eine einheitliche Datenerfassung die Grundlage für die Rückverfolgung von Daten bildet. Zum anderen wird ein Tracking-und-Tracing-System (T&T-System) an den Forschungsproduktionslinien implementiert, welches die Zuordnung von Prozess- und Produktdaten einzelner Prozessschritte und deren Zwischenprodukten bis hin zur fertigen Batteriezelle erlaubt.

Hierbei stellt die Konzeption sowie die Implementierung und Validierung der zu entwickelnden Ansätze ein maßgebliches Projektziel dar. Die gewonnenen Erkenntnisse und Lösungsansätze können somit direkt in die Industrie überführt werden. Im Sinne eines Digitalen Zwillings bildet das T&T-System die Grundlage für eine umfassende Datenuordnung bzw. -verknüpfung und ermöglicht eine Optimierung von Prozessschritten, Reduktion von Ausschuss und Erhöhung der Qualität von Batteriezellen.

### Danksagung

Der Dank des *iwb* gilt dem Bundesministeriums für Bildung und Forschung und dem Projektträger Jülich für die Förderung von BatterI4.0 (03XP0300A) und TrackBatt (03XP0310A).



**M. Sc. Alessandro Sommer**

Abteilung  
Batterieproduktion



**M. Sc. Sajedeh Haghi**

Abteilung  
Batterieproduktion



**M. Sc. Matthias Leeb**

Abteilung  
Batterieproduktion



**M. Sc.  
Hans-Christoph Töpper**

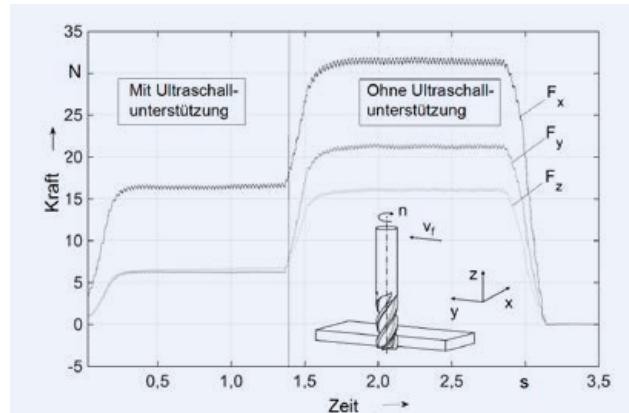
Abteilung  
Batterieproduktion

# KryoSonic

## Untersuchungen zur Kombination von ultraschallunterstützter Zerspanung und kryogener Minimalmengenschmierung.

Steigende Ansprüche an Bauteileigenschaften führen zur Entwicklung von Hochleistungswerkstoffen, bei denen herkömmliche Fertigungsverfahren aus ökonomischer und ökologischer Sicht an ihre Grenzen stoßen. In den vergangenen Jahren wurden zwei Technologien entwickelt, die sich insbesondere bei der Bearbeitung von schwer zerspanbaren Werkstoffen wie der Titanlegierung Ti 6Al 4V gegenüber konventionellen spanabhebenden Verfahren auszeichnen. Die ultraschallunterstützte Bearbeitung ermöglicht es, die Zerspankräfte zu reduzieren und die Werkzeugstandzeit zu erhöhen. Die kryogene Minimalmengenschmierung verhindert das Auftreten hoher Bearbeitungstemperaturen und ermöglicht bei gleichen Standzeiten höhere Zerspanvolumen.

Als logische Konsequenz soll in diesem Projekt der Einfluss von ultraschallunterstützten Fräsen und Schleifprozessen in Kombination mit einer kryogenen Minimalmengenschmierung auf die Zerspanbarkeit von höher- bzw. hochfesten Werkstoffen wie Ti 6Al 4V und dem Glaskeramikwerkstoff Zerodur untersucht werden. Der Fokus des Vorhabens liegt auf der Betrachtung der Zerspankräfte, der Werkzeugstandzeit, des



Zerspankraftreduktion durch Schwingungsüberlagerung beim Umfangsfräsen von Ti 6Al 4V ( $v_c = 30$  m/min,  $f_z = 0,05$  mm,  $a_p = 5$ ,  $a_e = 0,3$  mm)

Zeitspanvolumens sowie der Beeinflussung der Mikro- und Makrozustände der Werkstückoberfläche. Das Ziel ist es, die Effekte der Technologieüberlagerung zu identifizieren und konkrete Applikationen zu erschließen.

## Dank

Wir danken der Bayerischen Forschungsstiftung (BFS) für die Förderung des Forschungsprojekts KryoSonic.



**M. Sc. Fabian Vieltorf**

Abteilung  
Werkzeugmaschinen

# Datenbasierte Prozess- und Methodenentwicklung zur Effizienz- und Qualitätssteigerung in der Li-Ionen-Zellproduktion

**Produkt- und Ressourcenflexibilität in der Batteriezellproduktion gewinnt in Zukunft an Bedeutung. Im Projekt „E-Qual“ werden flexible Prozess- und Anlagenkonzepte untersucht und deren Wechselwirkungen mit Qualität und Ressourceneffizienz betrachtet.**

Die kontinuierliche Weiterentwicklung von Batteriezellen und das Reagieren auf individuelle Kundenanforderungen erfordern die flexible Anpassung der komplexen Produktionslinien auf neue Materialien und Formate. Gleichzeitig muss hohe Produktqualität gewährleistet und ressourcenschonend produziert werden. Im Projekt E-Qual werden datengetriebene Konzepte untersucht, um diesen flexibilitätsinduzierten Herausforderungen zu begegnen.

## Schwerpunkte des *iwb*

Im Rahmen der Zusammenarbeit mit den Partnern engagiert sich das *iwb* schwerpunktmäßig in den Bereichen Qualitäts- und Ressourcenmanagement.

Die Betrachtung des Qualitätsmanagements beginnt mit einer Analyse der Auswirkungen

von Varianten auf die komplexe Prozesskette der Zellproduktion. Zudem werden bestehende Methoden zum Qualitätsmanagement sowie in verschiedenen Produktionsanlagen implementierte Maßnahmen auf ihre Eignung zum Variantenmanagement untersucht. Vielversprechende Ansätze werden anhand von Produktionskampagnen auf den Forschungslinien der Projektpartner getestet und verglichen. Die aus den Erkenntnissen entwickelte Methodik zum Qualitätsmanagement für variantenreiche Zellproduktion wird nach Validierung hinsichtlich ihres Beitrags zur Wirtschaftlichkeit der Produktion bewertet.

Hinsichtlich der Ressourcen sollen Effizienz- und Flexibilitätspotenziale innerhalb der Produktionskette identifiziert werden. Um Transparenz über die Bedarfe herzustellen, wird die Forschungslinie des *iwb* mit dauerhaften Messsystemen und Sensoren ausgestattet. Ebenfalls wird der Trockenraum analysiert, da dieser als peripherie Infrastruktur einen hohen Anteil am elektrischen Energiebedarf der Batterieproduktion aufweist. Neben der Analyse von Effizienz- und Flexibilisierungspotenzialen sowie der Übertragung von



Visionsbild des Kompetenzclusters InZePro

Maßnahmen aus anderen Branchen auf die Batterieproduktion erfolgt eine Untersuchung zu Wechselwirkungen und Auswertungsmöglichkeiten im Zusammenspiel mit dem Qualitätsmanagement.

## Dank

Der Dank des *iwb* gilt dem Bundesministerium für Bildung und Forschung und dem Projektträger Jülich für die Förderung dieses Forschungsprojektes „E-QUAL“ (FKZ:03XP0252D).



**M. Sc. Anna Kollenda**

Abteilung  
Batterieproduktion



**M. Sc. Maria Maier**

Abteilung  
Nachhaltige Produktion

# TRR 277 – Additive Fertigung im Bauwesen: Die Herausforderung des großen Maßstabs

**Additive Fertigungstechnologien bieten ein hohes Potenzial für das Bauwesen. Der transregionale Sonderforschungsbereich TRR 277 hat zum Ziel, die Additive Fertigung als neuartige digitale Fertigungstechnologie für das Bauwesen grundlegend zu erforschen.**

Der transregionale Sonderforschungsbereich TRR 277 ist im Januar 2020 gestartet. Unter dem Dach dieses Großforschungsprojekts haben sich die Technischen Universität München (TUM) und die Technische Universität Braunschweig (TUBS) zusammengeschlossen, um gemeinsam den Weg für den Einsatz der Additiven Fertigung im Bauwesen zu ebnen.

## Zielsetzung und Ansatz

Im Großprojekt werden übergeordnet zwei Stoßrichtungen verfolgt:

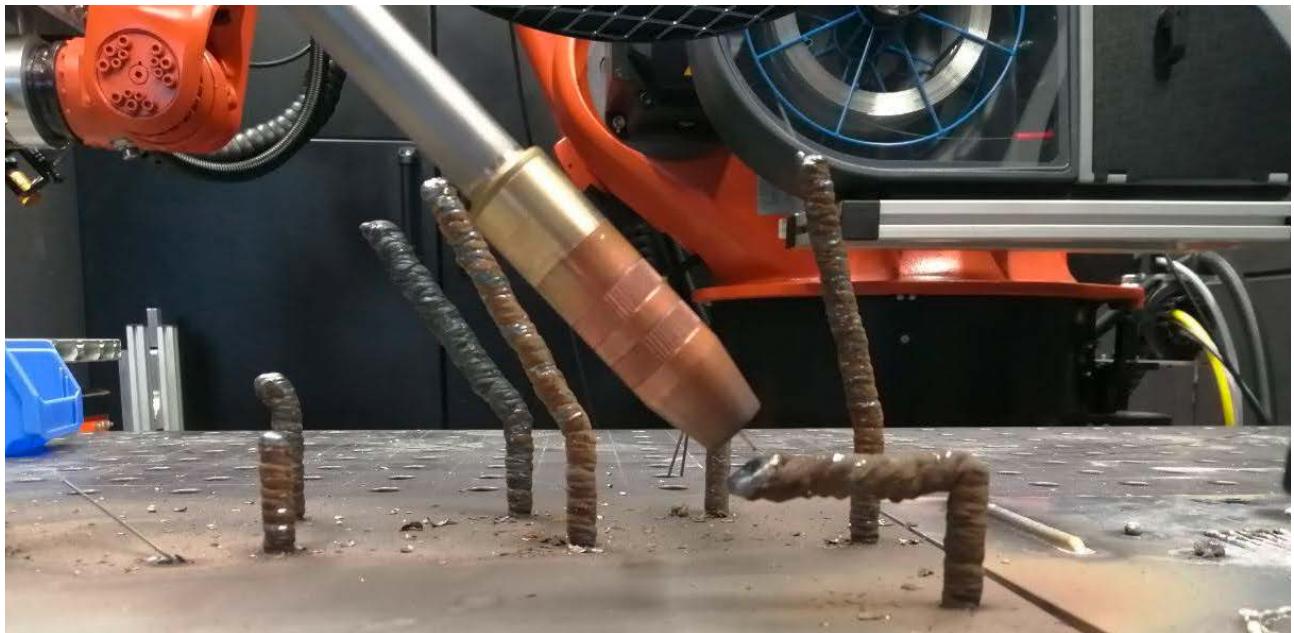
1. Material- und Prozesskombinationen: Der Anwendungsbereich der Additiven Fertigung im Bauwesen soll auf verschiedene Materialien wie Stahl, Stahlbeton, Holz und Kohlenstofffasern erweitert werden.

2. Die durchgängige Digitalisierung im Bauwesen: Der Schwerpunkt liegt auf der Schnittstellendefinition zwischen einzelnen Prozessschritten beginnend bei der Planung und Durchführung einzelner additiver Fertigungsprozesse. Dies ist der Schlüssel zur erfolgreichen digitalen Vernetzung von Herstellprozessen im Bauwesen.

Herausforderungen, die es im Rahmen des Forschungsprojektes zu bewältigen gilt, sind der große Maßstab, die Materialvielfalt sowie der geforderte hohe Grad an Individualisierung und Flexibilität. Abschließend werden große Demonstratoren zur Validierung der Projekt ergebnisse hergestellt.

## Vorgehen

Der TRR 277 gliedert sich in 20 Teilprojekte. Kategorisiert in A-, B- und C-Projekte werden übergeordnete Synergien zusammengefasst. Teilprojekte der Gruppe A erforschen Material- und Verfahrenskombinationen. B-Teilprojekte beschäftigen sich mit Simulationen und Strategien zur Prozesssteuerung. Teilprojekte der Kategorie C befassen sich mit digitalen



Ausschnitt eines WAAM-Prozesses bei der Fertigung von überhängenden Bauteilstrukturen;

Schnittstellen zu den vorherigen Planungsschritten sowie zu den nachfolgenden Prozessen der Bauausführung.

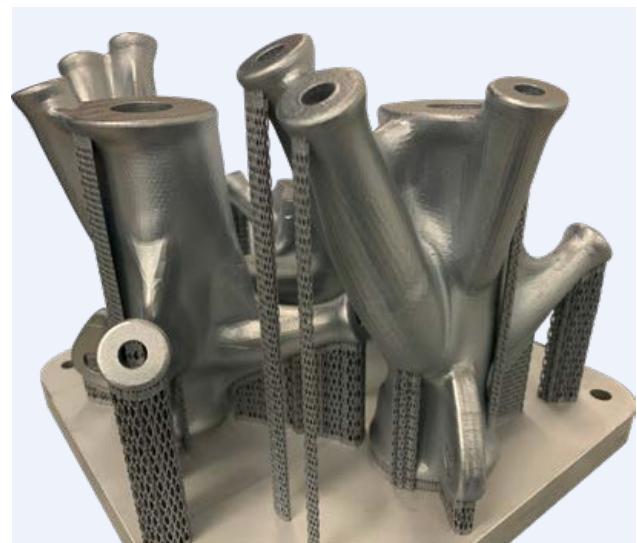
### **TRR 277 A02 – Partikelbett-3-D-Druck mit der selektiven Zementleim-Intrusion (SPI) – Funktionalisierung der Partikeloberfläche, Partikelsynthese und Integration von WAAM-Bewehrung**

Gemeinsam mit dem Lehrstuhl für Werkstoffe und Werkstoffprüfung im Bauwesen (cbm) der TUM und dem Institut für Partikeltechnik (iPAT) der TUBS wird im Forschungsprojekt ein hybrides additives Fertigungsverfahren untersucht, um tragende Stahlbeton-Bauteile mit integrierter Bewehrung zu fertigen. Zum einen wird die draht- und lichtbogenbasierte Additive Fertigung (engl: Wire and Arc Additive Manufacturing, kurz WAAM) eingesetzt. Dieser Prozess zählt zu den Lichtbogen-Auftragsschweißprozessen, bei denen eine Drahtelektrode sukzessive aufgeschmolzen und auf eine darunter befindliche Schicht abgelegt wird. Zum anderen wird die partikelbettbasierte selektive Zementleim-Intrusion (engl: Selective Cement Paste Intrusion, kurz SPI) verwendet. Bei diesem Verfahren wird

eine Gesteinskörnung schichtweise aufgebracht und mit Zementleim lokal gebunden.

### **Zielsetzung und Ansatz**

Eine Kombination von WAAM und SPI erfordert eine Prozessentwicklung mit geeigneten Kühlstrategien, um den WAAM-bedingten Wärmeeintrag zu minimieren. Darüber hinaus werden Zementleime sowie neue Partikel qualifiziert, die den Wärmeeinträgen standhalten.



Mittels PBF-LB/M gefertigter Probenkörper

## Vorgehen

Neben empirischen und analytischen Prozessuntersuchungen des WAAM-Prozesses, werden geeignete Kühlstrategien am *iwb* analysiert. Der cbm beschäftigt sich mit der Befähigung des SPI-Verfahrens und der Zementleimentwicklung. Neue Partikel, welche den erhöhten Prozesstemperaturen standhalten können, werden am iPAT erforscht.

## TRR277 A06 – Laser-Strahlschmelzen (PBF-LB/M) von Stahlelementen für das Bauwesen – Grundlagen der Konstruktion und der mechanischen Belastbarkeit

Gemeinsam mit dem Lehrstuhl für Metallbau (TUM) wird im Forschungsprojekt die Anwendung des Laser-Strahlschmelzens im Bauwesen untersucht. Das PBF-LB/M bietet eine hohe Gestaltungsfreiheit, ermöglicht eine direkte Verknüpfung von realer mit digitaler Welt und zeichnet sich durch Wirtschaftlichkeit bei geringer Losgröße aus. Aufgrund dieser Eigenschaften eignet es sich besonders für die Herstellung von Elementen für den Stahlbau und hat das Potenzial die Bauindustrie zu revolutionieren.

## Zielsetzung und Ansatz

Bisher ist eine zuverlässige Vorhersage und Reproduzierbarkeit der mechanischen Eigenschaften von PBF-LB/M-gefertigten Stahlelementen noch nicht möglich. Um das Verfahren im Bauwesen etablieren zu können, ist es notwendig, eine Methodik zur prozesssicheren Fertigung von langlebigen Stahlbauelementen mittels PBF-LB/M zu entwickeln.

## Vorgehen

Zunächst wird mithilfe von In-Situ-Thermografie der Einfluss von Prozessparametern auf die Abkühlraten beim PBF-LB/M untersucht. Zudem sollen die Einflüsse der Geometrie

und der Nachbehandlung auf die mechanischen Eigenschaften und die Gefügestruktur der Bauteile untersucht werden. Im weiteren Verlauf des Teilprojekts werden anhand der identifizierten Zusammenhänge formoptimierte Stahlbauelemente hergestellt und unter realen Einsatzbedingungen getestet. Abschließend soll eine Methodik abgeleitet werden, welche den wirtschaftlichen und prozesssicheren Einsatz von PBF-LB/M im Bauwesen ermöglicht.

Gefördert durch  
**DFG** Deutsche  
Forschungsgemeinschaft



## Dank

Diese Projekte werden durch die Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG) im Rahmen des Sonderforschungsbereichs SFB TRR 277 – Additive Manufacturing in Construction – The Challenge of Large Scale (Projektnummer 414265976) finanziert. Dafür möchten wir herzlich danken.



**M. Sc. David Wenzler**

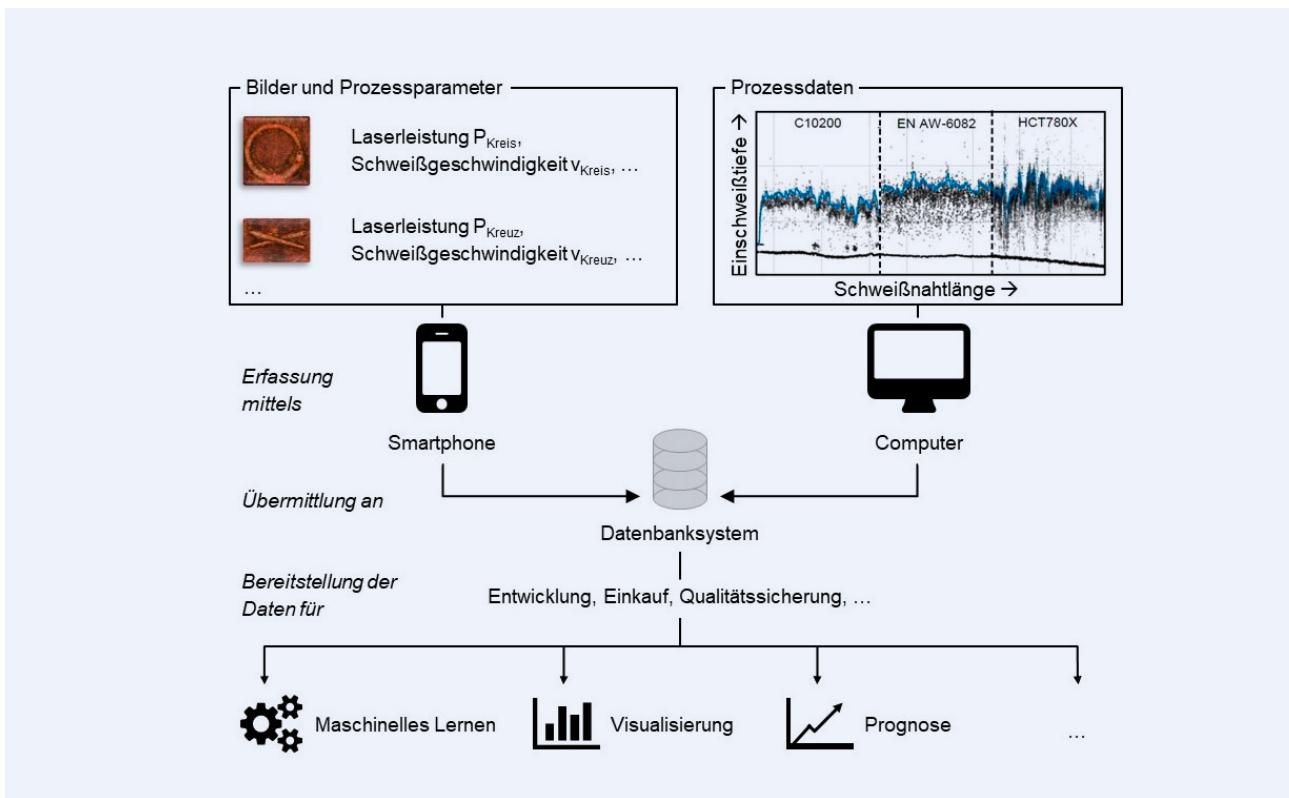
Abteilung  
Additive Fertigung



**M. Eng. Daniel Baier**

Abteilung  
Additive Fertigung

# Datenerfassung mittels Smartphone-App und Web-Applikation für kleine und mittelständische Unternehmen



Struktur und Informationsflüsse des Datenerfassungssystems aufgezeigt am Beispiel des Remote-Laserstrahlschweißens

**Die Analyse von Produktionsdaten mittels Maschinellem Lernen bietet ein enormes Potenzial, um beispielsweise die Qualität eines Produkts zu verbessern oder Abläufe im Unternehmen zu optimieren. Dies setzt jedoch durchgängig digitalisierte Prozesse bzw. Anlagen voraus, welche in kleinen und mittelständischen Unternehmen oftmals nicht vorhanden sind. Am iwb wurde daher eine App zur Erfassung wichtiger Daten in der Produktion entwickelt.**

Die iOS-basierte App erlaubt die Erfassung von Daten, welche exemplarisch am Prozess des Laserstrahlschweißens in der Abbildung dargestellt ist. Zusammen mit den Prozessdaten, welche mittels Sensorik aufgezeichnet und am Computer vorverarbeitet wurden, werden

die Daten zum Fertigungsprozess auf einem Datenbanksystem gespeichert und zur Weiterverarbeitung mittels Maschinellen Lernens für die einzelnen Abteilungen eines Unternehmens bereitgestellt.



**M. Sc. Michael Kick**

Abteilung  
Lasertechnik



**M. Sc. Christian Stadter**

Abteilungsleitung  
Lasertechnik

# Das *iwb*-Trainee-Programm aus Sicht des Trainees

**Die Trainees sind die vielversprechende Zukunft des *iwb*. Die Trainees aus dem Jahrgang 2019 haben ihr Resümee aus ihrer *iwb*-Erfahrung gezogen.**



„Das Trainee-Programm bietet mir die optimalen Möglichkeiten, mich fachlich sowie persönlich weiterzuentwickeln. Durch die enge Einbindung in meine Abteilung kann ich mir in

allen Forschungsschwerpunkten tiefgründiges Wissen aneignen und mich im Laufe des Programms auf einen Bereich meiner Wahl fokussieren. Durch die Teilnahme an wöchentlichen Besprechungen und Gespräche mit seinem Mentor erhält man einen guten Einblick, wie das alltägliche Berufsleben als wissenschaftlicher Mitarbeiter am *iwb* aussieht. So wird der Weg für einen optimalen Start als zukünftiger Promotionsstudent geebnet.“

Andreas Mayr

Kolleginnen und Kollegen. Gerade diese persönliche Dimension macht das Programm so attraktiv und verstärkt den Wunsch, nach dem Abschluss der Masterarbeit an und mit dem *iwb* die Produktionstechnik als wissenschaftlicher Mitarbeiter vertieft zu erleben.“

Daniel Schneider



„Oft nimmt man im klassischen Studentenleben nur den Teil der universitären Lehre wahr und über sieht schnell, dass eine Hochschule nicht nur eine Bildungs-, sondern insbesondere eine

Forschungseinrichtung verkörpert. Das Trainee-Programm am *iwb* stellt hierbei eine großartige Möglichkeit dar, bereits während des Studiums intensivere Einblicke in die vielfältigen Tätigkeiten eines wissenschaftlichen Mitarbeitenden zu erhalten, die weit über die Lehre hinausgehen.“

Hannes Panzer



„Am Trainee-Programm des *iwb* reizt mich insbesondere die frühzeitige Einbindung in nahezu sämtliche Themenbereiche des Instituts. Dabei schätze ich die Integration in fachlicher Hinsicht

durch die Mitarbeit bei aktuellen Industrie- und Forschungsprojekten, aber vor allem auch die persönliche Zusammenarbeit mit den



„Zu Beginn meiner Zeit als Trainee der Abteilung Werkzeugmaschinen war ich mir noch nicht sicher, ob eine Karriere als wissenschaftlicher Mitarbeiter der das

richtige für mich ist. Nach inzwischen einem Jahr am Institut bin ich mir dessen jedoch sicher. Das Trainee-Programm hat mir die Möglichkeit gegeben, den Arbeitsalltag kennenzulernen und mich neben meinen fachlichen Qualifikationen auch vor allem sozial weiterzuentwickeln. Mit meiner Masterarbeit konnte ich mich zudem ideal auf mein zukünftiges Forschungsprojekt vorbereite.“ *Andreas Fischer*



Das *iwb* versteht es, wissenschaftliche Ansätze mit praktischen Erfahrungswerten zu kombinieren, um anwendungsorientierte Lösungen für industrielle Fragestellungen zu

generieren. Durch das Trainee-Programm kann ich die Arbeit an der Schnittstelle zwischen Wirtschaft und Wissenschaft schon während meines Studiums kennenlernen. Dabei bin ich von der Möglichkeit begeistert, mich durch eigenverantwortliches Handeln innerhalb verschiedener Teams sowie durch die Mitarbeit in fächerübergreifenden Projekten weiterzuentwickeln.

*Sarah Wagner*



**M. Sc. Valerie Scharmer**  
für Student Relations und die  
Trainees aus dem Jahrgang 2019

## Impressum

Der *iwb* newsletter wird herausgegeben vom

### **Institut für Werkzeugmaschinen und Betriebswissenschaften (*iwb*)**

Technische Universität München  
Boltzmannstraße 15  
D-85748 Garching  
Tel.: 089/289-155 00  
Fax: 089/289-155 55

ISSN 1434-324X (Druck-Ausgabe)  
ISSN 1614-3442 (Online-Ausgabe)

#### Redaktion:

Lisa Christian (verantw.)  
Tel.: 089/289-155 51  
E-Mail: [lisa.christian@iwb.tum.de](mailto:lisa.christian@iwb.tum.de)  
Web: [www.iwb.tum.de](http://www.iwb.tum.de)

#### Herstellung:

dm druckmedien  
Lindberghstraße 17  
D-80939 München  
Tel.: 089/516161-00  
Fax: 089/516161-99  
E-Mail: [dm@druckmedien.de](mailto:dm@druckmedien.de)  
Web: [www.druckmedien.de](http://www.druckmedien.de)

#### Verlag:

Herbert Utz Verlag GmbH  
Adalbertstraße 57  
D-80799 München  
Tel.: 089/27 77 91-00  
Fax: 089/27 77 91-01  
E-Mail: [info@utzverlag.com](mailto:info@utzverlag.com)  
Web: [www.utzverlag.com](http://www.utzverlag.com)

Natürlich gedruckt auf chlorfrei  
gebleichtem Umweltpapier.

#### Adressverteiler:

Möchten Sie in den Verteiler aufgenommen werden oder hat sich Ihre Adresse geändert? Dann schicken Sie bitte eine E-Mail an [info@iwb.tum.de](mailto:info@iwb.tum.de)

# Augsburger Seminar für Additive Fertigung: Rückblick

**Als etablierte Plattform bietet das „Augsburger Seminar für Additive Fertigung“ einen Einblick in die neuesten Erkenntnisse der Forschung, in aktuelle Anwendungen und in innovative Zukunftsthemen der Additiven Fertigung.**

Die fortschreitende Verbreitung additiver Fertigungsverfahren in der Serienfertigung stellt die Industrie vor neue Herausforderungen. Ein prominentes Beispiel hierfür ist die immer noch unzureichende Reproduzierbarkeit. Ferner wird die Anzahl an verfügbaren Technologien und Verfahren von Jahr zu Jahr größer, was die Findung der geeigneten Lösung für Unternehmen erschwert. Das „23. Augsburger Seminar

für Additive Fertigung“ stellte deshalb neue Technologien und Ansätze zur Erhöhung der Reproduzierbarkeit in den Mittelpunkt.

Mit über 80 Teilnehmenden war das Seminar auch im Jahr 2019 wieder gut besucht. Die Möglichkeit, zwischen zwei parallel stattfindenden Sessions zu wechseln, wurde von den Gästen als sehr positiv bewertet. Ein weiteres Highlight der Veranstaltung war die abschließende Podiumsdiskussion. Dabei konnte das Auditorium mittels eines Live-Feedback-Systems die Diskussion aktiv mitgestalten und eigene Fragen an die Runde stellen.



Keynote-Vortrag beim 23. Augsburger Seminar für Additive Fertigung



Messestand des AMLab auf der EAM 2019

### AMLab-Stand auf der EAM 2019

Zum ersten Mal trat im Jahr 2019 das „Additive Manufacturing Laboratory“ (AMLab), ein Zusammenschluss aus Fraunhofer IGCV und iwb, mit einem Messestand auf der EAM auf. Das Ziel war es, die Kompetenzen des AMLab entlang der Prozesskette vorzustellen. Dabei

wurden die Forschungsergebnisse der beiden Partner durch verschiedene Demonstratoren gezeigt. Hierbei sorgte vor allem die Prozessvielfalt für eine positive Resonanz. Da die Messe besonders Einsteiger in der Additiven Fertigung ansprechen sollte, konnten auch einige potenzielle Kooperationspartner gefunden werden.

# „Photons in Production“ – Ein Rückblick auf die Sonderschau der LASER World of PHOTONICS 2019

**Mit der Sonderschau „Photons in Production“ war das iwb auch im Jahr 2019 wieder auf der Weltleitmesse für phonische Anwendungen vertreten. Auf mehr als 300 m<sup>2</sup> wurden in Zusammenarbeit mit der Bayerischen Laserzentrum GmbH (blz) innovative Forschungsthemen aus dem Bereich der Laser-technologie präsentiert. Für eine besondere Erfahrung der Messebesucher sorgten dabei zwei Live-Demonstrationen, geführte Rundgänge sowie interaktive Exponate.**

Auf der LASER World of PHOTONICS bekommen Besucher alle zwei Jahre einen aktuellen Überblick über die neuesten Systeme und Anwendungen im Bereich der Photonik.

Unter dem Motto „Smart Photonics“ bot das iwb im Jahr 2019 den rund 34.000 Messebesuchern einen Einblick in zukunftsweisende Forschungsthemen für die laserunterstützte Produktion von Morgen, wie z.B. die Inline-Einschweißtiefenregelung, das Laserschweißen mit Strahlung im sichtbaren Wellenlängenbereich, die Batteriefertigung und die Additive Fertigung.

## Die „Heiß-Demo“

In einer neu entwickelten mobilen Laserzelle mit aktiver Sicherheitstechnik wurden den Messebesuchern Laserstrahlschweißungen live vorgeführt. Den interessierten Besuchern konnte



Professor Zäh und Messebesucher bei der Einleitung eines geführten Rundgangs zum Thema Inline-Prozessbeobachtung

damit vor Ort gezeigt werden, dass durch die Kombination von optischer Kohärenztomografie (OCT) und Machine-Learning-Algorithmen eine Inline-Einschweißtiefenregelung möglich ist.

### **Interaktive Exponate**

In einer weiteren interaktiven Demonstration konnten die Messebesucher den Absorptionsgrad von Proben für grüne und infrarote Strahlung mithilfe einer Ulbricht-Kugel bestimmen. Mit diesem Aufbau konnte auch gezeigt werden, dass Kupferwerkstoffe Strahlung im sichtbaren Wellenlängenbereich weit besser absorbieren als infrarote Strahlung.

Die Oberflächenbeschaffenheit von Probekörpern konnte ebenfalls am Stand mithilfe eines Profilometers genauer untersucht werden. Die mikroskopische Oberflächenstruktur ist maßgebend für die Festigkeit von Metall-Kunststoff-Verbindungen und kann mithilfe der Laserstrukturierung zweckgerichtet bearbeitet werden.

Eine abwechslungsreiche Anwendung der laserbasierten Additiven Fertigung und der Batteriefertigung wurde durch den Rennwagen des studentischen Teams „TUfast“ am Stand ausgestellt.

### **Dank**

Ein besonderer Dank gilt der Messe München GmbH und der Bayerischen Laserzentrum GmbH für die sehr gute Zusammenarbeit sowie unseren zahlreichen Sponsoren für die Unterstützung.

Wir freuen uns darauf, unseren Besuchern bei der nächsten Sonderschau im Jahr 2022 die aktuellen Forschungsthemen präsentieren zu können.

## **EMO Hannover 2019: Der Digitale Zwilling der Werkzeugmaschine**

**Vom 16. – 21. September 2019 fand die Weltleitmesse für Metallbearbeitung in Hannover statt. Im Rahmen eines Gemeinschaftsstandes der mav industrie 4.0 area war auch das iwb erneut vertreten und präsentierte Forschungsergebnisse rund um den Digitalen Zwilling der Werkzeugmaschine.**

Unter dem Motto „Smart technologies driving tomorrow's production“ nutzten etwa 117.000 Besucher:innen die Gelegenheit, sich auf der EMO 2019 zu Themen wie Künstliche Intelligenz, dem Internet der Dinge und neuen Standards für Maschinenschnittstellen zu informieren. Auch das iwb war vertreten und stellte

seine Forschung, allen voran eine prototypische Umsetzung von Predictive Maintenance an einer kommerziell verfügbaren Werkzeugmaschine, vor.

### **Predictive Maintenance an der Werkzeugmaschine**

Zur Maximierung der Produktivität der spanenden Fertigung ist Predictive Maintenance aus mehreren Gründen unabdingbar. Beste hende Lösungen haben aber aufgrund der Komplexität des Problems den Sprung in die Industrie noch nicht geschafft und greifen vielfach auf kostspielige und fehleranfällige



Delegation des baskischen Wirtschaftsministeriums auf dem Messestand des *iwb*

externe Zusatzzensorik zurück. Auf der EMO präsentierte das *iwb* daher eine Predictive-Maintenance-Lösung, die auf ein Modell der Maschine, also einen Digitalen Zwilling zurückgreift. Diese greift rein auf steuerungsinterne Sensorik zurück und benötigt keine externe Sensorik. Dieser Ansatz wurde prototypisch, beginnend bei der Datenerfassung bis hin zur finalen Auswertung, auf einem Dashboard am mitgebrachten 5-Achs-Bearbeitungszentrum G352 der Firma Grob umgesetzt.

### **Spannende Vorträge auf der industrie 4.0 area**

Abgerundet wurde der Messauftritt des *iwb* von zwei Vorträgen welche durch Robin Kleinwort, ehemaliges Mitglied der Institutsleitung des

*iwb*, auf der industrie 4.0 area zur vorraus-schauenden Instandhaltung an Werkzeugma-schinen mittels Digitalem Zwilling gehalten wurden.

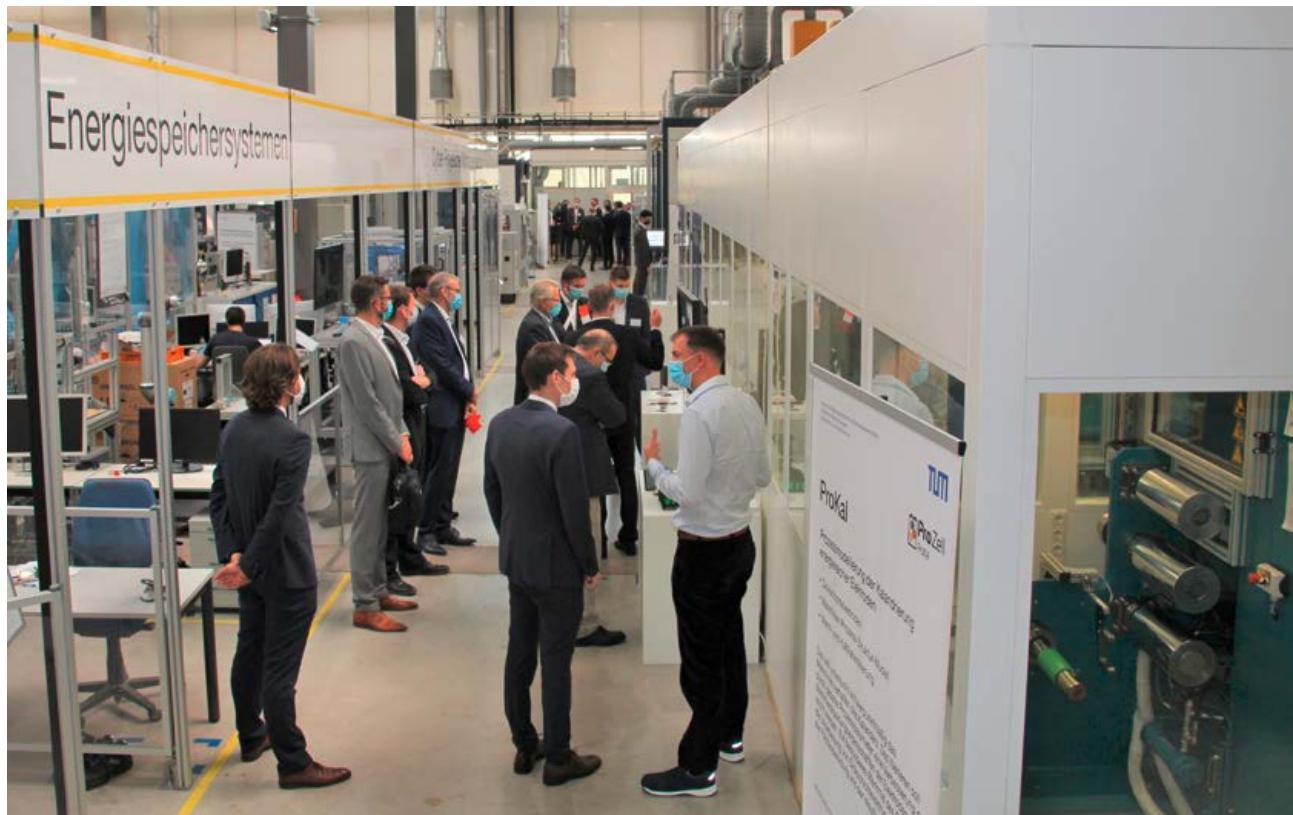
# The Automotive Battery – Rückblick auf die „2nd Specialist Conference on Key Technology for Electric Vehicles“

**Am 17. und 18. September 2020 fand im SZ-Hochhaus in München die diesjährige Konferenz „The Automotive Battery“ statt. Der Fokus der Vorträge und des Interessensaustauschs lag auf der aktuellen Entwicklung im Themengebiet der Batterieforschung sowie der Anwendung von Batteriesystemen in Elektrofahrzeugen. Das *iwb* konnte mit einem spannenden Vortrag im SZ-Hochhaus und einer Führung durch die *iwb*-Halle am Nachmittag einen bedeutenden Teil zur Konferenz beitragen.**

Unter dem Motto „Key Technology for Electric Vehicles“ fand die diesjährige Konferenz mit namenhaften Teilnehmenden und Speakern aus der Wissenschaft und Industrie statt. Die Konferenz war die zweite ihrer Art und wurde

in diesem Jahr als hybride Veranstaltung abgehalten – dabei nahmen die Besucher:innen sowohl vor Ort, als auch virtuell teil. Die Ausrichtung der Vorträge erstreckte sich von Zellebene und -material, über Batteriemodule und Batteriemanagementsysteme bis hin zur Brennstoffzellentechnologie für den Einsatz in Elektrofahrzeugen.

Die lebhaften und interessanten Vorträge behandelten Themen wie die Entwicklungen im Hochspannungsbatteriesystem, Batteriemanagementsysteme für Lithium-Ionen-Batterien oder Festkörperbatterien. Außerdem wurden sicheres und schnelleres Laden, neue Halbleitertechnologien, die Prüfung von Batterien sowie die Unterschiede und Ähnlichkeiten zwischen Batterie- und Wasserstoffspeicherung thematisiert.





Im Rahmen der Vortragsreihe platzierte das *iwb* einen Beitrag mit dem Titel „Energy Density versus Fast Charging Capability – a Conflict of Objectives?“, welcher von Florian Günter gehalten wurde. Er beleuchtete dabei die Einflüsse einzelner Prozessschritte der Batterieproduktion auf die Zelleigenschaften Energiedichte und Schnellladefähigkeit.

### **Führung durch die Batterieproduktion des *iwb***

Im Rahmen der Konferenz bot sich dem *iwb* außerdem die Möglichkeit, hochrangige Vertreterinnen und Vertreter aus der Automobilindustrie und deren Zulieferer durch die Batterieproduktion des Instituts zu führen.

Hierbei wurden aufgrund der Corona-Situation strikte Hygiene- und Vorsichtsmaßnahmen umgesetzt und eingehalten. In separierten Kleingruppen wurden die Teilnehmenden von den Mitarbeitenden der Batterieproduktion des *iwb* durch die Versuchshalle geführt. Durch neue Live-Demonstrationen der innovativen

Prozesse und Produktionstechnologien bekamen sie dabei einen Einblick in die Arbeiten und Forschungsthemen des *iwb*. Um auch die Themen abseits der Batterieproduktion zu adressieren, fand parallel zur Führung durch die Halle außerdem ein Vortrag zu allen weiteren Forschungsbereichen des Instituts statt.



**M. Sc. Benedikt Stumper**

Abteilung  
Batterieproduktion



**M. A. Lisa Christian**

Public Relations

# Die CIRP General Assembly 2021 – ein virtuelles Highlight in München



**70<sup>th</sup> CIRP General Assembly**  
22<sup>nd</sup> to 29<sup>th</sup> August 2021  
virtual conference



**März 2020:** Die Organisation der CIRP ist perfekt vorbereitet und das Organisationsteam registriert begeistert die ersten Konferenzanmeldungen.

**April 2020:** Der 70. Geburtstag der CIRP General Assembly (GA) wird aufgrund der Corona-Pandemie um ein Jahr verschoben.

**November 2020:** Die Corona-Pandemie fördert die Digitalisierung des runden Geburtstags.

Die CIRP GA ist seit Jahrzehnten eine der wichtigsten, produktionstechnischen Wissenschaftskonferenzen der Welt. Jährlich kommen hunderte international renommierte Mitglieder zusammen, um sich über die Produktionstechnologien der Zukunft auszutauschen – leider nicht im Jahr 2020 zum 70. Geburtstag der GA. Die Corona-Pandemie zwingt die Veranstalter dazu, die Konferenz auf das Jahr 2021 zu verschieben.

### Digitalisierung der CIRP GA 2021

Bereits im Jahr 2020 wurde die CIRP GA ersatzweise durch das CIRP Office in Paris virtuell durchgeführt. Auch viele andere Konferenzen folgen diesem Trend und verzichten auf die persönliche Anwesenheit der Teilnehmenden. Das hat auch Vorteile – kein Catering, kein Zusatzprogramm, kein Konferenzhotel. Das Organisationsteam muss sich dennoch der Herausforderung stellen, die Kernintentionen

einer wissenschaftlichen Konferenz zu erfüllen und will mit kreativen Lösungsideen punkten.

### Virtuelle Konferenz der nächsten Generation

Den wissenschaftlichen Austausch in einer motivierenden und begeisternden Art und Weise sicherzustellen, klingt unmöglich, ist es aber nicht. Das Konzept der CIRP GA 2021 soll genau dies erfüllen und das Gemeinschaftsgefühl der CIRP Community widerspiegeln. Der Kreativität ist dabei keine Grenze gesetzt, um das wissenschaftliche Programm interaktiv und mit München-spezifischen Programmpunkten einzigartig zu gestalten. Denn München hat auch virtuell Einiges zu bieten.

Wir freuen uns auf die Veranstaltung im Jahr 2021!



**M. Sc. Christoph Wunderling**  
Organisationsteam CIRP GA  
Teilnehmendenmanagement



**M. Sc. Julia Schulz**  
Organisationsteam CIRP GA  
Begleitprogramm &  
Abendveranstaltungen