

# Jahresbericht des wbk 2021

Prof. Dr.-Ing. J. Fleischer  
Prof. Dr.-Ing. G. Lanza  
Prof. Dr.-Ing. habil. V. Schulze

## wbk Institut für Produktionstechnik



Foto: Daniel Vieser, Architektur fotografie, Hildesheim/Karlsruhe

## Vorwort

Das wbk Institut für Produktionstechnik des Karlsruher Instituts für Technologie (KIT) ist Teil der KIT-Fakultät für Maschinenbau und gliedert wie folgt: Den Bereich **Fertigungs- und Werkstofftechnik** leitet Prof. Dr.-Ing. habil. Volker Schulze, den Bereich **Maschinen, Anlagen und Prozessautomatisierung** leitet Prof. Dr.-Ing. Jürgen Fleischer und den Bereich **Produktionssysteme** leitet Prof. Dr.-Ing. Gisela Lanza.

Etwa 100 Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter widmen sich der anwendungsnahen Forschung, der Lehre und der Innovation im Bereich Produktionstechnik am KIT. Die Forschungsaktivitäten des wbk sind den Feldern der Produktionstechnik zuzuordnen. Dabei setzt das Team des wbk auf die Vernetzung in Forschungsschwerpunkten. Produktionstechnologien für die Herstellung von Leichtbauprodukten und die Mobilität von morgen stehen in den Forschungsschwerpunkten *Leichtbaufertigung* und *Elektromobilität* im Fokus. Im Forschungsschwerpunkt *Additive Fertigung* widmen sich die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler den Themen optimierte Prozessstrategien, In-Process-Qualitätssicherung, Anlagentechnik und Fabrikintegration. Durch intelligente Vernetzung entstehen im Forschungsschwerpunkt *Industrie 4.0* neue Produkte, Dienstleistungen und Geschäftsmodelle sowie effiziente betriebliche Prozesse. Im Forschungsschwerpunkt *Nachhaltige Produktion* ist es das Ziel, die Ressourceneffizienz von Fertigungsprozessen und Anlagen zu steigern und zirkuläre Ansätze von Remanufacturing und Kreislaufwirtschaft zu entwickeln.

Das wbk bietet wissenschaftlichen Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern sowie Studierenden durch die moderne und umfangreiche Sachausstattung ausgezeichnete Rahmenbedingungen für theoretische und experimentelle Forschungsarbeiten. Ziel ist es, ein integratives Verständnis von den Prozessen über die Anlagen und die Automatisierung bis hin zu vernetzten Fabriken zu vermitteln. Für die Forschung und Lehre im Bereich Produktionstechnik setzt das Team des wbk gezielt auf weltweite Partnerschaften. Neben Forschungsprojekten mit anderen wissenschaftlichen Einrichtungen sind für das wbk gemeinsame Projekte mit Industriepartnern entscheidend.

Wir entwickeln Lösungen für vielfältige Themenstellungen der Produktionstechnik sowie neue Methoden und Prozesse für die Produktion der Zukunft.

Im Jahr 2021 konnten wir einen weiteren großen Meilenstein der wbk-Geschichte erreichen: Wir haben unsere neu erbaute Karlsruher Forschungsfabrik bezogen und arbeiten dort bereits an zahlreichen Projekten. Die große Eröffnungsfeier wird im Jahr 2022 stattfinden.

Wir sind besonders stolz auf unser Team, das gerade in den herausfordernden letzten zwei Jahren sehr gute Leistungen erbracht hat. Ihnen gilt unser Dank!



Mit diesem Jahresbericht möchten wir Ihnen einen Überblick über wesentliche Ereignisse und Eckpunkte unserer Institutsarbeit im Jahr 2021 geben.

Wir wünschen Ihnen eine anregende Lektüre.

Prof. Dr.-Ing. Jürgen Fleischer

Prof. Dr.-Ing. Gisela Lanza

Prof. Dr.-Ing. habil. Volker Schulze

## Ansprechpartner der Forschungsbereiche

### Fertigungs- und Werkstofftechnik (FWT)

Prof. Dr.-Ing. habil. Volker Schulze  
Raum 001, Gebäude 10.91  
Telefon: +49 721 608-42440  
Fax: +49 721 608-45004  
volker.schulze@kit.edu

### Maschinen, Anlagen und Prozessautomatisierung (MAP)

Prof. Dr.-Ing. Jürgen Fleischer  
Raum 119, Gebäude 50.36  
Telefon: +49 721 608-44009  
Fax: +49 721 608-45005  
juergen.fleischer@kit.edu

### Produktionssysteme (PRO)

Prof. Dr.-Ing. Gisela Lanza  
Raum 117, Gebäude 50.36  
Telefon: +49 721 608-44017  
Fax: +49 721 608-45005  
gisela.lanza@kit.edu



Institut für Produktionstechnik

# Jahresbericht 2021



## INSTITUT

|                            |    |
|----------------------------|----|
| Standorte und Zahlen ..... | 6  |
| Forschungsstruktur .....   | 7  |
| Veranstaltungen .....      | 8  |
| Highlights .....           | 12 |



## FORSCHUNG

|   |    |
|---|----|
| Forschungsbereich<br><b>Fertigungs- und Werkstofftechnik (FWT)</b> .....              | 14 |
| Forschungsbereich<br><b>Maschinen, Anlagen und Prozessautomatisierung (MAP)</b> ..... | 18 |
| Forschungsbereich<br><b>Produktionssysteme (PRO)</b> .....                            | 22 |
| Forschungsschwerpunkte  |    |
| <b>Leichtbaufertigung</b> .....   | 26 |
| <b>Elektromobilität</b> .....   | 28 |
| <b>Additive Fertigung</b> .....   | 30 |
| <b>Industrie 4.0</b> .....  | 32 |
| <b>Nachhaltige Produktion</b> .....   | 34 |



## KOOPERATIONEN

|   |    |
|---|----|
| Karlsruher Forschungsfabrik .....                     | 36 |
| Global Advanced Manufacturing Institute (GAMI) .....  | 38 |
| Advanced Manufacturing Technology Center (AMTC) ..... | 40 |
| Innovationscampus Mobilität der Zukunft (ICM) .....   | 42 |
| wbk Alumni Club .....                                 | 43 |
| Industriepartnerschaften .....                        | 44 |



## DISSERTATIONEN

|                                |    |
|--------------------------------|----|
| Dr.-Ing. Andreas Greiber ..... | 46 |
| Dr.-Ing. Niclas Eschner .....  | 47 |
| Dr.-Ing. Shun Yang .....       | 48 |
| Dr.-Ing. Sven Roth .....       | 49 |
| Dr.-Ing. Alexander Jacob ..... | 50 |
| Dr.-Ing. Sina Peukert .....    | 51 |
| Dr.-Ing. Patrick Moll .....    | 52 |
| Dr.-Ing. Eric Segebade .....   | 53 |



## STUDIUM UND LEHRE

|                           |    |
|---------------------------|----|
| Leitbild und Zahlen ..... | 54 |
| Vorlesungsangebot .....   | 56 |
| Auszeichnungen .....      | 58 |
| Exkursion .....           | 60 |
| Abschlussarbeiten         |    |
| Masterarbeiten .....      | 61 |
| Bachelorarbeiten .....    | 68 |



## VERÖFFENTLICHUNGEN

|                                |    |
|--------------------------------|----|
| Konferenzbeiträge .....        | 73 |
| Beiträge in Sammelwerken ..... | 74 |
| Zeitschriftenartikel .....     | 75 |



wbk Institut für Produktionstechnik  
**Standorte des Instituts**



**Fasanengarten  
Karlsruhe  
Deutschland**

*Produktionssysteme  
Maschinen, Anlagen und  
Prozessautomatisierung*



**Materialwissenschaftliches Zentrum für  
Energiesysteme  
Karlsruhe  
Deutschland**

*Fertigungs- und Werkstoff-  
technik*



**Ehrenhof  
Karlsruhe  
Deutschland**

*Fertigungs- und Werkstoff-  
technik*



**Campus Nord  
Eggenstein-  
Leopoldshafen  
Deutschland**

*Maschinen, Anlagen und  
Prozessautomatisierung*



**Forschungsfabrik  
Karlsruhe  
Deutschland**

*Maschinen, Anlagen und  
Prozessautomatisierung*



**Suzhou  
Volksrepublik  
China**

*GAMI – Global Advanced  
Manufacturing Institute*



**Shanghai  
Volksrepublik  
China**

*AMTC – Advanced Manu-  
facturing Technology Center*

**Zahlen 2021**



**MITARBEITER / MITARBEITERINNEN**

|  |      |
|--|------|
| ▪ Wissenschaftler / Wissenschaftlerinnen | 99   |
| ▪ Technik und Verwaltung                 | 31,5 |
| ▪ Auszubildende                          | 7    |
| ▪ Studentische Hilfskräfte               | 270  |

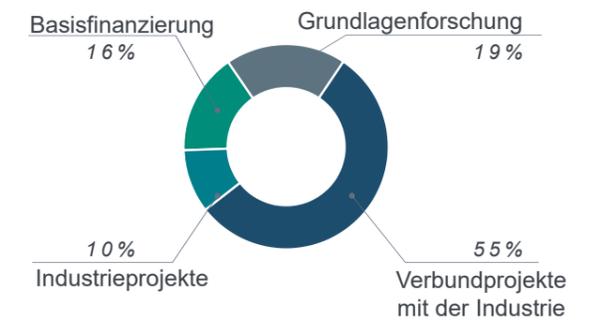
**LEHRE**

|                     |      |
|---------------------|------|
| ▪ Vorlesungen       | 20   |
| ▪ Prüfungen         | 2000 |
| ▪ Abschlussarbeiten | 420  |

**AUSSTATTUNG**

- 3.500 m<sup>2</sup> Laborfläche
- ca. 70 Versuchsstände
- 3 mechanische Werkstätten mit Lehrlingsausbildung
- Umfassendes Rechner- und Simulationsequipment

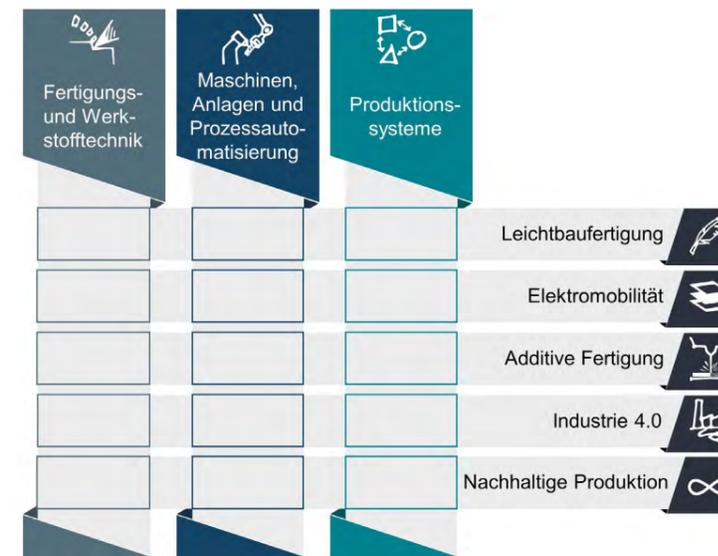
**FINANZIERUNG**



**PROJEKTE**

|                                 |    |
|---------------------------------|----|
| ▪ Grundlagen-Forschungsprojekte | 59 |
| ▪ Verbundprojekte               | 61 |
| ▪ Industrieprojekte             | 66 |

**Forschungsstruktur**



Prof. Dr.-Ing. Jürgen Fleischer | Prof. Dr.-Ing. Gisela Lanza | Prof. Dr.-Ing. habil. Volker Schulze

## Veranstaltungen

## Karlsruher Tagung für Produkt-Produktions-Codesign – Chancen und Herausforderungen



**Ansprechpartnerin am wbk:**  
Carmen Krahe, M.Sc.  
Telefon: + 49 1523 9502591  
carmen.krahe@kit.edu



Hallen- und Laborführung in der Mittagspause (Foto: wbk)



**Ansprechpartnerin am wbk:**  
Katja Höger, M.Sc.  
Telefon: +49 1523 9502659  
katja.hoeger@kit.edu

Zukünftige, große Innovationspotenziale können durch eine strukturierte Zusammenarbeit von Produkt- und Produktionssystementwicklung von Anfang an gehoben werden. Dies bezeichnen wir als Produkt-Produktions-Codesign. Die Karlsruher Tagung für Produkt-Produktions-Codesign am 14. Oktober 2021, organisierte das wbk Institut für Produktionstechnik in Kooperation mit dem Institut für Produktentwicklung (IPEK) am Karlsruher Institut für Technologie (KIT). Während der Tagung wurde erstmalig ein gesamtheitlicher Überblick über die Chancen und Herausforderungen von Produkt-Produktions-Codesign gegeben. Anhand von acht Fachvorträgen und zwei Keynotes konnten zusammen mit etwa 60 Teilnehmenden aus Industrie und Wissenschaft die Bedeutung der integrativen Zu-

sammenarbeit von Produkt- und Produktionssystementwicklung sowie die Sichtweisen der Forschung und Anwendung im Unternehmen erfolgreich diskutiert werden – und dies erfreulicherweise zu einer Zeit, in der ein Termin vor Ort möglich war.

Die Tagung nahm ihren Auftakt mit einer Begrüßung und Einführung durch Professorin Gisela Lanza, Leiterin des wbk, und Professor Albert Albers, Leiter des IPEK. Sie motivierten gemeinsam zur Notwendigkeit der integrativen Zusammenarbeit von Produkt- und Produktionssystem und definierten den Begriff des Produkt-Produktions-Codesigns. Im Anschluss stellten Dr.-Ing. Tom Schneider (TRUMPF Werkzeugmaschinen GmbH + Co. KG) und Professor Sven Matthiesen das Lern- und Anwendungszentrum Mechatronik (LAZ) am KIT vor, was künftig eine datengetriebene Forschung im Produkt-Produktions-Codesign ermöglicht.

Im darauf folgenden Themenblock „Mit Agilität und Struktur erfolgreich Prozesse im Produkt-Produktions-Codesign realisieren“ präsentierte Dr.-Ing. Daniele Naro (thyssenkrupp Mining Technologies) zunächst die Potenziale von Entwicklungspartnerschaften zur Unterstützung global verteilter Produktentstehung im Großanlagenbau. Thomas Pfund (Schaeffler Automotive) adressierte anschließend die Notwendigkeit agiler Produktionssysteme durch die steigende Produktvariabilität im Bereich Elektromotoren. Im letzten Vortrag des Themenblockes präsentierten Tim Baranowski (TRUMPF



Kommunikationspause und Dialog (Foto: wbk)



Keynote von Prof. Gisela Lanza und Prof. Albers (Foto: wbk)

Werkzeugmaschinen GmbH + Co. KG) und Ludger Gehringhoff (BENTELER Automobiltechnik GmbH) die erfolgreiche Umsetzung eines Produkt-Produktions-Codesigns durch Werkzeuge des Advanced Systems Engineering.

Der zweite Block rund um das Thema Produktgenerationsentwicklung startete mit dem Vortrag von Dr. Dr. Hansjörg Maier (Dr. Ing. h.c. F. Porsche AG) und Alexander Kubin (Dr. Ing. h.c. F. Porsche AG), die die Erkenntnisse aus dem Transfer von der Theorie zur Praxis unter den Rahmenbedingungen einer automobilen Produktentwicklung vorstellten. Anschließend präsentierten Constantin Hofmann (wbk) und Simon Rapp (IPEK) die Befähigung einer Kreislaufwirtschaft durch eine vorausschauende Produktgestaltung und die Auswahl der Produktionsprozesse unter dem Gesichtspunkt einer Nutzung über mehrere Produktionslebenszyklen. Der letzte Vortrag von Dr.-Ing. Volker Frey (Endress+Hauser SE + Co. KG) und Professorin Gisela Lanza (wbk) widmete sich schließlich der Nutzung von Machine Learning zur automatisierten Wissensextraktion aus Produktmodellen vorangegangener Generationen.

Im letzten Themenblock adressierte Dr.-Ing. Ste-

fan Hamelmann (Robert Bosch GmbH) die Potenziale Digitaler Zwillinge zur funktionsorientierten Qualitätsregelung. Dr.-Ing. Tobias Düser (AVL Deutschland GmbH) präsentierte die Bedeutung der kontinuierlichen Validierung bei der Entwicklung von komplexen Systems-of-Systems.

In einer gemeinsamen Abschlussdiskussion zu den adressierten Themen der Tagung wurde die Veranstaltung schließlich abgerundet. Nach einem regen Austausch und einer eingehenden Diskussion neigte sich ein erkenntnisreicher und erfolgreicher Tag dem Ende zu und die Teilnehmenden ließen die Veranstaltung bei weiteren Fachgesprächen an den Stehtischen ausklingen. Die Rückmeldungen zu Inhalt und Durchführung der Veranstaltung waren sehr positiv. ■



Diskussion im Plenum (Foto: wbk)

## Veranstaltungen

**Ehemaligenfest des wbk**

**Ansprechpartner am wbk:**  
Tobias Storz, M.Sc.  
Telefon: +49 1523 9502620  
tobias.storz@kit.edu

Zum Ehemaligen-Fest werden alle drei Jahre – unter „normalen“ Bedingungen – alle ehemaligen Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler des wbk Instituts für Produktionstechnik eingeladen. Dies bildet üblicherweise eine wichtige Basis für den Dialog über mehrere Generationen von Doktorandinnen und Doktoranden hinweg. Da viele ehemalige Mitarbeitende des wbk in zentralen Positionen in der Industrie tätig sind, ermöglicht dieses Format zudem den aktuellen Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftlern einen informellen Austausch mit Vertreterinnen und Vertretern der Industrie.

Beim diesjährigen Ehemaligenfest des Instituts wurden mit dem ersten Online-Treffen mit ca. 150 Teilnehmenden neue Wege beschritten. Um die Erfolge zu präsentieren, lud das Team des wbk Anfang Juli zum Ehemaligenfest in die neu errichtete Forschungsfabrik am Campus Ost des Karlsruher Instituts für Technologie (KIT) ein. In diesem Rahmen sollten den Ehemaligen das großzügige Raumangebot sowie neue Forschungsmöglichkeiten präsentiert werden. Da eine derartige Veranstaltung in Präsenz zum Festdatum Corona-bedingt leider nicht möglich war, wurde ein virtuelles Treffen im Rahmen einer Webkonferenz und im Online-Meetingraum gather.town vorbereitet und durchgeführt.

Beim gemeinsamen Treffen in der Webkonferenz wurde nach einem kurzen Austausch zum aktuellen Institutsleben die neue Forschungsfabrik anhand einer Drohnenführung über das Gelände und durch das Gebäude vorgestellt. Um trotz des digitalen Formats einen Austausch der Ehemaligen

untereinander und mit aktiven wbk'lern zu ermöglichen, wurde das Institut in der Online-Plattform gather.town detailreich nachgebaut. Alle Teilnehmenden konnte sich hier eine personalisierte, virtuelle Figur (einen sogenannten Avatar) erstellen und mit dieser das virtuelle Institut erkunden. Dabei wurden sich nahestehende Avatare automatisch in kleinen Videokonferenzen zusammengeschaltet, und so der Austausch – der bei digitalen Veranstaltungen oft zu kurz kommt – in kleinen Gruppen ermöglicht. In der „Halle“ des virtuellen wbk konnten sich die Teilnehmenden über Poster und Videos zu den aktuellen Projekten des Instituts informieren und sich über die im ganzen Institut verteilten Mini-Games mit den Kolleginnen und Kollegen in der ein oder anderen Partie Montagsmaler oder Scrabble messen. Ein besonderes Highlight stellte außerdem die vom Alumni Club gestaltete Rooftop-Bar dar, die nicht nur für schönes Ambiente sorgte, sondern auch den Beitritt in den Alumni Club ermöglichte.

„Wir freuen uns, dass wir trotz der widrigen Umstände so viele Teilnehmerinnen und Teilnehmer bei unserem virtuellen Ehemaligenfest begrüßen durften. Obwohl der neue Ansatz vielleicht etwas ungewohnt war, bot er auch Vorteile. So konnten Ehemalige und aktuelle Mitarbeitende aus der ganzen Welt teilnehmen und sich so das wbk bis nach Brasilien holen. Natürlich freuen wir uns jedoch nach der langen Zeit umso mehr auf das Ehemaligenfest am 08.07.2022, das dann (hoffentlich) wieder wie gewohnt in Präsenz stattfinden kann“, fasste Professor Jürgen Fleischer das ungewöhnliche Ehemaligenfest zusammen. ■



Geselliges Zusammentreffen in virtueller Runde vor dem wbk (Foto: wbk)

## Veranstaltungen

**Hannover Messe 2021**

Im Jahr 2021 konnte das Team des wbk Instituts für Produktionstechnik trotz Corona endlich wieder an der renommierten Hannover Messe teilnehmen. So stand der Messeauftritt im Jahr 2021 nicht nur thematisch, sondern auch organisatorisch im Zeichen der Digitalisierung.

Am Messestand „Future Hub“ des Karlsruher Instituts für Technologie (KIT) war der Bereich Maschinen, Anlagen und Prozessautomatisierung (MAP) des wbk mit den beiden Forschungsprojekten Wertstromkinematik und Kamerabasierte Spindelüberwachung vertreten. Trotz erschwelter Rahmenbedingungen konnten dem interessierten Fachpublikum in virtuellen Messegesprächen und Vortragsreihen sowohl die technisch-wirtschaftlichen Vorteile wandlungsfähiger Produktionssysteme als auch die Potenziale datenbasierter Methoden des Maschinellen Lernens zur Quantifizierung von Oberflächendefekten auf Kugelgewindetrieben präsentiert werden. Das flexible und skalierbare Produktionskonzept der Wertstromkinematik soll es in Zukunft ermöglichen, individuell gestaltete hochwertige Industrie- und Konsumgüter in kleineren Stückzahlen wirtschaftlich und konkurrenzfähig herzustellen. Der auf der Interaktion standardisierter Kinematiken basierende Lösungsansatz befähigt dazu, die hohe Produktivität und Genauigkeit von Spezialmaschinen mit der Flexibilität und Wandlungsfähigkeit von Industrierobotern zu vereinen, um vielfältige Prozessaufgaben – von der Handhabung über die Zerspanung bis hin zur Qualitätssicherung – abzubilden.

Darüber hinaus war das wbk mit dem innovativen Fertigungsverfahren Coil2Stack zur formatflexiblen Batteriestapelbildung Teil des virtuellen Messestands der Siemens AG. Trotz gesteigerter Flexibilität soll es der Lösungsansatz in Zukunft ermöglichen, Batterien effizient und präzise herzustellen. Das

Stapelbildungsverfahren beschleunigt den Produktionsprozess und macht die Produktionslinie durch die Verarbeitung von Elektroden- und Separatorenblättern variabler Breite und Länge dennoch unabhängig von standardisierten Zellformaten.

Im Rahmen der Beteiligung des Transformations-Hub Elektromobilität am virtuellen Baden-Württemberg-Pavillon konnte das wbk zudem die Ergebnisse der Forschungsprojekte SmartBatteryMaker, Fit4E und Ausbildungsfabrik Statorfertigung sowie die Karlsruher Forschungsfabrik präsentieren. Diese kombinieren flexible Lösungsansätze und bedarfsgerechte Schulungsmodelle, um es Unternehmen des Maschinen- und Anlagenbaus sowie der Zulieferindustrie zu ermöglichen, den Wandel der automobilen Wertschöpfungsketten hin zur Batterie-, Brennstoffzellen- und E-Motoren-Produktion erfolgreich zu gestalten.

Weitere Highlights der Messebeteiligung des wbk waren eine Keynote von Professor Jürgen Fleischer zum Thema „New value creation by introducing agile production concepts“ sowie dessen Teilnahme an einer Podiumsdiskussion des VDMA und ZVEI mit hochrangigen Vertreterinnen und Vertretern aus Industrie und Politik zum Thema „10 Jahre Industrie 4.0 für die digitale Transformation der industriellen Wertschöpfung“. ■



Der Transformations-Hub Elektromobilität mit dem Leitfaden Fit4E, der Ausbildungsfabrik Statorfertigung und dem SmartBatteryMaker als Teil des virtuellen Baden-Württemberg-Pavillons der HMI 2021 (Fotos: Andreas Drollinger, KIT/wbk)



**Ansprechpartner am wbk:**  
Felix Wirth, M.Sc.  
Telefon: +49 1523 9502630  
felix.wirth@kit.edu

Bemerkenswertes im Jahr 2020

## Kurz gefasst – Highlights am wbk Institut für Produktionstechnik

### Ministerin besucht Karlsruher Forschungsfabrik

Die baden-württembergische Ministerin für Wissenschaft, Forschung und Kunst, Theresia Bauer, hat sich bei einem Vor-Ort-Besuch über die Inbe-



Ministerin Bauer informierte sich unter anderem über die beginnenden Forschungsaktivitäten.  
(Foto: Amadeus Bramsiepe, KIT)

triebnahme der seit 2018 entstandenen Karlsruher Forschungsfabrik für KI-integrierte Produktion informiert. „Die Forschungsfabrik ist ein idealer Ort, um Zukunftsvisionen für die Produktionstechnik in die Praxis umzusetzen und zu erproben. So werden einfallsreiche, neue Lösungen im Innovationscampus ‚Mobilität der Zukunft‘ vorangebracht. Ich bin beeindruckt, welches Innovationspotenzial für Baden-Württemberg hier – gestützt auf KI-Methoden und die Entkopplung von Hard- und Software – freigesetzt wird“, sagte Wissenschaftsministerin Theresia Bauer. „Unser Ziel ist es, herausfordernde, innovative Fertigungsverfahren schnellstmöglich in die betriebliche Praxis zu bringen. Hier sind wir mit den bereits angelaufenen Aktivitäten, unter anderem auch im Rahmen des InnovationsCampus Mobilität der Zukunft bereits auf einem ausge-

zeichneten Weg“, so der Vizepräsident des KIT für Innovation und Internationales des KIT, Professor Thomas Hirth. In der Karlsruher Forschungsfabrik wird das Zukunftsthema KI-integrierte Produktion an realen Prozessen praxisnah erforscht. Gestützt auf neueste Methoden der Digitalisierung und Künstlichen Intelligenz sollen herausfordernde Fertigungsverfahren in kürzester Zeit von der Idee in die betriebliche Praxis überführt werden. „Die Karlsruher Forschungsfabrik soll ein Schmelztiegel der innovativen Ideen werden. Hier sollen Wissenschaft und Industrie Hand-in-Hand die aktuellen Herausforderungen in der Produktionstechnik angehen, um neue Technologien schnell in die Industrie zu transferieren“, so Professor Jürgen Fleischer, Initiator der Karlsruher Forschungsfabrik. Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler präsentierten der Ministerin an mehreren Stationen den Stand aktueller Forschungsprojekte aus den Bereichen Batteriezellfertigung, elektrische Antriebe sowie additive Fertigung und agile Produktionssysteme.

### Gremien und Ämter der wbk-Institutsleitung

Das Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi) hat Professorin Gisela Lanza ab 2022 für fünf Jahre in das Kuratorium der Physikalisch-Technischen Bundesanstalt (PTB) berufen. Im Rahmen dieser Tätigkeit wird die wbk-Institutsleiterin der PTB und dem Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi) ihren fachkundigen Rat sowie ihre Erfahrungen zur Verfügung stellen. Das Kuratorium erfüllt die



Mitglied im Kuratorium der PTB: Prof. Gisela Lanza (Foto: Paul Gärtner, BVL)

Funktion eines wissenschaftlichen Beirates und die einer Interessenvertretung der Kunden aus Wissenschaft, Wirtschaft und Gesellschaft. Für das wbk stellt die Berufung insbesondere im Bereich der Qualitätssicherung eine große Bereicherung dar.

Die Mitglieder des von acatech (Deutsche Akademie der Technikwissenschaften) koordinierten Forschungsbeirats der Plattform „Industrie 4.0“ haben Professorin Gisela Lanza zur stellvertretenden wissenschaftlichen Sprecherin gewählt. Der von acatech koordinierte Forschungsbeirat der Plattform Industrie 4.0 berät als strategisches und unabhängiges Gremium die Plattform Industrie 4.0, ihre Arbeitsgruppen und die beteiligten Bundesministerien, insbesondere das Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF).

wbk-Institutsleiter Professor Volker Schulze wurde im Rahmen der Mitgliederversammlung Ende 2020 in den Vorstand der Arbeitsgemeinschaft Wärmebehandlungs- und Werkstofftechnik e.V. (AWT) gewählt. Die AWT ist ein technisch-wissenschaftlicher Verein, der sich seit 60 Jahren intensiv mit werkstofforientierten Technologien beschäftigt und als Forschungsvereinigung in der Arbeitsgemeinschaft industrieller Forschungsvereinigungen (AiF) organisiert ist.



Vorstandsmitglied der AWT:  
Prof. Volker Schulze (Foto: wbk)



Mitglied im Beirat „Batterieforschung Deutschland“:  
Prof. Jürgen Fleischer (Foto: Felix Schmitt)

wbk-Institutsleiter Professor Jürgen Fleischer ist jetzt Mitglied im Beirat „Batterieforschung Deutschland“ des Bundesministeriums für Bildung und Forschung (BMBF). Um das BMBF in Fragen der strategischen

Forschungsplanung auf dem Gebiet der elektrochemischen Energiespeicher zu beraten, wurde der Beirat „Batterieforschung Deutschland“ gebildet. Aufgabe des Beirates ist dabei u.a. das Entwickeln und Bewerten von Vorschlägen sowie die Formulierung von Empfehlungen zu Förderprogrammen und Themenclustern.

### 60. Geburtstag von Prof. Jürgen Fleischer

Im Rahmen einer großen Videokonferenz mit über 150 Teilnehmenden feierte das Team des wbk den 60. Geburtstag von Professor Jürgen Fleischer mit einem kurzweiligen Programm, berührenden Worten und zahlreichen Anekdoten.

Jürgen Fleischer studierte Maschinenbau und promovierte 1989 an der Universität Karlsruhe (TH). Von 1992 an war er in mehreren leitenden Positionen in der Industrie tätig, ehe er im Jahr 2003 zum Professor und Leiter des wbk Instituts für Produktionstechnik am heutigen KIT berufen wurde. Darüber hinaus ist er seit 2012 Gastprofessor an der Tongji-Universität in Shanghai. Als anerkanntes Mitglied der wissenschaftlichen Gemeinschaft der wissenschaftlichen Gemeinschaft engagiert sich Professor Fleischer beispielsweise in der Wissenschaftlichen Gesellschaft für Produktionstechnik (WGP, seit 2004), der International Academy for Production Engineering (CIRP, seit 2006) und bei der Deutschen Akademie für Technikwissenschaften (acatech). Von 2015 bis 2019 vertrat er die Produktionstechnik als Mitglied des Senats der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG) und ist darüber hinaus Mitglied mehrerer wissenschaftlicher und industrieller Beiräte. Professor Jürgen Fleischer ist verheiratet, hat zwei Kinder und lebt in Karlsruhe.



Das gesamte Team des wbk gratulierte herzlich zum 60. Geburtstag (Foto: wbk)



Forschungsbereich

## Fertigungs- und Werkstofftechnik (FWT)



**Ansprechpartner am wbk:  
Institutsleiter (FWT)**  
Prof. Dr.-Ing. habil.  
Volker Schulze  
volker.schulze@kit.edu

Die Entwicklung neuer Produkte ist eine zentrale Ingenieursaufgabe, die zunehmend nur noch interdisziplinär, also in Zusammenarbeit zwischen Produktentwicklung, Produktion und Werkstofftechnik zu bewältigen ist. Dies hat seine Ursache darin, dass die in der Entwicklung geforderten Bauteileigenschaften durch die einzelnen Prozessschritte vom Rohstoff bzw. Halbzeug hin zum fertigen Bauteil signifikant beeinflusst werden. Angesichts des hohen Entwicklungsstands verfügbarer Prozesse gelten die damit verknüpften Fragen als ein vorrangiges Themenfeld für die Forschungsarbeiten in der Fertigungstechnik.

Sowohl die grundlagenorientierte Untersuchung und Optimierung etablierter als auch die Entwicklung neuer innovativer Fertigungsprozesse und Prozessketten in den Bereichen Zerspanung, Verzahnungsherstellung, additive Fertigung sowie Wärme- und Oberflächenbehandlung zählen zu den Kernkompetenzen des Bereichs Fertigungs- und Werkstofftechnik. Diese werden in enger Zusammenarbeit mit der Industrie stetig weiterentwickelt und optimiert. Der Aufbau von Prozessketten und deren Optimierung durch Integration mehrerer Fertigungsverfahren in eine Maschine wird dabei ebenfalls untersucht. Der Fokus liegt auf spanenden und abtragenden Fertigungsverfahren sowohl im Makro- als auch im Mikrobereich. Bei der Makrobearbeitung zählen neben klassischen Bohr-, Dreh-, Räum- und Fräsprozessen hochproduktive und kinematisch herausfordernde Verfahren wie Wälzschälen und Wirbeln zum Portfolio.

Mithilfe neuer Kenntnisse über die Wechselwirkungen zwischen Prozessen und Bauteilen werden in enger Zusammenarbeit mit dem Institut

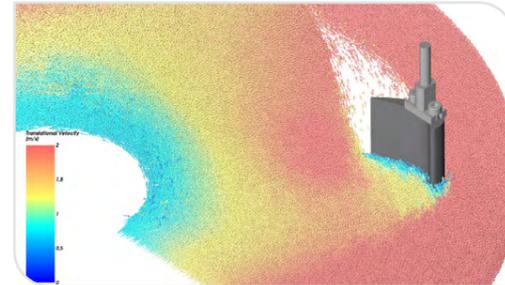
für Angewandte Materialien – Werkstoffkunde (IAM-WK) über Surface Engineering Bauteile untersucht und ihre Eigenschaften definiert eingestellt. Hierbei stehen besonders Charakteristika der Bauteilrandzonen wie Topografie, Gefüge sowie Eigenspannungs- und Verfestigungszustände im Vordergrund, die durch den Fertigungsprozess bestimmt werden und einen großen Einfluss auf die Eigenschaften bei schwingender oder tribologischer Beanspruchung besitzen. Zur gezielten Konturierung von Oberflächen wird neben dem Tauchgleitschleifen die Komplementärzerspanung untersucht und weiterentwickelt. Bei den Untersuchungen im Bereich der Verbundwerkstoffe wie CFK, GFK und MMCs liegt der Fokus auf einer möglichst schadigungsarmen Bearbeitung. Additive Verfahren unter der Verwendung von Keramiken und Metallen werden ebenfalls untersucht. Ein besonderes Augenmerk liegt dabei auf dem Laserstrahlschmelzen. Die additive Fertigung findet immer dort Verwendung, wo die geforderten geometrischen Komplexitäten mit herkömmlichen Fertigungsverfahren nicht mehr oder nur noch sehr schwer herstellbar sind. Der InnovationsCampus Mobilität der Zukunft (ICM), als gemeinsame Initi-

ative des Karlsruher Instituts für Technologie (KIT) und der Universität Stuttgart, verfolgt die exzellente Grundlagenforschung im Bereich Mobilität von übermorgen. Die beiden Schwerpunkte liegen – nach der nun abgeschlossenen Pilotphase – in der Elektromobilität und der additiven Fertigung.

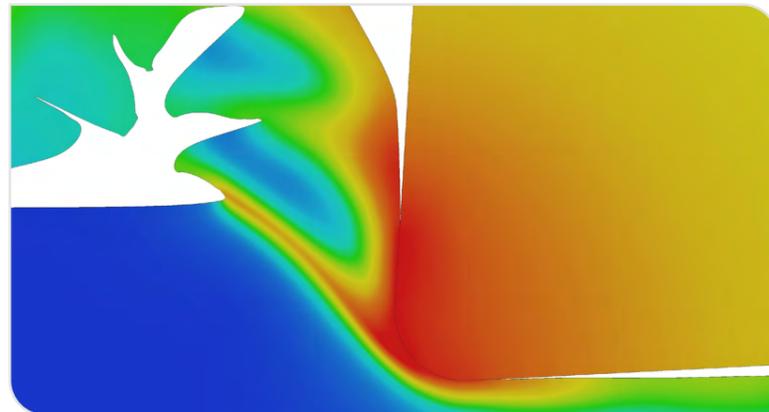
Die Simulation von Fertigungsprozessen ermöglicht eine Erweiterung des Prozessverständnisses. Mithilfe detaillierter Modelle werden unterschiedlichste Aspekte der Fertigungsprozesse untersucht, wie die Spanbildung, die Kinematik, der Werkzeugverschleiß und die Prozess Temperatur. Dies ermöglicht die Reduzierung des Versuchsaufwands und zudem den Gewinn experimentell nicht zugänglicher Erkenntnisse. Mit den Simulationen werden die effiziente Auslegung von Bearbeitungsstrategien unterstützt und die Abbildung vollständiger Prozessketten ermöglicht.

Weiterhin richtungsweisend ist unter anderem das am wbk koordinierte DFG-Schwerpunktprogramm „Oberflächenkonditionierung in der Zerspanung“ (SPP 2086). Es widmet sich mit neuen Ansätzen der Stabilisierung zerspanungsbedingter Randschicht-

zustände. Im Schwerpunktprogramm wird in 9 Forschungsprojekten mit verschiedenen Partnern gearbeitet. Das SPP 2086 verspricht Fertigungsprozesse zu verbessern, um den steigenden Anforderungen der Industrie an Produktivität, Bauteilqualität und Ressourceneffizienz gerecht zu werden. Kernidee ist die In-Prozess-Kontrolle von üblichen Zerspanungsprozessen, um die Prozesse dynamisch zu regeln. Softsensoren ermöglichen dabei den Blick auf sonst nicht oder nur schwer messbare Zustände der Randschicht, die so als Regelgröße nutzbar werden. Eine enge Kooperation von Fertigungs-, Mess- und Werkstofftechnik und die Verwendung von modernen Machine-Learning-Techniken stützen das Vorhaben. Damit rückt die robuste Fertigung von definierten Randschichteigenschaften in großem Maßstab in den Bereich des Möglichen. ■



Partikelsimulation des Tauchgleitschleifprozesses



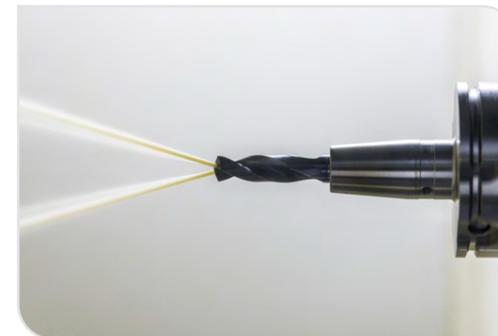
Simulation der Spanbildung von Titanlegierungen



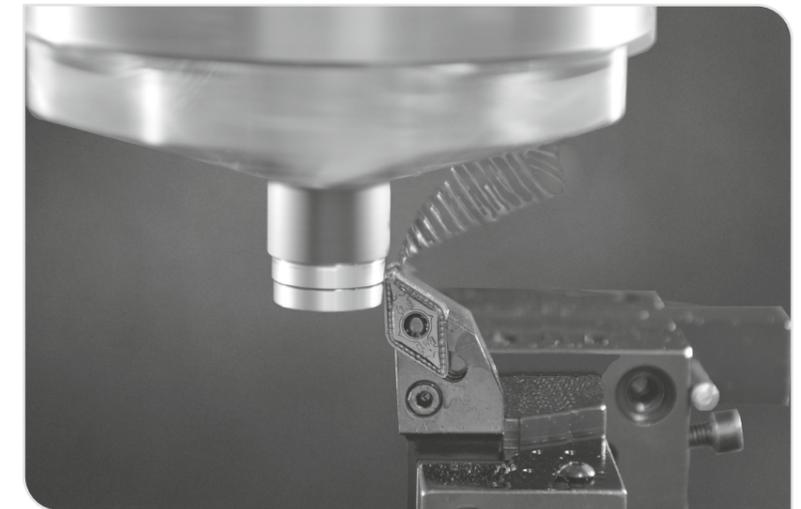
Wälzschälen einer hochfesten Innenverzahnung



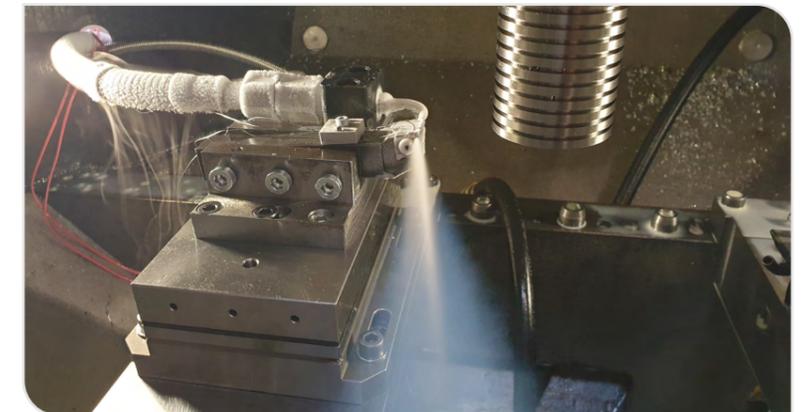
Laser-Pulverbetttschmelzen eines Impellers



Optimierung des Kühlschmiermittelflusses beim Bohren



Untersuchung von Prozessstrategien bei der Drehbearbeitung



Kryogene Kühlung mit Stickstoff beim Drehen von Titan

(Fotos: wbk)

Forschungsprojekt FWT

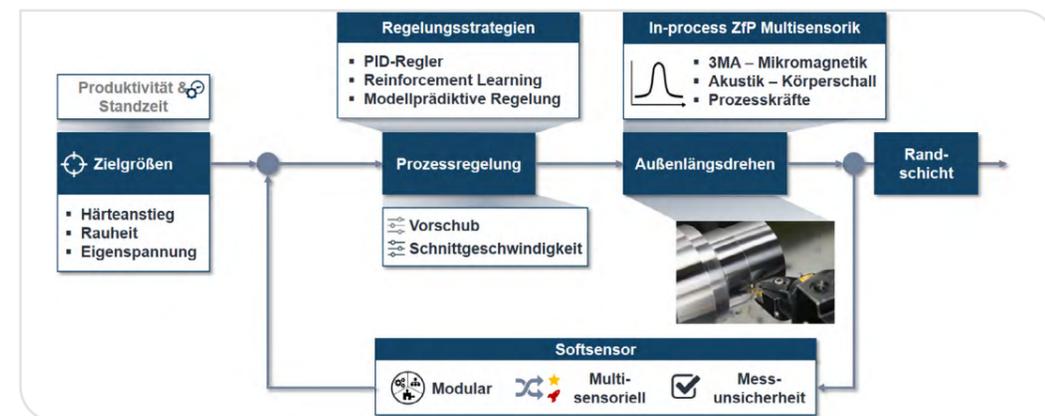
## SPP OK – Prozessregelung zur Oberflächenkonditionierung beim Drehen von Stahl

### Ziel des Vorhabens

Das Ziel des Forschungsvorhabens ist es, ein In-Process-fähiges, multisensorielles Regelungskonzept zu entwickeln und es für einen ggf. aus mehreren Zielgrößen zusammengesetzten Randschichtzustand zu qualifizieren. Dieses Regelungskonzept soll exemplarisch für den Anwendungsfall des Außenlängsdrehens von vergütetem 42CrMo4 mittels geeigneter Modellansätze umgesetzt werden. Die Herausforderung bei diesem Zerspanungsprozess ist es, die Ausbildung randnaher thermisch induzierter weißer Schichten (White Layer) und der mit ihnen einhergehenden – aus technischer Sicht nachteiligen – Zugeigenspannungszustände zu vermeiden. Dagegen sind mechanisch induzierte weiße Schichten, die mit Druckeigenspannungen einhergehen, zuzulassen, sodass durch das Regelungskonzept mehrere Zielgrößen simultan adressiert werden, die in gegenseitiger Abhängigkeit zueinander stehen.

### Vorgehensweise

Gegenstand der ersten Förderphase ist die Konzeption eines geeigneten Softsensors, mit dem die während des Bearbeitungsprozesses auftretenden Charakteristika der Randschicht kontinuierlich erfasst werden. Der entwickelte Softsensor soll eine modular erweiterbare Struktur besitzen, mit der sowohl der Einbezug weiterer Sensorprinzipien als auch zusätzlicher Informationen aus Simulationsroutinen ermöglicht wird. Um die Güte des Softsensors bei der Erfassung der weißen Schichten zu quantifizieren, wird entsprechend des „Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement“ (GUM) dessen Messunsicherheiten ermittelt.



Geplanter Regelkreis zur kontinuierlichen Charakterisierung und Regelung des Randschichtzustands (Foto: wbk)

Das Projekt ist Teil des DFG Schwerpunktprogramms Oberflächenkonditionierung in Zerspanungsprozessen (SPP 2086) und wird von einem Konsortium aus drei Partnern bearbeitet, die ihre Stärken in der Zerspanung (wbk Institut für Produktionstechnik, Forschungsbereich Fertigungs- und Werkstofftechnik), der Qualitätssicherung (wbk, Forschungsbereich Produktionssysteme) und der zerstörungsfreien Werkstückprüfung (Fraunhofer-Institut für Zerstörungsfreie Prüfverfahren IZFP) einbringen. Eine enge Kooperation von Fertigungs-, Mess- und Werkstofftechnik und die Verwendung von Maschinellem Lernen stützen das Vorhaben. Damit rückt die robuste Fertigung von definierten Randschichteigenschaften in großem Maßstab in den Bereich des Möglichen.

### Ergebnisse

In der ersten Phase des Vorhabens (bis Juli 2021) wurden die Regelungszielgrößen Randhärteanstieg, Oberflächeneigenspannung und Rauheit für ein breites Parameterfeld ermittelt. Mithilfe von Methoden des Maschinellen Lernens wurden die Zielgrößen so modelliert, dass sie für beliebige Prozessstellgrößen vorhergesagt werden können. Weiterhin wurden die Randschichten der gedrehten Proben magnetisch vermessen, um eine Korrelation zu den strukturmechanischen Eigenschaften herzustellen. Dies ermöglicht die magnetische In-Line-Messung von Randschichtzuständen und bildet zusammen mit der Prozessmodellierung die Basis für die Regelung, die in Phase 2 des Vorhabens realisiert werden soll.

Forschungsprojekt FWT

## ZykloMed – Synchronisiert-zyklische Zerspanprozesse zur Fertigung anspruchsvoller Implantatgeometrien

### Ziel des Vorhabens

Medizintechnische Implantate für die Orthopädie, Traumatologie und Dentaltechnik werden in ihrer Geometrie immer besser an bionische Formen angepasst, was große Vorteile für das Patientenwohl bietet. Die hochgradig funktionsintegrierten Bauteile zeichnen sich durch geschwungene Flächen mit nicht kreisrunden oder eckigen Querschnitten aus, sodass mehrstufige Prozesse notwendig sind, um sie herzustellen. Gleichzeitig bestehen höchste Anforderungen an die Qualität, was in Kombination mit schwer zerspanbaren, biokompatiblen Werkstoffen wie Titan dazu führt, dass Schnittparameter zur Steigerung der Wirtschaftlichkeit nicht beliebig erhöht werden können. Der Einsatz neuartiger synchronisiert-zyklischer Zerspanprozesse ermöglicht es, die Prozesskette zu verkürzen und die Präzision, sowie geometrische Gestaltungsfreiheit zu steigern.

### Vorgehensweise

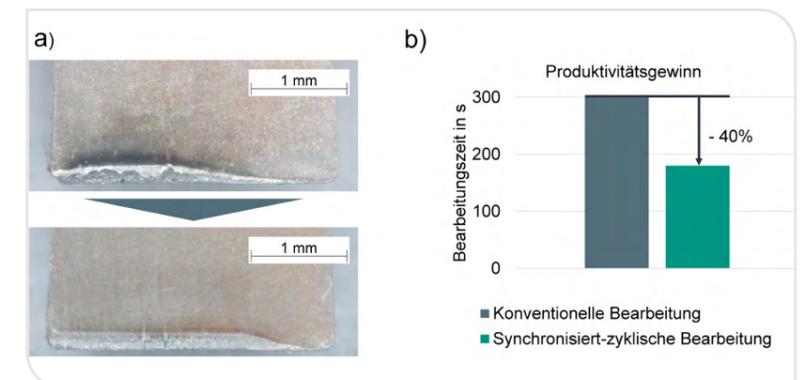
In einem vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) geförderten Forschungsprojekt untersucht ein Team des wbk Instituts für Produktionstechnik zusammen mit drei Industriepartnern die Grundlagen der drei synchronisiert-zyklischen Zerspanprozesse Drehwirbelfräsen, Rotationsrunddrehen und Polygondrehen. Diese Grundlagen sollen als Basis dafür dienen, die drei Verfahren im Anschluss des Projekts nach Möglichkeit bis zur industriellen Reife weiterzuentwickeln. Alle drei Verfahren basieren auf der Synchronisation von Spindel- und Vorschubachsen, wie sie beispielsweise auch beim Wälzschälen zum Einsatz kommt. Dadurch wird es möglich, die geometrische Freiheit des Fräsens mit der hohen Produktivität des Drehens zu vereinen und damit neben unrunder Innen- und Außenkonturen auch Gewinde mit variabler Steigung wirtschaftlich spanend herzustellen. Das Arbeitsprogramm umfasst neben der grundlegenden (Weiter-)Entwicklung der Verfahren, Werkzeuge und Anlagentechnik auch die prototypische Umsetzung der Prozesse in einem seriennahen Umfeld anhand von Demonstrationsbauteilen.

### Ergebnisse

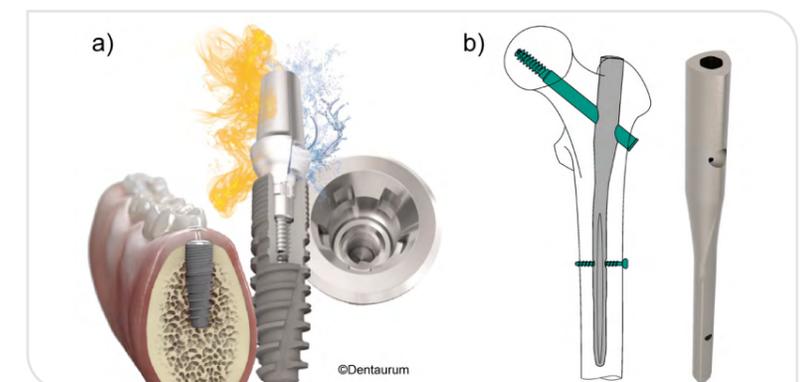
Die synchronisiert-zyklischen Zerspanverfahren sind aufgrund ihrer Kinematik anspruchsvoll und führen zum Beispiel durch die lokale Variation von Span-

und Freiwinkeln im Prozess zu gesteigerten Herausforderungen für die Werkzeugstandzeit. Diese Herausforderungen werden durch Innovationen gelöst, die von der Maschinen- und Steuerungstechnik, über die Prozessauslegung bis zur Werkzeuggestaltung reichen. Im Ergebnis ermöglichen die entwickelten Fertigungsverfahren neue Freiheitsgrade für das Implantatdesign gepaart mit einer hohen Produktivitätssteigerung von bis zu 40 % für komplizierte Geometrien, wodurch eine wirtschaftliche Umsetzung in der Medizintechnik und darüber hinaus erst ermöglicht wird. Die Ergebnisse des Forschungsvorhabens ermöglichen es, innovative Verfahren zu etablieren und reizen das Wertschöpfungspotential von Maschinen- und Werkzeugherstellern, sowie Prozessanwendern weiter aus.

Dieses Forschungs- und Entwicklungsprojekt wird durch das Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) im Programm „Innovationen für die Produktion, Dienstleistung und Arbeit von morgen“ gefördert und vom Projektträger Karlsruhe (PTKA) betreut. Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt bei der Autorin/beim Autor.



Optimierung von a) Werkzeugverschleiß und b) Produktivität (Fotos: wbk)



Anwendungsbeispiele für geometrisch anspruchsvolle Implantate: a) Dentalimplantat b) Femurnagel (Foto: links Dentaurum, rechts wbk)

GEFÖRDERT VOM



Ansprechpartner am wbk:  
Tassilo Arndt, M.Sc.  
Telefon: +49 1523 9502662  
tassilo.arndt@kit.edu





Forschungsbereich

## Maschinen, Anlagen und Prozessautomatisierung (MAP)



**Ansprechpartner am wbk  
Institutsleiter (MAP)**  
Prof. Dr.-Ing. Jürgen Fleischer  
juergen.fleischer@kit.edu

Maschinen und Anlagen müssen sowohl in heutigen als auch zukünftigen Produktionen eine hohe Robustheit gegenüber volatilen wirtschaftlichen und technologischen Rahmenbedingungen aufweisen, um dem steigenden internationalen Wettbewerbsdruck gerecht zu werden. Neben wesentlichen Kriterien wie Stückzahl- und Variantenflexibilität sowie der Minimierung von Investitions- und Instandhaltungskosten rückt zudem der Umgang mit neuen und teilweise unreifen Produktionsprozessen, beispielsweise in der Elektromobilität oder der Leichtbauproduktion, in den Vordergrund. Insbesondere in Anwendungsfeldern, in welchen Produkteigenschaften und Prozessparameter noch weitgehend unbekannt sind sowie Produktionssysteme und Prozessketten immer flexibler sein müssen, sind interdisziplinäre Fachkompetenzen gefordert, um geeignete produktionstechnische Lösungen zu entwickeln. Um die gehobenen Marktanforderungen erfüllen zu können – und damit auch zukünftig eine wettbewerbsfähige Produktion an Hochlohnstandorten zu ermöglichen – muss die Entwicklung von Produkt- und Produktionstechnologie mehr denn je in enger Kooperation erfolgen. Zukünftige Generationen mechatronischer Produkte und die zugehörige Produktionstechnik integrieren dafür neben der klassischen Mechanik zunehmend intelligente informationstechnische Bausteine sowie Leistungs- und Regelungselektronik, um immer schnellere, flexiblere und effizientere Produkte und Produktions-

lösungen anbieten zu können. Zudem können die im Produktions- und Nutzungszyklus anfallenden Daten u. a. mit Methoden der Künstlichen Intelligenz entschlüsselt und für zielgerichtete Optimierungen genutzt werden – ein disruptiver Lösungsansatz mit großem wirtschaftlichen Potenzial, dem zukünftig insbesondere durch die interdisziplinären Forschungsarbeiten im Neubau der Karlsruher Forschungsfabrik für KI-integrierte Produktion Rechnung getragen wird.

Die Kernkompetenzen des Forschungsbereiches Maschinen, Anlagen und Prozessautomatisierung liegen in der ganzheitlichen Optimierung etablierter und unreifer Prozessketten, in der Erarbeitung neuartiger Verfahren und Prozesse sowie in der Konzeption, Auslegung und Integration von intelligenten, ressourceneffizienten Maschinenkomponenten. Im Fokus stehen hierbei Handhabungs- und Montagetechnologien, Greif- und Fügetechniken sowie die Entwicklung und Erprobung mechatronischer Komponenten. Anwendungsfelder sind Werkzeugmaschinen sowie Fertigungs- und Montageanlagen für die additive Fertigung, den hybriden Leichtbau und die Elektromobilität. Neben der Grundlagenforschung werden dabei in besonderem Maße auch Partner aus der Industrie in die Forschungstätigkeiten eingebunden, um Fragestellungen und Problemen des Maschinen- und Anlagenbaus sowie produzierender Unternehmen praxisnah begegnen zu können. Ein besonderes

Augenmerk der Forschungs- und Entwicklungsarbeiten liegt auf dem effizienten Umgang mit Energie und Materialressourcen sowie auf der wachsenden Digitalisierung und Vernetzung von Maschinen und Prozessketten, um die Ressourceneffizienz und Wirtschaftlichkeit von Produktionsanlagen und -systemen zu steigern. Diese Zielsetzung sowie die einhergehenden wissenschaftlichen Fragestellungen müssen in Zusammenarbeit mit den Forschungs- und Industriepartnern bereits während der Konzeptionsphase der Forschungsarbeiten berücksichtigt werden.

Ein aktuelles Forschungsthema im Anwendungsfeld Werkzeugmaschinen und Mechatronik ist etwa die Entwicklung von Systemen zur Selbstsensierung und Aufklärung von Maschinen und Komponenten mit dem Ziel der autonomen Maschine. Beispiele hierfür sind Ansätze zur automatisierten Identifikation von Datenquellen und die Detektion von Maschinenachsen. Weitere Themen sind die Prädiktion des Maschinenschwungsverhaltens, das maschinen- und prozessübergreifende Erkennen von Anomalien sowie die Produktion mit hochflexiblen und konfigurierbaren Universalkinematiken, der sogenannten Wertstromkinematik.

Die Befähigung von Maschinen und Anlagen für Industrie 4.0-Funktionalitäten erfolgt darüber hinaus im gemeinsam mit Siemens neu geschaffenen Application Center IIoT Edge. Dieses wird genutzt für ein breites Schulungsangebot an Studierende wie Unternehmen von den grundsätzlichen Potentialen durch Edge- und Cloud-Lösungen bis hin zur anwenderspezifischen Umsetzung individueller IIoT-Use Cases.

Im Anwendungsfeld Leichtbaufertigung werden Prozessautomatisierungslösungen für die Fertigung von faserverstärkten Kunststoffstrukturen und für die additive Fertigung entwickelt. Die Erkenntnisse daraus fließen in die Entwicklung von angepassten Technologien zur Herstellung hybrider Strukturen ein, die es ermöglichen, unterschiedliche Materialien und Funktionen optimal zu kombinieren.

Im Bereich der Elektromobilität werden unreife Handhabungs- und Fertigungsprozesse für die automatisierte Produktion von Batterien, Brennstoffzellen sowie elektrischen Antrieben erforscht und optimiert. Darüber hinaus werden neue Verfahren und Prozessketten erarbeitet und für die indust-

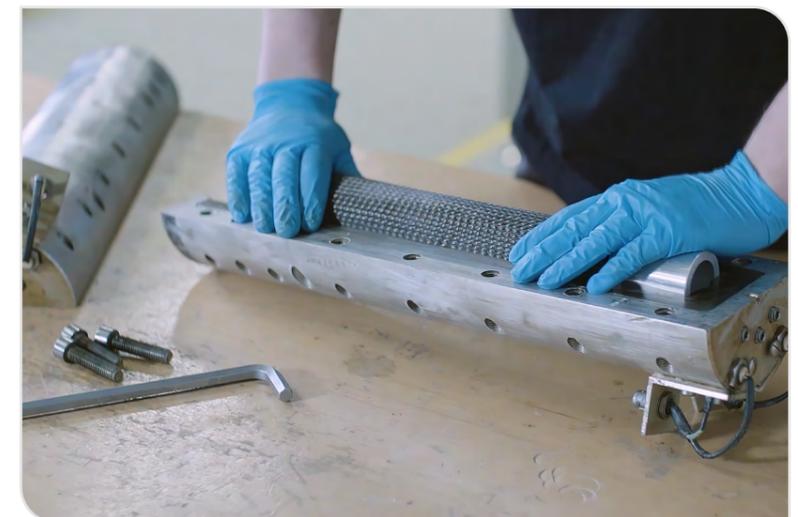
rielle Anwendung qualifiziert. Forschungsthemen stellen die Steigerung der Produktqualität durch eine systematische datenbasierte Optimierung von Prozessparametern, der Aufbau eines ganzheitlichen Prozessverständnisses durch eine tiefgehende analytische, numerische und experimentelle Modellbildung sowie die Entwicklung von modularen und flexiblen Lösungen für höchste Agilität und softwarebasierte Wandlungsfähigkeit in der Produktion dar. Darüber hinaus steht die parallele Erarbeitung produkt- und produktionsspezifischer Lösungen im Mittelpunkt aktueller Forschungsarbeiten mit universitären und industriellen Kooperationspartnern. ■



Application Center IIoT Edge in der Karlsruher Forschungsfabrik (Foto: wbk)



Fertigung von Hairpin-Steckspulen für elektrische Traktionsmotoren mittel kinematischer Formgebung (Foto: KIT/wbk)



Vorbereitung des Werkzeugs für das Schleuderverfahren zur Herstellung hybrider Profile (Foto: Robert Fuge)

Forschungsprojekt MAP

## Entwicklung von Methoden für selbstlernende Werkzeugmaschinen

### Ziel des Vorhabens

Das vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) geförderte und vom Projektträger Karlsruhe (PTKA) betreute Projekt *AutoLern* hat zum Ziel, Methoden zur selbstständigen Validitätsprüfung und Anpassung von KI-Modellen für selbstlernende Werkzeugmaschinen zu entwickeln, um die Zugänglichkeit zu künstlicher Intelligenz in der Produktion zu vereinfachen und Unsicherheiten zu reduzieren. Der Einsatz von KI verspricht durch die Analyse und Bewertung anfallender Datenmengen, dass Prozesse optimiert werden und damit eine effizientere, flexiblere und zuverlässigere Produktion möglich ist. Dies wird allerdings dadurch gehemmt, dass die Vielzahl an wechselnden Einflussfaktoren in der Produktion zu nachlassender Validität einmal erstellter Modelle im Lebenszyklus einer Maschine führen kann. Die neuen Methoden sollen genau hier ansetzen und somit eine geringer werdende prädiktive Aussagekraft von Modellen erkennen und ein Nachtrainieren mit aktuellen Daten initiieren.

Die Gesamtlösung soll dabei auf verschiedene, kundenindividuelle Maschinen angewandt werden können, um den Ressourcenaufwand bei Maschinenherstellern zu minimieren.

### Vorgehensweise

Das anwendungsorientierte industrielle Verbundprojektkonsortium setzt sich neben dem wbk Institut für Produktionstechnik aus den vier Industrieunternehmen Arburg, Dieffenbacher, Heller und Trumpf sowie dem KMU Point 8 und der Forschungseinrichtung Fraunhofer Fraunhofer-Institut für Optronik, Systemtechnik und Bildauswertung (IOSB) zusammen. Zur Erreichung der genannten Ziele, werden in einem ersten Schritt die existierenden KI-Modelle bei den

Industrieunternehmen erfasst und für das weitere Vorhaben bewertet. Weiterhin werden verschiedene Algorithmen hinsichtlich ihrer Eignung für das kontinuierliche Lernen bewertet. Nach der Auswahl der relevanten Zielsysteme und Daten erfolgt die Entwicklung der auf den jeweiligen Anwendungsfall angepassten initialen KI-Algorithmen, wie z.B. „Neuronale Netze“ oder „Support Vektor Machines“. Ziele dieser Algorithmen bestehen etwa darin, Condition-Monitoring-Systeme effizient weiterzuentwickeln und Mitarbeitende in der Produktion intelligent zu unterstützen. Um die spätere Adaptierbarkeit der Methoden zu gewährleisten, wird neben einer breiten Auswahl an Anwendungsfällen ein Industrialisierungskonzept entwickelt. Dieses umfasst beispielsweise Steuerungsarchitekturkonzepte und Schnittstellendefinitionen für die Anwendung von KI-Modellen in der Produktion. Die Verwertbarkeit der KI-Modelle wird durch eine von Point 8 verwalteten KI-Toolbox sichergestellt, welche als zentrale Austauschplattform für Algorithmen, Methoden und Modelle fungiert.

### Anwendungsfälle aus der Praxis

Im Rahmen des Projekts werden KI-Lösungen zu den Anwendungsbereichen „Echtzeitregelung von Prozessen“ und „Werker-Assistenz“ aufgebaut. Der Anwendungsbereich „Echtzeitregelung von Prozessen“ ermöglicht es, Modelle autonom nachzutrainieren und damit die Prozessregelung signifikant zu verbessern. Dabei werden Daten der in den Maschinen integrierten Sensoren (z.B. Schwingungen, Kräfte) oder extern erhobener Messwerte analysiert. Der Projektpartner Dieffenbacher betrachtet die gesamte Prozesskette „kontinuierliche Holzplattenproduktion“. Beim Projektpartner Trumpf werden die Bereiche Stanzen und Laserschneiden betrachtet.

Im Anwendungsbereich „Werker-Assistenz“ wird der Anlagenbediener durch nachvollziehbare Empfehlungen einer KI beim Einrichten der Maschine oder dem Beheben von Störungen assistiert. Projektpartner Arburg befasst sich mit der Einrichtung und Steigerung der Produktqualität auf dem additiven Fertigungssystem Freeformer. Das Zielsystem beim Projektpartner Heller umfasst ein Fräsbearbeitungszentrum mitsamt Werkzeugen und dem Werkstück, dessen Nachbearbeitungszeiten und Ausschuss durch KI reduziert werden sollen.

Das auf drei Jahre angesetzte Projekt läuft seit Juni 2021 und hat ein Gesamtfördervolumen von ca. 2 Mio. €.



**Ansprechpartner am wbk:**  
Johannes Brand, M.Sc.  
Telefon: +49 1523 9502565  
johannes.brand@kit.edu

Forschungsprojekt MAP

## Entwicklung und Erprobung einer hochdrehzahlfesten Reluktanzmaschine

### Ziel des Vorhabens

Selten-Erd-Metalle werden als Grundbestandteil von Permanentmagneten für hocheffiziente Traktionsmotoren in elektrischen Fahrzeugen benötigt. Aufgrund begrenzter globaler Reserven und daraus resultierender Rohstoffabhängigkeiten können Alternativen einen wirtschaftlichen als auch ökologischen Vorteil darstellen. Die Synchron-Reluktanzmaschine (SynRM) bietet in diesem Zusammenhang großes Potential, da sie im Rotor prinzipbedingt weder Magnetwerkstoffe noch Kupfer benötigt. In Rahmen des InnovationsCampus Mobilität der Zukunft geförderten Projekts *FerRoMob* galt es, die typischerweise geringe Leistungsdichte der SynRM mit einem faserverstärkten Hochdrehzahl-Design zu steigern, um den Einsatz in Mobilitätsanwendungen zu ermöglichen.

### Vorgehensweise

In Zusammenarbeit mit dem Institut für Elektrische Energiewandlung (IEW, Universität Stuttgart) wurden zunächst bestehende Ansätze für SynRM mit

hoher Leistungsdichte untersucht und ein eigenes Rotordesign entwickelt. Dieses wurde unter Einbeziehung von fertigungstechnischen Restriktionen iterativ elektromagnetisch und mechanisch durch den Einsatz von Finite-Elemente-Methoden optimiert.

Ziel der Optimierung war es, elektromagnetische Eigenschaften einer industriellen Referenzgeometrie einzuhalten – während gleichzeitig die Drehzahlfestigkeit gesteigert wurde. Für die neuartigen Verstärkungselemente wurde ein Fertigungsverfahren entwickelt, welches mechanisch und elektromagnetisch anhand von Zugproben und Ringkernproben validiert wurde. Abschließend wurde ein Prototyp aufgebaut, der die mechanische und elektromagnetische Validierung des Gesamtkonzepts anhand eines Berstversuchs und des Betriebs auf einem Leistungsprüfstand ermöglichte.

### Ergebnisse

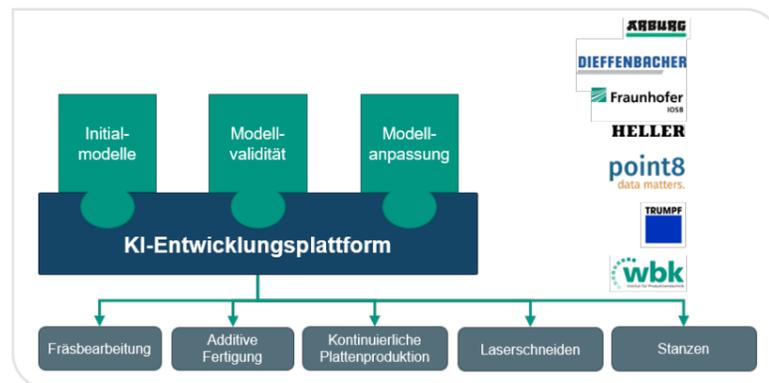
Durch die Optimierung von Anzahl, Orientierung und Geometrie der CFK-Verstärkungselemente konnte die Drehzahlfestigkeit deutlich gesteigert werden – ohne die elektromagnetischen Eigenschaften negativ zu beeinflussen. Im Berstversuch eines Blechpakets trat ein Versagen erst bei 15.500 U/min auf, was einer Umfangsgeschwindigkeit von über 130 m/s entspricht. Die Verstärkungsstrukturen wurden dabei nicht beschädigt, sondern ausschließlich das Blechmaterial. Aufgrund der erfolgreichen Validierung der Verstärkungselemente bietet es sich an, deren Einsatzmöglichkeiten in weiteren Maschinenkonzepten zu bewerten. Zudem konnte am Leistungsprüfstand ein leicht gesteigertes Induktivitätsverhältnis erreicht werden, was insbesondere bei hohen Drehzahlen ein erhöhtes Drehmoment ermöglicht. ■



Prototyp einer hochdrehzahlfesten Reluktanzmaschine mit CFK-Verstärkungselementen (Foto: wbk/IEW)



**Ansprechpartner am wbk:**  
Markus Heim, M.Sc.  
Telefon: +49 1523 9502661  
markus.heim@kit.edu



Konzeptioneller Ansatz des Projekts (Foto: wbk)



Forschungsbereich

## Produktionssysteme (PRO)



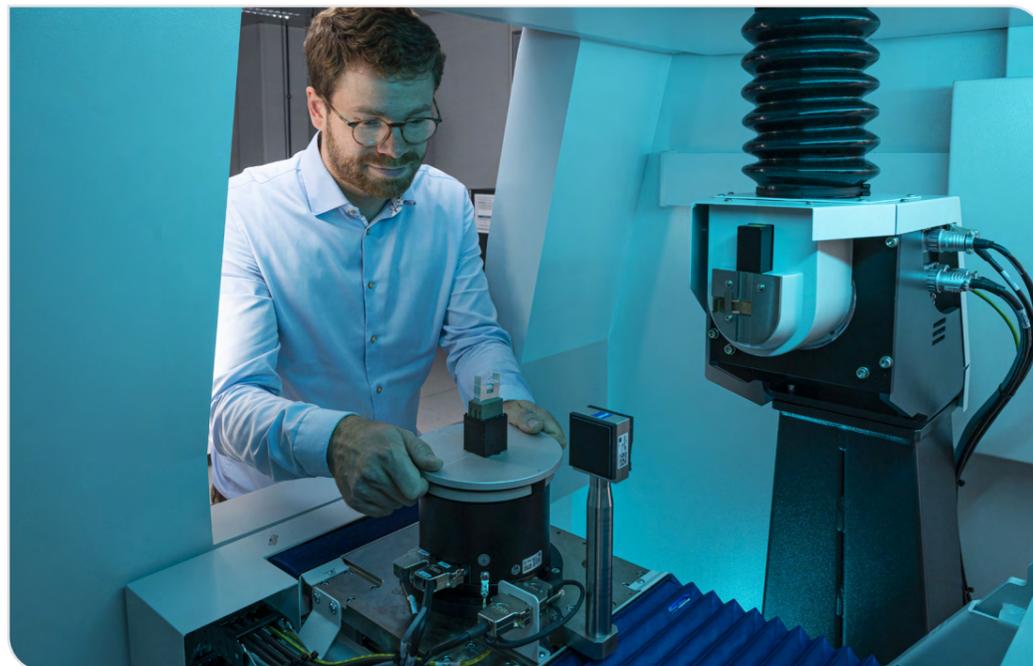
Ansprechpartnerin am wbk:  
Institutsleiterin (PRO)  
Prof. Dr.-Ing. Gisela Lanza  
gisela.lanza@kit.edu

Heutige industrielle Produktion zeichnet sich durch einen hohen Grad an Individualisierung und zunehmender Volatilität hinsichtlich der zu produzierenden Produkte aus. Dies hat zur Folge, dass Produktionssysteme, wie auch die Intralogistik als integraler Bestandteil, hohe Anforderungen an die Flexibilität und Wandlungsfähigkeit haben. Der Forschungsbereich Produktionssysteme (PRO) am wbk Institut für Produktionstechnik betrachtet Ansätze zum Planen, Bewerten und Regeln der Produktion von morgen, das heißt: agile Produktionssysteme mit robusten Prozessen in einer globalen, digitalisierten Produktionsumgebung.

Die besondere Herausforderung besteht heute vor allem darin, in sich schnell verändernden Märkten und unter turbulenten Bedingungen wirtschaftlich zu agieren. Gerade in der industriellen Produktion ist diese Herausforderung aktuell aufgrund der Pandemie, der Transformation zu neuen Mobilitätskonzepten oder Lieferengpässen von Computchips deutlich zu erkennen.

Eine wesentliche Zielsetzung von Industrie 4.0 ist dabei, hochwandlungsfähige Produktionssysteme zu befähigen. Die Wandlungsfähigkeit bezieht sich dabei auf die Stückzahl und den Variantenreichtum der zu fertigenden Produkte sowie die dazu not-

wendigen Prozesstechnologien. Eine konsequente Umsetzung derartiger Wandlungsfähigkeit über die gesamte Zulieferkette ermöglicht auch eine schnellere Einführung neuer Produkte. So ist ein Forschungsziel, schon bei kleineren Losgrößen eine wirtschaftliche Automatisierung sowie wandlungsfähige Produktion über die gesamte Zulieferkette hinweg zu ermöglichen. Um dies zu erreichen, sind Produktionssysteme hardwareseitig oft bereits modular gestaltet und können bei Bedarf mechanisch umgebaut werden. In der zugehörigen Software wird dies jedoch bisher starr abgebildet und erlaubt daher nur eine eingeschränkte Flexibilität und keine echte Wandelbarkeit. Sämtliche Softwareänderungen aufgrund von Fehlern, Defekten und insbesondere der Schaffung von Mehrwertdiensten zu neuen Fertigungsprozessen sowie Personalunterstützung, Regelungsmethoden, Optimierungsverfahren, Methoden der Künstlichen Intelligenz (KI), und so weiter sind daher zeitaufwendig und wenn überhaupt nur eingeschränkt durchführbar. Die Entwicklung von Software stellt inzwischen den Hauptkosten- und -risikofaktor für viele Unternehmen dar und der Softwareanteil in der Wertschöpfung nimmt stetig zu. Das Ziel der Forschung am wbk ist es somit, daraus einen entscheidenden Wettbewerbsvorteil zu schaffen.

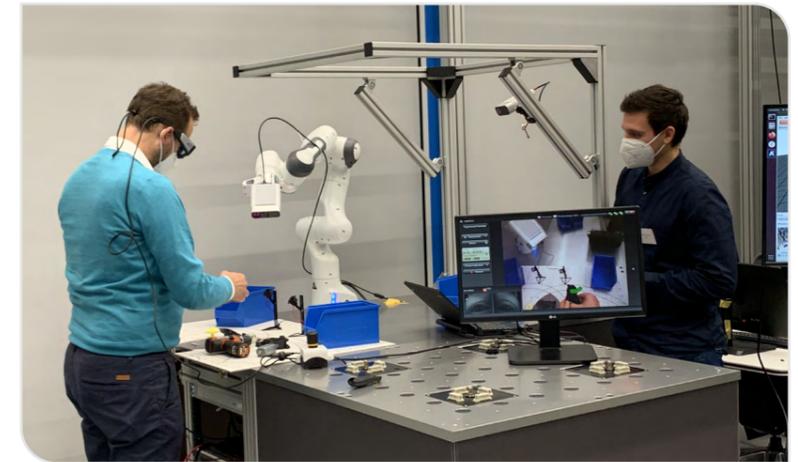


Optimierung von Bildqualitätsparameter zur Anwenderunterstützung in der industriellen Computertomographie (Foto: wbk)

Darüber hinaus befasst sich die PRO intensiv mit dem Remanufacturing, also der Wiederaufarbeitung von Altteilen sowie mit weiteren Aspekten einer nachhaltigen Produktion, wie der Reduzierung von Ausschuss und des Ressourcenbedarfs für die Produktion. Zur gezielten Anpassung globaler Produktionsnetzwerke werden Methoden zur Planung des „Global Footprint“ entwickelt und alternative und resiliente Migrationspfade untersucht. Im Bereich der Qualitätssicherung wird an der Befundung von Rückläufern geforscht, wozu insbesondere KI-Verfahren in Kombination mit optischen Messsystemen zum Einsatz kommen. Zuletzt stellt die Demontage besondere Herausforderungen an die Produktionsplanung und -steuerung, da bspw. Demontagevorranggraphen sich von den gängigen Montagevorranggraphen unterscheiden. Zudem liegt ein divergierender Materialfluss vor.

Ein weiterer Fokus liegt auf der Technologievorausschau unreifer Fertigungstechnologien, wie etwa additiver Verfahren, sowie Entscheidungsunterstützungssystemen, welche das gezielte Produkt-Produktions-Codesign unterstützen. Hierzu hat in diesem Jahr die erste Karlsruher Tagung stattgefunden.

Zur Beherrschung höchster Prozessqualität besonders bei unreifen Fertigungsprozessen, zum Beispiel zur Herstellung von Faserverbundbauteilen, Batterie und Brennstoffzellen sowie additiv gefertigten Bauteilen, beschäftigt sich das Institut



Demonstration der Methoden zur Erfassung der menschlichen Demontagehandlungen (Foto: wbk)

intensiv mit der Entwicklung prozessnaher und -integrierter Messtechnik. Damit können früh im Fertigungsprozess eventuell fehlerhafte Bauteile erkannt und entsprechende Maßnahmen (z.B. Anpassung der Prozessparameter) umgesetzt werden. Als Messtechniken kommen dabei verschiedene Sensoren, wie Mikrofone oder Kameras, zum Einsatz. Vielversprechend für die Verbesserung der Messtechnik sind dabei das Prinzip der Datenfusion unterschiedlicher Sensoren und die Integration von Vorwissen in die automatisierte Messdatenauswertung. Die gewonnenen Messergebnisse werden genutzt, um intelligente Qualitätsregelkreise umzusetzen und die Wirtschaftlichkeit und Ressourcenschonung der Prozesse zu erhöhen. ■



Digitale Assistenzsysteme zur Planung und Optimierung von variantenreichen Serienfertigung in der Lernfabrik Globale Produktion (Foto: wbk)

Forschungsprojekt PRO

## Produktionsprozesse, wie die Elektrolyseurfertigung, wirtschaftlich gestalten

### Ziel des Vorhabens

Bei der Herstellung von Elektrolyseuren handelt es sich um hochintegrierte und mitunter unreife Produktionsprozesse. Diese Prozesse gehen mit der Herausforderung einher, dass das Produktionsergebnis, d.h. die Funktion und die Qualität des Endprodukts, erst am Ende eines langen und ressourcenaufwendigen Prozesses bekannt ist. Dies birgt die Gefahr, dass Wertschöpfung an fehlerhaften (Zwischen-) Produkten betrieben wird. Dadurch wird die flexible Umstellung der Produktion auf unterschiedliche Materialien, Formate oder im Allgemeinen auf Produkte mit großer Variantenvielfalt erschwert, obwohl sie vom Markt gefordert wird. Insbesondere bei der Fertigung von neuen, noch wenig untersuchten Produkten, wie Elektrolyseuren, kann dabei nicht auf Erfahrungswissen zurückgegriffen werden.

### Vorgehensweise

Um dieser Herausforderung zu begegnen und Produktionsprozesse, wie den der Elektrolyseurfertigung, wirtschaftlicher zu gestalten, sind Qualitätssicherungsstrategien notwendig, die das Produktionsergebnis auf Basis der Beurteilung von Zwischenprodukten zulassen. Zentrales Ziel dieses Vorhabens ist daher die Entwicklung von Quali-

täts-Eigenschafts-Beziehungen zwischen dem fertigen Produkt „Elektrolyseur“ und den verbauten Zwischenprodukten. Hierzu ist in einem ersten Schritt der Zustand der Zwischenprodukte möglichst ganzheitlich mit entsprechender Messtechnik zu erfassen. Auf Basis dieser Datengrundlage wird es möglich sein mittels einer datengetriebenen Modellbildung die Funktion des montierten Endbauteils mit relevanten Qualitätsparametern der Zwischenprodukte zu verknüpfen. Die Herausforderungen bei dieser Vorgehensweise liegen in der Identifikation geeigneter Messtechnik, Qualitätsparameter und der Generierung der Datenbasis für die datengetriebene Modellbildung. Im Projekt soll das entwickelte Vorgehen am Beispiel der Fertigung von Elektrolyseuren validiert werden.

### Ergebnisse

Zentrale Ergebnisse des Projekts sind Generalisierung von Qualitäts-Eigenschafts-Beziehungen sowie Messtechnik, sodass die entwickelte Qualitätssicherungsstrategie technologieunabhängig auf ähnliche Produkte übertragbar ist. Hierbei meint ähnliche Produkte sowohl die Übertragbarkeit auf die betrachteten Elektrolyseure (AEL, HTEL, PEMEL) als auch auf andere Branchen (z.B. Brennstoff- oder Batteriezellfertigung). ■



Elektrolyseure ermöglichen die Energiewende der Zukunft, wir helfen dabei sie effizient und robust herzustellen (Foto: Adobe Stock, Malp)

Forschungsprojekt PRO

## Menschorientierte Gestaltung komplexer System of Systems (MoSyS)

### Ziel des Vorhabens

Aufgrund der immer größeren Produktvielfalt und zunehmend komplexen Systeme steigen die Anforderungen an produzierende Unternehmen besonders hinsichtlich Flexibilität und Wandlungsfähigkeit. In der Folge sind bisherige Ansätze der Produktionssystemplanung zu hinterfragen. Darüber hinaus lassen sich mit dem Einzug der Industrie 4.0 neue Methoden zur Optimierung von Produktionsabläufen erarbeiten.

Das Ziel des Projekts MoSyS ist es, neue Methoden, Hilfsmittel und IT-Werkzeuge zu entwickeln, um technische Systeme und die zugehörigen Wertschöpfungssysteme als Elemente sogenannter komplexer System of Systems zu gestalten. Des Weiteren werden Leitfäden zur Unterstützung der Unternehmen im Wandel zu einer neuen digitalen und kollaborativen Arbeitsumgebung erstellt. Hierbei werden alle an der Entstehung beteiligten Bereiche einbezogen und es werden Aspekte einer fachdisziplinübergreifenden Zusammenarbeit berücksichtigt. Das Ziel ist die Realisierung eines integrierten Produkt-Produktions-Codesign.

### Vorgehensweise

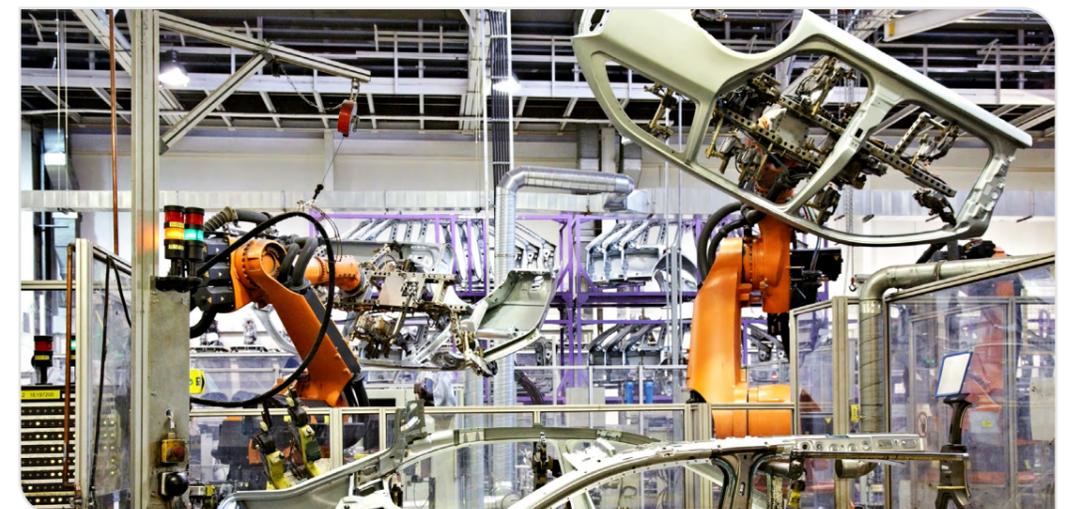
Im Rahmen des Projekts, dessen Konsortium insgesamt 18 Partner aus Industrie und Wissenschaft sowie eine Vielzahl an Use Cases umfasst, konkretisiert sich die Zusammenarbeit zwischen dem wbk Institut für Produktionstechnik am Karlsruher Institut für Technologie (KIT) und einem Anwendungspartner aus der Automobilzulieferindustrie auf einen Anwendungsfall der Generierung einer optimalen Operationsreihenfolge (OP-Folge) bei der Erzeugung von Schweißnähten.

Die OP-Folge muss bei jeder neuen Produktvariante an deren spezifische Anforderungen angepasst werden und soll direkt aus der vorhandenen, dreidimensionalen Produktbeschreibung (CAD-Dateien) abgeleitet werden. Um mög-

lichst genaue Ergebnisse generieren zu können, ist es notwendig in einem ersten Schritt alle produktionsrelevanten Produkteigenschaften und deren Zusammenhänge zur Prozessfolge in einem sogenannten Referenzmodell, welches als Wissensbasis dient, abzubilden und zu analysieren.

Die Konstruktionsdaten einer neuen, zu betrachtenden Produktvariante werden vom Kunden (OEM) geliefert und enthalten meist noch keine explizit modellierten Schweißverbindungen. Im weiteren Verlauf soll daher mittels einer Feature-basierten Ähnlichkeitsbestimmung zwischen der neuen Baugruppe und dem Referenzmodell eine Bauteilidentifikation und Bestimmung der für die Produktionssystemplanung relevanten Parameter der Schweißverbindungen erfolgen. Das Referenzmodell formalisiert dabei das gesamte Wissen der historischen Produktvarianten und deren Produktionssysteme. Aus den Ergebnissen dieses Abgleichs soll die optimale Montagefolge für die Schweißoperationen der neuen Produktvariante unter gleichzeitiger Minimierung der Durchlaufzeit abgeleitet werden.

Durch den Einsatz dieses Vorgehens kann implizit vorhandenes, historisches Wissen formalisiert und in der Produktionssystemplanung eingesetzt werden. Gleichzeitig wird der Aufwand für den Entwurf des Produktionssystems gesenkt und somit Kosten und Zeit in der Entwicklung eingespart, um den Anforderungen nach Flexibilität und Wandlungsfähigkeit zu begegnen. ■



Exemplarisch: Hochautomatisierte Schweißfertigung im Automobilbau (Foto: Nataliya Hora, Fotolia)



Ansprechpartner am wbk:  
Fabian Sasse, M.Sc.  
Telefon: +49 1523 9502654  
fabian.sasse@kit.edu



Ansprechpartner am wbk:  
Louis Schäfer, M.Sc.  
Telefon: +49 1523 9502570  
louis.schaefer@kit.edu



## Forschungsschwerpunkt Leichtbaufertigung



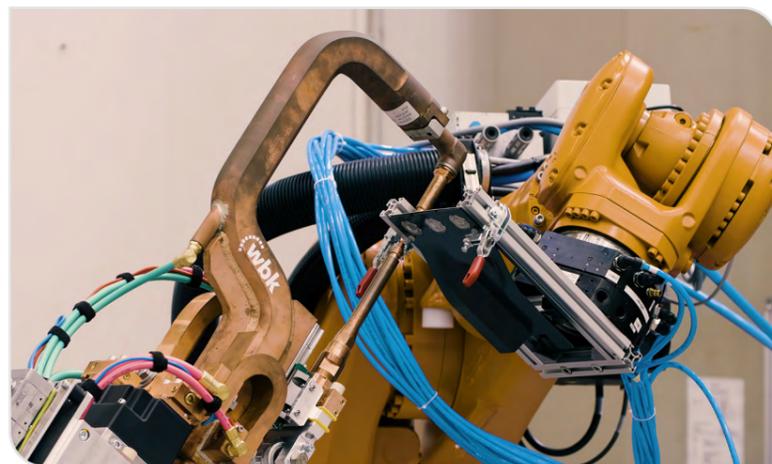
**Ansprechpartner am wbk:**  
Marco Friedmann, M.Sc.  
Telefon: +49 1523 9502574  
marco.friedmann@kit.edu

In Zeiten des Klimawandels rückt die Nachfrage nach nachhaltigen sowie energieeffizienten Produkten immer weiter in den gesellschaftlichen Mittelpunkt. Durch ein steigendes Umweltbewusstsein der Kunden und dem damit steigenden Bedarf an umweltfreundlichen Produkten, rückt der Leichtbau als Schlüsseltechnologie stärker in den Fokus von Forschung und Entwicklung. Hierdurch ergeben sich neue Herausforderungen für die Produktion von morgen, welche am wbk Institut für Produktionstechnik im Forschungsschwerpunkt Leichtbaufertigung adressiert werden. Im Fokus steht dabei die Entwicklung anforderungsgerechter Produktionstechnologien für neuentwickelte Materialien und Konstruktionsweisen mit hohem Leichtbaupotenzial. Dabei soll der Sprung von

einer im Labor entwickelten neuen Technologie hin zu einer automatisierten und wirtschaftlichen Herstellung von Leichtbauprodukten in einer angepassten Serienfertigung erreicht werden. Zudem werden bereits etablierte Fertigungsverfahren automatisiert und durch Modularisierungsstrategien flexibilisiert, um diese in einer Serienfertigung auch bei einer steigenden Variantenvielfalt wirtschaftlich einsetzen zu können. Der Forschungsschwerpunkt beschäftigt sich mit Forschungsfragen in den Bereichen „faserverstärkte Kunststoffe“ und „hybride Strukturen“. In diesen Bereichen werden Themen der Prozessentwicklung und -automatisierung, Qualitätssicherung und Nachbearbeitung erforscht. Hierzu stehen zahlreiche Maschinen und Anlagen zur Verfügung, damit industrierelevante Herausforderungen anwendungsnah erforscht und in vorhandene automatisierte Prozessketten eingebunden werden können. Der Fokus im Bereich der faserverstärkten Kunststoffe liegt unter anderem auf der Erforschung neuer, unreifer Fertigungsverfahren, wie beispielsweise dem Faserblasverfahren zur Nutzung von Recyclingfasern, dem Fügwickelverfahren und dem Schleuderverfahren. Dazu zählen auch die durchgängige Automatisierung und Modularisierung solcher Prozessketten. Die Entwicklung intelligenter Komponenten und die Aufnahme von Prozessdaten ermöglichen zudem den Einsatz maschineller Lernverfahren, um Zusammenhänge in den Prozessen zu identifizieren. Damit wird kontinuierlich das Prozessverständnis verbessert und die Bauteilqualität gesteigert. Hierbei liegen die Schwerpunkte auf der Regelung komplexer Fertigungsprozesse, Integration von Inline-Qualitätssicherungssystemen sowie in der schädigungsarmen Nachbearbeitung durch optimierte Prozessstrategien und Werkzeugtechnologien. Die gewonnenen Erkenntnisse fließen in die Entwicklung angepasster Leichtbautechnologien zur Herstellung hybrider Strukturen ein. Schwerpunkt dabei ist die intrinsische Hybridisierung, die es ermöglicht, unterschiedliche Materialien und Funktionen optimal zu kombinieren. Beispiele sind das lastpfadgerechte Einbringen von Endlosfasern im Laser-Sinterprozess, das die mechanischen Eigenschaften der Bauteile steigert und damit ganz neue Potenziale für deren Anwendung ermöglicht. Um die Wirtschaftlichkeit dieser innovativen Produkte zu steigern, werden neue Verbindungstechnologien, roboterbasierte Automatisierungslösungen, angepasste Bearbeitungsstrategien sowie Qualitätssicherungskonzepte entwickelt. ■



Erweiterung des Arburg Kunststoff Freiformen mit der Möglichkeit zur Integration von Endlosfasern (Foto: Robert Fuge)



Untersuchung und Optimierung des Punktschweißverfahrens zur Anbindung von Bauteilen aus faserverstärkten Kunststoffen mit metallischen Inserts (Foto: Robert Fuge)

## Forschungsprojekt Leichtbaufertigung

### Additive Herstellung endlosfaserverstärkter Kunststoffbauteile mit dem Laser-Sinterprozess

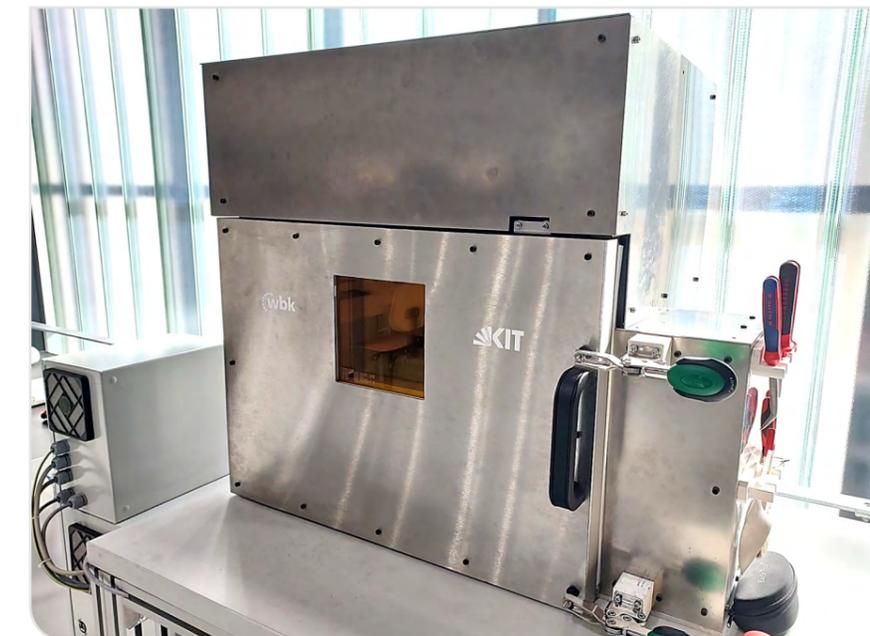
#### Ziel des Vorhabens

Eine signifikante Herausforderung für produzierende Unternehmen ist, neben der Nachfrage nach kostengünstigen und ressourcenschonenden Produkten, der durch die Globalisierung und Digitalisierung getriebene Trend an Individualisierung und kürzerer Verfügbarkeit von Konsumgütern. Ein vielversprechender Lösungsansatz zur werkzeuglosen sowie zeiteffizienten Herstellung von Bauteilen mit hohem Individualisierungs- und Komplexitätsgrad bieten additive Fertigungsverfahren. Unter den additiven Fertigungsverfahren für Kunststoffe hat sich insbesondere das Laser-Sintern (LS) im industriellen Umfeld etabliert, da das Verfahren die Herstellung von Bauteilen mit hohem Komplexitätsgrad erlaubt und im Vergleich zu den anderen additiven Kunststoffverfahren belastbarere sowie langzeitstabilere Funktionskomponenten hergestellt werden können. Zur weiteren Ausschöpfung der charakteristischen Vorteile dieses Prozesses wurde im Rahmen des Projekts „FiberAdd“ am wbk Institut für Produktionstechnik ein neuartiger Laser-Sinterprozess entwickelt, mit dem es möglich ist, Endlosfasern lastpfadgerecht in das zu fertigende Bauteil einzubringen und damit das Leichtbaupotenzial der Komponenten zu steigern. Dadurch ergeben sich neue Potenziale und Anwendungsfelder für zukünftige Märkte.

#### Vorgehensweise

In einer Prozessentwicklung wurden manuelle Einbringungsmethoden von Endlosfasern in den LS-Prozess untersucht und Konzepte zur automatisierten Faserintegration erstellt sowie bewertet. Hierzu wurden wesentliche Wechselwirkungseffekte zwischen den eingebrachten Endlosfasern

aus Kohlenstoff, dem Kunststoffpulver und dem Beschichter einer kommerziellen LS-Anlage identifiziert sowie der Zeitpunkt der Fasereinbringung untersucht, um daraus Rückschlüsse für die Automatisierbarkeit der Endlosfaserintegration zu ziehen. Auf Basis der gewonnenen Erkenntnisse wurden Konzepte für eine automatisierte Fasereinbringung erarbeitet und anhand von experimentellen Versuchen bewertet. Auf Grundlage des ausgewählten Konzepts wurde am wbk eine Versuchsanlage zur Herstellung von endlosfaserverstärkten Sinterbauteilen entwickelt und wesentliche Einflussgrößen auf die Bauteilqualität identifiziert.



LS-Anlage mit Endlosfaserintegration (Foto: wbk)

#### Ergebnisse

Anhand der am wbk entwickelten Versuchsanlage konnte die technische Machbarkeit zur gezielten Integration von Endlosfasern in den Sinterprozess nachgewiesen werden. Anhand von Zugproben mit integrierter Endlos-Einzelfaser konnte bereits eine Zunahme des Elastizitätsmoduls von 84 % sowie der Zugfestigkeit von rund 18 % verzeichnet werden. Zukünftige Untersuchungen legen ihren Fokus auf ein besseres Prozessverständnis, um das Leistungspotenzial der Endlosfaserintegration im Laser-Sinterprozess aufzuzeigen. ■



LS-Bauteile mit Endlosfaser (Foto: wbk)



**Ansprechpartner am wbk:**  
Michael Baranowski, M.Sc.  
Telefon: +49 1523 9502642  
michael.baranowski@kit.edu



## Forschungsschwerpunkt Elektromobilität



**Ansprechpartner am wbk:**  
Dominik Mayer, M.Sc.  
Telefon: +49 1523 9502598  
dominik.mayer2@kit.edu

Im Forschungsschwerpunkt Elektromobilität erforscht das wbk Institut für Produktionstechnik Fertigungs- und Handhabungsprozesse zur Produktion vollelektrischer und hybrider Antriebsstränge auf Basis unreifer Technologien und etablierter industrieller Lösungen. Aus der Anwendung im Automobilbereich resultieren dabei neuartige Anforderungen an Elektromotoren sowie Energiespeicher und -wandler hinsichtlich Taktzeit, Stückkosten und Qualitätssicherung sowie Leistungs- und Energiedichte, Wirkungsgrad, Lebensdauer, Gewicht und Bauraum. Gleichzeitig sind die Produkthanforderungen, das Marktumfeld sowie die eingesetzten produkt- und produktionstechnischen Technologien hoch volatil.



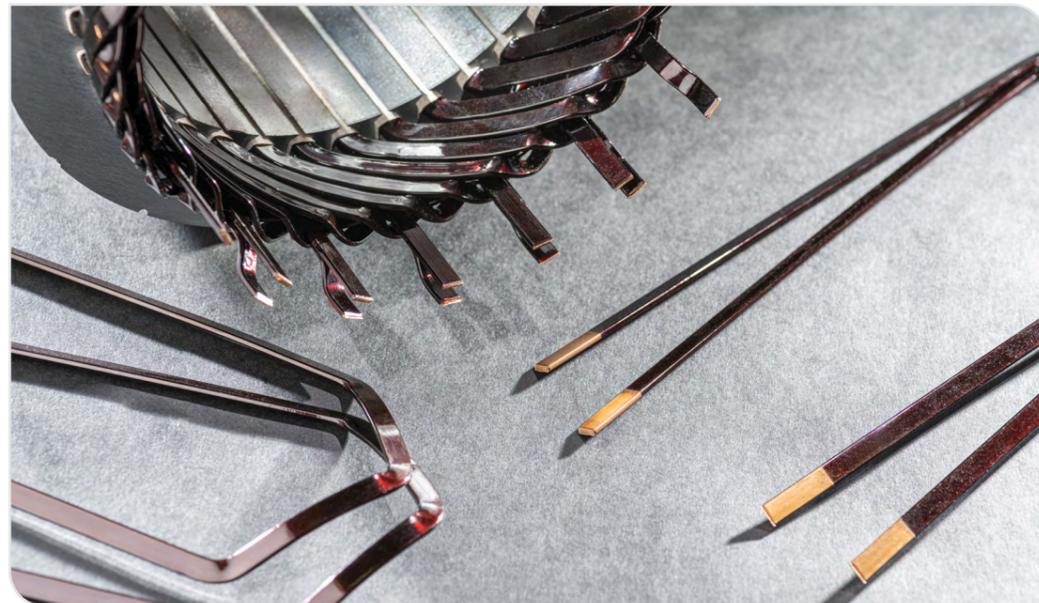
**Ansprechpartner am wbk:**  
Felix Wirth, M.Sc.  
Telefon: +49 1523 9502630  
felix.wirth@kit.edu

Im Forschungsschwerpunkt Elektromobilität besteht daher das Ziel, fähige Produktionstechnologien für die automatisierte Herstellung von Batteriezellen und Batteriemodulen sowie Brennstoffzellen und Elektromotoren in einer wirtschaftlichen und wandlungsfähigen Serienfertigung zu entwickeln. Dabei soll mittels seriennaher Automatisierungslösungen der produktionstechnische Transfer im Labor neu entwickelter Technologien und Prozesse in die wirtschaftliche Anwendung befähigt werden. Darüber hinaus werden Simulationen entwickelt, die eine frühzeitige Einbeziehung produktionstechnischer Restriktionen in die Produktentwicklung gestatten.

Im Bereich der Batteriezellfertigung werden gesamte Produktionssysteme format-, material- und stückzahlflexibel ausgelegt und unter Aspekten der Digitalisierung entwickelt. Im Forschungsfeld des Batteriemoduls werden dessen automatisierte Montage und Demontage sowie Verbindungstechnologien zur Kontaktierung von Batteriezellen untersucht – insbesondere unter dem Aspekt der Kreislaufwirtschaft.

Im Kontext der Brennstoffzellentechnologie befasst sich das Team des wbk neben der Fertigung der Einzelkomponenten vor allem mit flexiblen Handhabungstechnologien zur Bildung des Stacks. Zudem werden gemeinsam mit industriellen Partnern skalierbare Automatisierungskonzepte entwickelt, um agil auf Ramp-up-Prozesse reagieren zu können.

Die systematische Weiterentwicklung und der Aufbau eines ganzheitlichen Prozessverständnisses der Fertigungs- und Montagetechnologien für hocheffiziente Stator- und Rotoren sind Schwerpunkte der Produktionstechnologieentwicklung für den Elektromotor. Hier gilt es, klassische Produktionslösungen zu optimieren und neue Technologien sowie Prozessketten zu entwickeln. Vor diesem Hintergrund wird am wbk im Kontext der Statorfertigung sowohl mit der Runddraht- als auch mit der Flachdrahttechnologie gearbeitet. Im Bereich der Rotorproduktion stehen modellgestützte Montagetechnologien im Fokus der Forschungsarbeiten.



Stator mit hocheffizienter Hairpin-Wicklung aus lackisoliertem Kupferflachdraht (Foto: Markus Breig, KIT)

Darüber hinaus werden verschiedenste Themen der Qualitätssicherung und Wandlungsfähigkeit entlang der gesamten Wertschöpfungskette des elektrischen Antriebsstrangs am wbk erforscht. Somit werden im Forschungsschwerpunkt die produktionstechnischen Herausforderungen der Grundelemente des elektrifizierten Antriebsstrangs ganzheitlich adressiert – von der Lieferkette über die Produktion bis hin zur Demontage.

## Forschungsprojekt Elektromobilität

### **KliMEA – Klimaadaptive und modellgestützte Membrane-Electrode-Assembly-Fertigung**

#### Ziel des Vorhabens

Als Klimaschutzmaßnahmen sollen die im PKW-Bereich bereits eingeführten CO<sub>2</sub>-Flottengrenzwerte auch auf schwere Nutzfahrzeuge ausgedehnt werden. Hierfür zeichnet sich die Brennstoffzellentechnologie insbesondere durch die höhere gravimetrische Energiedichte im Vergleich zur Batteriezelle aus. Das Herzstück einer Polymerelektrolytmembran-Brennstoffzelle, die Polymerelektrolytmembran, hat die Aufgabe, den anodenseitigen Wasserstoff und kathodenseitigen Sauerstoff zu trennen und die Wasserstoff-Ionen zu transportieren. Aufgrund des hygroskopischen Materialverhaltens der Membran werden dimensionale Änderungen der Membran bei Temperatur- und Luftfeuchtigkeitsschwankungen verursacht, was während der Montage zu einer sogenannten Membrane-Electrode-Assembly (MEA) zu inneren Spannungen oder Maßabweichungen führen kann. Üblicherweise wird daher die gesamte Raumluft in der MEA-Fertigung mit konstanter Temperatur und Luftfeuchtigkeit konditioniert. Dieses großflächige Klimatisierungskonzept verursacht zum einen langfristigen Planungshorizont, zum anderen hohe Anschaffungs- und Betriebskosten. Ziel des Forschungsprojekts *KliMEA* ist die Entwicklung und Auslegung eines lokal angepassten Microenvironment-Konzepts. Die bedarfsgerechte und lokale Konditionierung kann die Menge der zu konditionierenden Luft reduzieren und dadurch Energiekosten verringern.

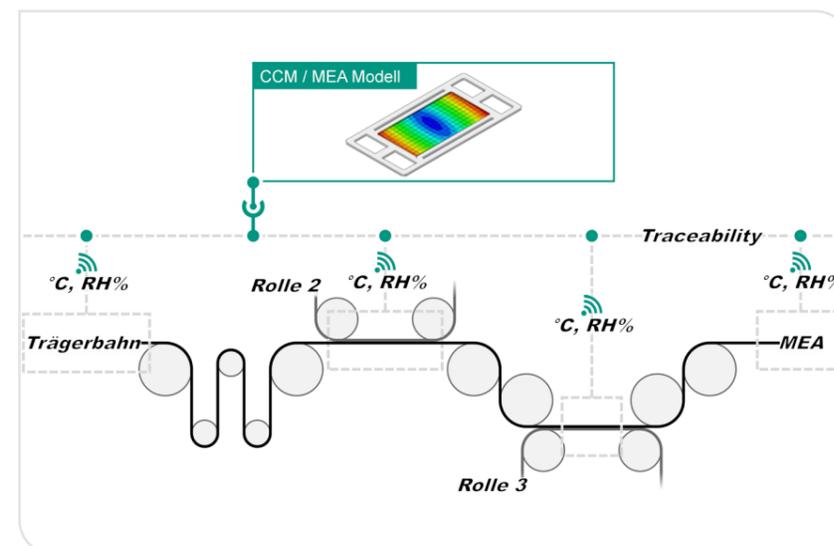
#### Vorgehensweise

In Zusammenarbeit mit dem Projektpartner Thin Film Technology (TFT) am Karlsruher Institut für Technologie (KIT) und dem assoziierten Partner cellcentric wird zunächst die Feuchtigkeitsaufnahme und -abgabe der katalysator-beschichteten Membran durch Sorptionsmessungen untersucht. Die ermittelten Ergebnisse und das dadurch entwickelte Materialmodell dienen als Grundlage für weitere Simulationsmodelle. Mit Hilfe der FEM-Simulation werden die Wechselwirkungen zwischen Material und Produktionsprozess in verschiedenen Produktionsschritten erforscht und daraus eine lokale Konditionierungsstrategie entwickelt. Anschließend wird eine geeignete In-Line-Messtechnik zur Prozessüberwachung und Charakterisierung qualitätskritischer Produkteigenschaften abgeleitet.

#### Ergebnisse

In der ersten Phase des Projekts wurde zunächst auf Basis einer Literatur- und Prozessanalyse der für das Vorhaben relevante Temperatur- und Luftfeuchtigkeitsbereich spezifiziert und eine entsprechende Klimazelle beschafft und in Betrieb genommen. Die Klimazelle dient im weiteren Projektverlauf dazu, spezifischen Materialkennwerte experimentell zu ermitteln und das Materialmodell unter verschiedenen Konditionierungsstrategien zu validieren. Mit Hilfe der Finite-Elemente-Methode wurde das erste MEA-Modell in diskreten Produktionsschritten modelliert und mit einem statistischen Versuchsplan

simuliert. Die experimentelle Validierung und Verfeinerung der Parametereinstellung wird in der nächsten Phase durchgeführt. ■



Schematische Darstellung des MEA-Fertigungsprozesses und des Bezugs zur FEM-Simulation (Foto: wbk)



**Ansprechpartner am wbk:**  
Jens Schäfer, M.Sc.  
Telefon: +49 1523 9502613  
jens.schaefer@kit.edu



**Ansprechpartnerin am wbk:**  
Ling Ma, M.Sc.  
Telefon: +49 173 4216331  
ling.ma@kit.edu



Forschungsschwerpunkt

## Additive Fertigung



**Ansprechpartner am wbk:**  
Dr.-Ing. Frederik Zanger  
Telefon: +49 1523 9502633  
frederik.zanger@kit.edu

Für produzierende Unternehmen ist die effiziente und rasche Umsetzung innovativer Technologien ein entscheidender Wettbewerbsvorteil. Additive Fertigungsverfahren bieten hierbei ein besonders großes Potenzial, da sie im Vergleich zu herkömmlichen Fertigungsprozessen nahezu unbegrenzte Designfreiheit erlauben. Aus diesem Grund unterliegt die Branche der additiven Fertigung einem starken Wachstum mit immer neuen Anwendungsbereichen, woraus für die additiven Fertigungsverfahren kontinuierlich mehr Herausforderungen entstehen. Diese liegen seitens der Produktionstechnik vor allem in der Integration bestehender und neuer Prozessketten, sowie der eingeschränkten Materialauswahl und in langen Prozesszeiten. Im Forschungsschwerpunkt Additive Fertigung werden die Kompetenzen der drei Forschungsbereiche am wbk Institut für Produktionstechnik synergetisch zur ganzheitlichen Betrachtung der additiven Fertigung kombiniert. Gemeinsam mit starken Industrie- und Forschungspartnern reichen die Untersuchungen von der Materialentwicklung bis hin zu Themen der Potenzialvalidierung additiver Verfahren für die Serienproduktion. Dabei spielen die Betrachtung vollständiger Prozessketten sowie die Qualitätssicherung additiv hergestellter Bauteile eine wesentliche Rolle. Der Forschungsschwerpunkt Additive Fertigung konnte durch dieses breite Kompetenzspektrum und die

immer stärkere Präsenz der additiven Fertigungsverfahren stark profitieren.

In den im Forschungsschwerpunkt laufenden Projekten wird die additive Bearbeitung unterschiedlichster Werkstoffe und der dazugehörigen Verfahren untersucht. Im Bereich der Polymere werden das Materialextrusionsverfahren (MEX) Arburg-Kunststoff-Freiformen und das pulverbettbasierte Schmelzverfahren (PBF) Selektives Lasersintern weiterentwickelt. Größte Anwendung findet aktuell das Verfahren Powder Bed Fusion – Laser Beam (PBF-LB) zur pulverbettbasierten Verarbeitung von Metallen. Keramiken werden mittels badbasier-

ter Photopolymerisation (vat photopolymerisation VPP) mit anschließendem Sinterprozess verarbeitet.

Im Bereich der Polymere werden unter anderem Themen der lokalen Fasereinbringung in unterschiedlichen additiven Prozessen untersucht, um die mechanischen Eigenschaften zielgerichtet und individuell beeinflussen zu können. Für Untersuchungen der Materialhybridisierung von Kunststoff und Metall wird eine Anlage entwickelt, auf welcher die Fertigung von Kunststoff auf Metall sowie von Metall auf Kunststoff mit dem PBF-LB Verfahren betrachtet wird. Das PBF-LB-Verfahren von Metall wird aus zwei Gesichtspunkten betrachtet. Einerseits werden der Einfluss der Prozessstellgrößen auf die Werkstoffeigenschaften der unterschiedlichen Materialien und die zerspanende Nachbearbeitung untersucht sowie Themen der Prozessüberwachung mittels neuronaler Netze entwickelt und angewendet. Die mechanismenbasierte Kenntnis von Prozess-/Materialwechselwirkungen wird dazu genutzt, lokale Bauteiloptimierungen bspw. durch das gezielte Einbringen von Poren vorzunehmen. Andererseits werden verfahrenübergreifend additive, konventionelle und hybride Prozessketten geplant und einander bewertend gegenübergestellt. Um eine robuste und durchgängige Prozesskette zur hybrid additiven Serienfertigung zu realisieren, entwickelt das wbk mit verschiedenen Verbundpartnern hardware- und softwareseitige Lösungen. Zudem erfolgt die Erforschung der technologischen Wechselwirkung bei der Verkettung von laserbasierten Fertigungsverfahren. Ziel der Forschungsarbeiten im Bereich der additiven Keramikherstellung mittels VPP-Verfahren ist die Entwicklung und Herstellung eigener Suspensionen, um weitere Werkstoffe für das Verfahren zu qualifizieren und in einer neuen Multi-Material-Anlage verschiedene Werkstoffe in einem Bauteil kombinieren zu können. Dazu ist eine ganzheitliche Betrachtung der Prozesskette notwendig. Zusätzlich soll die Funktionsintegration, insbesondere hinsichtlich elektrischer Leiterbahnen, ermöglicht werden.

Die Ansätze des Forschungsschwerpunkts Additive Fertigung liefern somit einen wesentlichen Beitrag, additive Fertigungsverfahren weiterzuentwickeln, ihre wirtschaftliche Einsetzbarkeit zu forcieren und somit die Einsatzgebiete zu erweitern sowie die Potenziale der additiven Fertigung zu heben. ■



Bedienung der VPP Anlage (Foto: Bramsiepe, KIT)

Forschungsprojekt Additive Fertigung

## Integration von FGL-Drähten in additiv gefertigte Bauteile

Der Einsatz von Formgedächtnislegierungen (FGL) in Form von Drähten in einer Polymermatrix, kombiniert mit den neusten Methoden der additiven Fertigung, bietet ein hohes Funktionsintegrationspotential für Verbundaktoren. Neuste Innovationen in der additiven Fertigung bieten die Möglichkeit, strangförmige Verstärkungselemente, wie beispielsweise Kohlenstofffasern, kontinuierlich zu integrieren. Daher besteht das Ziel des Projekts darin, FGL-Drähte in additiv gefertigte Bauteile zu integrieren sowie prozessinduzierte Aktoreigenschaften aufzuklären. Um diese Ziele zu erreichen, arbeitet das wbk Institut für Produktionstechnik mit dem MRM Institut für Materials Resource Management der Universität Augsburg im Rahmen eines gemeinsamen, von der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG) geförderten, Projekts zusammen.

Die Herstellung von Aktoren aus einem Kunststoff-FGL Verbund erfordert als erstes die Identifikation geeigneter Materialkombinationen. Bei diesen müssen sich die Eigenschaften der Materialpartner so ergänzen, dass eine optimale Aktorfunktion gegeben ist. Dazu werden die Prozessparameter für die Verarbeitung verschiedener Polymere auf dem Arburg Freeformer optimiert und die Eigenschaften gedruckter Bauteile ermittelt. Anschließend werden Drähte aus Formgedächtnislegierung eingedruckt und die Kunststoff-FGL Verbunde auf ihre Eigenschaften hin untersucht. Für die betrachteten Materialkombinationen werden dann Möglichkeiten zur Optimierung der Grenzflächen hinsichtlich ihrer mechanischen Belastbarkeit untersucht.

So soll die Leistungsfähigkeit der Aktoren über die Untersuchungen an der Schnittstelle zwischen den Werkstoffen gesteigert werden. Um die Vorteile der additiven Fertigung hinsichtlich der Gestaltungsfreiheit für die Funktion zu nutzen, müssen Aktoren hergestellt werden, in denen die Drähte auch auf ungeraden Pfaden implementiert werden können. Dazu wird ein Anlagenmodul entwickelt, welches die automatisierte Einbringung der Drähte flexibel im Bauteilquerschnitt ermöglicht. Um eine Grundlage für die Gestaltentwicklung eines solchen Aktors zu erzeugen, muss das Verbundverhalten verstanden und analytisch modelliert werden. Aufbauend auf diesem Verständnis wird eine Methode entwickelt, die es ermöglicht, einen optimalen Ablagepfad des Drahtes zu ermitteln. Am Ende des Projekts wird ein Aktor als Demonstrator gefertigt und funktional untersucht.

Die aktuellsten Untersuchungen zeigen ein großes Potential bei der Optimierung der Grenzfläche zwischen dem Draht und dem Polymer. Dazu wurde die Oberfläche des Drahtes mit verschiedenen Verfahren (z.B. Lasergasnitrieren) behandelt und der Draht anschließend im Prozess in ein additiv gefertigtes Bauteil eingebracht. Anschließend wurden verschiedene Testverfahren wie beispielsweise Pull-Out-Versuche durchgeführt, um die Eigenschaften der Grenzflächen zu ermitteln. Aktuell betrachtet ein Team des wbk die automatisierte Integration des Drahtes und die Ermittlung der optimierten Prozessparameter im Rahmen des Projekts. ■



**Ansprechpartner am wbk:**  
Jörg Dittus, M.Sc.  
Telefon: +49 1523 9502571  
joerg.dittus@kit.edu



Erste Probe mit automatisiert eingebrachten Formgedächtnislegierungsdrähten (Foto: wbk)



## Forschungsschwerpunkt Industrie 4.0



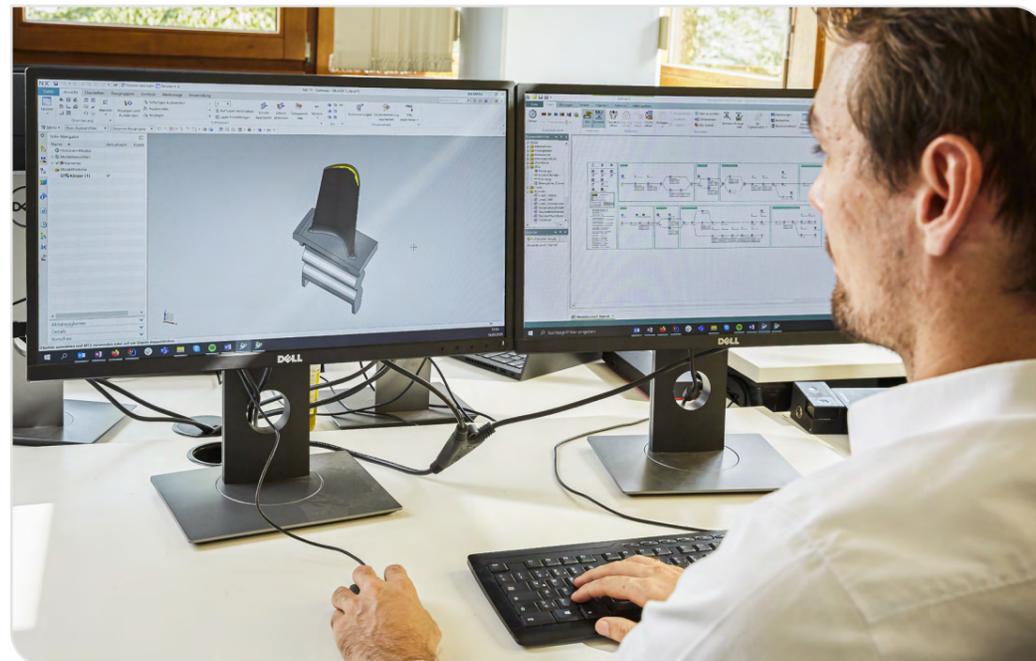
**Ansprechpartner am wbk:**  
Marvin May, M.Sc.  
Telefon: +49 1523 9502624  
marvin.may@kit.edu

Der Forschungsschwerpunkt Industrie 4.0 vereint Aktivitäten, um digitale Lösungen im Produktionskontext zu entwerfen, umzusetzen und zu nutzen. Die Aktivitäten umfassen dabei vier Anwendungsebenen: Geschäftsmodelle und Plattformen, Produktionsnetzwerke und Fabriken, Connectivity, Devices und Systeme.

Der Forschungsschwerpunkt verfolgt auf allen Ebenen das Ziel, hochwandlungsfähige und effiziente Produktionssysteme auf den Weg zu bringen. Die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler des wbk Instituts für Produktionstechnik beschäftigt dabei u.a. dass die Entwicklung von Software inzwischen den Hauptkosten- und Risikofaktor für viele Unternehmen der Automobil- und Zulieferindustrie darstellt und der Softwareanteil in der Wertschöpfung stetig zunimmt. Diesem Aspekt wurde bislang nur wenig Aufmerksamkeit geschenkt. Ein Grundproblem, warum Wandlungsfähigkeit heute nur eingeschränkt möglich ist, liegt jedoch vor allem darin, dass es keine konsequente Entkopplung (Abstraktion) zwischen dem ausführenden physischen Anteil (Hardware) der Produktionssysteme und dem steuernden Softwareanteil gibt. Auch heutige mechatronische Module sehen eine enge Kopplung zwischen Hardware und Software vor. Um Software effizient zu erstellen, sind modellgetriebene

Ansätze erforderlich. Hierzu setzt das wbk auf den konsequenten Aufbau Digitaler Zwillinge durch die Entwicklung und den Betrieb von Produktionssystemen über das Zuliefernetzwerk hinweg, welche eine Planung und wirtschaftliche Optimierung von wandlungsfähigen Produktionssystemen ermöglichen.

Darüber hinaus beschäftigt das Team des wbk die Einführung einer integrierten Vorgehensweise zwischen Produkt- und Produktionssystementwicklung im Rahmen eines Produkt-Produktions-Codesigns. Der Trend geht hin zur kundenindividuellen Fertigung mit Losgröße eins unter Massenfertigungsbedingungen. Diese extreme Dynamik stellt sowohl die Produkt- als auch die Produktionssystementwicklung vor eine enorme Herausforderung. Um dennoch agil auf den Markt reagieren zu können, muss die starke Abhängigkeit zwischen Produkt und Produktionssystem schon in der frühen Phase der Produktentstehung integriert betrachtet werden. So lassen sich wechselseitige Auswirkungen von Änderungen schon frühzeitig bewerten und gegenseitige Anforderungen sowie Randbedingungen identifizieren. Dies wird als Produkt-Produktions-Codesign bezeichnet und war zudem Thema der diesjährigen Tagung des wbk. ■



Produkt-Produktions-Codesign integriert die Produkt- und Produktionssystementwicklung und schafft so neue Potenziale (Foto: wbk)

## Forschungsprojekt Industrie 4.0

### Kompetenzzentrum *KARL* – Künstliche Intelligenz für Arbeit und Lernen in der Region Karlsruhe

#### Ziel des Vorhabens

Im Zuge der Digitalisierung erhält Künstliche Intelligenz (KI) eine neue und größere Bedeutung. Neben der Weiterentwicklung von KI als Technologie müssen auch die resultierenden Auswirkungen des Einsatzes von KI auf die menschliche Arbeit betrachtet werden. Im interdisziplinären Forschungsprojekt *KARL* sollen in den vier Anwendungsdomänen (Mobilität und autonomes Fahren, wissensintensive Dienstleistungen in Informations- und Kommunikationstechnik, produzierendes Gewerbe, Bildung) Arten der KI untersucht und Demonstratoren als physische Beispiele errichtet werden. Dabei sollen die Auswirkungen auf Mitarbeitende sowie deren Akzeptanz gegenüber der KI im Mittelpunkt stehen. Zudem sollen Aspekte wie Datenverfügbarkeit und Prozesssicherheit thematisiert sowie Lösungsansätze formuliert werden, um die Übertragbarkeit auf weitere reale Anwendungsfälle zu ermöglichen. Eine zentrale Fragestellung ist dabei, welche Aufgaben in Zukunft von Menschen und welche von KI übernommen werden können bzw. sollen und welche ethischen Rahmenbedingungen dabei zu beachten sind.

#### Vorgehensweise

In Zusammenarbeit mit Forschungs- und Industriepartnern werden die Anforderungen an die Demonstratoren definiert. Die Grundlage hierzu bieten die Inhalte, die in fünf Gestaltungsfeldern erarbeitet werden. Die Lernfabrik des wbk Instituts für Produktionstechnik wird als Lehrumgebung für das produzierende Gewerbe dienen, in welcher KI für die Anwendung in der Produktion erfahrbar gemacht werden soll. Entlang einer Montagelinie sollen mehrere Werkerassistenzsysteme integriert werden und somit die Untersuchung des KI-unterstützten soziotechnischen Produkti-

onssystems aus verschiedenen Perspektiven (z.B. arbeitswissenschaftlich, wirtschaftlich) ermöglicht werden. Analog dazu werden für weitere Domänen ebenfalls Demonstratoren errichtet. Die Ergebnisse bilden die Grundlage für eine Generalisierung und schaffen dabei Transparenz für Möglichkeiten zur menschenzentrierten Anwendung von KI in Unternehmen.

#### Ergebnisse

Neben den physischen Demonstratoren soll eine Auswahlmethodik für KI-Methoden entwickelt werden, die bereits das Aufdecken von Potenzialen in Unternehmen ermöglicht. Im Fokus stehen dabei unter anderem ein menschenzentriertes Implementierungsvorgehen, sowie die Risiken und die Wirtschaftlichkeit der KI. Zudem sollen Anforderungen an das Design für menschenzentrierte und verantwortungsvolle KI formuliert werden. Die erarbeiteten Inhalte werden über vier Jahre in einem Kompetenzzentrum absorbiert, das als erste virtuelle und physische Anlaufstelle für kleine und mittelständische Unternehmen fungiert. Das Kompetenzzentrum soll die Förderung von lokalen Kompetenzen ermöglichen und zugleich anhand von Beispielen demonstrieren, wie die Potenziale menschlicher und künstlicher Intelligenz vereint werden können. ■



**Ansprechpartnerin am wbk:**  
Julia Dvorak, M.Sc.  
Telefon: +49 1523 9502584  
julia.dvorak@kit.edu



**Ansprechpartner am wbk:**  
Magnus Kandler, M.Sc.  
Telefon: +49 1523 9502611  
magnus.kandler@kit.edu



Lernfabrik am wbk Institut für Produktionstechnik (Foto: wbk)



Forschungsschwerpunkt

## Nachhaltige Produktion



**Ansprechpartner am wbk:**  
Sina Peukert, Dr.-Ing.  
Telefon: +49 1523 9502581  
sina.peukert@kit.edu

Die Bevölkerung nimmt weltweit zu, zentrale Rohstoffe werden knapper. Auch produzierende Unternehmen müssen die Weichen für eine nachhaltige Zukunft stellen: Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler des wbk Instituts für Produktionstechnik untersuchen, wie Unternehmen etwa mit einer automatisierten Befundung, autonomer Produktionssteuerung, der Reduktion von Verschleißteilen oder den Prinzipien einer ressourcenschonenden Fertigung den Produktionsprozess verbessern können. Dieses Know-how wird im Forschungsschwerpunkt Nachhaltige Produktion gebündelt.

Untersucht wird, wie sich Produktionsprozesse vom linearen Wirtschaftsansatz zu zirkulären Ansätzen einer Kreislaufwirtschaft entwickeln lassen. Dies beinhaltet das Remanufacturing, also die Wiederaufbereitung gebrauchter Produkte, mit modularen Anlagen zur De- und Remontage, integrierter Qualitätssicherung sowie das Produktionsnetzwerk und Geschäftsmodell für die Kreislaufwirtschaft. Ein Beispiel stellt das Projekt *AgiProbot* dar.

Das EU-Kooperationsprojekt *DigiPrime* hat zur Aufgabe, ein neues Konzept einer digitalen Plattform der Kreislaufwirtschaft zu entwickeln, um Informationsasymmetrien zu reduzieren und einen wechselseitigen Informationsfluss zwischen den Akteuren eines Wertschöpfungskreislaufs zu ermöglichen. Somit lassen sich neue zirkuläre Geschäftsmodelle mit einem branchenübergreifenden Ansatz erschließen.

Ein weiteres Beispiel, wie die zunehmende Knappheit zentraler Rohstoffe adressiert werden kann, stellt das Projekt *DeMoBat* dar. Bedingt durch das wachsende Umweltbewusstsein sowie die strenger Emissionsvorschriften werden batterieelektrische Elektrofahrzeuge (BEV) immer beliebter und die Verkaufszahlen steigen. Nach dem „Lebensende“ des BEV gilt es, die verbauten Elektromotoren und Lithium-Ionen-Traktionsbatterien in ihre einzelnen Bestandteile zu zerlegen und diese der Kreislaufwirtschaft zurückzuführen oder zu recyceln. Dazu werden im Projekt Demontageprozesse für Elektromotoren und Traktionsbatterien entwickelt, mit dem Ziel, einen Beitrag zur Etablierung einer ressourceneffizienten und nachhaltigen Kreislaufwirtschaft zu leisten.

Zuletzt besteht beim Remanufacturing und Recycling von Produkten am „Lebensende“ die größte Hürde für einen wirtschaftlichen Einsatz im hohen Aufwand, die Produkte zu identifizieren und befunden. Unternehmensübergreifende Traceability-Systeme können diese Aufwände reduzieren und einen Beitrag zu nachhaltigerem, ressourcenschonendem Wirtschaften leisten. Im Rahmen von *PoTracE* werden daher Potentiale einer Produkt-Traceability, also der Nachverfolgbarkeit von Produkten, untersucht, um eine Kreislaufwirtschaft zu ermöglichen. ■



Manuelle Befundung und Demontage von gebrauchten Elektromotoren als Vorbereitung eines automatisierten Remanufacturings (Foto: wbk)

Forschungsprojekt Nachhaltige Produktion

## ReNaRe – Kreislaufwirtschaft in der Wasserstoffherstellung

### Ziel des Vorhabens

Das Verbundvorhaben *ReNaRe* (Recycling - Nachhaltige Ressourcennutzung) ist Teil der vom Bundesministerium für Bildung und Forschung geförderter Technologieplattform *H2Giga*. Als Leitprojekt verschreibt sich *H2Giga* der Entwicklung serieller Produktion von Elektrolyseuren. Mittels Elektrolyse lässt sich durch Einsatz regenerativer Energien klimaneutral Wasserstoff herstellen. Um Deutschlands steigenden Bedarf an grünem Wasserstoff decken zu können, braucht es leistungsfähige und kostengünstige Elektrolyseure. So sollen effiziente Produktionsverfahren entwickelt werden, die auch das Recycling berücksichtigen, da diese heute größtenteils in Handarbeit stattfinden. Ziel von *ReNaRe* ist es daher, eine Technologie bereitzustellen, welche die Stoffkreisläufe der in industriellen Elektrolyseuren verbauten kritischen Rohstoffe schließt. Somit soll die Kreislauffähigkeit von Elektrolyseuren erhöht werden. Hierfür soll ein geeignetes Prozessschema erarbeitet werden, das ein Recycling im technischen Maßstab ermöglicht. Das wbk Institut für Produktionstechnik erforscht dabei in einem Teilprojekt die automatisierte Demontage von Elektrolyseur-Stacks, die auf ein Auflösen der Fügeverbindungen durch trennende Verfahren sowie ein Ab stapeln der Bauteile für eine Vorsortierung abzielt. Durch diese technische Trennung der Baugruppen des Elektrolyseur-Stacks soll eine

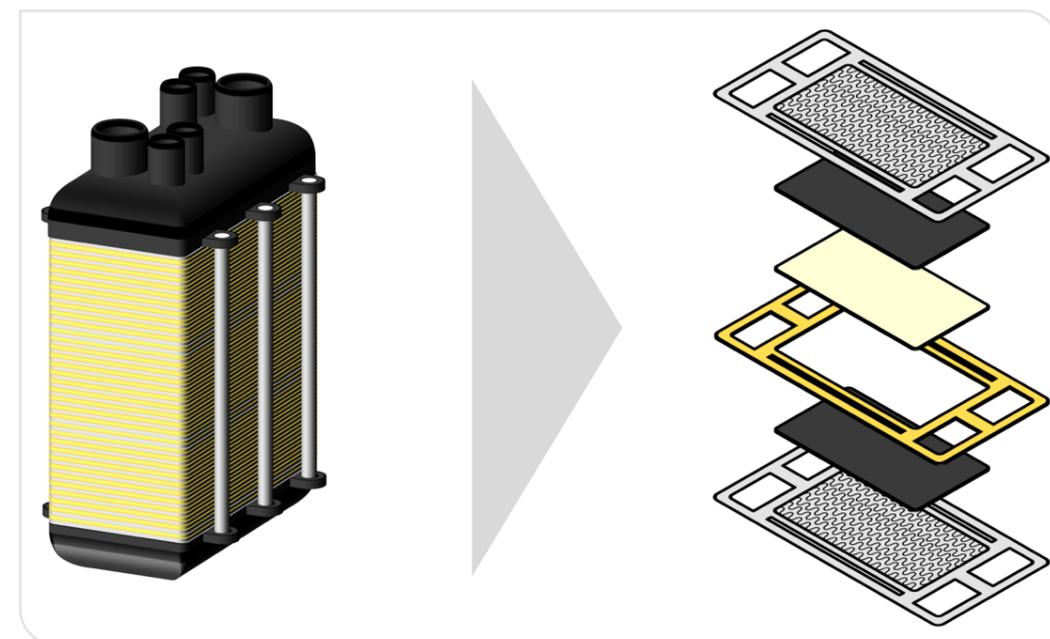
signifikante materialspezifische Vortrennung erfolgen, die sowohl die mechanische Aufschlusszerkleinerung als auch die physikalische Trenntechnik entlastet.

### Vorgehensweise

Um die technische Trennung der Baugruppen realisieren zu können, gilt es im ersten Schritt, die zu betrachtenden Elektrolyse-Stacks zu analysieren. *ReNaRe* betrachtet technologieoffen die Alkali- (AEL), die Polymermembran- (PEMEL) und die Hochtemperaturelektrolyse (HTEL). Je nach Art der Elektrolyse unterscheiden sich die jeweiligen Stacke hinsichtlich ihrer Konstruktion, was zu einer großen Variantenvielfalt führt. Daher soll in der Analysephase ein Überblick über verbaute Bauteile, vorhandene Werkstoffe und deren mechanischen Eigenschaften sowie eingesetzte Fügetechnologien gegeben werden. In der anschließenden Technologieentwicklungsphase sollen aufbauend auf den Analysen automatisiert abbildbare Demontagerouten entworfen und die dafür notwendige Anlagentechnik ermittelt werden. In der abschließenden Validierungsphase soll ein Demonstrator konzipiert, konstruiert und aufgebaut werden, um die entwickelten Demontageverfahren technologisch, ökonomisch und sicherheitstechnisch zu bewerten und zu validieren. ■



**Ansprechpartner am wbk:**  
Dominik Goes, M.Sc.  
Telefon: +49 1522 2780327  
dominik.goes@kit.edu



Geplante Demontage eines Elektrolyse-Stacks in seine Einzelkomponenten (Foto: wbk)

Partnerschaften aus Forschung und Lehre

## Karlsruher Forschungsfabrik geht in Betrieb



**Ansprechpartner am wbk:**  
Felix Wirth, M.Sc.  
Telefon: +49 1523 9502630  
felix.wirth@kit.edu

Nach einer Bauzeit von 2,5 Jahren wurde die Karlsruher Forschungsfabrik für KI-integrierte Produktion im Juni 2021 fertiggestellt und offiziell an die zukünftigen Nutzer übergeben. Auf einer Hallenfläche von insgesamt 4.500 Quadratmetern arbeiten Forschende des wbk Institut für Produktionstechnik des Karlsruher Instituts für Technologie (KIT) sowie der Fraunhofer-Institute für Optronik, Systemtechnik und Bildauswertung (IOSB) und für Chemische Technologie (ICT) gemeinsam an innovativen Technologien und Methoden für die Produktion von morgen. Ein Großteil der Maschinen und neuen Anlagen konnte in der Karlsruher Forschungsfabrik bereits in Betrieb genommen werden, sodass das wbk und seine Industriepartner schon jetzt in neue Forschungsprojekte und Kooperationen starten. Bedingt durch die Corona-Pandemie erfolgt die große Eröffnung im Jahr 2022.

Die Mission der Karlsruher Forschungsfabrik ist es, Informatik, Maschinenbau sowie Material- und Prozesstechnik zu verschmelzen, dass – gestützt auf die Werkzeuge der Digitalisierung und der künstlichen Intelligenz – die technologischen Rahmenbedingungen für die Produktion von morgen geschaffen werden. Das erklärte Ziel ist der schnelle Transfer von neuen, unreifen Produktionstechnologien in die industrielle Praxis – in direkter Kooperation mit Industrieunternehmen am High-Tech-Standort Karlsruhe.

Dafür bietet die Forschungsfabrik eine kreative und flexible Entwicklungsumgebung, in der die Produktion von der Feldebene bis zum Geschäftsmodell beleuchtet wird. Die Basis bilden hierfür intelligente und agile Maschinensysteme, die mit Hilfe von modularen Steuerungsarchitekturen und Plug&Produce-Schnittstellen zu ganzen Wertströmen konfiguriert werden, sodass auf der Cloud-Ebene innovative Services und datenbasierte Geschäftsmodelle ermöglicht werden. Um diese ehrgeizigen Ziele zu erreichen, arbeiten die drei Partner der Karlsruher Forschungsfabrik auf den Labor- und Büroflächen kooperativ zusammen: Das Team des wbk bringt seine Expertise zu intelligenten Maschinensystemen, Automatisierungstechnik und Qualitätssicherung sowie seine Erfahrung in den Anwendungsfeldern Elektromobilität, Leichtbau und Additive Fertigung ein. Die Forschenden des ICT sind Experten für Werkstoffe und Prozesstechnik, während das IOSB seine Kompetenzen im Umfeld von Sensorik, IT-Sicherheit und künstlicher Intelligenz einbringt.

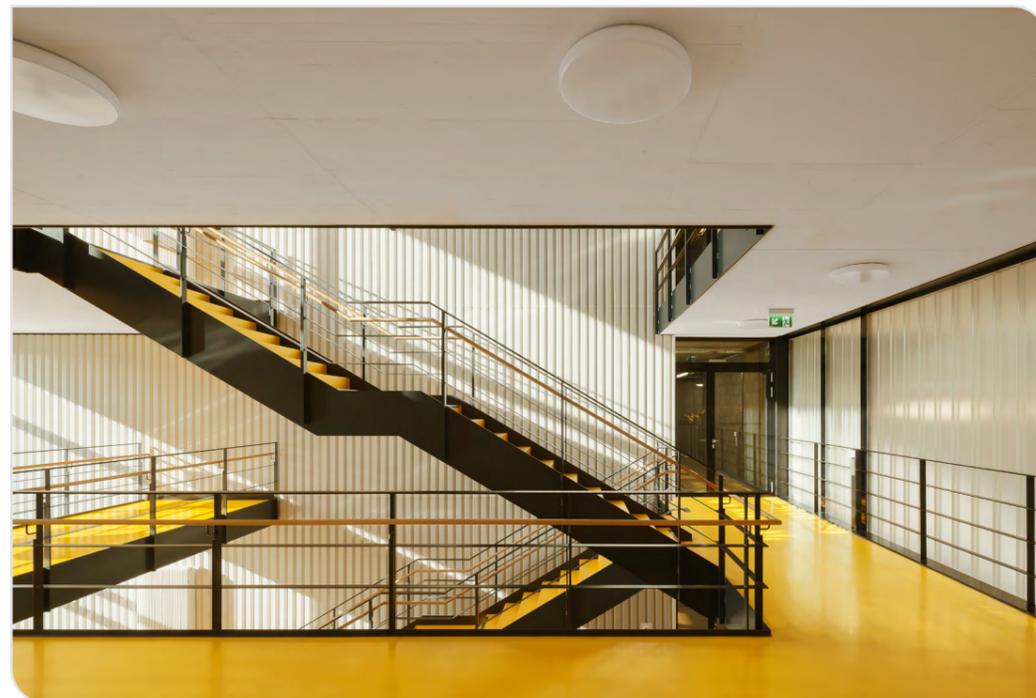
Schwerpunkte des wbk in der Karlsruher Forschungsfabrik sind die Themen agile Batteriezellfertigung, Brennstoffzellenfertigung, Produktionstechnologien für Statoren und Rotoren elektrischer Antriebe, Additive Fertigung und hybrider Leichtbau sowie das Application Center für IIoT Edge und das Zukunftsthema Wertstromkinematik.

Für die Zusammenarbeit mit Industrieunternehmen bieten wir unterschiedliche Kooperationsmodelle an: Neben den klassischen Formaten in öffentlich geförderten Forschungsvorgaben reichen unsere Angebote von ein- bis mehrtägigen unternehmensindividuellen Workshops, u.a. in den Bereichen Elektromobilität, Prozessautomatisierung, Industrie 4.0 und Künstlicher Intelligenz, bis zu mehrjährigen Forschungsk Kooperationen nach dem Modell „Industry on Campus“. Workshops finden in der Regel direkt beim Industriepartner statt, sodass hierdurch erste Potentiale in der Produktion hinsichtlich einer Prozessoptimierung, Automatisierung oder des Einsatzes von Künstlicher Intelligenz identifiziert und bewertet werden. Darüber hinaus bieten wir Schulungen für Einsteiger, Fachexperten und das Management in den Themenfeldern angewandte KI, modulare Steuerungsarchitektur, Cloud&Edge-Computing und Fertigungsprozesse in der Elektromobilität an.

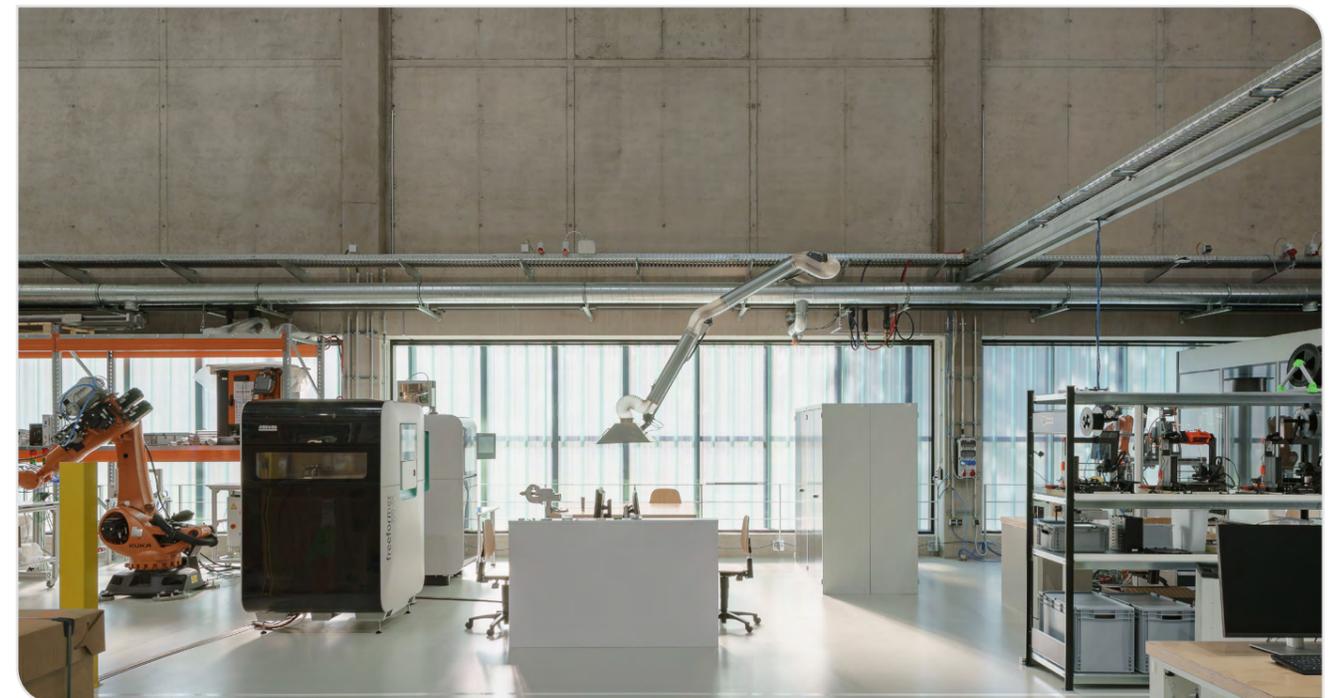
Neben bilateralen Industrieprojekten mit kurzer oder auch langer Laufzeit gibt es die Möglichkeit, dass Industrieunternehmen Büroflächen in direkter Nähe zur Karlsruher Forschungsfabrik anmieten, um somit direkt auf das Know-how des Forschungsfabrik-Teams sowie auf die Kreativität und die Dynamik von Studierenden in gemeinsamen Projekten zuzugreifen. ■



Umzug – 20 Tonnen in Bewegung (Foto: wbk)



Foyer mit Zugang zu den Forschungsflächen (Foto: Daniel Wieser)



Forschungsfläche zur additiven Fertigung in der Karlsruher Forschungsfabrik (Foto: Daniel Wieser)



Partnerschaften aus Forschung und Lehre

## Global Advanced Manufacturing Institute (GAMI)



**Ansprechpartner am wbk:**  
Lucas Bretz  
(General Manager)  
Telefon: +86 134 0414 7105  
lucas.bretz@silu.asia  
www.silu.asia

Gesellschaftlichen Schwerpunktthemen, wie eine nachhaltige Produktion, Industrie 4.0 und künstliche Intelligenz werden sowohl in Deutschland als auch in China eine hohe Tragweite zugemessen. Durch die Präsenz des wbk Instituts für Produktionstechnik in China gestalten wir die zukünftigen Entwicklung mit Herangehensweisen aus beiden Ländern. Das GAMI mit Sitz im Suzhou Industrial Park (SIP) kooperiert zur Überführung von Forschungsergebnissen aus der ganzen Welt mit lokalen Universitäten. Weiterhin unterstützt das Team des wbk deutsche Unternehmen und deren chinesische Lieferkette mit einem breiten Portfolio an Forschungs- und Industrieprojekten sowie Weiterbildungsprogrammen zu folgenden Themenschwerpunkten: Lieferantenmanagement, Qualitätsmanagement, Produktionssystemgestaltung, Logistikmanagement und Industrie 4.0. Als neues und wichtiges Standbein wird aktuell auch in enger Zusammenarbeit mit dem Karlsruher Institut für Technologie (KIT) Know-how im Bereich der Umweltwissenschaften im Forschungsprojekt TRENT aufgebaut. Vor allem aufgrund der in China signifikant steigenden Lohnkosten wird eine Effizienzsteigerung der Industrie besonders durch Automatisierung und Digitalisierung der Prozesse nach dem Vorbild des deutschen Vorhabens Industrie 4.0 angestrebt. Daher liegt ein besonderer Tätigkeitsfokus des GAMI darauf, Organisationen weiterzuentwickeln. Zudem unterstützt das GAMI Unternehmen darin, die erhöhte Datenverfügbarkeit auch tatsächlich gewinnbringend nutzen zu können, indem gemeinsam Potentiale der Integration von Technologien der Künstlichen Intelligenz (KI) in der Produktion analysiert werden.

### Industry 4.0 Demonstration and Innovation Center und AI Innovation Factory

Die zunehmende Digitalisierung stellt vor allem die Mitarbeitenden in der Produktion vor neue Aufgaben und erfordert zusätzliche Qualifikationen. Das 2015 eröffnete Industry 4.0 Demonstration and Innovation Center am GAMI stellt eine einzigartige Lernumgebung dar, in der reale Produkte auf flexiblen und intelligenten Montagelinien hergestellt werden können. Maschinen und Werkstücke tauschen in Echtzeit Informationen aus und liefern damit ein direktes Abbild von aktuellen Kennzahlen der Produktion. So werden dem Produktionsmanager alle erforderlichen Informationen an die Hand gegeben, um auch bei sich verändernden Rahmenbedingungen eine hohe Produktivität sicherzustellen. Zudem wird der Mitarbeiter an der Linie von intelligenten Assistenzsystemen dabei unterstützt, alle erforderlichen Komponenten am richtigen Ort bereitzustellen sowie fehlerfrei zu montieren. Das Industry 4.0 Demonstration and Innovation Center bildet zusammen mit der 2018 eröffneten AI Innovation Factory, in der konkrete Anwendungsfälle von KI in der Produktion (weiter-)entwickelt und erprobt sowie Kompetenzen zur Implementierung von KI-Tools und -Technologien praxisnah vermittelt werden, die Smart Manufacturing Plattform des GAMI. Auf ihr können Unternehmen die Vorteile und die Schnittstellenkompatibilität ihrer jeweiligen Lösungen im Wertstrom in Bezug auf die vorherrschenden länderspezifischen Anforderungen evaluieren und demonstrieren. Die beiden Zentren wurden im November 2018 vom chinesischen Ministerium für Industrie und Informationstechnologie (MIIT) als wegweisendes deutsch-chinesisches Kooperationsprojekt im Bereich Intelligente Fertigung ausgezeichnet. Zudem wurde das GAMI aufgrund seiner beiden Zentren 2019 als Smart Manufacturing Advanced Unit in Jiangsu Province ausgezeichnet. In engem Austausch mit dem wbk wird aktuell an der Eröffnung einer neuen Demonstratorlinie im Bereich der zirkulären Wertschöpfungsprozesse gearbeitet.

### Forschung

Forschungsseitig wirkt das GAMI vor allem im Transnational Competence Center for Environmental Technology and Research Jiangsu Baden-Württemberg (TRENT) mit. Ziel des Projekts ist es, die Entwicklung innovativer Lösungen in den Berei-

chen Umweltüberwachung und -schutz, Wasser- und Kreislaufwirtschaft sowie Ressourcenmanagement und Bioökonomie im Austausch zwischen Deutschland und China voranzutreiben. TRENT soll weiterhin dabei helfen, bislang ungenutzte Marktpotenziale für baden-württembergische Umwelttechnikunternehmen in Jiangsu zu erschließen.

Zusätzlich wurde die KIT-interne Kollaboration durch einen studentischen Austausch mit dem KIT-IPR verstärkt. Thema der Masterarbeit war die Übergabe eines Gegenstandes aus der menschlichen Hand an einen Roboter. Die Herausforderung ist die Entwicklung geeigneter Greifstrategien basierend auf Kameraaufnahmen, ohne dass dabei die menschliche Hand versehentlich gegriffen und möglicherweise verletzt wird.

### Industrieprojekte

Vielen Unternehmen in China fehlt es derzeit noch an geeigneten Methoden, um intelligente und vernetzte Systeme in der Produktion einzuführen. Das GAMI unterstützt sie in Industrieprojekten dabei, die jeweilige Vision von Industrie 4.0 zu gestalten sowie relevante Lösungen operativ zu implementieren. Dabei werden in einer Fabrik neben der Produktion auch Intralogistik sowie Qualitätssicherung berücksichtigt und der Aufbau notwendiger Grundlagen aus dem Bereich der Lean Philosophie mit inkludiert. Neben klassischen Projekten der Fabrikplanung und des Liniendesigns entwickelt das GAMI aktuell auch ein Nachrüstsystem zur webbasierten Darstellung der Overall Equipment Efficiency (OEE). Für die Fabrik eines deutschen Kühlkompressorherstellers werden in einem Workshop-Konzept, dass sich stark an der vom wbk mitentwickelten VDMA-Richtlinie Leitfadens Industrie 4.0 orientiert, konkrete Anwendungspotentiale und eine Roadmap zur Einführung und Umsetzung weiterer digitaler Prinzipien entwickelt.

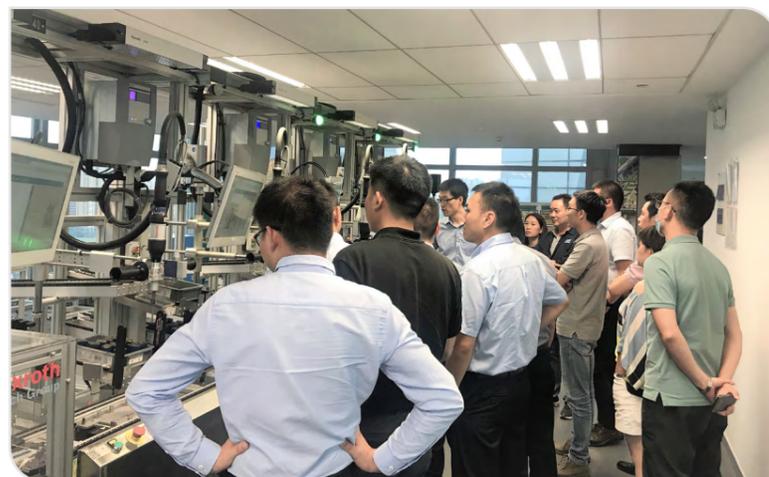
### Weiterbildung

Kern der Weiterbildungsangebote 2021 stellte das vom Bundesministerium für Bildung und Forschung geförderte Projekt Innovative Fachkräfte-Qualifizierung für deutsche Unternehmen mit Standorten in China (INWICA). Das Vorhaben zielt darauf ab, für Produktionsmitarbeiter ein Angebot für eine Aufstiegsqualifikation mittels eines hybriden Lernsystems zu konzipieren und dieses in die aktuelle Weiterbildungslandschaft nachhaltig zu implementieren. Das GAMI ist dabei vor allem für die Analyse für Weiterbildungsbedarfe und -angebote in China sowie für die Gestaltung eines integrierten Curriculums verantwortlich. Zudem fanden diverse Workshops für chinesische Zulieferer deutscher Unternehmen vor allem zu den Themen Lean Management, Industrie 4.0 und skalierbare Automatisierung statt.

### Veranstaltungen

GAMI und DUSA führten eine gemeinsame Veranstaltung mit dem Titel „Digital Shopfloor Management für KMUs (kleine und mittlere Unternehmen)“ durch. Dr.-Ing. Shun Yang vom wbk vermittelte anschaulich Theorie und Praxis im GAMI Innovation Center an insgesamt 26 Teilnehmer.

Das Kick-off Event des Forschungsprojekts TRENT wurde als Hybridveranstaltung mit mehr als 80 Teilnehmenden durchgeführt. Weiterhin war das GAMI auf diversen Konferenzen zu den Themen Smart Manufacturing vertreten. ■



Trainees im GAMI Innovation Center (Foto: wbk/GAMI)



TRENT Kick-off Event (Foto: wbk/GAMI)

Partnerschaften aus Forschung und Lehre

## Advanced Manufacturing Technology Center (AMTC) an der Tongji-Universität in Shanghai



**Ansprechpartner am wbk:**  
Dr.-Ing. Christopher Ehrmann  
(Gruppenleiter)  
Telefon: +86 182 21374597  
amt@wbk.kit.edu  
www.wbk.kit.edu/amt.php

### Chinesisch-deutsche Kooperation

Seit 2012 existiert in Shanghai das AMTC als gemeinsame Einrichtung des Chinesisch-Deutschen Hochschulkollegs (CDHK) und der School of Mechanical Engineering (SME) der Tongji Universität. Mit seiner modernen maschinellen Ausstattung und seinem Netzwerk von Partnerfirmen bietet das AMTC ein chinaweit einmaliges Umfeld für die Produktionstechnik, fokussiert auf die Themen Produktionsprozesse, Werkzeugmaschinen sowie Robotik und Automation.

Das AMTC zielt auf angewandte, an die Anforderungen des chinesischen Markts angepasste, Forschung – zusammen mit in China operierenden Unternehmen sowie in staatlich geförderter Forschung. Durch bilaterale Projekte und Workshops gelingt der Technologietransfer aus dem neuesten Stand der Forschung in die Unternehmen sowie durch Lehraktivitäten an Studierende und Mitarbeitende interessierter Unternehmen.

### Laborgebäude

Seit dem Umzug im Jahr 2019 in das Hauptgebäude der School of Mechanical Engineering (SME) stehen dem AMTC weitere Werkzeugmaschinen sowie Platz für neue Forschungsthemen zur Verfügung. Unter anderem erlaubt es die neue Halle, Produktionssysteme für die Elektromobilität, den industriellen Einsatz von 5G-Mobilfunk sowie Flugdrohnen zu erforschen. Das AMTC zielt auf angewandte, an die Anforderungen des chinesischen Markts angepasste, Forschung – zusammen mit in China operierenden Unternehmen sowie in staatlich geförderter Forschung. Durch bilaterale Projekte und Workshops gelingt der Technologietransfer aus dem neuesten Stand der Forschung in die Unternehmen sowie durch Lehraktivitäten an Studierende und Mitarbeitende interessierter Unternehmen. Laborgebäude Seit dem Umzug im Jahr 2019 in das Hauptgebäude der School of Mechanical Engineering (SME) stehen dem AMTC weitere Werkzeugmaschinen sowie Platz für neue Forschungsthemen zur Verfügung. Unter anderem erlaubt es die neue Halle, Produktionssysteme für die Elektromobilität, den industriellen Einsatz von 5G-Mobilfunk sowie Flugdrohnen zu erforschen.

### Forschungs- und Industrieprojekte

Ein integriertes deutsch-chinesisches Netzwerk aus Forschungseinrichtungen und Partnern aus der In-

dustrie ermöglicht es, Projektarbeit und gemeinsame Strategien eng zu verzahnen. Zu den durchgeführten Projekten zählen bilaterale Forschungs- und Entwicklungsvorhaben, staatlich finanzierte Forschungs- sowie Verbundprojekte. Themen sind unter anderem:

- Maschinelles Lernen, insbesondere dessen holistische Anwendung auf verschiedene Datenquellen, einschließlich Vision-Systeme
- Firmen- und länderübergreifende Integration von Fertigungssystemen in Cloud-Plattformen sowie Shopfloor-Management-Systeme, Analyse und Anzeige von Key-Performance-Indikatoren in Echtzeit, direkt an der Anlage oder remote
- Systemdesign und Analysealgorithmen für eingebettete, spezialisierte Sensorsysteme in der Produktion
- Konzipierung von Produktionsanlagen für die Brennstoffzellen-Fertigung im deutsch-chinesischen Kontext

### Industrie 4.0-Demo-Linie

Herzstück des AMTC und Drehscheibe von Industrie- und Forschungsprojekten ist das Labor, das mit modernen Werkzeugmaschinen, Robotern und Automatisierungskomponenten ausgestattet ist. Zusammen mit einer Koordinatenmessmaschine, einem digitalisierten Montagearbeitsplatz sowie einem Shopfloor-Management- und Visualisierungssystem sind die Anlagen zu einer Industrie-4.0-Demo-Linie verknüpft. Die Einzigartigkeit dieser Linie ergibt sich aus drei Prinzipien:

- Die einheitliche Kommunikation wird – trotz heterogener Steuerungsarchitektur – über OPC-UA realisiert – die mit einander vernetzten Steuerungen stammen unter anderem von Bosch Rexroth, Siemens, Fanuc und i5.
- Die Linie wurde ausschließlich von Mitarbeitenden und Studierenden des AMTC konzipiert, entworfen, programmiert und in Betrieb genommen. Dadurch ist ein tiefgreifendes Verständnis für die Anlage vorhanden, was Anpassungen und die Integration von Sensorik und Algorithmen für neue Forschungsziele vereinfacht.
- In realen Fertigungs- und Montageprozessen entsteht ein reales Produkt. So wird das Verhalten der Prozesse und der Gesamtanlage repräsentativ.

### I4TP

In diesem Jahr wurde das Forschungsprojekt I4TP erfolgreich abgeschlossen. Das seit 2018 laufende deutsch-chinesische Verbundprojekt (gefördert durch das BMBF und das MoST) hat zum Ziel, die Planung, Inbetriebnahmen und Rekonfiguration von Turn-Key-Produktionsanlagen mittels Industrie-4.0-Methoden zu beschleunigen und den Betrieb zu optimieren. Neben dem wbk Institut für Produktionstechnik, das mit den Bereichen Maschinen, Anlagen und Prozessautomatisierung sowie Produktionssysteme vertreten ist, weiteren Instituten des Karlsruher Instituts für Technologie (KIT) und der Tongji Universität beteiligen sich von deutscher Seite Bosch Rexroth, Schaeffler und Schunk, alle drei bereits Partner des AMTC. Die Chinesischen Firmenpartner iESOL (ein Tochterunternehmen von Shenyang Machine Tools), ITEI sowie Shenyang Microcyber sind ebenfalls Teil des Konsortiums. Am AMTC wird die Industrie-4.0-Demo-Linie Stück für Stück zu einem Demo- und Validierungszentrum für die methodischen Ansätze des Projekts erweitert. Anfang 2021 erfolgte die Integration von modularen, standardisierten Produktionseinheiten (I4TP Blocks) in die I4.0 Demo-Linie, welche die im Projektziel genannte rasche Inbetriebnahme und Rekonfiguration

### Konferenzen, Messen und Lehre

Die seit 2013 jährlich im Herbst stattfindende International Conference on Sustainable Manufacturing (ICSM) musste letztes Jahr Corona-bedingt abgesagt werden, nach dem 2019 noch ein neuer Teilnehmerrekord verzeichnet wurde. Das AMTC steht in Einklang mit den Vorschriften der Tongji-Universität nach wie vor Besuchergruppen offen, jedoch unter verschärften Hygieneauflagen. In kleinerem Rahmen wird zum Abschluss von I4TP im Herbst 2021 wieder eine Veranstaltung mit Rundgängen und Vorträgen stattfinden.

Auf der Messe CIMT in Beijing (April 2021) wurde Daten aus dem Labor mittels vom AMTC zusammen mit dem VDW (Verband Deutscher Werkzeugmaschinenhersteller) und dem CMTBA (Chinese Machine Tool Builders Association) entwickelten Methoden standardübergreifend verfügbar gemacht. Damit demonstrierten das amtc und seine Partner die erfolgreiche Kooperation der Deutschen und Chinesischen Werkzeugmaschinenindustrie vor einem Fachpublikum.

Hauptziel der Lehre am AMTC ist, das theoretische Wissen aus den Vorlesungen über experimentelle Kurse in den Bereichen mechanische Fertigung und Automatisierung zu vertiefen, um die praktischen Fähigkeiten der Studierenden zu verbessern. Zudem bietet die Ausstattung des AMTC die Möglichkeit, Abschlussarbeiten in Forschungsprojekten an modernen Maschinen und Anlagen in einer industriellen Umgebung zu schreiben. Zwischen dem KIT und der Tongji Universität besteht ein Doppel-Masterprogramm. Der Lehrplan und die inhaltliche Abstimmung garantieren eine hohe Qualität der Ausbildung, die den Anforderungen beider Universitäten gerecht wird. Das Programm bietet nicht nur eine hervorragende fachliche Ausbildung, sondern auch die Möglichkeit, sich interkulturell auszutauschen und sprachliche Kompetenzen zu erlangen. In der Vorlesung „Smart Manufacturing and Automation with Industry 4.0“, von Professor Jürgen Fleischer können die internationalen Studierenden der KIT HECTOR Business School zusätzlich zu den Vorlesungsinhalten praktische Erfahrungen in SPS- und Roboterprogrammierung unter Anleitung der AMTC-Mitarbeitenden sammeln. Zusätzlich wird die Vorlesung „Grundlagen der zerspanenden Fertigung und Werkzeugmaschinen“ für Studierende des chinesisch-deutschen Hochschulkollegs (CDHK) gehalten. Ein weiterer Pfeiler der Lehre besteht aus Seminaren und Workshops für Mitarbeitende und Führungskräfte der Partnerfirmen. Vermittelt werden u.a. Industrie-4.0-Methoden sowie Transformationsideen bezüglich Elektromobilität. ■



I4TP-Blocks: Inbetriebnahme von, im Rahmen von I4TP entwickelten, modularen Einheiten (Foto: wbk)

Partnerschaften aus Forschung und Lehre

## InnovationsCampus Mobilität der Zukunft wird bis 2024 mit weiteren 50 Mio. Euro ausgebaut



**Ansprechpartnerin am wbk:**  
Dr. Sandra Kauffmann-Weiß  
Telefon: +49 1523 9502655  
sandra.kauffmann-weiss@kit.edu

Die künftige Mobilität ist umweltfreundlich, vernetzt und automatisiert. Voraussetzung dafür ist die Entwicklung bahnbrechender Technologien – von neuen Dienstleistungen über völlig neue Antriebe und Bauteile bis hin zu innovativen Produktionsverfahren und -systemen sowie zukünftigen Wertschöpfungsnetzwerken. Um diesen Transformationsprozess voranzutreiben, bündeln das Karlsruher Institut für Technologie (KIT) und die Universität Stuttgart ihre Kompetenzen in Forschung und Innovation. Im Rahmen der Erweiterung durch das Land Baden-Württemberg werden die bisherigen Forschungsschwerpunkte des InnovationsCampus Mobilität der Zukunft (ICM) Advanced Manufacturing und Emission-free Mobility um die Forschungsschwerpunkte Software-Defined Mobility (*SdMobi*) und Software-Defined Manufacturing (*SdManu*) mit einer Fördersumme von 50 Millionen Euro erweitert. *SdManu* ist ein Ansatz, der sich aus der Informations- und Kommunikationstechnik ableitet. Er erlaubt eine effizientere Anpassung des gesamten Produktionssystems, da untergeordnete

Hardware-Funktionen als Services virtualisiert sind. Bei *SdMobi* besteht der Ansatz darin, die permanente, dauerhafte und dynamische Rekonfigurierbarkeit des Mobilitätssystems und eine direkte Ableitung seiner modularen Elemente zu ermöglichen.

„Unser Ziel ist es, den InnovationsCampus Mobilität der Zukunft nach dem Vorbild des Cyber Valley zu einem europäisch sichtbaren Zentrum für die Forschung an Mobilitäts- und Produktionstechnologien zu entwickeln. Es geht darum, das Land in diesen entscheidenden Zukunftsfeldern nach vorne zu bringen. Wir nutzen die Krisenzeit und die Bedingungen auf dem Arbeitsmarkt, um mit exzellenten Absolventinnen und Absolventen, Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftlern Innovationsvorhaben anzuschließen“, sagte Wissenschaftsministerin Theresia Bauer. „Im KIT und der Universität Stuttgart findet ein Wandel hin zur Integration von Maschinenbau, Elektrotechnik und Informatik statt. Dieser Wandel muss unterstützt werden, da die Verschmelzung dieser Bereiche für die Zukunftsfähigkeit der technologischen Kernbranchen von Baden-Württemberg bedeutend ist“, so Bauer weiter.

Das wbk Institut für Produktionstechnik ist in den ersten beiden Förderaufrufen an acht von insgesamt 19 Verbundprojekten beteiligt, wobei der Schwerpunkt im Bereich der additiven und subtraktiven Fertigung und der Prozessautomatisierung liegt. Außerdem ist das wbk an drei von bisher neun geförderten Bottom-Up Projekten beteiligt, wobei das Format besonders auf junge Wissenschaftler und Wissenschaftlerinnen ausgerichtet ist.

Die Corona-Pandemie erschwert für viele Absolventinnen und Absolventen den Einstieg in den Arbeitsmarkt. Unterstützung finden angehende Ingenieurinnen und Ingenieure durch das ICM-Corona-Absolventenprogramm. Darin können Absolventinnen und Absolventen übergangsweise an der Universität angestellt werden, an Projekten arbeiten, sich weiter qualifizieren und ihre Fähigkeiten weiter ausbauen. Das wbk hat auch hier mehrere Absolventinnen und Absolventen eingestellt und bietet ein attraktives Umfeld für die weitere Unterstützung.

Der InnovationsCampus wird seit dem 01.07.2019 durch das Ministerium für Wissenschaft, Forschung und Kunst des Landes Baden-Württemberg gefördert. Weiterführende Informationen finden Sie auf der Homepage: [www.icm-bw.de](http://www.icm-bw.de)



Rheometer zur Viskositätsuntersuchung von LCM-Schlickern (Foto: Amadeus Bramsiepe, KIT)

Partnerschaften aus Forschung und Lehre

## wbk Alumni Club – online gut vernetzt

Der wbk Alumni Club e.V. ist das Ehemaligenetzwerk des wbk Instituts für Produktionstechnik mit aktuell 154 Mitgliedern. Um das Netzwerk zu stärken und sich über aktuelle Fragestellungen der Produktionstechnik auszutauschen, treffen Teilnehmende des Ehemaligenetzwerks mindestens drei Mal im Jahr zu einem Stammtisch. Dabei lädt ein wbk-Alumni die aktuellen Mitarbeitenden des wbk und die Mitglieder des Alumni Clubs exklusiv in sein bzw. ihr aktuelles Unternehmen ein.

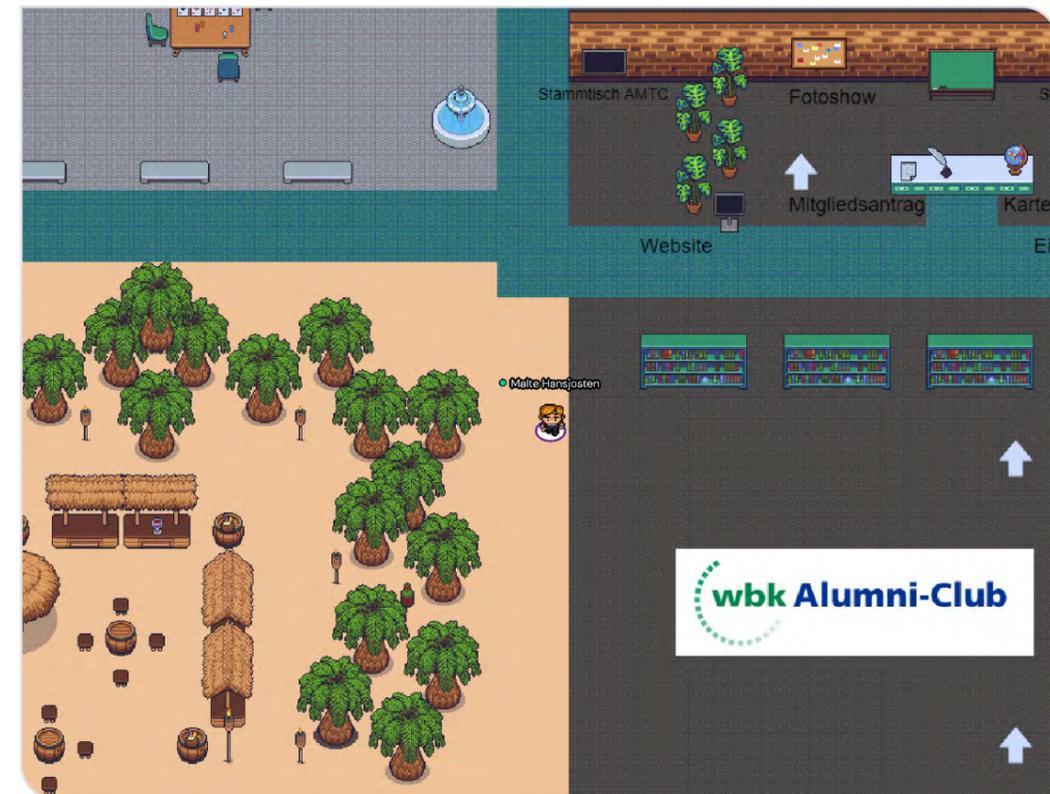
Die etablierte Tradition der vor-Ort Stammtische in persönlicher Anwesenheit wurde durch die Einschränkungen der COVID-19-Pandemie auf eine harte Probe gestellt. Jedoch ermöglichten diese harten Restriktionen ganz wbk-like im Sinne innovativer und zukunftsorientierter Lösungen auch neue Chancen. Das veränderte Konzept eröffnete völlig neue Möglichkeiten. So fand zum ersten Mal ein Stammtisch „in China“ statt. Bei diesem erstmaligen Mittagessen-Stammtisch war es möglich, den mehrere tausend Kilometer entfernten wbk-Außenstandort „live“ kennenzulernen, dabei auch noch Fragen zu stellen und interessante Diskussi-

on zu führen. Dies alles bei einer Zeitverschiebung von beinahe fünf Stunden. Klassischerweise fanden die Stammtische aus Erreichbarkeitsgründen im Umkreis von Karlsruhe statt – auch hier bieten die neuen online-Stammtische neue Möglichkeiten, auch Ehemalige außerhalb des typischen Radius zu „besuchen“ und weiterhin in engem Kontakt zu bleiben.

Ein weiteres wbk-Highlight war das diesjährige Ehemaligenfest (siehe Seite 10). Corona-bedingt fand auch dieses Fest online statt. Aber auch das hat das Team nicht davon abgehalten, ein Onlineangebot in einen extra bereitgestellten Bereich mit den attraktiven Angeboten des Alumni Clubs vorzubereiten. Eingeladen haben wir in den „Alumni-Club-Urlaub“ auf das virtuelle Dach des wbk. Bei Lagerfeuer und dem erfrischenden Pool war das Fehlen des typischen Alumni-Club Beitrags zum Ehemaligenfest, die Kaffeebar, kaum zu bemerken. Mit den vielen Besucherinnen und Besuchern gab es einen regen Austausch – wodurch wir hoffen weitere Neumitglieder in unser Ehemaligenetzwerk, den wbk Alumni Club e.V. aufnehmen zu dürfen.



**Ansprechpartner am wbk:**  
Dominik Mayer, M.Sc.  
Telefon: +49 1523 9502598  
dominik.mayer2@kit.edu



Der „Alumni-Club-Urlaub“ auf dem Dach des virtuellen Ehemaligenfest (Foto: wbk)

## Partnerschaften aus Forschung und Lehre Angebote an die Industrie

Das wbk Institut für Produktionstechnik arbeitet eng mit Unternehmen weltweit zusammen. Wir bieten unsere industriellen Partnern gezielt forschungsnahe Dienstleistungen, Schulungen und weitere individuelle Kooperationsmöglichkeiten an – im Rahmen von öffentlich geförderten Forschungsprojekten und darüber hinaus. Beispielsweise arbeiten wir mit Kooperationspartnern aus den Branchen Automobil, Maschinen- und Anlagenbau, Pharma und Zahn-technik zusammen. Die enge Zusammenarbeit von Wissenschaft und Wirtschaft ist ein entscheidender Faktor für unseren Erfolg. Daher stehen wir in einem ständigen Austausch mit Industrieunternehmen. Je nach Aufgabenstellung können dies weltumspannende Großkonzerne, aber auch kleine und mittlere Unternehmen (KMU) mit Marktführerschaft in spezialisierten Anwendungsbereichen sein. Dabei hat die Praxisorientierung unserer Arbeit für uns höchste Priorität. Unsere Arbeit ist wissenschaftlich fundiert und wir können auf eine jahrzehntelange Zusammenarbeit mit der Industrie zurückblicken.

Wir vereinen Wissen auf allen Ebenen der Produktionstechnik.

### Unser Angebot im Überblick:

- Entwicklung und Optimierung von Fertigungsprozessen und Prozessketten unter Betrachtung fertigungsbedingter Bauteileigenschaften.



Siemens vor Ort am wbk (Foto: wbk)

- Entwicklung innovativer Produktionsprozesse und Maschinensysteme von der Komponente bis hin zur automatisierten Produktionsanlage. Hierdurch befähigen wir unter anderem Lösungen für die Greif- und Robotertechnik, die Additive Fertigung, das Condition Monitoring sowie die Produktion elektrischer Antriebe, Batterien und Brennstoffzellen
- Planung, Bewertung und Beherrschung der Effekte der Produktion von morgen – vom globalen, schock-robusten Netzwerk über die atmende Fabrik mit höchst produktiven Produktionsmitteln und innovativen Geschäftsmodellen bis hin zur Qualitätssicherung unreifer Prozesse.

### Beispielhafte Dienstleistungen:

- Wechselwirkung Fertigungsprozess-Werkstoff
- Lösungen für die Prozess-, Werkzeug- und Werkstücküberwachung
- Prozess- und Werkzeugauslegung für das Verzahnen
- Prozesskettenbetrachtung Additive Fertigung (Kunststoffe, Metalle, Keramiken und Hybridisierungen)
- Industrie 4.0-, Condition Monitoring- und KI-Lösungen für die effiziente Produktion
- Prozessentwicklung für den hybriden Leichtbau, die additive Fertigung und die Elektromobilität
- Experimentelle Analysen und Simulationsstudien von Maschinen, Komponenten und Prozessen
- Technologieberatungen und Workshops in den Bereichen Elektromobilität, Prozessautomatisierung und Digitalisierung
- Standortgerechte Anpassung des Produktionssystems
- Entwicklung von Digitalisierungsstrategien
- Auswahl produktionsintegrierter Messtechnik und Sensorik
- Schulungen für Industrievertreter

Mehr zum Dienstleistungsangebot:

<https://www.wbk.kit.edu/dienstleistungen.php>

### Schulungen:

Unsere Schulungen sind besonders nah an der Unternehmenspraxis, da sich die Themen an den Anforderungen in der Industrie orientieren und das Ziel ist,

dass die Teilnehmer ihr neu erlerntes Wissen direkt in ihrem Unternehmen umsetzen können. Entsprechend sind die Schulungen in hohem Maße handlungsorientiert aufgebaut. Die Teilnehmer wenden Gelerntes sofort in der Praxis an. Hierfür steht uns am wbk Institut für Produktionstechnik eine praxisnahe Lernumgebung mit neusten Technologien zur Verfügung. Dabei vermitteln wir sowohl fundiertes Grundlagenwissen als auch neuste Erkenntnisse aus der Forschung und entwickeln unsere Schulungskonzepte ständig weiter.

Mehr zum Schulungsangebot:

<https://www.wbk.kit.edu/schulungen.php>

### Beispielhafte Partnerschaft:

Um die langjährige, gute Zusammenarbeit zwischen dem wbk Institut für Produktionstechnik am KIT und dem Maschinenbauunternehmen Aarburg zu vertiefen, wurde im Jahr 2016 das Aarburg Innovation Center (AIC) am wbk eröffnet. 2021 zog das AIC in die neue Karlsruher Forschungsfabrik um. Im Rahmen der strategischen Forschungskooperation liegt der Schwerpunkt auf innovativen Produktionstechniken im Bereich der additiven Fertigung. Dazu stehen den Forschenden im AIC mehrere freeformer (additive Fertigungsanlage) von Aarburg zur Verfügung. An diesen Anlagen wird die anwendungs- und industriennahe Forschung im Bereich der additiven Fertigung ermöglicht. Unsere Forschungsarbeiten beschäftigen derzeit mit dem gesamten Prozess zur industriellen Anwendung. Dabei wird eine belastungsgerechte Auslegung und Datenaufbereitung für die Herstellung von faserverstärkten Bauteilen mit dem Aarburg freeformer betrachtet. In weiteren Projekten werden zusätzliche neue Materialkombinationen und die In-

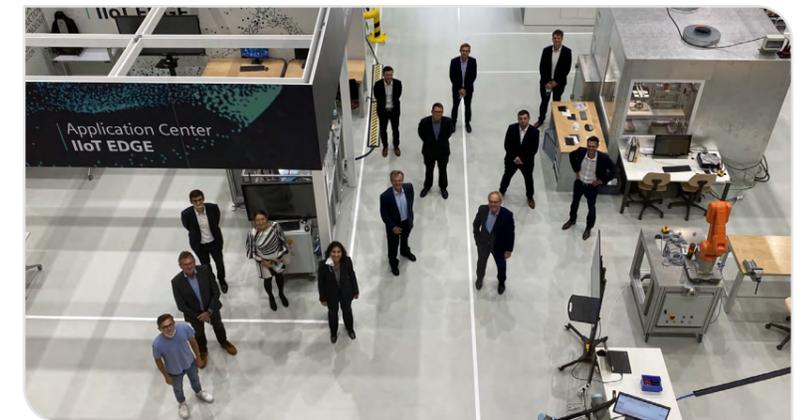
tegration von Formgedächtnislegierungen in additiv gefertigten Bauteilen mit dem freeformer untersucht. ■

### Weitere Informationen und Kontakt:

<https://www.wbk.kit.edu/industrie.php>



Virtueller Besuch von Festo (Foto: wbk)



Besuch von Bosch am wbk (Foto: wbk)



Statement zur Partnerschaft (Foto: wbk)



Die Kooperation mit dem wbk hat uns viele neue Impulse für unsere Unternehmenspraxis verschafft. Gemeinsam haben wir die Weiterentwicklung des ARBURG Kunststoff-Freiformens zur Integration von Verstärkungsfasern erfolgreich vorangetrieben. Wir sehen den engen Austausch zwischen Industrie und Wissenschaft als großen Gewinn für beide Seiten.

Martin Neff  
Head of Plastic Freeforming bei ARBURG GmbH + Co KG.



Dissertationen

## Fertigung optimierter technischer Oberflächen durch eine Verfahrenskombination aus Fliehkraft-Tauchgleit-schleifen und Laserablation



**Autor:**  
Dr.-Ing. Andreas Greiber

### Ziel des Vorhabens

Mit dem Ziel, Reibung und Verschleiß mechanischer Komponenten zu minimieren, verfolgte die Arbeit den Ansatz einer synergistischen Nutzung der mechanischen Oberflächenbehandlung und der Oberflächentexturierung zur Fertigung tribologisch optimierter technischer Oberflächen aus dem Werkstoff 42CrMo4.

Hierbei kam eine Verfahrenskombination aus dem Fliehkraft-Tauchgleit-schleifen und der Laserablation mit ultrakurzen Pulsen zum Einsatz. Im Fokus des Vorhabens stand die Analyse der Prozesseinflüsse und die Prozessauslegung.

### Vorgehensweise

Auf Grund der bis dato unbekanntenen Prozesseinflüsse des Fliehkraft-Tauchgleit-schleifens wurde zu dessen Charakterisierung ein adaptiertes Almen-System zur werkstoffspezifischen Prozessauslegung und Qualifizierung stationärer Randschicht-zustände eingesetzt.

Im nächsten Schritt wurde der Einfluss der Prozessstellgrößen auf die Kontaktbedingungen, den Materialabtrag und den Oberflächeneigenspannungszustand analysiert. Es folgte eine vergleichende Gegenüberstellung der resultierenden Randschicht-zustände einer plangeschliffenen mit der gleitgeschliffenen Oberfläche.

Im nächsten Schritt wurde der Einfluss der Laser-texturierung mit ultrakurzen Pulsen sowie der Verfahrenskombination auf die Randschichtzustände analysiert.

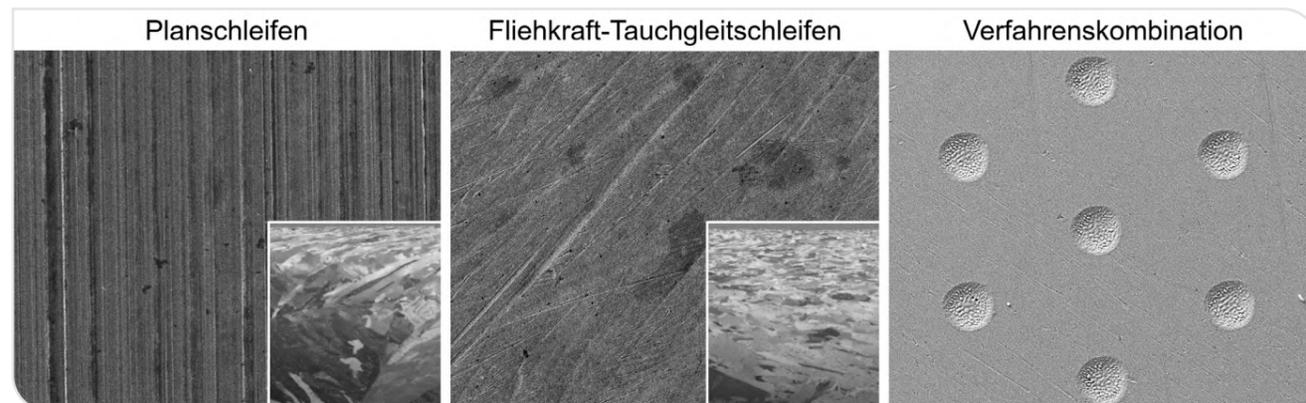
Abschließend wurden die tribologischen Eigenschaften von Scheiben in verschiedenen Bearbeitungszuständen im geschmierten Stift/-Scheibe-Kontakt mit 100Cr6 gegenübergestellt. Hierbei fanden plangeschliffene, gleitgeschliffene und mittels der Verfahrenskombination bearbeitete Scheiben Betrachtung.

### Ergebnisse

Es konnte der Nachweis der Eignung des adaptierten Almen-Systems zur werkstoffspezifischen Prozessauslegung auch für komplex geformte Bauteilgeometrien erbracht werden.

Weiterhin legen die gezeigten Zusammenhänge zwischen den Kontaktbedingungen und dem Eigenspannungszustand an der Oberfläche in Abhängigkeit der Prozessstellgrößen den Grundstein für eine zukünftige Prozessauslegung der mechanischen Oberflächenbehandlung mittels dem Fliehkraft-Tauchgleit-schleifen.

Die gleitgeschliffene Oberfläche zeigte im Vergleich zu einer plangeschliffenen Oberfläche optimierte tribologische Eigenschaften, jedoch blieb eine eindeutige Synergie der Verfahrenskombination bei dem betrachteten Belastungsszenario aus. ■



Rasterelektronenmikroskopische Aufnahmen der Oberflächen in verschiedenen Bearbeitungszuständen und die resultierende Mikrostruktur nach dem Planschleifen und Fliehkraft-Tauchgleit-schleifen (Foto: wbk)

Dissertationen

## Prozessintegrierte akustische Prozessüberwachung für die additive Fertigung von metallischen Bauteilen

### Ziel des Vorhabens

Die additive Fertigung ermöglicht Anwendern eine hohe Funktionsintegration und individualisierte Produkte. Dadurch steigt die industrielle Bedeutung solcher Verfahren. Am wbk Institut für Produktionstechnik werden diese in allen drei Forschungsbereichen eingesetzt. Das Laser-Strahlschmelzen (L-PBF) ist bei den additiven Fertigungsverfahren hervorzuheben: Es ist bereits im Bereich des Prototypenbaus sowie der in der Kleinserienfertigung etabliert und ermöglicht es, metallische Bauteile mit filigranen Strukturen zu fertigen. Bei diesem Verfahren wird in einem iterativen Prozess ein Metallpulver selektiv in Schichten durch einen Laser aufgeschmolzen und so verfestigt. Ein wesentlicher Nachteil des Verfahrens besteht aktuell noch darin, dass sich die Prozessqualität nur schwer reproduzieren lässt. Insbesondere innenliegende Poren, die große Auswirkung auf die Haltbarkeit der Bauteile im späteren Betrieb haben, stellen ein Qualitätsdefizit dar. Ziel dieser Arbeit ist es, eine Prozessüberwachung zu entwickeln, die bereits während des Aufbauprozesses eventuelle Poren erkennt.

### Vorgehensweise

Um Poren zu erkennen, wird in einem industriellen L-PBF-Prozess ein akustischer Sensor integriert, der bereits während des Aufbaus akustische Prozessemissionen aus dem Schmelzbad aufnimmt. Für die Erprobung des Sensorkonzeptes wurde im Rahmen

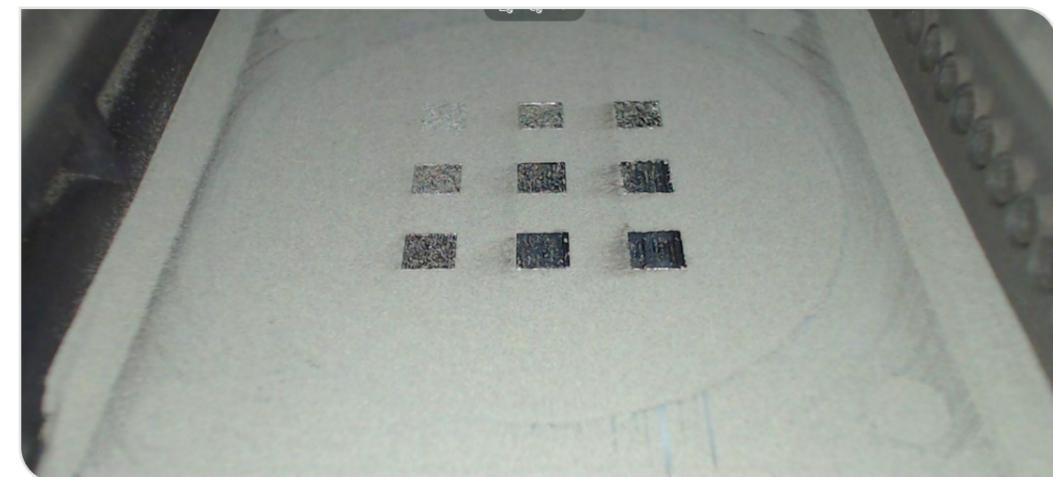
der Arbeit eine Versuchsumgebung aufgebaut, in der das Aufzeichnen der akustischen Prozessemissionen nahe der Prozesszone und dem Schmelzbad möglich ist. Zum Aufzeichnen akustischer Signale wurden in einem statistischen Versuchsplan Prozessparameter gezielt variiert und Versuchskörper verschiedener Bauteilqualität aufgebaut. Die Bauteilqualität bzw. der Porenanteil der Versuchskörper wurden mittels der archimedischen Dichtebestimmung ermittelt. Der so erzeugte Datensatz umfasst mehr als 10.000 akustische Signale mit dazugehörigen Referenzwerten für die Dichte. Durch den Einsatz von Methoden des Maschinellen Lernens (ML) wurde die aufgenommene Datenbasis analysiert und es wurden Korrelationen von den Sensorsignalen mit der Bauteilqualität untersucht. Hierfür kamen künstliche neuronale Netze in Verbindung mit verschiedenen Arten der Merkmalsextraktion aus dem akustischen Rohsignal zum Einsatz.

### Ergebnisse

Die Arbeit zeigt, dass die akustischen Prozessemissionen des L-PBF-Prozesses geeignet sind, um das Prozessergebnis hinsichtlich der resultierenden statistischen Bauteildichte zu beurteilen. Mit dem vorgestellten Ansatz ist es damit möglich, Dichteschwankungen und das vermehrte Auftreten von Porendefekten zu erkennen. Die entwickelte Prozessüberwachung erzielt dabei Messunsicherheiten, die in der Größenordnung der Referenzmessung durch die Archimedische Dichtebestimmung liegen. ■



**Autor:**  
Dr.-Ing. Niclas Eschner



Versuchskörper unterschiedlicher Bauteilqualität beim Aufbau mit dem L-PBF Prozess. (Foto: wbk)

Dissertationen

## Standortgerechte Implementierungsstrategie für Smart Automation in Montagesystemen in China



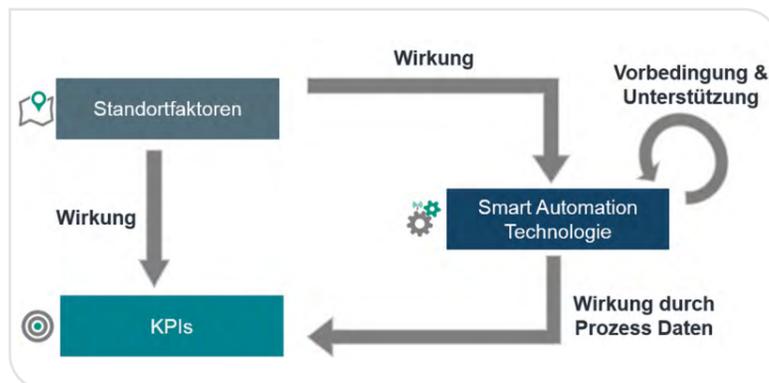
**Ansprechpartner am wbk:**  
Dr.-Ing. Shun Yang  
Telefon: +86 512 62967393  
shun.yang@kit.edu

### Ziel des Vorhabens

Produzierende Unternehmen in aufstrebenden Nationen wie China, sind bestrebt, die Produktivität der Produktion durch eine Verbesserung der Lean Produktion mit disruptiven Technologien zu erreichen. Smart Automation ist dabei eine vielversprechende Lösung, allerdings können Unternehmen aufgrund von mangelnden Ressourcen oft nicht alle Smart Automation Technologien gleichzeitig implementieren. Ebenso nimmt eine Vielzahl an Faktoren, wie zum Beispiel Standortfaktoren Einfluss. Dementsprechend herausfordernd ist die Auswahl und Priorisierung von Smart Automation Technologien in Form von Einführungsstrategien für produzierende Unternehmen.

### Vorgehensweise

Entsprechend trägt diese Arbeit dazu bei, eine regionalisierte Einführungsstrategie von Smart Automation Technologien in Montagesystemen zu ermöglichen. Zunächst werden die Standortfaktoren, Smart Automation Technologien und KPIs, die für China als dynamisches Entwicklungsland wichtig sind, auf Basis einer Literaturrecherche, Fragebögen und Experteninterviews identifiziert. In einem zweiten Schritt werden, mit Hilfe von qualitativen und quantitativen Analysen in Form von Experimenten und Experteninterviews mit Technologieanbietern, die Interdependenzen zwischen Standortfaktoren, Smart Automation Technologien und KPIs bestimmt. Anschließend werden diese Interdependenzen auf ein Montagesystem mittels hybrider Modellierung und Simulation übertragen.



Das Konzeptmodell der Einführungsstrategie (Foto: wbk)

Im vierten Schritt wird eine regionalisierte Einführungsstrategie auf Basis der spezifischen Bedingungen von produzierenden Unternehmen durch eine Optimierung und eine Monte-Carlo-Simulation abgeleitet. Die Methodik wurde im Rahmen des deutsch-chinesischen Forschungsprojekts *IATP* („Sino German Industrie 4.0 Factory Automation Plat-form“) entwickelt, das vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) unterstützt wird. Die Validierung wurde erfolgreich mit einem produzierenden Unternehmen in Beijing durchgeführt.

### Ergebnisse

Durch die Literaturrecherche, Fragebögen und Experteninterviews wurden die wesentlichen Standortfaktoren, die Befähigungstechnologien der Smart Automation und wichtige KPIs identifiziert. Diese Kataloge erlaubten ein besseres Verständnis des Unternehmensumfelds in einem bestimmten Land. Durch die Analyse der Interdependenzen zwischen Standortfaktoren, Smart Automation und KPIs wurden die Einflussmechanismen herausgearbeitet.

In der Folge wurden die hybride Modellierung und Simulation die Interdependenzen, die spezifischen Umstände und das Produktionssystem dargestellt. Durch Optimierung wurde die Einführungsstrategie auf die spezifischen Rahmenbedingungen und Kundenbelange zugeschnitten, was die Machbarkeit der Umsetzung erhöhte.

Die entwickelte Methodik stellt einen neuartigen Ansatz zur Entscheidungsunterstützung bei der Entwicklung einer regionalisierten Einführungsstrategie für Smart Automation Technologien in Montagesystemen dar. Dadurch sind produzierende Unternehmen in der Lage, individuelle Einführungsstrategien für disruptive Technologien auf Basis wissenschaftlicher und rationaler Analysen effektiv abzuleiten. ■

Dissertationen

## Schädigungsfreie Anbindung von hybriden FVK / Metall-Bauteilen an metallische Tragstrukturen durch Widerstandspunktschweißen

### Ziel des Vorhabens

Gesetzliche Rahmenbedingungen zum Klimaschutz führen im Automobilssektor zu einer wichtigeren Rolle des Leichtbaus. Um die Ziele der Ressourceneffizienz auch unter wirtschaftlichen Aspekten zu erreichen, werden moderne Karosserien in der sogenannten Mischbauweise ausgeführt. Hierbei geht die höchste Gewichtsersparnis mit endlosfaserverstärkten Bauteilen einher, welche in der Großserie bevorzugt im Resin-Transfer-Moulding-Verfahren (RTM-Verfahren) hergestellt werden. Dem Fügen der Karosseriebauteile kommt eine wichtige Rolle zu, wobei das Widerstandspunktschweißen aufgrund des Automatisierungsgrads und der niedrigen Kosten bevorzugt wird. Eine vielversprechende Möglichkeit, das Widerstandspunktschweißen auch für FVK/Metall-Verbindungen zu befähigen, stellen schweißbare Inserts dar. Das Ziel dieser Arbeit besteht daher darin, das RTM-Verfahren zur Herstellung punktschweißbarer FVK/Metall-Bauteile und deren schädigungsfreie Anbindung an metallische Tragstrukturen zu erweitern.

### Vorgehensweise

Zur Zielerreichung erfolgt zunächst eine Bewertung von Prozessgrößen auf Temperaturmaxima. Anschließend wird das RTM-Verfahren zur Herstellung punktschweißbarer FVK/Metall-Bauteile befähigt. Im letzten Schritt wird eine Methodik zur schädigungsfreien Gestaltung der Fügestelle entwickelt, wobei ein Finite-Elemente-Modell eine Temperaturvorhersage während des Punktschweißens erlaubt.

### Ergebnisse

Hinsichtlich der Bewertung von Prozesseinflussgrößen auf Temperaturmaxima können folgende Erkenntnisse zusammengefasst werden: Erstens kann

die eingebrachte Schweißwärme durch eine geeignete Führung des Schweißprozesses ohne Beeinflussung der Schweißpunktqualität signifikant reduziert werden. Zweitens beeinflussen das kleine Aspekt-Verhältnis sowie die typische Insertgeometrie die Temperaturverteilung. Hierbei wirken größere Außen- und kleinere Innendurchmesser einer radialen Temperatursausbreitung entgegen. Drittens erhöht sich mit zunehmender Nähe des Faserverbunds zum Schweißzentrum die Wärmeabfuhrleistung durch Konduktionsvorgänge.

Im Rahmen der Weiterentwicklung des RTM-Verfahrens wurde eine geeignete Werkzeugtechnologie zur Herstellung punktschweißbarer RTM-Bauteile entwickelt und erprobt. Eine Analyse der Preformings bei der fasergerechten Locheinbringung in Faserhalbzeuge zeigt dabei, dass die Art des textilen Halbzeugs sowie der Lochdurchmesser einen signifikanten Einfluss auf den Faserverlauf haben. Unter Berücksichtigung beider Prozessgrößen wurde anschließend ein analytisches Modell auf Basis von Splines erarbeitet, welches den realen Faserverlauf nach der Insertintegration genau beschreibt. Dies zur Grundlage wurde ein Finite-Elemente-Modell aufgebaut, welches die Temperaturverteilung während des Punktschweißens von CFK-/Metall-Bauteilen abbildet und eine Auslegung der Fügestelle unter Vermeidung einer thermischen Schädigung ermöglicht. ■



**Autor:**  
Dr.-Ing. Sven Roth



Exemplarische Anwendung punktschweißbarer Inserts: Anbindung eines CFK Dachquerträgers an die Fahrzeugkarosserie (Foto: wbk)

Dissertationen

## Hochiterative Technologieplanung – Rekursive Optimierung produkt- und fertigungsbezogener Freiheitsgrade am Beispiel der hybrid-additiven Fertigung



Autor:  
Dr.-Ing. Alexander Jacob

### Ziel des Vorhabens

Die Produktentwicklung soll nicht nur das optimale Produkt für den Kunden schaffen, sondern auch die effizienteste Produktion dieses Produkts berücksichtigen. Dies wird zu einer komplexen Aufgabe, die für ein Unternehmen nicht ganzheitlich zu erfassen ist, insbesondere dann, wenn die Produkttechnologie hoch innovativ ist, aber auch bei einer hohen Vielfalt an neuen Fertigungstechnologien, wie z. B. additiven Fertigungsverfahren. Wenn darüber hinaus die fertigungstechnischen Möglichkeiten neue Freiheitsgrade für die Produktentwicklung bieten, ist eine integrierte Optimierung von Produkt und Fertigungstechnologie besonders vorteilhaft. Diese Optimierung ist das Ziel dieser Arbeit.

### Vorgehensweise

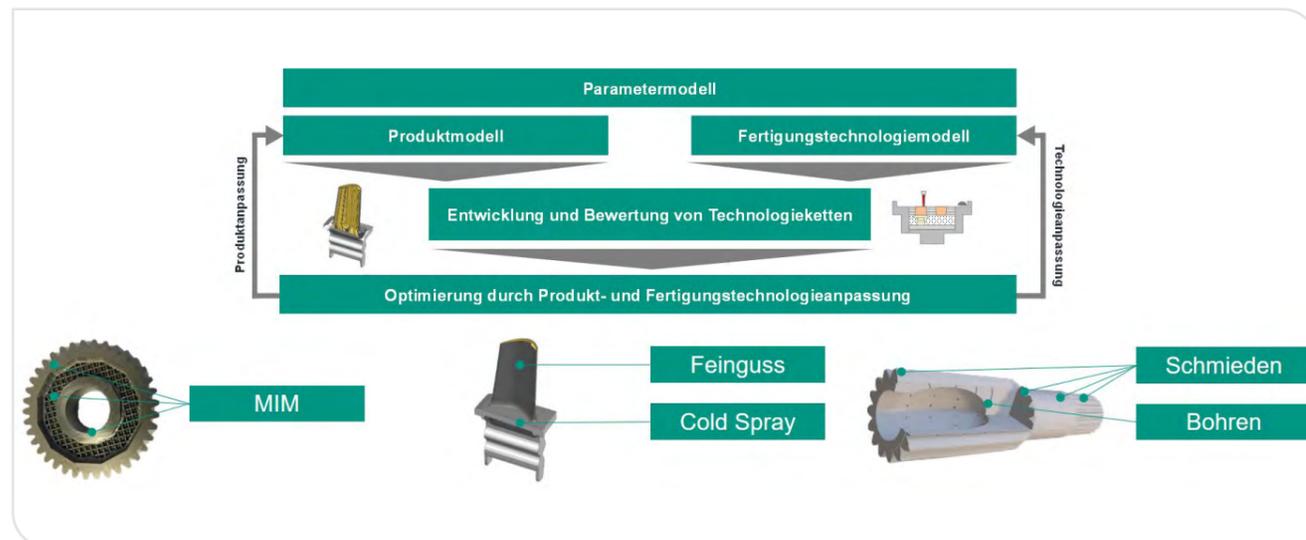
In dieser Arbeit werden sowohl ein Produktmodell als auch ein Fertigungstechnologiemodell entwickelt, die zur Abbildung beliebiger Produkte und Fertigungstechnologien mehrfach verwendet werden können. Diese Modelle dienen als Input für die Planung und Bewertung möglicher alternativer Fertigungstechnologieketten für die Produktion eines spezifizierten Produktes. Die optimale Technologiekette wird durch Anwendung eines multikriteriellen Entscheidungsverfahrens ermittelt.

Die Technologiekette und das zugehörige Produkt werden als Ausgangspunkt für eine rekursive Optimierung verwendet. Es werden unerfüllte Produktanforderungen und die entsprechenden Fähigkeiten der Technologien identifiziert. Diese werden dann schrittweise angepasst, soweit es die Freiheitsgrade im Produktdesign und in der Technologie erlauben. Durch die Anpassungen entstehen neue Technologieketten. Dieser Prozess wird iterativ mit einem modifizierten Produktmodell und einem modifizierten Produktionstechnologiemodell wiederholt, so dass eine Baumstruktur entsteht, die die konsekutiven Optimierungen über alle Iterationen abbildet.

### Ergebnisse

Zur Demonstration dieser Methodik wurden drei verschiedene Produkte verwendet: Eine Turbinenschaufel mit Kühlkanälen, ein Getriebe mit Gittereinlage und ein Sonnenrad mit internen Schmierkanälen. Für jedes Produkt wurden mehrere Optimierungen dargestellt und eine Sensitivitätsanalyse von ausgewählten Produktparametern durchgeführt.

Die Methodik schafft im Rahmen der Technologieplanung die Möglichkeit, auf Basis von hoch iterativen Produkt- und Fertigungstechnologieanpassungen eine neue, wirtschaftlich und technisch optimale Technologiekette zu identifizieren. ■



Überblick der Optimierungsmethodik und der Demonstratoren (Bildquellen: Siemens AG, GKN Sinter Metals Engineering GmbH, John Deere GmbH & Co. KG)

Dissertationen

## Robustheitssteigerung in Produktionsnetzwerken mithilfe eines integrierten Störungsmanagements

### Motivation und Zielsetzung

Wie die aktuelle COVID-19-Pandemie aufzeigt, können Störungen weitreichende Folgen für Produktionsnetzwerke und Lieferketten nach sich ziehen. Es bestehen eine Vielzahl von Wechselwirkungen zwischen Partnern in Produktionsnetzwerken und die Landschaft an potentiellen Maßnahmen zur Reaktion auf Störungen ist vielfältig und komplex. So gestaltet es sich für Unternehmen häufig schwierig, im Störfall situativ die beste Entscheidung zu treffen und alle relevanten Partner mit einzubeziehen.

### Vorgehensweise

Um der oben geschilderten Herausforderung Rechnung zu tragen, unterstützt die entwickelte Methodik zur Robustheitssteigerung in Produktionsnetzwerken mithilfe eines integrierten Störungsmanagements Entscheidungsträger dabei, im Störfall unter Berücksichtigung aller produktions- und logistikrelevanter Akteure die situativ vorteilhafteste Reaktionsmaßnahme zu ergreifen. Hierfür werden, ausgehend von einer Vielzahl von simulativ erprobten und mithilfe einer Störungsmorphologie abgebildeten, produktions- und logistikbezogenen Störungsszenarien und darauf aufbauenden Reaktionsmaßnahmen, Entscheidungsbäume und Random Forests trainiert. Diese sollen im Störfall schnell und unkompliziert Aufschluss über die vorteilhaftesten Maßnahmen

zur Störungsbewältigung geben. Neben der Unterstützung bei der Reaktion auf Störungen werden Entscheidungsträgern darüber hinaus auch Potentiale aufgezeigt, wie eine vorteilhafte Reaktion auf Störungen durch eine bestmögliche Antizipation von Störungen mithilfe planerischer Anpassungen unterstützt werden kann. Hierfür werden neben kapazitiven Anpassungen insbesondere auch Anpassungen an der Lieferantenbasis oder dem Fuhrpark vorgeschlagen, um Produktionsnetzwerke möglichst robust gegenüber Störungen zu gestalten.

### Beispielhafte Anwendung

Der Ansatz wird auf ein exemplarisches Produktionsnetzwerk aus der Luftfahrtindustrie angewendet, bei dem die Endmontage von Schmalrumpfflugzeugen das Zentrum der Betrachtungen bildet. Die Ergebnisse der Erprobung zeigen dabei nicht nur auf, dass sich die Leistungsfähigkeit des Produktionsnetzwerks bei eintretenden Störungen merklich verschlechtern kann. Vielmehr wird deutlich, dass ein Ergreifen unvorteilhafter Maßnahmen sogar zu Verschlechterungen im Vergleich zum Störfall führen kann. Durch die Anwendung der Entscheidungsbäume kann das Ergreifen vorteilhafter Maßnahmen unterstützt und die Robustheit des Produktionsnetzwerks signifikant gesteigert werden. Produktions- und logistikbezogene Anpassungen begünstigen die Robustheitssteigerung weiterhin von planerischer Seite. ■



Ansprechpartnerin am wbk:  
Dr.-Ing. Sina Peukert  
Telefon: +49 1523 9502581  
sina.peukert@kit.edu



Analyse der Möglichkeiten eines integrierten Störungsmanagements in Produktion und Logistik (Foto: Magali Hauser, KIT)

Dissertationen

## Ressourceneffiziente Herstellung von Langfaser-Preforms im Faserblasverfahren



Autor:  
Dr.-Ing. Patrick Moll

### Ziel des Vorhabens

Ein vielversprechender Ansatz zur direkten Fertigung von dreidimensionalen Preforms aus Langfasern ohne den Zwischenschritt über zweidimensionale Halbzeuge stellt das ressourceneffiziente Faserblasverfahren dar. Hauptziel der Dissertation ist die systematische Erfassung der Wirkzusammenhänge zwischen den Prozessparametern und den resultierenden Eigenschaften der Preforms sowie eine darauf aufbauende Prozessregelung zur Steigerung der Preformhomogenität und Reproduzierbarkeit der Fertigung.

### Vorgehensweise

Ausgangspunkt der Arbeit ist eine Analyse des Faserblasprozesses und die Identifikation der relevanten Einflussgrößen und deren Wechselwirkungen. Für die sensorische Erfassung des Formfüllvorgangs wird ein Prozessüberwachungssystem entwickelt. Dies erlaubt es, die Vorgänge in der Einblasform zu beobachten womit Durchlichtbilder für eine zerstörungsfreie Analyse der hergestellten Preforms aufgenommen werden können. Für die bildbasierte Analyse der Preforms werden Methoden zur Bewertung

der Homogenität und Bestimmung der Faserorientierung untersucht und weiterentwickelt. Mit Hilfe der Prozessüberwachung und der Bewertungsmethoden werden anschließend in einer experimentellen Versuchsreihe die Wirkzusammenhänge erfasst und beschrieben. Abschließend wird die Prozessregelung implementiert und validiert.

### Ergebnisse

Die Ergebnisse der Dissertation führen zu einem verbesserten Verständnis des Einblasprozesses im Faserblasverfahren. Insbesondere sind die relevanten Prozessparameter identifiziert, ihr Einfluss auf die Eigenschaften der hergestellten Preforms herausgestellt und die zugrundeliegenden Mechanismen beschrieben. Die entwickelte kamerabasierte Prozessüberwachung erlaubt die Erfassung der Formfüllung und der Faserverteilung während des Formfüllvorgangs. Mittels der hierauf aufgebauten Regelung der Einblasdüse konnte die Reproduzierbarkeit der Preforms erheblich gesteigert werden.

Die gewonnen Erkenntnisse können qualitativ auch auf die Herstellung von Faserformteilen jenseits des Anwendungsfall als Preform übertragen werden. ■



Faserblaszelle am wbk (Foto: wbk)

Dissertationen

## Erhöhung der Verschleißbeständigkeit von Bauteilen aus Ti-6Al-4V mittels simulationsgestützter Zerspanung und mechanischer Mikrotexturierung

### Ziel des Vorhabens

Die für den Leichtbau relevante Titanlegierung Ti-6Al-4V ist selbst milden tribologischen Belastungen aufgrund von Adhäsionsverschleiß nicht gewachsen. In der Praxis wird sie daher z.B. durch Beschichtung aus Tribosystemen ferngehalten. Die Reduktion des Verschleißes von Bauteilen aus Ti-6Al-4V eröffnet also Anwendungsfelder und senkt Kosten für den Leichtbau, sofern die notwendigen Methoden günstiger als Beschichtungsmethoden sind. Daher ist das Ziel dieser Arbeit, die Verschleißbeständigkeit von Bauteilen aus Ti-6Al-4V mit möglichst einfachen Methoden zu erhöhen.

### Vorgehensweise

Die Ausprägung der zerspanungsbedingten mikrokristallinen Randschicht beeinflusst nachweislich das Verhalten von Tribosystemen. Numerische Simulationen können durch Vorhersage von Bearbeitungsergebnissen durch Extrapolation den experimentellen Aufwand reduzieren.

Die mechanische Mikrotexturierung ist in der Regel mit zusätzlichen Werkzeugen, Prozessen oder gar Maschinenteknik verbunden. Im Rahmen dieser Arbeit werden daher einfachste Prozesse verwendet, um entsprechend in ihren gestalterischen Freiheitsgraden eingeschränkte Mikrotexturen zu fertigen.

Die durchgeführten Endbearbeitungen mit und ohne Mikrotexturen werden im Rahmen klassischer Stift-Scheibe-Versuche im Hinblick auf Reibungs- und Verschleißverhalten untersucht.

### Ergebnisse

Die fertigungstechnische Modifikation der mikrokristallinen Randschichtdicke ist auch bei Ti-6Al-4V mit den aus anderen Werkstoffen bekannten Stellgrößen möglich und der numerischen Simulation abbild- und extrapolierbar.

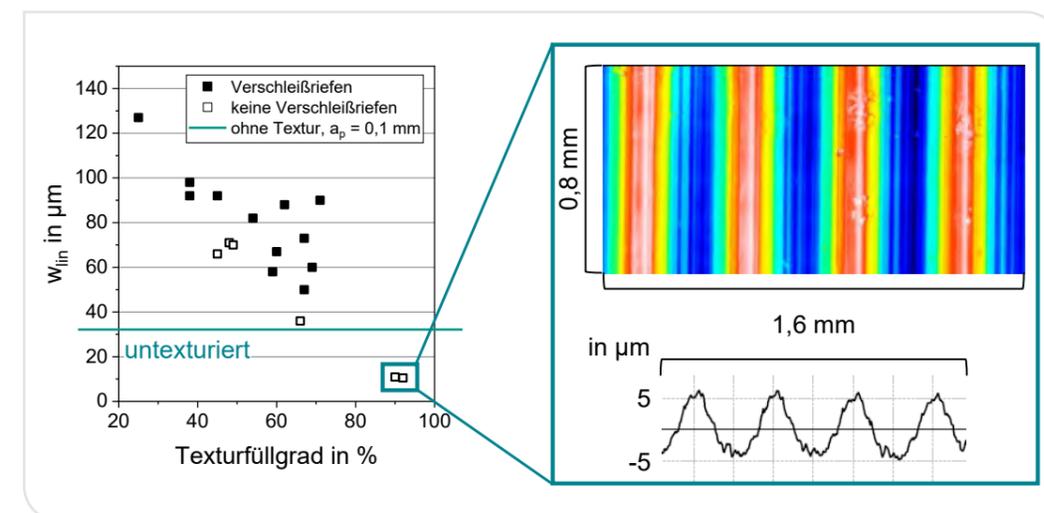
In der geschmierten tribologischen Belastung gegen Lagerbronze bietet die Randschichtdicke ein Optimierungspotential, welches nicht für einen direkten Einsatz ausreicht.

Die Mikrotexturierung von Oberflächen ist mit herkömmlichen Maschinen und Werkzeugen möglich. Neben einer spanabhebenden Durchführung, wurde auch ein umformender Prozess, die sogenannte Komplementärtexturierung, entwickelt. Dieser birgt für kaltverfestigende Werkstoffe ein großes Potential, konnte jedoch letztlich für Ti-6Al-4V nicht robust eingesetzt werden.

Die tribologische Prüfung von mit unterschiedlich dicht texturierten Bauteilen weist auf eine Unterdrückung adhäsiver Mechanismen bei sehr hohen Füllgraden der Textur hin, welche den Verschleiß deutlich reduziert. Hier gilt es, werkstoffübergreifend weitere Untersuchungen anzustellen. ■



Autor:  
Dr.-Ing. Eric Segebade



Linearer Systemverschleiß je Füllgrad von Texturierten Proben. Beispieltopographie (Foto: wbk)



Studierendenzahlen Studienjahr 2020/2021 im Vergleich zu den Vorjahren.

| Anzahl Studienanfänger                           | Studienjahr<br>2020/21 | Studienjahr<br>2019/20 | Studienjahr<br>2018/19 | Studienjahr<br>2017/18 |
|--|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|
| <b>Maschinenbau</b>                              |                        |                        |                        |                        |
| Bachelor   | 332                    | 358                    | 450                    | 514                    |
| Master   | 316                    | 321                    | 361                    | 458                    |
| <b>Materialwissenschaft und Werkstofftechnik</b> |                        |                        |                        |                        |
| Bachelor   | 27                     | 30                     | 27                     | 79                     |
| Master   | 47                     | 35                     | 57                     | 49                     |
| <b>Mechatronik und Informationstechnik</b>       |                        |                        |                        |                        |
| Bachelor   | 112                    | 123                    | 98                     | 95                     |
| Master   | 145                    | 159                    | 244                    | 162                    |
| <b>Wirtschaftsingenieurwesen</b>                 |                        |                        |                        |                        |
| Bachelor   | 478                    | 561                    | 603                    | 564                    |
| Master   | 338                    | 381                    | 397                    | 363                    |
| <b>Gesamt</b>                                    | <b>1795</b>            | <b>1968</b>            | <b>2237</b>            | <b>2284</b>            |

**Ziel**  
Das wbk bildet die Produktionsingenieure aus, die ein integratives Verständnis von den Prozessen über die Anlagen und Automatisierung bis hin zu vernetzten Fabriken besitzen.

**Vorlesungen**  
(inkl. Übung / Tutorien)

Für die Fakultäten  
Maschinenbau,  
Wirtschaftsingenieurwesen  
und Informatik

Einbindung von  
Gastdozenten  
aus der Industrie

Umfangreiches Angebot  
aus den Bereichen  
FWT, MAP und PRO

**Projektarbeiten**  
(inkl. Praktika, Labore)

Studentische  
Abschlussarbeiten

Industrial Case Studies  
mit Studierenden

Internationaler  
Studentenaustausch

Lernfabrik im  
produktionstechnischen  
Labor

**Weiterbildung**  
(berufsbegleitend)

Seminare

Workshops

Executive Master  
an der  
Hector-School

(Production Operations  
Management)

**Promotion**  
(Assistenzpromotion)

Strukturierter  
Promotionsprozess

Professionalisierung und  
Persönlichkeitsförderung

Industrieerfahrung

Lehrerfahrung

Internationalisierung  
(Konferenzen,  
Forschungsaufenthalte)

**Basiskompetenz durch Methodenausbildung**  
Analyse-, Planung- & Bewertungsmethoden, Simulationen

## Studium und Lehre

## Vorlesungsangebot für Studierende des Maschinenbaus

| Veranstaltung  | Beschreibung  | Dozent                               |
|--|---|--------------------------------------|
| Arbeitstechniken im Maschinenbau (SS)  | Prinzipien des wissenschaftlichen Arbeitens, Informationskompetenz, Präsentieren, Teamarbeit  | Fleischer, Lanza, Schulze            |
| Automatisierte Produktionsanlagen (SS)   | Werkstücke, Werkzeuge, Materialfluss, Roboter, Steuerungstechnik, Qualitätssicherung, Montage   | Fleischer                            |
| Betriebliche Produktionswirtschaft (SS)  | Produktionstechnik (Fertigungsverfahren, Fertigungs- und Montagesysteme), Arbeitsplanung, -steuerung, -gestaltung, Materialfluss, betriebswirtschaftliche Grundlagen  | Lanza, Furmans                       |
| Betriebliche Produktionswirtschaft (SS)  | Produktionstechnik (Fertigungsverfahren, Fertigungs- und Montagesysteme), Arbeitsplanung, -steuerung, -gestaltung, Materialfluss, betriebswirtschaftliche Grundlagen  | Lanza, Furmans                       |
| Digitalisierung von der Produktion bis zum Kunden in der optischen Industrie (WS)            | Digitalisierung entlang der gesamten Wertschöpfungskette, mit Schwerpunkt auf Produktion und Supply Chain. Konzepte, Werkzeuge, Methoden, Technologien und konkrete Anwendungen in der Industrie  | Wawerla                              |
| Fertigungstechnik (WS)   | Prozesswissen der gängigen Verfahren der Fertigungstechnik, Prozessketten   | Schulze, Gerstenmeyer                |
| Globale Produktion (WS)  | Globaler Vertrieb, standortgerechte Produktions- und Produktpassung, Beschaffungsstrategien, Produktionsnetzwerke   | Lanza                                |
| Grundlagen der Fertigungstechnik (WS)  | Einführung in die Grundlagen und Überblick über die Verfahren der Fertigungstechnik   | Schulze                              |
| Integrative Strategien und deren Umsetzung in Produktion und Entwicklung von Sportwagen (SS) | Analyse von Markttrends, Gesetzesanforderungen, Variantenmanagement, Strategieentwicklung im Sportwagensegment, Bedarfsprognosen zum Kompetenzmanagement und Technologiemonitoring  | Schlichtenmayer                      |
| Integrierte Produktionsplanung im Zeitalter von Industrie 4.0 (SS)                           | Produktionsnetzwerke und -systeme, Fabrik- und Montageplanung, Materialfluss, Produktionsplanung und -steuerung, Life Cycle Performance   | Lanza                                |
| International Production Engineering (SS/WS)   | Einblick in die Entwicklung von Produktionsanlagen im internationalen Umfeld; Bearbeitung einer aktuellen Problemstellung im Team, die durch einen Industriepartner in das Projekt eingebracht wird, der sowohl in Deutschland als auch in China tätig ist. | Fleischer                            |
| Lernfabrik Globale Produktion (WS)   | Standortwahl, Fabrikplanung, Qualitätssicherung, Skalierbare Automatisierung, Lieferantenauswahl, Netzwerkplanung   | Lanza                                |
| Praktikum Produktionsintegrierte Messtechnik (SS)  | Klassifikation und Anwendungsfälle relevanter Mess- und Prüfverfahren in der Produktion, robotergestützte optische Messungen, zerstörungsfreie Prüftechnik am Beispiel von akustischer Sensorik, industrielle Computertomographie                           | Häfner                               |
| Produkt- und Produktionskonzepte für moderne Automobile (WS)                                 | Rahmenbedingungen der Fahrzeug- und Karosserieentwicklung, Integration neuer Antriebstechnologien, Konzepte zur Reduktion des Fahrzeuggewichts, Werkstoffleichtbau (Metall, Kunststoffe), innovative Fertigungsverfahren                                    | Steegmüller, Kienzle                 |
| Produktionstechnik für die Elektromobilität (SS)   | Produktionsprozesse zur Herstellung der Komponenten eines elektrischen Antriebsstrangs (Elektromotor, Batteriezellen, Brennstoffzellen) auslegen, auswählen und neu entwickeln zu können.   | Fleischer                            |
| Produktionstechnisches Labor (SS)  | Praktische Umsetzung der Kenntnisse über die Komponenten einer modernen Fabrik  | Deml, Fleischer, Furmans, Ovtcharova |
| Projektpraktikum Additive Fertigung: Entwicklung und Fertigung eines additiven Bauteils (WS) | Entwicklung und Fertigung eines additiven Bauteils im Team anhand eines konkreten Entwicklungsprojekts mit einem Projektpartner aus der Industrie   | Zanger                               |
| Qualitätsmanagement (WS)   | Qualitätsmanagementmethoden, Fertigungsmesstechnik, statistische Methoden, Service, Zertifizierungsmöglichkeiten, rechtliche Aspekte  | Lanza                                |
| Seminar Data-Mining in der Produktion (WS/SS)  | Kennenlernen ausgewählter Methoden des Data-Mining und Anwendung anhand eines konkreten Falles aus der Industrie im Team  | Lanza                                |
| Steuerung eines global agierenden Unternehmens – Am Beispiel der Robert BOSCH GmbH           | Einblicke in Unternehmensprozesse und Funktionen  | Maier                                |
| Steuerungstechnik (SS)   | Signalverarbeitung, Detektion und Beeinflussung von Prozesszuständen, elektrische Steuerungen, Bussysteme   | Gönzheimer                           |
| Umformtechnik (SS)   | Massiv- und Blechumformung, Werkzeugmaschinen, Tribologie, Werkstoffkunde, Fertigungsplanung, Plastizitätstheorie   | Herlan                               |
| Verzahntechnik (WS)  | Anwendungsbeispiele, Verzahnungsgeometrie, Weich- und Hartbearbeitung, Herstellung von Kegelrädern, Messen und Prüfen   | Klaiber                              |
| Werkzeugmaschinen und hochpräzise Fertigungssysteme (WS)                                     | Aufbau und Einsatz/Verwendung von Werkzeugmaschinen und hochpräzisen Fertigungssystemen; Auswahl, Auslegung und Beurteilung von Werkzeugmaschinen und hochpräzisen Fertigungssystemen   | Fleischer                            |

## Studium und Lehre

## Vorlesungsangebot für Studierende des Wirtschaftsingenieurwesens

| Veranstaltung  | Beschreibung  | Dozent                    |
|--|---|---------------------------|
| Automatisierte Produktionsanlagen (SS)   | Werkstücke, Werkzeuge, Materialfluss, Roboter, Steuerungstechnik, Qualitätssicherung, Montage   | Fleischer                 |
| Digitalisierung von der Produktion bis zum Kunden in der optischen Industrie (WS)            | Digitalisierung entlang der gesamten Wertschöpfungskette, mit Schwerpunkt auf Produktion und Supply Chain. Konzepte, Werkzeuge, Methoden, Technologien und konkrete Anwendungen in der Industrie                                  | Wawerla                   |
| Fertigungstechnik (WS)   | Prozesswissen der gängigen Verfahren der Fertigungstechnik, Prozessketten   | Schulze                   |
| Globale Produktion (WS)  | Globaler Vertrieb, standortgerechte Produktions- und Produktpassung, Beschaffungsstrategien, Produktionsnetzwerke   | Lanza                     |
| Integrative Strategien und deren Umsetzung in Produktion und Entwicklung von Sportwagen (SS) | Analyse von Markttrends, Gesetzesanforderungen, Variantenmanagement, Strategieentwicklung im Sportwagensegment, Bedarfsprognosen zum Kompetenzmanagement und Technologiemonitoring  | Schlichtenmayer           |
| Integrierte Produktionsplanung im Zeitalter von Industrie 4.0 (SS)                           | Produktionsnetzwerke und -systeme, Fabrik- und Montageplanung, Materialfluss, Produktionsplanung und -steuerung, Life Cycle Performance   | Lanza                     |
| Lernfabrik Globale Produktion (WS)   | Standortwahl, Fabrikplanung, Qualitätssicherung, Skalierbare Automatisierung, Lieferantenauswahl, Netzwerkplanung   | Lanza                     |
| Praktikum Produktionsintegrierte Messtechnik (SS)  | Klassifikation und Anwendungsfälle relevanter Mess- und Prüfverfahren in der Produktion, robotergestützte optische Messungen, zerstörungsfreie Prüftechnik am Beispiel von akustischer Sensorik, industrielle Computertomographie | Häfner                    |
| Produkt- und Produktionskonzepte für moderne Automobile (WS)                                 | Rahmenbedingungen der Fahrzeug- und Karosserieentwicklung, Integration neuer Antriebstechnologien, Konzepte zur Reduktion des Fahrzeuggewichts, Werkstoffleichtbau (Metall, Kunststoffe), innovative Fertigungsverfahren          | Steegmüller, Kienzle      |
| Produktionstechnik für die Elektromobilität (SS)   | Produktionsprozesse zur Herstellung der Komponenten eines elektrischen Antriebsstrangs (Elektromotor, Batteriezellen, Brennstoffzellen) auslegen, auswählen und neu entwickeln zu können.   | Fleischer                 |
| Produktionstechnisches Seminar (WS/SS)   | Projekt mit schriftlicher Ausarbeitung zu aktuellen Forschungsthemen – allein oder im Team  | Fleischer, Lanza, Schulze |
| Qualitätsmanagement (WS)   | Qualitätsmanagementmethoden, Fertigungsmesstechnik, statistische Methoden, Service, Zertifizierungsmöglichkeiten, rechtliche Aspekte  | Lanza                     |
| Seminar Data-Mining in der Produktion (WS/SS)  | Kennenlernen ausgewählter Methoden des Data-Mining und Anwendung anhand eines konkreten Falles aus der Industrie im Team  | Lanza                     |
| Steuerungstechnik (SS)   | Signalverarbeitung, Detektion und Beeinflussung von Prozesszuständen, elektrische Steuerungen, Bussysteme   | Gönzheimer                |
| Umformtechnik (SS)   | Massiv- und Blechumformung, Werkzeugmaschinen, Tribologie, Werkstoffkunde, Fertigungsplanung, Plastizitätstheorie   | Herlan                    |
| Verzahntechnik (WS)  | Anwendungsbeispiele, Verzahnungsgeometrie, Weich- und Hartbearbeitung, Herstellung von Kegelrädern, Messen und Prüfen   | Klaiber                   |
| Werkzeugmaschinen und hochpräzise Fertigungssysteme (WS)                                     | Aufbau und Einsatz/Verwendung von Werkzeugmaschinen und hochpräzisen Fertigungssystemen; Auswahl, Auslegung und Beurteilung von Werkzeugmaschinen und hochpräzisen Fertigungssystemen   | Fleischer                 |

Studium und Lehre

## Auszeichnungen und Ehrungen

### Ausgezeichnete Studierende

Ende 2020 und im Jahr 2021 machten erneut Studierende des wbk mit herausragenden Arbeiten auf sich aufmerksam. Im Dezember 2020 wurde Abdalla Hamouda mit dem Prof. Dr.-Ing. Hans Victor-Preis für seine Bachelor-Arbeit zum Thema „Entwicklung und Validierung eines Sensorsystems zur Erfassung kleinskaliger Partikelbewegungen im Stream-Finishing-Prozess“ von Professor Volker Schulze am wbk Institut für Produktionstechnik ausgezeichnet.



Prof. Volker Schulze und Alexander Boczek bei der Preisübergabe 2021 (Foto: wbk)



Prof. Volker Schulze und Philipp Weisser vor der Gedenktafel am Ehrenhof (Foto: wbk)

Im November 2021 überreichte er gleich zwei Studierenden den Prof. Dr.-Ing. Hans Victor-Preis für ihre hervorragenden Abschlussarbeiten im Rahmen eines kleinen Festakts am wbk Institut für Produktionstechnik: Alexander Boczek wurde für seine Bachelorarbeit zum Thema „Prozessanalyse beim kryogenen Außenlängsdrehen des Vergütungsstahls 42CrMo4“ ausgezeichnet. Philipp Weisser erhielt den Preis für seine Bachelorarbeit zum Thema „Qualifizierung des Vakuum-Druck-Gießens zur Erzeugung von stromführenden Leiterbahnen in keramischen Grundkörpern“.

Prof. Hans Victor war von 1965 bis 1980 Institutsleiter am wbk und war Pionier seiner Zeit auf dem Gebiet der Zerspanung. Seine Frau richtete eine Stiftung – speziell für Studierende mit herausragenden Leistungen im Bereich der Produktionstechnik – ein.

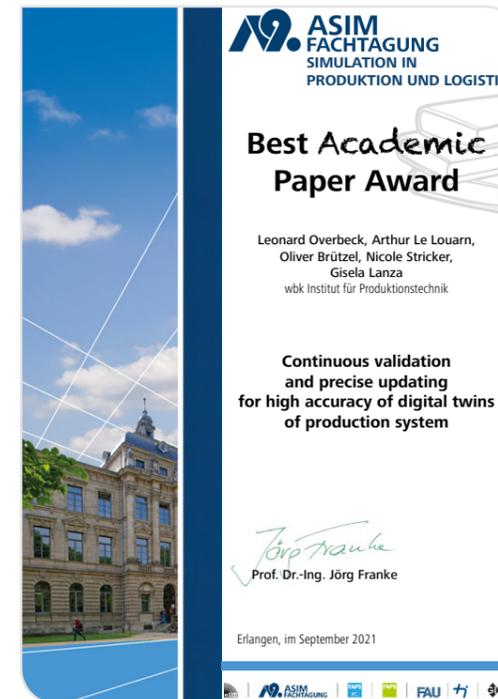


Professor Volker Schulze überreicht Abdalla Hamouda Ende 2020 die Urkunde (Foto: wbk)

Die Masterarbeit von Johannes Schubert, der nun als akademischer Mitarbeiter im Bereich Fertigungs- und Werkstofftechnik (FWT) am wbk tätig ist, wurde mit dem Dr.-Ing. Willy Höfler-Preis als beste Masterarbeit auf dem Gebiet der Produktionstechnik am Karlsruher Institut für Technologie (KIT) ausgezeichnet. Die Masterarbeit ist im Rahmen eines der am wbk bearbeiteten Arbeitspakete „Hochkomplexe elektrisch isolierende Keramikbauteile mit innenliegenden stromführenden Leiterbahnen“ als Teil des Projekts „Endkonturoptimierte Produktion und Eigenschaftsoptimierung mittels additiver Fertigung“ im Themenfeld Advanced Manufacturing des InnovationsCampus Mobilität der Zukunft (ICM) entstanden. Das Projekt wurde unterstützt vom Ministerium für Wissenschaft, Forschung und Kunst.



Johannes Schubert durfte Auszüge seiner Arbeit beim wgp-Jahreskongress vorstellen (Foto: wbk)



ASIM-Urkunde (Foto: wbk)

### Ausgezeichnete Oberingenieure

Wir freuen uns sehr, über Preise, die unsere Oberingenieurinnen und -ingenieure erhalten. Dr.-Ing. Janna Ruhland, ehemalige Oberingenieurin am wbk Institut für Produktionstechnik wurde 2021 als eine von neun Nachwuchswissenschaftlerinnen und -wissenschaftlern aus Baden-Württemberg bei einer Online-Veranstaltung in Stuttgart mit dem Förderpreis des Arbeitgeberverbandes Südwestmetall ausgezeichnet. Janna Hofmann erhielt die Auszeichnung für ihre Dissertation am Karlsruher Institut für Technologie (KIT) zum Thema „Prozessmodellierung des Fünf-Achs-Nadelwickelns zur Implementierung einer trajektorienbasierten Drahtzugkraftregelung“. In ihrer Dissertation befasste sie sich mit der automatisierten Fertigung von verteilten Wicklungen von Elektromotoren für die Anwendung in batterieelektrischen Fahrzeugen. Bisher konnten solche Wicklungen entweder nur händisch oder mit hohen Werkzeugkosten vollautomatisch gefertigt werden. In ihrer Doktorarbeit entwickelte Ruhland erstmals ein Verfahren, die Wicklungen automatisch auch mit relativ geringen Werkzeugkosten fertigen zu können. Mit dem Förderpreis würdigt Südwestmetall seit über 30 Jahren

### Ausgezeichnete Assistentinnen und Assistenten

Sehr stolz sind wir auf die Preise, die im Jahr 2021 die Qualität der wissenschaftlichen Arbeit, Publikationen und Vorträge am wbk unterstreichen. Für ihr wissenschaftliches Paper Continuous validation and precise updating for high accuracy of digital twins of production system erhielten Leonard Overbeck, Arthur Le Louarn, Oliver Brützel, Dr. Nicole Stricker und Prof. Gisela Lanza vom wbk Institut für Produktionstechnik die Urkunde „Best Academic Paper“ im Rahmen der ASIM Fachtagung. Dies ist die größte europäische Simulationstagung für Produktion und Logistik, die alle 2 Jahre stattfindet und bei der sowohl Forschung als auch Industrie vertreten sind. Das Paper des wbk ist im Zuge einer Forschungsk Kooperation mit Bosch Powertrain Solutions entstanden ist. Der Preis unterstreicht auch die Bedeutung des Digitalen Zwillinges für die Produktion von morgen.

herausragende Leistungen des wissenschaftlichen Nachwuchses an den neun baden-württembergischen Landesuniversitäten. Bereits 2017 konnte sich eine Nachwuchswissenschaftlerin des wbk den mit 5.000 Euro dotierten Preis sichern.



Preisträgerin Dr.-Ing. Janna Ruhland mit Urkunde (Foto: wbk)

## Exkursionen

## Assistentenexkursion des wbk



**Ansprechpartner am wbk:**  
Edgar Mühlbeier, M.Sc.  
Telefon: +49 1523 9502587  
edgar.muehlbeier@kit.edu

Die traditionelle Assistentenexkursion des wbk Instituts für Produktionstechnik ist ein alljährliches Highlight unter den wissenschaftlichen Mitarbeitenden sowie Professorinnen und Professoren. Als gemeinsame Gruppe reist das Team des Instituts dabei für vier bis fünf Tage in eine industriell spannende Region innerhalb Deutschlands oder auch in Nachbarländer und besucht dort unterschiedlichste Unternehmen und Produktionsstätten. Die Veranstaltung ermöglicht es, die reale Produktion im Shopfloor mitzuerleben, neueste Trends in der Produktionstechnik aufzugreifen und die Vernetzung zur Industrie zu fördern.

Nachdem die Exkursion aufgrund der Pandemiesituation 2020 ausfallen musste, war die Vorfreude zur Exkursion in diesem Jahr besonders groß. Unter großen Mühen gelang es trotz Corona-bedingter Einschränkungen und Besuchsmöglichkeiten eine dreitägige Exkursion, insbesondere durch die Unterstützung ehemaliger wbk'ler, zu organisieren. Mit über 80 Teilnehmenden reiste das wbk-Team täglich in mehreren Kleingruppen von Karlsruhe aus an verschiedene spannende Orte. Am ersten Exkursionstag erwartete die Teilnehmenden ein besonderes Highlight: der Besuch des Europaparks in Rust bei Freiburg. Hier konnten die Teilnehmenden einen Blick hinter die Kulissen werfen und unter

anderem die Wartungsstätten der Achterbahnen sowie die Fertigungsschmiede neuer Achterbahnen bei Mack Rides besichtigen. Bei einem gemeinsamen Institutsabend im Hotel Colosseo konnten die Teilnehmenden anschließend den Abend ausklingen lassen. Am zweiten Tag wurden die Produktionsstätten von Mahle in Mühlacker und die hochflexible Batteriezellfertigung von Customcells in Tübingen besichtigt. Am letzten Exkursionstag standen abschließend der Besuch des Werksgeländes der BASF in Ludwigshafen und die Fertigung bei Edelstahl Rosswag auf dem Programm. Ein besonderes Highlight war hier die Besichtigung der Schmiedeteilebearbeitung, bei der großvolumige Bauteile unter dem Einsatz enormer Hitze und Umformkräfte bearbeitet wurden. Den Teilnehmenden konnte hier anschaulich die gesamte Vielfalt der Produktionstechnik, auch durch den starken Kontrast zur filigranen, hochautomatisierten Fertigung von Batteriezellen bei Customcells vermittelt werden.

Trotz des eingeschränkten Programms und notwendiger Hygienemaßnahmen konnte die Exkursion mit großem Erfolg und durchweg positiver Rückmeldung durchgeführt werden und bot gleichzeitig für neue Kolleginnen und Kollegen einen Vorgeschmack für zukünftige, hoffentlich uneingeschränkte Assistentenexkursionen. ■



Besuch der Batteriezellfertigung von Customcells in Tübingen (Foto: wbk)

## Abschlussarbeiten

## Masterarbeiten 2021

**Adamczak, Guillaume Leonhard**

Entwicklung eines Systems zur automatisierten Kontaktierung von abisolierten Leitungsenden

**Aktay, Enes**

Entscheidungsunterstützungsmodell für die Konfiguration globaler Produktionsnetzwerke basierend auf maschinellem Lernen

**Alvarez Delius, Valentina**

Modellierung und Simulation einer im Greenfield-geplanten Fabrik mittels Tecnomatix Plant Simulation

**Ammann, Nicholas**

Konzeption eines CNN-Autoencoder basierten online Featureextraktions-Modells mit sequentiellm LSTM-Klassifizierer

**Armbruster, Michael**

Domänenwissen basierter Ansatz zur merkmalsbasierten Klassifikation von Oberflächendefekten auf Kugelgewindetriebspindeln

**Aßmann, Carl Dieter**

Neuronale Netze zur Prozessüberwachung des L-PBF (3D Druck)

**Averbukh, Oleksandr**

Entwicklung und Implementierung eines Technologieentwicklungsprozesses für die Produktion elektrischer Antriebe

**Bachmann, Jeanine**

Modellierung der Randschichtzustände nach dem Drehen des Vergütungsstahls 42CrMo4

**Bader, Philipp Jan**

Planung, Aufbau und Validierung eines Messverfahrens zur Bestimmung der thermischen Leitfähigkeit in Nuten elektrischer Maschinen

**Bahreini Toosi, Seyed Vahid**

Entwicklung und Simulation eines thermoelektrischen Generators zur Versorgung mobiler Sensorsysteme bei Kühltransporten

**Baier, Christopher**

Weiterentwicklung einer KI-basierten Mustererkennung durch Hyperparameteroptimierung in Werkzeugmaschinen

**Bambach, Fabian**

Entwicklung und Implementierung eines Positioniersystems zur optischen Vermessung von Bauteilen in einem Remanufacturing Use-Case

**Baralija, Dardan**

Entwicklung eines Reifegradmodells für die Digitalisierung der Supply Chain

**Baucks, Marina**

Integration und Weiterentwicklung eines KI-basierten Systems zur automatisierten Extraktion und Identifikation von Maschinenparametern

**Beck, Jürgen**

Simulation unternehmensübergreifender Qualitätsregelstrategien unter Berücksichtigung dynamischer Toleranzgrenzen am Beispiel hochpräziser Bauteile

**Begemann, Eva**

Sensorintegration und konzeptionelle Weiterentwicklung einer KI-basierten Anomalieerkennung für den realen Einsatz am Anwendungsbeispiel Fräsmaschine

**Behnen, Lukas**

Data Analytics für die Vorhersage der Einhaltung von Zeitrestriktionen in der Halbleiterfertigung

**Behrendt, Sebastian Tim**

Real-to-Sim – Datengetriebene Automodellierung von ereignisorientierten Simulationen für Produktionssysteme der Halbleiterfertigung

**Bender, Matthias**

Entwicklung und Inbetriebnahme eines automatisierten Prüf- und Sortiersystems für die 100% End-of-Line Prüfung von Stanzbiegeteilen

**Bernecker, Jonathan**

Ermittlung des Materialverhaltens einer NMC-Kathode im Kalenderspalt zur Definition der Randbedingung für eine wrinkle-freie Bearbeitung

**Besier, Philipp**

Identifikation von Potentialen zur Optimierung der Gutteilausbringung in einem Feindrehprozess mittels maschinellem Lernens

**Binder, Daniel Maurice**

Weiterentwicklung von fügeelementfreien Verbindungstechnologien für den modernen Karosserieleichtbau in Mischbauweise

**Blauth, Thomas**

Bildklassifizierung für kleine Datensätze mithilfe von Siamese Neural Networks und Transfer Learning

**Bolaños Naranjo, Luis Alberto**

Konzipierung einer Auswertemethode für Montagefehler von Vorschubachsen

**Bolender, Manuel**

Entwicklung und Implementierung eines Frameworks und View-Planning-Algorithmus zur roboterbasierten dreidimensionalen Erfassung von Objekten mithilfe eines Tiefensensors unter Berücksichtigung eines Sensorunsicherheitsmodells

**Bozkirli, Ertugrul**

Entwicklung und Implementierung bildbasierter Methoden zur Prozesskontrolle vor dem Hairpin-Schränkpzess

**Braunisch, Julian**

Entwicklung korrosionsbeständiger LDS-Beschichtungen und Analyse der mechanischen Bearbeitung LDS-beschichteter Zylinderlaufbahnen

**Braxmaier, Franziska Katharina**

Entwicklung eines Bewertungsmodells zur Ableitung von werksübergreifenden Implementierungsstrategien für Industrie 4.0 Methoden

**Brückner, Benedikt**

Siamese Radial Basis Function Ansatz zur dateneffizienten Klassifikation von Fehlstellen

**Buchstor, Marc**

Additive Fertigung von belastbaren Multimaterialzahnradern

**Buckpesch, Marco**

Experimentelle Untersuchung zur Verbesserung der Anhaftung zwischen additiv hergestellten Bauteilen und metallischen Inserts

**Camus, Yannick**

Verfahren zur Analyse von strukturierten technischen Daten mittels Maschinellem Lernen

**Chen, Yongdi**

Bilderkennung in der Batteriezellfertigung zur Flexibilisierung der Produktion

**Chow, Steffen**

Entwicklung eines Flexi-Greifers im Kontext der Batteriedemontage

**Dai, Yehan**

Übergabe von Objekten in der Mensch-Maschine-Kollaboration mittels Maschinellen Lernen

**Delkof, Nikolai**

Allokationsoptimierung - Implementierung einer Schnittstelle zwischen einem bestehenden Fertigungsoptimierungssystem und einem Tool zur Berechnung von Logistikkosten

**Dieterich, Alexander**

Ausarbeitung und Konstruktion von Konzepten zur automatisierten Herstellung und Montage von Statorwicklungen für elektrische Traktionsantriebe

**Dillmann, Simon**

Analyse und Umsetzung von Verfahren zur Bestimmung von Magnettemperaturen an einer Synchronmaschine

**Döhring, Andreas**

Entwicklung einer universell verwendbaren Fingerspitze für den Einsatz in einem modularen Greiferfingerbaukasten

**Dokur, Yagmur Damla**

Bewertung der Nachhaltigkeit von additiven Fertigungsverfahren in der Automobilentwicklung am Beispiel eines E-Antriebsgehäuses

**Dvorak, Julia Tatjana**

Bestimmung und Evaluierung von Technologieketten für die Herstellung von Medizinprodukten am Beispiel eines Kniegelenks

**Ehrlich, Denis Paul**

Untersuchung auf Eignung von Körperschallmessungen in der Mikroverzahnungsfertigung zur Prädiktion von Fertigungsabweichungen

**Eisen, Sarah**

Entwicklung eines Konzepts für die Anwendung einer simulationsbasierten Optimierung in Remanufacturing Netzwerken

**End, Yannik**

Untersuchung des Potenzials einer kombinierten Prozesskette aus Spritzguss und Stereolithografie zur Herstellung von Keramik-Hybridbauteilen  
Etzler, Alexander  
Untersuchung der Prozessgestaltung der DLP-Multimaterialfertigung im Hinblick auf die keramische Multimaterialfertigung und Leiterbahnherstellung

**Exner, Yanick**

Deep Reinforcement Learning für die Produktionssteuerung von Matrix-Demontageproduktionssystemen am Beispiel des Remanufacturings

**Fabricius, Johannes Nicolai Merlin**

Entwicklung eines Anwenderunterstützungssystems für die industrielle Röntgen-Computertomografie

**Faggion, Gustavo**

Entwicklung der Steuerungstechnik für einen Versuchstand

**Fan, Xiuyang**

Entwicklung und Implementierung eines Verfahrens zur 3D-Szenenrekonstruktion auf Basis monokularer Kameradaten für das autonome Greifen

**Fanck, Nele Hannah**

Methode zur wissensbasierten Erstellung eines Modulbaukastens für die Planung von Produktionssystemen ausgehend von produktionsrelevanten Produkteigenschaften

**Fassnacht, Marcel Kyron**

Der Anspruch eines zielgerichteten Umweltschutzes in Supply Chains – Identifizierung von Unterschieden und Gemeinsamkeiten in Stakeholder Perspektiven

**Feßenmayr, Franziska**

Auswahl und Implementierung einer auf Rückverfolgbarkeit basierenden automatischen Entscheidungsfindungsmethode für globale Supply Chains von Produktionsunternehmen

**Fink, Chris**

Prozessüberwachung in der additiven Fertigung mittels maschinellen Lernens

**Fischer, Georg Daniel**

Machine Learning Analyse zur Taktzeitverkürzung in der End-of-Line Prüfung von Brennstoffzellen-Stacks

**Flaum, Alexander**

Implementierung des digitalen Zwillings eines Maschinenmoduls zur Hairpin-Formgebung und systematische Erprobung des physischen Prototyps

**Frenzer, Maik Stefan**

Machine Learning in Lernfabriken - Identifikation, Implementierung und Anwendung in Industrie 4.0 Use-Cases

**Frieß, Roland**

Robustheitssteigerung von Matrixproduktionsplänen unter stochastischer Unsicherheit

**Funk, Stefan Torben**

Implementierung und Evaluation einer Prozessdatenauswertung mittels maschinellen Lernens zur Qualitätsüberwachung in der Additiven Fertigung

**Gelfenboim, Manuela**

Methoden des Maschinellen Lernens für die UWB-basierte Lokalisierung im Innenbereich

**Giebel, Moritz Peter**

Entwicklung eines Analysemodells zur empirischen Untersuchung der Wirkzusammenhänge von Komplexität, Strategie, Entscheidungsautonomie und operativer Performance innerhalb globaler Produktionsnetzwerke

**Glitz, Cornelia**

Potentiale von Transfer Learning in der variantenreichen Produktion

**Glück, Hannes Sebastian**

Konstruktion eines automatisierten Fertigungssystems für die flexible Batteriezellenproduktion

**Goerzen, Alexander**

Strategischer Einkauf von Stahl unter Berücksichtigung von CO2 Emissionen

**Gohl, Lena**

Simulation der Prozesskette hybrider Knieendoprothesen

**Gonzalez Di Miele, Roman Ignacio**

Entwicklung eines ereignisdiskreten Simulationsmodells der modularen Brennstoffzellen-Montage innerhalb eines Fabrikmodells

**Goth, Aileen**

Entwicklung eines methodischen Vorgehens für die Greenfield-Planung einer skalierbaren digitalen Fabrik am Beispiel eines Flugtaxi-Herstellers

**Guerrero Hinojosa, Ivan Eduardo**

IoT Prozessüberwachung und Steuerung zur Produktivitätssteigerung am Beispiel des FDM-3D Druck

**Guo, Tong**

Bildverarbeitung und Deep Learning zur Erkennung und Klassifizierung von verrosteten Schrauben

**Gürtler, Rebecca**

Entwicklung und Simulation skalierbarer Verkettungsstrategien im Kontext der Produktion elektrischer Traktionsmotoren

**Gwosch, Dominik**

Entwicklung und Konstruktion einer Palettenzuführung

**Hakvar, Ibrahim Engin**

Simulation und Fabrikplanung für die hochflexible Batteriezellenfertigung

**Hao, Yiwei**

Entwicklung einer Bildverarbeitungssoftware zur vollständigen Erfassung und Darstellung der Oberfläche einer Zahnstange

**Hartmann, Jan Philipp**

Mechanismen-Untersuchung sowie Optimierung prozessbedingter regelmäßiger Kavitäten im pulverbettbasierten selektiven Laserschmelzen für AlSi10Mg-Leichtbaustrukturen

**Hartmann, Johannes**

Bewertung von Methoden zur Performanceverbesserung eines MIP für die automatisierte Planung in einem hochlaufenden Produktionsnetzwerk

**Hauber, Valentin**

Ausarbeitung und Optimierung einer neuen Produktstrategie im Bereich Automotive Power Management Integrated Circuits (PMIC) auf Basis einer systematischen Geschäftsfeldanalyse und Benchmarking

**Heeger, Madeleine**

Digitaler Zwilling in der Matrixfertigung - Potentialidentifikation und Simulation

**Heider, Imanuel**

Entwicklung eines Konzepts zur kommunikationstechnischen Anbindung von Werkzeugmaschinen als Basis für ein System zur automatisierten Identifikation und Bereitstellung von Steuerungsparametern

**Heidinger, Felix**

Entwicklung einer Methodik zur praxisnahen Anwendung einer Optimierungsmethode zur Produktallokation in globalen Produktionsnetzwerken

**Hemeury, Emmanuel**

Erhöhung der Flexibilität und Sensitivitätsanalyse eines Allokationsmodells auf Produktionsnetzwerkebene

**Heming, Laura**

Entwicklung eines LEAN-Schulungskonzepts mit dem Schwerpunkt LEAN-Einstieg für Fertigungsmitarbeiter dargestellt am Beispiel eines Sensorherstellers

**Henzi, Matthias**

Reinforcement Learning zur dynamischen Preisgestaltung in Produktionsnetzwerken

**Hess, Felix Alexander**

Automatische Objektsegmentierung zur bildbasierten Kollisionsvermeidung in Werkzeugmaschinen

**Hezler, Alisa**

Konzeptionierung und Bewertung einer zentralen Kommissions- und Kleinserienfertigung für Wellen und Zahnräder aus wirtschaftlichen und materialflusstechnischen Gesichtspunkten

**Hierath, Natalie**

Entwicklung eines Akzeptanzbaukastens zur menschenorientierten Einführung von Industrie 4.0

**Hoffmann, Clara**

Dispatcher Optimierung von Wartungsressourcen in der Halbleiterproduktion mittels Reinforcement Learning

**Hofmann, Dennis**

Analyse des bildlich detektierbaren Verschleißfortschrittes auf Kugelgewindetrieben

**Holland, Asmus**

Entwicklung und Implementierung eines segmentationsbasierten Deep-Learning Verfahrens zur Klassifikation von Elektromotoren

**Höllig, Philipp**

Simulationsbasierte Optimierung der Auftragsdisposition und Austaktung einer Montagelinie am Beispiel der Industrie-PC Produktion

**Hu, Yishu**

Implementierung von Algorithmen zur kontinuierlichen Kollisionserkennung für balkenartige Strukturen

**Huang, Maike**

Die Entwicklung und virtuelle Inbetriebnahme einer Z-Falt-Anlage zur Herstellung von Lithium-Ionen Batteriezellen

**Hugues, Adrien**

Optimierung einer Reinforcement Learning Implementierung in einer Simulation eines halbautomatischen Produktionssystems

**Iberl, Maximilian Johannes**

Data-Mining zur Optimierung automatisierter Produktionsanlagen

**Janetzky, Velia Sophie**

Entwicklung einer Methodik zur technischen und wirtschaftlichen Klassifizierung von Automatisierungspotentialen in der Industrie-PC-Montage

**Jean-Baptiste, Laura**

Multiaxiale additive Fertigung von medizinischen Orthesen

**Just, Valentin**

Serviceorientierte Programmierung von Demontagestationen zur einfachen Rekonfigurierbarkeit von Produktionssystemen

**Kalaidov, Maksym**

Entwicklung eines Machine Learning basierten Modells für die Vorhersage der nächsten Schritte im 3D CAD

**Keita, Tejan**

Entwicklung eines Stromnetz-Überwachungssystems mit Fokus auf Inselnetze

**Khan, Zara**

Entscheidungsfindung im Design und Management globaler Produktionsnetzwerke Ein empirischer Ansatz zur Evaluierung von Entscheidungsunterstützungsmitteln

**Kieback, Florian**

Entwicklung eines Reifegradmodells für eine Verbesserung der Mitarbeiterintegration und Führungskultur im digitalen Shopfloor Management

**Kistner, Jonas**

Anomalieerkennung in Schwingungsdaten mit Hilfe von Autoencoder Netzwerken

**Klüpfel, David**

Konzeption und Implementierung einer automatisierten Konfiguration modularer Greiferfinger aus einem Produktbaukasten

**Kneuer, Kevin**

Konzeption einer Methodik zur strategischen Absatzplanung von Brennstoffzellenfahrzeugen unter unsicheren Aggregateszenarien

**Knipper, Lennart**

Entwicklung einer Prozessauswertung in der additiven Fertigung mittels maschinellen Lernen

**Kompa, Tobias**

Optimierung einer Biegevorrichtung zur Fertigung von Hairpin-Steckspulen für elektrische Traktionsantriebe

**Krämer, Max**

Konstruktive Optimierung und Integration eines autonomen Fertigungsmoduls zur Einzelblattstapelbildung in ein agiles Produktionssystem

**Kraus, Frieder**

Integration eines optischen Messsystems in einen flächengreifer für die Brennstoffzellenfertigung

**Krupa, Cedric**

Entwicklung eines methodischen Vorgehens zur Gestaltung von Kollaborationen in globalen Produktionsnetzwerken

**Künzel, Anne**

Entwicklung einer flexiblen Automatisierungsmiddleware für robotergestützte Forschungsprototypen in der chemischen Industrie

**Kupfernagel, Timo**

Entwicklung eines KI-basierten Ansatzes zum automatisierten Clustern von Zeitreihendaten und der aufbauenden Identifikation klassifizierter Parameter

**Kurtz, Jörg Julian**

Entwicklung einer menschenzentrierten Implementierungsstrategie für Industrie 4.0

**Lambertz, Stephan**

Erstellung eines Funktionsmodells zur Vorhersage der Produktqualität in der frühen Phase des Produktionsanlaufs durch Methoden des Transfer Learnings

**Lankeshofer, Sven**

Entwicklung einer Bilderkennung zur Qualitätssicherung und Programmierung einer Anlagensteuerung für das automatisierte Einbringen von Isolationspapier in Statornuten

**Larnicol, Thibault**

Integration und Bewertung einer kontinuierlichen Qualitätsmetrik in der Batterieproduktion

**Le Louarn, Arthur**

Entwicklung eines Konzepts zum optimalen Aktualisieren eines Digitalen Zwillings eines Produktionssystems

**Leitenberger, Cathrin**

Entwicklung einer Roadmap zur sukzessiven Implementierung von Industrie 4.0 in Wertschöpfungsnetzwerken mit Fokus auf eine koordinierte Entwicklung der Standorte und der Lieferanten

**Liang, Shan**

Entwicklung eines Schulungskonzeptes für ereignisdiskrete Simulationssoftware in der Globalen Lernfabrik

**Lichen, Tang**

Machine Learning zur Analyse optischer Sensordaten für die Funktionsprognose von Mikrotriebbestufen

**Liebetrau, Timon**

Qualitätssicherung in der additiven Fertigung mittels maschinellen Lernens

**Liu, Mijian**

Automatische Planung, Auswahl und Bewertung von Griffen an 3D-Objekte

**Liu, Rundong**

Entwicklung eines adaptiven Online-Trainingskonzeptes für Fachkraft für Industrie 4.0

**Liu, Xinhong**

Implementierung eines hybriden MCTS-Local Search Ansatzes zur Produktionsplanung der Matrixproduktion

**Liu, Yang**

Entwicklung eines Plugins zur Modellierung von Defekten in Schraubverbindungen

**Löffler, Johannes**

„Manufacturing Genomes“ Entwicklung eines genbasierten Frameworks für das Produkt-Produktions-Codesign

**Lorenz, Peter**

Entwicklung eines Nachfrage-Prognoseystems am Beispiel der Kalibrierung von Hochpräzisionsgewichten

**Löwe, Lars**

Entwicklung und Konstruktion eines Versuchsstandes zum Trennen von mechanischen Fügeverbindungen

**Lutzi, Oliver**

Industrie 4.0: Entwicklung einer wertstromorientierten Kennzahlenvisualisierung für das digitale Shopfloor Management

**Maier, Andreas**

Ein KI-basierter Ansatz zur Quantifizierung von Produktähnlichkeiten und zur automatischen Erstellung von Arbeitsplanvorschlägen

**Man, Guozhu**

Entwicklung und Erprobung eines Verfahrens zur Energieoptimierung und Energiebetrachtung eines Edgecomputing-Devices

**Mao, Shaomeng**

Weiterentwicklung und Invertierung von Prognosemodellen zur Bestimmung geeigneter Prozessparameter für das automatisierte Schleifen mit Industrierobotern

**Matt, Michael**

Entwicklung und Konstruktion einer Produktionsanlage zur stoffschlüssigen Verbindung von USB-C-Stecker und PCB für ein innovatives Medizinprodukt

**Maul, Nathalie**

Erstellung einer Bibliothek zur Simulation von halbautomatisierten Produktionssystemen und Optimierung der Mitarbeiter- und Auftragszuteilung mit Hilfe der Simulation

**Maurath, Marius**

Entwicklung eines simulationsbasierten, parameterabhängigen Fabrikplanungsansatzes für die Anlaufphase am Beispiel der Serienfertigung von Brennstoffzellen

**Meng, Xing**

Beurteilung der Bauteilqualität nach der trennenden Bearbeitung von faserverstärkten Kunststoffen mittels eines Deep-Learning-Ansatzes

**Merklinger, Philipp**

Gestaltung der Produktentwicklung der Zukunft mithilfe von Verfahren des maschinellen Lernens

**Merz, Leonard**

Erarbeitung und Implementierung eines Konzepts zur Eliminierung von Sichtprüfungen in der Inline Qualitätskontrolle von Traktoren

**Meschter, Linda**

Variantengerechte Produktgestaltung für einen modularen Greiferfingerbaukasten

**Mey, Dominik**

Entwicklung eines Ansatzes zur Steigerung der Motivation sowie der kontinuierlichen Verbesserung auf dem Shopfloor

**Moser, Simon**

Entwicklung eines Leitfadens für die Gestaltung der digitalen Transformation im globalen Produktionsverbund

**Müller, André**

Entwicklung eines Leiterbahn-Schlickers auf Basis eines eigenentwickelten Polymer-Schlickers für die stereolithografische Multimaterialfertigung

**Müller, Florian**

Allokation von Produkten und Produktionsumfängen ausgehend von einer Quantifizierung der Flexibilität im Produktionsnetzwerk zur optimalen Bereitstellung von Produktionsinfrastrukturen

**Müller, Markus**

Trends im Batteriemarkt und deren Implikationen auf mögliche Markteintrittsstrategien für einen Automobilzulieferer

**Müller, Maurice Philippe**

Untersuchung von Einflussfaktoren auf den Laserschweißprozess zur Kontaktierung von Hairpin-Statoren für hochperformante elektrische Antriebe

**Müller, Maximilian**

Entwicklung eines temperierbaren Probenträgers für den Transport in Robotersystemen zur Langzeitstabilitätsbestimmung

**Murad, Jousef Zaher**

Entwicklung eines Deep Learning-basierten Assistenzsystems für die Komplettierung von 3D-Geometrien

**Nair, Neha**

Nachhaltigkeits-Tool zur Bewertung der Umweltauswirkungen der Produktionskette während der Entwicklungsphasen eines FMCG-Unternehmens

**Nestroy, Christian**

Automatisierte Erstellung von Modellen für die Materialflusssimulation von Produktionssystemen

**Ochs, Fabian**

Simulation eines globalen Produktionsnetzwerkes mit dynamischer Preisgestaltung zur Ermittlung des Potenzials von Lieferzeitflexibilität

**Oliveira Flammer, Max**

Methode zur Integration von reduzierter elektrochemischer Impedanzspektroskopie in Batterie-Management-Systemen

**Ort, Benjamin-Lars**

Herstellung und Analyse von Metallmatrix-Verbundwerkstoffen auf Basis eines AlSi10Mg Pulvers durch pulverbettbasiertes selektives Laserstrahlschmelzen

**Padaki, Shreyas Anandrao**

Weiterentwicklung einer flexiblen Spannvorrichtung

**Pang, Wei**

Entwicklung einer Regelung für den Einblasprozess im Faserblasverfahren

**Perius, Maximilian**

Ganzheitliche Entwicklung und Validierung eines Systems zur datenbasierten Qualitätsoptimierung in der Serienproduktion hochpräziser Produkte

**Pross, Gideon**

Entwicklung und Integration einer Ontologie für die Realisierung von KI-Anwendungen in einer Microservice-Architektur am Beispiel der Injektoren-Fertigung

**Pugar, Nikola**

Inbetriebnahme einer agilen Fertigungszelle in der flexiblen Produktion von Lithium-Ionen-Pouch-Zellen

**Rahier, Anna-Catharina**

Gestaltung der (De-)Zentralisierung von Entscheidungen in globalen Produktionsnetzwerken unter Berücksichtigung der strategischen Ausrichtung, der Komplexität und des Einsatzes von Digitalisierungstechnologien

**Rebelo Matos, Alexandre Jorge**

Untersuchung der dynamischen Belastung eines Industrieroboters und Auslegung einer entsprechenden modularen Struktur zur Maschinenaufstellung

**Reckel, Jonas**

Entwicklung eines Frameworks zur Identifizierung von Kollaborationsfällen basierend auf strategischen Defiziten im Produktionsnetzwerk

**Reichardt, Ann-Kathrin**

Entwicklungssystematik eines lösungsmusterbasierten Rahmenmodells zur integrierten Produktionssystemplanung

**Reichart, Fabian**

Konzeption eines Moduls zur Auswertung industrieller Zeitreihen-Sensordaten mittels eines künstlichen neuronalen Netzwerks

**Reothia, Nitin**

Gestaltoptimierung eines additiv gefertigten Einstechwerkzeughalters mit integrierter Kühlschmierstoffführung zur Steigerung der Wendeschneidplattenstandzeit

**Reuss, Moritz Benno**

Hybride inverse Dynamikmodelle für die Impedanzsteuerung von Robotern

**Richter, Benedict**

Auslegung einer Hochtemperaturdichtung in einer Solid Oxide Fuel Cell

**Riegel, Valentin**

Entwicklung eines Modells zur Bestimmung des dynamischen Verhaltens eines Fräsbearbeitungszentrums

**Rittmann, Felix**

Cybersicherheitskonzepte für globale Produktionsnetzwerke im Zeitalter der Digitalisierung

**Rose, Alexander**

Entwicklung eines Konzepts zur funktionsübergreifenden Nutzung von Digitalen Zwillingen industrieller Produktionssysteme

**Sauer, Marcel**

Entwicklung eines Entscheidungsrahmens für die Analyse und Auswahl von flexiblen Produktionskonzepten

**Sauter, Mareike**

Ereignisdiskrete Simulation einer flexiblen Werkstattfertigung in der zerspanenden Fertigung

**Schabel, Sebastian**

Schnittstellengestaltung für die Synthese eines modularen Greiferfingerbaukastens

**Schäffer, Guido**

Strategische und technische Bewertung von Technologieketten  
Schepp, Fabian  
Fully Convolutional Siamese Networks (FS-Net)

**Schmalz, Timo Alexander**

Optimierung der Produktionssteuerung in der Halbleiterfertigung mittels Reinforcement Learning unter Berücksichtigung von Maschinendedizierungen

**Schmid, Jonas**

Entwicklung und Implementierung eines online-fähigen, modellfreien Reinforcement-Learning basierten Ansatzes zur automatisierten Produkterfassung

**Schober, Patrick**

Produktportfoliodesign mittels multikriterieller Entscheidungsfindung (MCDM) - Ein modularer, interdisziplinärer Ansatz für Portfolioentscheidungen in globalen Produktionsnetzwerken in der Kupfer-Halbzeugindustrie

**Scholz, Elias**

Abschätzung des Potentials von Tailored Tubes im Auslegerbereich von Raupenkranen und Seilbaggern

**Scholz, Nicolai**

Umrüstung, Aufbau und Versuchsdurchführungen auf einer Anlage zur automatisierten Herstellung und Montage einer Statorwicklung für elektrische Traktionsantriebe

**Schottmüller, Mario**

Entwicklung eines Fräsmoduls zur Steigerung der Flexibilität des Fused Filament Fabrication

**Schrempf, Lukas**

Entwicklung eines hochintegrierten Greifers für das Twisten von Einzeldrähten zur Fertigung von Statorn Hairpin-Technologie

**Schuler, Marius**

Einsatz von Process Mining zur Verbesserung der Transparenz und Produktivität einer High-Mix-Low-Volume Produktion

**Schübler, Philipp**

Gestaltung eines Konzepts zur skalierbaren Automatisierung von Produktionssystemen

**Schwab, David**

Digitales Shopfloor Management & Shopfloor Philosophie Grundlagen zur Einführung autonomer, dezentraler Teams auf dem Shopfloor

**Schwab, Felix**

Entwurf und Implementierung einer integrierten Reibmoment- und Steifigkeitsmessung für den Kugelgewindetrieb

**Schwarz, David Jonas**

Digitale Prozessoptimierung – Konzeption und Implementierung der Shopfloor Transformation in kleinen und mittleren Unternehmen

**Schwarz, Nina**

Einführungsstrategie und Konzeptentwicklung für einen Arbeitsplatz 4.0 in der Elektronikfertigung

**Schweizer, Linus**

Reihenlichtbogenfehlererkennung mittels Künstlicher Intelligenz in industriellen Umgebungen

**Schygulla, Fabian**

Kinematische Modellierung des Umformformverhaltens von geflochtenen Preforms zur Prozessoptimierung

**Selinger, Félix**

Entwicklung einer Methodik zur Gestaltung eines Technologieentwicklungsprozesses für die Produktion elektrischer Antriebe

**Semykras, Illya**

Entwicklung einer adaptiven Anlagensteuerung für ein Plug&Produce-fähiges Produktionssystem im Remanufacturing

**Sensfuß, Manuel**

Erstellung und Einführung eines Konzeptes zur strukturierten Inbetriebnahme von Verpackungsmaschinen

**Shen, Zhi**

KI-basierte Optimierung von Fertigungsprozessen im Kontext der Hairpin-Technologie

**Sobeck, Ramon**

Entwicklung eines Bewertungsmodells für die Wandlungsfähigkeit von globalen Produktionsnetzwerken

**Stadler, Finn Martin**

Data Mining in mehrstufigen Produktionssystemen: Vorhersage von NIO-Teilen unter Verwendung von interpretierbaren Methoden des Maschinellen Lernens

**Stahl, Sophie**

Materialflusssimulation in der Matrixfertigung im Kontext des digitalen Zwillinges

**Statz, Fabian Alexander**

Entwicklung einer ganzheitlichen Methodik zur Implementierung von Industrie 4.0

**Stauch, Joel**

Übertragbarkeit von Simulationsvorgehensmodellen und Datenanalysemethoden ereignisdiskreter Simulationsmodelle zur Umplanung von Produktionssystemen

**Steidle-Sailer, Christian**

Entwicklung eines Systems zur Prozessüberwachung einer Roboterzelle mittels stereooptischer Bildkorrelation

**Stein, Jonas Matthias**

Entwicklung eines Konzepts zur Einführung von batterie-elektrischen Fahrzeugen in der Distributionslogistik am Beispiel der transmed Transport GmbH

**Steiner, Christian**

Bildverarbeitung zur Anpassung eines Roboterwerkzeugs an einen Schraubentyp

**Stumm, Sebastian**

Multimodale Bauteilvollständigung durch generative Machine Learning-Algorithmen unter Verwendung neuronaler impliziter Funktionen

**Sturm, Ralf**

Herstellung und Prüfung von leichten CFK-Hybridbauteilen

**Tayebi, Ali**

Prozessstabilisierung durch Verringerung der Rattern-Schwingung beim Spitzenlos-Durchgangsschleifen

**Temel, Ali**

Optimierung des Stammdatenmanagements am Beispiel eines mittelständischen Unternehmens

**Villaumié, Ferdinand**

Integration von Industriekomponenten in digitale Zwillinge für Produktionsanwendungen

**Wagner, Christian**

Datenbasierte Allokation und Bepreisung qualitätskritischer Bauteile zur effizienten Qualitätsregelung in kollaborativen Wertschöpfungsnetzwerken

**Waldschmidt, Thomas**

Entwicklung und Umsetzung einer Roboterfräszelle auf Basis von gekoppelten Roboterkinematiken

**Wang, Jinchi**

Entwicklung einer neuartigen Prozesskette für die Herstellung einer leichten CFK-Rotorwelle für das E-Sportwagen-segment

**Wang, Yucheng**

Entwicklung einer KI-basierten Modellierungsmethode zur Vorhersage der Stapelgenauigkeit bei der Produktion von Lithium-Ionen-Batteriezellen

**Weber, Tobias Christoph**

Entwicklung einer Methodik zur realitätsnahen, Deep Learning basierten Registrierung von 3D Punktwolken

**Wegmann, Marc**

Analyse und Optimierung eines Feindrehprozesses durch den Einsatz maschineller Lernverfahren und künstlicher Intelligenz

**Weil, Hendrik**

Entwicklung eines empirischen Modells zur Erklärung der Wirkzusammenhänge zwischen strategischen Zielen, Komplexitäten und der Zentralität von Entscheidungen in globalen Produktionsnetzwerken

**Weilacher, Johannes**

Entwicklung einer modularen und virtualisierbaren Simulationsumgebung mit Siemens S7-1500

**Weisser, Judith**

Entwicklung einer Methodik zur Abbildung der Humanfaktoren eines Veränderungsprojektes zur Ableitung von Akzeptanzmaßnahmen

**Weldner, Berit**

Entwicklung eines Konzeptes zur Erhöhung des Rückflusses von elektronischen Fahrzeugteilen zur ressourceneffizienten Wiederverwendung mittels Remanufacturings

**Werthebach, Leonhard**

Entwicklung einer Methodik zur Sensorauswahl im Kontext der Zustandsüberwachung der automatisierten Demontage von Lithium-Ionen-Batterien

**Wieczorek, Thomas**

Entwicklung eines Vorgehensmodells zur Gestaltung von Service-Geschäftsmodellen für global produzierende Unternehmen

**Willmann, Dominik**

Programmierung und Inbetriebnahme eines Handlingroboters zur Verknüpfung von Produktionsmodulen in der automatisierten Batteriezellenfertigung

**Witt, Davide**

Konzeptionierung, Konstruktion und virtuelle Inbetriebnahme einer Konsolidierungseinheit als Endeffektor eines Industrieroboters

**Wu, Xinyan**

Konstruktion und Aufbau eines R2R-Versuchsstands im Bereich der Brennstoffzellenfertigung

**Wu, Yaguang**

Konzeption und Implementierung eines Produktionsanlagenkonfigurator im Rahmen einer deutsch-chinesischen Industrie 4.0 Fabrikautomatisierungsplattform

**Wuchenauer, Katrin**

Optimierung eines Künstlichen Neuronales Netzes zur Bauzeitvorhersage von additiv gefertigten Medizinprodukten

**Xie, Xiao**

Simulation des Strukturverhaltens von Membran-Elektroden-Anordnungen in der Brennstoffzelle bei schwankenden Umgebungsbedingungen in der Produktion

**Xue, Ke**

Entwicklung, Simulation und Validierung einer adaptiven Struktur für Werkzeugmaschinen spindeln

**Yang, Jing**

Untersuchung des Einflusses der Scanstrategie auf die Porosität beim LPBF-Prozess

**Yang, Shuo**

Aufbau einer Drehzahlsteuerung eines Schraubers

**Yildirim, Isinsu**

Analyse und Entwicklung von Konzepten zur agilen Produktion elektrischer Traktionsmotoren

**Zehder, Benno**

Anreize für Kollaboration in globalen Produktionsnetzwerken

**Zeidler, Simon Benedikt**

Entwicklung einer Methode zur Potentialabschätzung von Fertigungsverfahren für die Leichtbauproduktion

**Zhang, Yanhao**

Entwicklung eines Computer-Vision-basierten Software-Algorithmus zur automatischen Defekterkennung beim Fused Deposition Modeling

**Zhang, Yu**

Simulationsstudie der viskosen Strömung in der Austrageinheit des Arburg Freeformers

**Zhao, Jiayi**

Numerische Auslegung und experimentelle Validierung einer hybriden Zug-Stange aus Faser-Kunststoff-Verbund mit metallischen Lasteinleitungselementen

**Zheng, Xiaohan**

Bildverarbeitung zur Positionsbestimmung mittels einer greiferintegrierten Kamera

**Zheng, Zhilong**

Simulation des Materialverhaltens trockener Elektroden während des Kalandrierens

**Zhong, Jun**

Experimentelle Untersuchung und Analyse des Vakuumtrocknungsprozesses von Batteriezellstapeln

**Zhou, Dongzhuoran**

Simuliertes Roboter-Tischtennis mittels Contextual Policy Search

**Zhurkin, Ivan**

Konzept- und Simulationserstellung zur Kapazitätserweiterung in der Lackiererei

**Ziegenhohn, Ingo**

Gestaltung eines agilen Technologievorentwicklungsprozesses innovativer Logistiklösungen für den Einsatz in globalen Produktionsnetzwerken

**Ziegler, Klara**

Entwicklung, Simulation und Validierung eines Keilkonzepts zur adaptiven Einstellung der Steifigkeit einer Werkzeugmaschinen spindel

**Bachelorarbeiten 2021****Ackermann, David**

Entwicklung und Testung eines Tools zur Energiebetriebenen Datenanalyse in der Industrie 4.0

**Alexander, Philipp**

Entwicklung eines Ansatzes zur Generalisierung von spezifisch trainierten KI-Algorithmen in Werkzeugmaschinen

**Alkassam, Rabee**

Design of Experiment zur Untersuchung der Anhaftung von additiv gefertigten Metall-Polymer-Hybriden

**Alznauer, Sven**

Konzeptionierung und Entwicklung einer modular erweiterbaren Infrastruktur als Basis für roboterbasierte Produktionssysteme

**Appel, Konrad**

Entwicklung eines Visualisierungs- und Analyse-Tools für einen Schraubenprüfstand

**Arcila Cosío, Omar**

Entwurf und Konstruktion einer innovativen Produktionseinheit zur hocheffizienten Kontaktierung von Li-Ion Zellen

**Arnaudova, Boyana**

Identifikation von geeigneten Werkstoffpaarungen zur Erschließung des Potenzials der additiven Multi-Material-Keramikfertigung

**Atmaca, Muhammed Talha**

Untersuchung zur Synchronisierung von Kraft- und High-speed-Bildsignal beim Scherschneiden von verstärktem und unverstärktem Sheet Molding Compound unter Variation der Werkzeugorientierung

**Bacher, Bianca**

Entwicklung einer modularen Prozesseinheit für die agile Demontage von Elektromotoren

**Bader, Lars**

Entwicklung eines modularen Spannsystems für die agile Demontage von Elektromotoren

**Bauer, Vincent Antoni Manfred**

Entwicklung eines intelligenten Koppelmoduls zur Kollaboration von Roboterkinematiken mit einstellbarer Nachgiebigkeit und Werkzeugschnittstelle

**Becker, Sven Norbert**

Modellbasierte Trajektorienplanung eines Roboters zur unsicherheitsminimalen Objektvermessung mittels eines Laser-Scanning-Systems

**Berber, Tugba**

Analyse und Bewertung von Nachtrocknungsverfahren von Batteriezellstapeln

**Berlin, Kaja Barbara**

Weiterentwicklung eines Schrauben Greifsystems

**Boczek, Alexander Adam**

Werkzeugverschleißanalyse beim kryogenen Außenlängsdrehen des Vergütungsstahls 42CrMo4

**Bolender, Samuel**

Entwicklung eines Baukastens für die Wertstromanalyse im Remanufacturing

**Boonpasart, Krittapas**

Integrative Entwicklung eines Roboterspindel systems im Rahmen der Demontage

**Boschert, Levin Georg**

FE-Simulation werkzeuggestützter Formgebungsprozesse für elektrische Traktionsmotoren

**Brandhuber, Franz Benno**

Entwicklung, Konstruktion und Erprobung einer modularen Falzeinheit für Isolationspapiere in Hairpin-Statoren

**Braun, Charlotte**

Konzeption, Durchführung und Analyse einer empirischen Studie zur Entscheidungsfindung in globalen Produktionsstrategien

**Brenner, Julia Sophie**

Abtragsuntersuchungen zur Validierung der Preston Hypothese

**Buschulte, Simon**

Experimentelle Untersuchung verschiedener Strategien zur Hybridisierung von UD-Tapes im FFF-Verfahren

**Butzer, Henrik**

Implementierung eines Strommesssystems zur Drehmomentbestimmung bei Schraubeffektoren

**Chan, Dorian Rathana**

Automatisierung administrativer Prozesse entlang der Wertschöpfungskette bei der Adolf Würth GmbH & Co. KG

**Charfi, Kerim Abdel Mejid**

Konzeption und Implementierung einer Software zur Planung kollisionsfreier Bahnen für Drahtumformungen durch Industrieroboter

**Chhabra, Ishaan**

Entwicklung eines standardisierten Datenmodells zur Anbindung von Maschinen mit der Cybus Connectware

**Choi, Hanna**

Aufnahme und Vorhersage von Separationscharakteristika für Textilien an einem Niederdruckflächensauger

**Cianca, Santiago**

Erklärbarkeit von ML-gestützte Fehlerklassifikation in der Demontage von rundgedrehten Schraubkopfantrieben

**Cnyrim, Fabian**

Weiterentwicklung und Validierung eines Sensorsystems zur Erfassung kleinskaliger Partikelbewegungen im Tauchgleitschleifen

**Derre, Tolga**

Ermittlung der erzielbaren Stapelgenauigkeit in der Brennstoffzellenfertigung durch statistische Versuchsplanung

**Dhanrajani, Siddhant Jay**

Entwicklung eines Demand-Supply Matching Frameworks für elektronische Business-to-Business-Transaktionen für Remanufacturing

**Dohrwardt, Maarten**

Entwicklung einer Methode zur Bewertung der Wirtschaftlichkeit von Leichtbaufertigung am Beispiel des Vergleiches von Blechumformung, RTM und einem additiven Fertigungsverfahren

**Drobig, Leonard**

Experimentelle Ermittlung des Einflusses lokaler Faserschnittwinkel auf die Schädigung und Prozesskräfte beim Fräsen von CFK

**Durusoy, Ali Ekin**

Die Regressionsfunktion zur industriellen Datenanalyse

**Ebel, Alexander**

Experimentelle Untersuchung zur Bearbeitung von formflexiblen Elektroden an einem Kalender

**Ebi, Sebastian**

Entwicklung eines Machine Learning Modells zur Vorhersage von Konstruktionsschritten basierend auf CAD-Daten

**Einhaus, Frederik**

Weiterentwicklung eines python-basierten Tools zur Analyse von Messdaten mittels Maschinellem Lernen

**Eppler, Andreas**

Einsatz KI-basierter Modellierungsmethoden zur optimierten Formgebung von Hairpin-Steckspulen im Kontext der Elektromobilität

**Erchen, Robin**

Auslegung und Konstruktion einer Schutzumhausung eines Schleuderprüfstands für Komponenten elektrischer Hochdrehzahltriebe

**Falk genannt Boch, Julian**

Entwicklung eines Softwaretools zur automatisierten Auswertung von Messdaten im Kontext der Elektromotorproduktion

**Faller, Johannes Dominik**

Reinforcement Learning: Analyse von Einflussfaktoren auf die Agentenentscheidungen zur Anwendung in der Produktionstechnik

**Frühauf, Maximilian Anton**

Einflussgrößen auf die statische und dynamische Steifigkeit eines Knickarmroboters und Konzepte zu deren Beeinflussung

**Gallei, Marisa**

Potentialabschätzung eines erhöhten Informationsaustauschs bezüglich des Altteilrückflusses im Remanufacturing

**Gartzke, Stefan**

Konzeptionierung und Implementierung einer Qualitätsbewertung für tiefgezogene Aluminiumverbundfolie-Halbschalen für Lithium-Ionen Batterien

**Gentner, Damian**

Analyse und Bewertung aktueller Ansätze zur flexiblen Beschichtung und Technologietransfer in die Elektrodenfertigung

**Gielenik, Markus**

Pionieruntersuchungen zum Aufbau von metallischen Strukturen im pulverbettbasierten selektiven Laserschmelzen auf ein Kunststoffsubstrat

**Glatter, Daniel Philip**

Entwicklungsframework und Technologieübersicht für das Industrial IoT

**Gui, Xiangling**

Entwicklung eines Simulationsansatzes für die Kalandrierung von Elektroden in der Batteriezellfertigung

**Hacker, Timo**

Entwurf und Konstruktion einer Verpackungseinheit für Li-Ion Pouchzellen durch den Einsatz eines neuartigen, funktionsintegrierten Falz- und Siegelprozesses

**Hammes, Julian**

Entwicklung eines Logistikkonzeptes innerhalb eines bestehenden Simulationsmodells für die Anlaufphase der Serienfertigung von Brennstoffzellen

**Hart, Constantin Maximilian**

Informationsmanagement im Rahmen eines digitalen Shopfloor Managements zur Förderung autonomer Teams in der Produktion

**Hawryschko, Nico Hans-Dieter**

Untersuchung des Einflusses der Schnittparameter auf den Werkzeugverschleiß bei der Fertigung von bionischen Implantaten

**Heinen, Julian**

Standortplanung für Sammelzentren in Reverse-Logistik Netzwerken

**Hess, Sebastian**

Prozesskettenorientierte Analyse der Fertigungsrouten für Brennstoffzellen in Mobilitätsanwendungen

**Hetke, Manuel**

Werkzeugverschleißanalyse beim Außenlängsdrehen des Vergütungsstahls 42CrMo4 mit verschiedenen Schneidstoffen

**Heyde, Tom**

Weiterentwicklung eines Messverfahrens zur Bestimmung der thermischen Leitfähigkeit in Nuten elektrischer Maschinen

**Heyne, Kevin**

Quantifizierung ausgewählter Einflussfaktoren auf die Verschleißentwicklung des Werkzeugs im Wälzschälprozess von vergüteten Innenverzahnungen

**Hobbelhagen, Harald**

Entwicklung eines Prototyps zur automatisierten Regelung von webbasierten Anreizsystemen

**Hoffmann, Janis**

Entwicklung eines Moduls zur Einbringung vorgespannter Formgedächtnisdrähte beim ARBURG Kunststoff-Freiformen

**Hölscher, Patricia Susanne**

Methode zur Bewertung wandlungsfähiger Produktionssysteme

**Hu, Li-Ye Vincent**

Simulation des Temperaturfeldes während der spanenden Nachbearbeitung additiv gefertigter Bauteile

**JanBen, Lena**

Ist-Analyse eines Prozesses für die Technologieentwicklung zur Produktion elektrischer Antriebe

**Johmann, Benjamin**

Entwicklung eines KI-basierten Messsystems zur Identifikation von Formgebungsfehlern bei Hairpin-Steckspulen

**Kadnikov, Arthur**

Automatisierung der Demontagesequenzplanung (DSP) am Beispiel von Lithium-Ionen-Batteriemodulen in Siemens NX

**Kaps, Simon**

Systemvergleich und Implementierung eines Sprachassistenten für die industrielle Umgebung

**Kechiche, Bouthaina**

Simulation des Strukturverhaltens von Brennstoffzellenmembranen bei schwankenden Umgebungsbedingungen in der Produktion

**Keitel, Teresa**

Entwicklung eines Frameworks zur anreizgesteuerten Kollaboration von horizontal vernetzten Unternehmen

**Keller, Eugen**

Entwicklung eines Versuchsstands zur Vereinzelung von Separatoren für die Batteriezellfertigung

**Kern, Timo Alexander**

Weiterentwicklung einer Fördereinheit zur Integration von Formgedächtnislegierungsdrähten in der additiven Fertigung

**Kim, Hee Jeong**

Abtragsuntersuchungen im Tauchgleitschleifen zur Validierung der Preston Hypothese

**Kimm-Friedenberg, Frederic**

Entwicklung einer echtzeitnahen PLC Datenanbindung und Implementierung einer Datenpipeline als Basis einer Anomalieerkennung

**Kist, Sebastian**

Untersuchung der Übertragbarkeit des FIM Prozesses auf die Verarbeitung von Trägermaterial für Pilzmyzel Werkstoffe

**Kleineisel, David**

Experimentelle Untersuchung der Bearbeitungskräfte für Schruppfräser

**Koerner, Tom**

Einsatz von KI-basierten und heuristischen Verfahren zur Verbesserung von Produktionsabläufen

**Kögler, Tim**

Modellierung und Simulation von Produktionssystemen: Umsetzung und Bewertung etablierter Modelle

**Kolb, Fabian**

Trend-Analyse der Marktentwicklung zur Produktion von Feststoffbatterien anhand einer systematischen Patentanalyse

**Königshofer, Janik**

Prozesssteuerung mittels stochastischer dynamischer Optimierung zur Vermeidung von Verschwendung in der Produktion

**Kopelousos, Evangelos Marios**

Entwicklung und Umsetzung einer Kühlstrategie für das Widerstandspunktschweißen von metallischen Inserts in Faser-Kunststoff-Verbunden

**Kossev, Velin**

Aufbau eines digitalen Zwillings von einer agilen Produktionsanlage in VREP

**Krämer, Richard**

Optimierung einer neuartigen Laser-Sinteranlage zur Herstellung endlosfaserverstärkter Kunststoffbauteile

**Krippner, Hannah**

Definition von Anwendungsfeldern für Digitale Zwillinge globaler Produktionsnetzwerke

**Kruse, Hepke**

Strukturierung der quantitativen Managementaufgaben globaler Produktionsnetzwerke und Ableitung von Anforderungen an einen Digitalen Zwilling

**Kühnel, Tim**

Konstruktion und Auslegung eines Maschinenprüfstands für Hochdrehzahlmaschinen

**Kwon, Yonghwan**

Automatisierte Handhabung von Elektrodenblätter in der Batteriezellfertigung

**Landwehr, Magnus**

Bildbasierte Größenextraktion von Fehlstellen auf metallischen Oberflächen unter Verwendung eines FCN-Ansatzes

**Lang, Simon**

Messprozesse von morgen: Inspektionsprozesse für ein autonomes Remanufacturing

**Lanzer, Tessa**

Charakterisierung Flachsfaser basierter Verbundwerkstoffe

**Liesching, Tim Felix**

Entwicklung einer grafischen Benutzeroberfläche für die automatisierte Einbringung von Endlosfasern im Lasersinterprozess

**Liu, Jo Yuan**

Prozessentwicklung zur Herstellung thermoplastischer Faserverbunde im Faserblasverfahren

**Maelger, Julia**

Systematischer Vergleich thermographischer Messmethoden zur Qualitätssicherung in der PEM-Brennstoffzellenfertigung

**Maier, Simon Elias**

Implementierung einer durchgängigen Datenverbindung von Industrie 4.0-Produktionswerken

**Maier, Tanja**

Entwicklung einer Methodik zur menschenzentrierten Implementierung des digitalen Shopfloor Managements

**Makhoul, Elyas Koja**

Entwicklung einer Methode zur Messung der Ausprägung von Industrie 4.0 in der Elektrodenfertigung von Lithium-Ionen-Batterien

**Mann, Lukas**

Identifikation wirtschaftlicher und technischer Potentiale der flexiblen Beschichtung für Lithium-Ionen Batterien

**Martin, Joshua Luis**

Entwicklung eines wandlungsfähigen, materialflussoptimierten Fabriklayouts für die Produktion flexibler metallischer Maschinenelemente

**Mauch, Eric**

Entwicklung einer Methodik für die digitalisierte Vernetzung von Standorten in globalen Wertschöpfungsnetzwerken zur Erreichung strategischer Ziele

**Meling, Simon Johannes**

Machbarkeitsuntersuchung eines Verfahrens zur Erkennung von Verschleißentwicklungen mittels Lasertechnologie

**Meyer, Ferdinand**

Umsetzung und Qualifizierung eines modularen Aufbaus zur Charakterisierung von Gleitschleifgranulaten

**Molz, Jasmin Ellinor**

Experimentelle Herstellung und Charakterisierung eines Metallpulver-Feedstocks für das ARRBURG Freiform-Verfahren

**Morres, Daniel**

Potentialanalyse und methodische Bewertung moderner Produktionskonzepte

**Mszyca, Maik**

Untersuchung der Eignung von Rekurrenten Neuronalen Netzen (RNN) für die Vorhersage der Partikelgröße in der Pulververdüsung

**Mühlenkamp, Joshua**

Entwicklung und Konstruktion einer Handlingsanlage zur flexiblen Versiegelung von Lithium-Ionen-Pouch-Zellen

**Necker, Marvin Timo**

Entstehungsmechanismen von Anbindungsfehlern beim Laserschweißen von Metallfolien in der Brennstoffzellenfertigung

**Neumann, Pascal**

Miniaturisierung und Weiterentwicklung eines Sensorsystems zur Erfassung kleinskaliger Partikelbewegungen im Tauchgleitschleifen

**Nguyen, Thuan**

Analyse des Potentials einer Produktionsplanung mit integrierter Produktzustandsbetrachtung im Remanufacturing

**Oberst, Mark Alexander**

Konstruktion eines intelligenten Druckbetts für den 3D-Druck mit einem Industrieroboter

**Oswald, Robin**

Prozessuntersuchung an einer Rollnaht-Ultraschallschweißeinheit für das nahtlose Verschweißen von dünnwandigen Nichteisenmetallen mittels Roboter

**Overberg, Kay**

Konstruktion eines bio-composite Mountainbike-Rahmens

**Pavlovic, Ivan**

Entwicklung und Erprobung innovativer serienfähiger Konzepte zur Montage und Fixierung von vergrabenen Permanentmagneten in Hochdrehzahlantrieben

**Pecher, Marvin**

Evaluierung von Deep Learning basierten Merkmalextraktoren anhand des Anwendungsfalls der Anomalie-Erkennung in Oberflächen-Bilddaten

**Pflugfelder, Marcel**

Automatisierte Ableitung der produktseitigen Anforderungen an die Produktion durch Implementierung der ISO 10303 in der digitalen Konstruktion

**Platau, Julian**

Experimentelle Ermittlung der Auswirkung von Bauteilschädigung auf die Prozesskräfte bei der Fräsbearbeitung von faserverstärkten Kunststoffen

**Pöschl, Jona**

Analyse der Produktionstechnologien zur Bewertung der perspektivischen Entwicklung von Brennstoffzellen für Mobilitätsanwendungen

**Pothuri, Sriharika**

Entwicklung einer Methodik zur Messbarkeit von Industrie 4.0 in der Batteriezellproduktion für die Prozessschritte Slitten, Vakuumtrocknen und Assemblierung

**Prado, Daniel**

Aufbau einer Wissensbasis zur Entwicklung hochgefüllter Keramikschlicker für das LCM-Verfahren

**Ramazani, Johannes**

Gestaltungsalternativen für kognitive Fabriken im Remanufacturing

**Rechkemmer, Dirk Friedrich**

Entwicklung eines Schulungskonzeptes für ereignisdiskrete Simulationssoftware

**Reiter, Nick Rian**

Effiziente Ressourcenallokation in einem global verteilten Produktionsnetzwerk anhand eines Machine-Learning basierenden Recommender Systems

**Riedinger, Sebastian**

Erstellung eines Experimentaldesigns zur Erfassung der Wirkung digitaler Assistenzsysteme auf die Kennzahlen der Mitarbeiterproduktivität

**Rodriguez Djevoic, Nicolas Manuel**

Untersuchungen des Eindrückens der Aktivmaterialpartikel von Kathoden in die Aluminiumfolie aufgrund des Kalandrierens

**Romanenko, Artur**

Entwicklung einer Methoden-Toolbox zur Steigerung der Wandlungsfähigkeit von globalen Produktionsnetzwerken

**Röble, Nick**

Untersuchung von Inline-Messmethoden zur Bewertung des Camber-Effekts beim Kalandrieren von Batterieelektroden

**Russ, Daniel**

Ermittlung und Darstellung der Wirkzusammenhänge der Anlagenparameter des Zusatzmoduls am Kalender zur wrinkle-freien Bearbeitung

**Sarter, Lorenz**

Entwicklung anwendungsgerechter Greiferfinger für die Batteriezellenmontage

**Sauer, Jana**

Machine Learning in der Produktentwicklung zur Schätzung produktionsrelevanter Informationen

**Schillinger, Robin**

Vergleich zweier Rotorkühlkonzepte: Lanzenkühlung und Spirallanzenkühlung

**Schindler, Marius**

Konstruktion und Herstellung einer Dummy-Zelle zur Modellierung des Thermal-Runaway

**Schindler, Florian Alexander**

Entwicklung der Steuerung einer Reinigungsanlage für eine stereolithographische Multimaterialanlage mit graphischem User-Interface (GUI)

**Schmidt-Röber, Noah**

Analyse geeigneter Deskriptoren zur Vorhersage der Produzierbarkeit von Natrium-Ionen Batteriezellen

**Schmitt, Gabriel Tobias**

Optimierung eines Werkzeugsystems zum Festwalzen des Zahngrundes mit Wälzschälkinematik

**Schmutz, Theresa**

Machine Learning zur Klassifizierung und Ähnlichkeitsanalyse von 3D-Objekten

**Schott, Michael**

Konzeption und Validierung der Herstellung von innenliegenden elektronischen Systemen in einem stereolithographisch gefertigten Schaltungsträger

**Schuh, Noah Emanuel**

Entwicklung eines Getriebeprüfstands für das Testen von Innenverzahnungen

**Schuler, Andreas**

Erstellung eines Dashboards für eine modulare Produktionsanlage in der Siemens Mindsphere Cloud

**Schulz, Jan-Hendrik**

Untersuchung und Simulation des Einflusses einer Regelrolle auf die Bewegung des Stahlbandes im Pressbereich einer kontinuierlichen Presse

**Schulz, Philipp**

Entwicklung einer grafischen Benutzeroberfläche für die automatisierte Steuerung eines hybriden additiven Fertigungsprozesses

**Schwertfeger, Anton Moritz**

Entwicklung einer Methodik zur globalen Integration einer Ontologie für werksübergreifende Datenanalysen von Produktionsprozessen

**Schwind, Tizian**

Umrüstung eines Cobot-Versuchsstands für Vereinzelungsversuchen an gestapelten technischen Textilien

**Sedlmair, Moritz**

Ausarbeitung und Konstruktion von Konzepten zur automatisierten Herstellung von Statorwicklungen für elektrische Traktionsantriebe

**Seegers, Timon**

Experimentelle Charakterisierung von Hybridlaminaten für verschiedene Einsatzszenarien

**Seiffert, Niklas Daniel**

Konzeptionierung und Konstruktion einer Messeinrichtung zur Unwuchtmessung in einem Schleuderprüfstand

**Shao, Zijin**

Modellierung, Simulation und Optimierung eines LS-Prozesses mit Endlosfaserintegration

**Siewert, Dominik Johannes**

Einstellung im selektiven Laserschmelzen erzeugter Oberflächen zur optimierten Anhaftung von geschmolzenem Filament

**Soika, Franziska**

Entwicklung eines Modells zur Auswirkungsanalyse des Mass Personalization Paradigms auf die Planungsentscheidungen globaler Produktionsnetzwerke basierend auf der Entscheidungstheorie

**Sornig, Julian**

Weiterentwicklung eines Pick and Place Systems zum Steigern der Genauigkeit des Stackings von Brennstoffzellen mithilfe von Computer Vision

**Steinecke, Shanice Viviane**

Ressourceneffizienz innovativer Fertigungstechnologien

**Thasan, Jensen**

Untersuchungen und Entwicklung einer Darstellung von KI-basierten Algorithmen mit Python

**Thier, Niklas**

Fügen transparenter Materialien mittels ultrakurzer Laserpulse

**Thiery, David Christian**

Optimierung einer Materialflusssteuerung zur Energieeffizienzerhöhung am Beispiel einer geplanten Produktionslinie für Elektromotorengehäuse

**Thongplakhao, Torsakul**

Systematische Analyse der Material-Prozess-Beziehung entlang der Prozesskette von Lithium-Ionen-Batterien

**Tremel, Niklas**

Computergestützte Ähnlichkeitsbestimmung von Baugruppen als Realisierungsansatz eines integrierten Produkt-Produktions-Codesigns

**Türke, Felix**

Untersuchung des Materialverzugs beim Kalandrieren von Batterieelektroden für Lithium-Ionen-Batterien mittels einer FEM-Simulation

**Villegas Alzate, Martin**

Entwicklung einer kundenindividuellen Digitalisierungsstrategie: Entwurf und Anwendung einer Methode zur ganzheitlichen Analyse des IST-Zustands

**Walter, Marco**

Analyse, Modellierung und Quantifizierung bei Rotoren elektrischer Traktionsantriebe auftretender Unwuchtänderungen

**Wanka, Katharina**

Experimentelle Schnittkraftuntersuchungen für Zerspanungskinematiken

**Weber, Daniel**

Praktische Einflussanalyse des Pressens von Wicklungen elektrischer Maschinen

**Wehrle, Alina Pauline**

Erstellung einer Verfahrensübersicht zur Herstellung von Multi-Material-Keramiken

**Weidmann, Markus**

Entwicklung eines Basismodells für Digitale Zwillinge globaler Produktionsnetzwerke

**Weiser, Markus**

Untersuchung des Einflusses unterschiedlicher Emulsionszustände des Kühlschmierstoffes auf Werkzeugverschleiß und Bearbeitungsgenauigkeit

**Weisser, Philipp Karl-Ludwig**

Qualifizierung des Vakuum-Druck-Gießens zur Erzeugung stromführender Leiterbahnen in keramischen Grundkörpern

**Wenz, Max Michael**

Kalandrierversuche von Elektroden mit variabler Beschichtungsbreite

**Wessollek, Stefan**

Konzeption und Konstruktion von Vorrichtungen zur Temperierung und geometrischen Vermessung hochdrehender Rotorkomponenten

**Wiebelt, Dominik**

Experimentelle Analyse eines neuartigen Lasersinterprozesses mit automatisierter Endlosfaserintegration zur Herstellung von Faserkunststoffverbunden

**Wolber, Jakob**

Erarbeitung einer Strategie zum optimalen Zustandsabgleich von Industrie 4.0 Geräten mit deren digitalem Zwilling im SICK Web Service "AssetHub"

**Wöllstein, Dominik**

Automatisierte Validierung und Sensitivitätsanalyse eines Digitalen Zwillings eines Produktionssystems

**Woy, Anton**

Entwicklung und Implementierung eines Softwaretools zur Simulation von Füllfaktoren in Nuten elektrischer Maschinen

**Xenos, Efstathios**

Erstellung eines Businessplans für das Kalandrieren von neuen Materialien in der Batterieproduktion

**Yaldaz, Ashal**

Optimierung der spanenden Bearbeitung additiv gefertigter poröser Strukturen aus AISI10Mg

**Yazgan, Sümeyra**

Entwicklung eines Automatisierungskonzepts für faserverstärkte Rotorstrukturen

**Yildirim, Faruk**

Klassifikation unter Verwendung von Deep Learning extrahierten Ähnlichkeitsmaßen

**Zheng, Xinlan**

System zur automatisierten Ableitung von Spannrosen

**Zhu, Yujie**

Fabrik-basierte Implementierungsreihenfolgenplanung für Industrie 4.0 Methoden in Globalen Produktionsnetzwerken

**Zühlke, Colin Raimond**

Industrie 4.0 – Entwicklung und Anwendung einer Methode zur Modellierung und Simulation einer Smart Factory-Montagelinie

## Veröffentlichungen

(November 2020 bis Oktober 2021)

### Konferenzbeiträge

Barton, D.; Männle, P.; Odendahl, S.; Stautner, M. & Fleischer, J. (2020), „Concept for collision avoidance in machine tools based on geometric simulation and sensor data“. Hrsg. Heizmann, M. & Längle, T., KIT Scientific Publishing, Karlsruhe, S. 171-182.

Qu, J.; Barton, D.; Gönzheimer, P.; Pinsker, F.; Kufer, D. & Fleischer, J. (2020), „Self-Aware LiDAR Sensors in Autonomous Systems using a Convolutional Neural Network“. Intelligent, Flexible and Connected Systems in Products and Production, Hrsg. Thoben, K.; Dekena, B.; Lang, W. & Trächtler, A., Elsevier, S. 50-55.

Schlagenhauf, T.; Heinzler, M. & Fleischer, J. (2020), „Extraction of surface image features for wear detection on ball screw drive spindles“. Forum Bildverarbeitung 2020, Hrsg. KIT, KIT Scientific Publishing, Karlsruhe, S. 305-314.

Verhaelen, B.; Häfner, B. & Lanza, G. (2020), „Methodology for the strategy-oriented distribution of decision autonomy in global production networks“. Flexible Mass Customisation, Elsevier, S. 15-20.

Wurba, A.; Hofmann, J.; Fleischer, J.; Klemens, J.; Scharfer, P. & Schabel, W. (2020), „Identifying the influence of the particle size and morphology of electrode materials on the process of calendaring“. Conference Brochure, Hrsg. Prof. Arno Kwade, S. D., S. 22.

Barton, D.; Federhen, J. & Fleischer, J. (2021), „Retrofittable vibration-based monitoring of milling processes using wavelet packet transform“. Flexible Mass Customisation, Hrsg. Kellens, K.; Ferraris, E. & Demeester, E., Elsevier, S. 353-358.

Bodin, U.; Dhanrajani, S.; Abdalla, A. H.; Diani, M.; Klenk, F.; Colledani, M.; Palm, E. & Schelén, O. (2021), „Demand-supply matching through auctioning for the circular economy“. 10th CIRP Sponsored Conference on Digital Enterprise Technologies (DET 2020) - Digital Technologies as Enablers of Industrial Competitiveness and Sustainability, Hrsg. Vancza, J. & Maropoulos, P. G., S. 82-87.

Böttger, D.; Stampfer, B.; Gauder, D.; Lanza, G.; Schulze, V.; Straß, B. & Wolter, B. (2021), „Working point determination of 3MA micromagnetic NDT-technique for production integrated detection of white layer during turning of AISI4140“. Elsevier.

Diaz Ocampo, D.; Gonzalez Fernandez, G.; Zanger, F. & Heizmann, M. (2021), „Schätzung der Segmentspanbildungsfrequenz mithilfe von Körperschallsignalen“. De Gruyter, S. 1-5.

Fleischer, J.; Gerlitz, E.; Rieß, S.; Coutandin, S. & Hofmann, J. (2021), „Concepts and Requirements for Flexible Disassembly Systems for Drive Train Components of Electric Vehicles“. Procedia CIRP, Elsevier, S. 577-582.

Fleischer, J.; Hausmann, L. & Wirth, F. (2021), „Production-oriented design of electric traction drives with hairpin winding“. Procedia CIRP, Hrsg. Lutters, E., Elsevier, S. 169-174.

Fleischer, J.; Puchta, A. & Gönzheimer, P. (2021), „Seamless and Modular Architecture for Autonomous Machine Tools“. Journal of Machine Engineering 2021, Ed. Institution of the Wrocław Board of Scientific Technical Societies Federation.

Florian Stamer, G. L. (2021), „Deriving Collaboration Cases in Production Networks Considering Smart Services“. Elsevier.

Gerlitz, E.; Greifenstein, M.; Hofmann, J. & Fleischer, J. (2021), „Analysis of the Variety of Lithium-Ion Battery Modules and the Challenges for an Agile Automated Disassembly System“. Procedia CIRP, Elsevier.

Halwas, M.; Ambs, P.; Sell-Le Blanc, F.; Weiße, L.; Hofmann, J. & Fleischer, J. (2021), „Development and Implementation of a Compact Winding Process“. 10th International Electric Drives Production Conference (EDPC), Hrsg. IEEE, S. 1-9.

Hausmann, L.; Waldhof, M.; Fischer, J.; Wöbner, W.; Oliveira Flammer, M.; Heim, M.; Fleischer, J. & Parspour, N. (2021), „Review and Enhancements of Rotor Designs for High Speed Synchronous Reluctance Machines“. IEEE, Piscataway, NJ, S. 1-8.

Hausmann, L.; Wirth, F. & Fleischer, J. (2021), „Opportunities of Model-Based Production-Oriented Design of Stators with Hairpin Winding“. 10th International Electric Drives Production Conference (EDPC), Hrsg. IEEE, Piscataway, NJ, S. 1-8.

Hillgardt, A.; Böhlend, F.; Klose, J.; Gerstenmeyer, M. & Schulze, V. (2021), „A new approach for local cutting force modeling enabling the transfer between different milling conditions and tool geometries“. Elsevier, S. 138-143.

Kandler, M.; Schäfer, L.; Gorny, P. M.; Ströhlein, K.; Lanza, G. & Nieken, P. (2021), „Learning Factory Labs as Field-in-the-Lab Environments“.



Krahe, C.; Kalaidov, M.; Doellken, M.; Gwosch, T.; Kuhnle, A.; Lanza, G. & Matthiesen, S. (2021), „AI-Based Knowledge Extraction for Automatic Design Proposals Using Design-Related Patterns“. *Procedia CIRP*, S. 397-402.

Künzel, A.; Puchta, Alexander, P. A.; Gönninger, P. & Fleischer, J. (2021), „Modular and flexible Automation Middleware based on LabVIEW and OPC UA“. *IOP science*.

Kupzik, D.; Bachtin, A.; Coutandin, S. & Fleischer, J. (2021), „Experimental Parameter Identification for the Bending Based Preforming of Thermoplastic UD -tape“. *Technologies for economic and functional lightweight design*, Hrsg. Dröder, K. & Vietor, T., Springer, Berlin, S. 313-325.

Netzer, M.; Palenga, Y.; Gönninger, P. & Fleischer, J. (2021), „Offline-Online Pattern Recognition for Enabling Time Series Anomaly Detection on Older NC Machine Tools“. *Journal of Machine Engineering 2021*, Ed. Institution of the Wroclaw Board of Scientific Technical Societies Federation, S. 98-108.

Overbeck, L.; Brützel, O.; Teufel, M.; Stricker, N.; Kuhnle, A. & Lanza, G. (2021), „Continuous adaption through real data analysis turn simulation models into digital twins“. *Procedia CIRP*, Elsevier.

Overbeck, L.; Hugues, A.; May, M. C.; Kuhnle, A. & Lanza, G. (2021), „Reinforcement Learning Based Production Control of Semi-automated Manufacturing Systems“. *Procedia CIRP*, Elsevier, S. 170-175.

Overbeck, L.; Le Louarn, A.; Brützel, O.; Stricker, N. & Lanza, G. (2021), „Continuous Validation and Updating for High Accuracy of Digital Twins of Production Systems“. *Simulation in Produktion und Logistik 2021*, S. 609-617.

Ruhland, P.; Matveev, A.; Nielsen, K.; Kvinneland, K.; Coutandin, S. & Fleischer, J. (2021), „New Production Techniques for Electric Motors in High Performance Lightweight Applications“. *10th International Electric Drives Production Conference (EDPC)*, Hrsg. IEEE, S. 1-8.

Schäfer, J. & Fleischer, J. (2021), „Flexibles, stückzahlskalierbares Stapeln von Brennstoffzellen unter Berücksichtigung vorangelaagerter taktgebender Prozesse“.

Schäffer, E.; Gönninger, P.; Kupzik, D.; Brosog, M.; Coutandin, S.; Franke, J. & Fleischer, J. (2021), „Web-based platform for planning and configuration of robot-based automation solutions: A retrospective view on the research project ROBOTOP“. *Annals of Scientific Society for Assembly, Handling and Industrial Robotics 2021*, Springer International Publishing.

Schubert, J.; Rosen, M. & Zanger, F. (2021), „Concept Development and Validation of Manufacturing Processes for Integrating Current-Carrying Conductors in Ceramic Substrates“. *Production at the Leading Edge of Technology*, Hrsg. Behrens, B.; Brosius, A.; Drossel, W.; Hintze, W.; Ihlenfeldt, S. & Nyhuis, P., Springer Nature Switzerland, Cham, S. 339-348.

Sell-Le Blanc, F.; Weiße, L.; Klusmann, B.; Lüttge, W.; Dunker, A.; Lindhorst, N. & Halwas, M. (2021), „Development of an alternative Round Wire Process Chain: Automated Trickle Winding“. *10th International Electric Drives Production Conference (EDPC)*, Hrsg. IEEE, S. 1-8.

Silbernagel, R.; Gese, S.; Krupa, C. & Lanza, G. (2021), „Interfirm Collaboration in Global Production Networks“.

Verhaelen, B. & Lanza, G. (2021), „Decision-making autonomy of production plants in global production networks - Analysis of the interplay between strategy and decisions“.

Wurster, M.; Häfner, B.; Gauder, D.; Stricker, N. & Lanza, G. (2021), „Fluid Automation - A Definition and an Application in Remanufacturing Production Systems“. *Digitalizing smart factories*, Elsevier, S. 508-513.

#### Beiträge in Sammelwerken

Gude, M.; Barfuß, D.; Coutandin, S.; Fleischer, J.; Grützner, R.; Hirsch, F.; Kästner, M.; Müller-Pabel, M.; Müller, R.; Nieschlag, J.; Ruhland, P. & Würfel, V. (2021), „Hybride Hohlstrukturen für Wellen und Streben“ in *Intrinsische Hybridverbunde für Leichtbautragstrukturen*, Hrsg. Fleischer, J., Springer Vieweg, S. 205-264. ISBN/ISSN: 978-3-662-62832-4

Höger, K.; Schäfer, L.; Schild, L. & Lanza, G. (2021), „Towards a User Support System for Computed Tomography Measurements Using Machine Learning“ in *Production at the Leading Edge of Technology*. WGP 2021. Lecture Notes in Production Engineering., Hrsg. Behrens, B.; Brosius, A.; Drossel, W.; Hintze, W.; Ihlenfeldt, S. & Nyhuis, P., Springer, Cham., S. 506-514. ISBN/ISSN: 978-3-030-78423-2

Klenk, F.; Peukert, S. & Lanza, G. (2021), „Product-Mix Allocation“ in *Global Manufacturing Management*, Hrsg. Friedli, T.; Lanza, G. & Remling, D., Springer, Cham, S. 129-141. ISBN/ISSN: 978-3-030-72740-6

Silbernagel, R.; Arndt, T.; Peukert, S. & Lanza, G. (2021), „Process Quality Improvements in Global Production Networks“ in *Global Manufacturing Management*, Hrsg. Friedli, T.; Lanza, G. & Remling, D., Springer, Cham, S. 167-177. ISBN/ISSN: 978-3-030-72740-6

#### Zeitschriftenartikel

Böttger, D.; Stampfer, B.; Gauder, D.; Straß, B.; Häfner, B.; Lanza, G.; Schulze, V. & Wolter, B. (2020), „Concept for soft sensor structure for turning processes of AISI4140“, *tm - Technisches Messen*, Band 87, Nr. 12, S. 745-756. 10.1515/teme-2020-0054

Brützel, O.; Overbeck, L.; Nagel, M.; Stricker, N. & Lanza, G. (2020), „Generische Modellierung von halbautomatisierten Produktionssystemen für Ablaufsimulationen“, *ZWF Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb*, S. 792-796. 10.3139/104.112450

Schulze, V.; Zanger, F.; Stampfer, B.; Seewig, J.; Uebel, J.; Zabel, A.; Wolter, B. & Böttger, D. (2020), „Surface conditioning in machining processes“, *tm - Technisches Messen*, Band 87, Nr. 11, S. 661-673. 10.1515/teme-2020-0044

Schwalm, J.; Liu, Y.; Söllner, Y.; Gerstenmeyer, M.; Zanger, F. & Schulze, V. (2020), „Komplementärzerspanung - Zerspanung und mechanische Oberflächenbehandlung in einer Aufspannung“, *wt Werkstattstechnik online*.

Armbruster, J.; Gönninger, P. & Netzer, M. (2021), „Predictive Maintenance in der Antriebstechnik“, S. 66-69.

Arndt, T.; Klose, J.; Gerstenmeyer, M. & Schulze, V. (2021), „Tool wear development in gear skiving process of quenched and tempered internal gears“, *Forschung im Ingenieurwesen*, Band 86, doi.org/10.1007/s10010-021-00544-0

Barton, D.; Hess, F.; Männle, P.; Odendahl, S.; Stautner, M. & Fleischer, J. (2021), „Image segmentation and robust edge detection for collision avoidance in machine tools“, *tm - Technisches Messen*, Band 88, Nr. 6, S. 374-385. 10.1515/teme-2021-0028

Brützel, O.; Kueppers, F.; Overbeck, L.; Stricker, N.; Verhaelen, B. & Lanza, G. (2021), „Eine automatisierungsgerechte robuste Produktionsplanung“, *ZWF Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb*, Band 116, Nr. 2, 10.1515/zwf-2021-0009

Fleischer, J.; Herrmann, H.; Vielhaber, M.; Scholz, J.; Kaspar, J.; Ruhland, P. & Coutandin, S. (2021), „Leichtbau ganzheitlich denken“, S. 70-71. 10.37544/0042-1766-2021-07-08-70

Fleischer, J.; Köbler, F.; Sawodny, J.; Storz, T.; Gönninger, P. & Hofmann, J. (2021), „Agile Batteriezellfertigung als Antwort auf volatile Märkte und Technologien Agile Battery Cell Manufacturing as Response for Volatile Markets and Technologies“, *wt online*, S. 486 - 489. doi.org/10.37544/1436-4980-2021-07-08-18

Fleischer, J.; Pfund, T.; Wirth, F.; Fraider, F.; Halwas, M.; Hausmann, L. & Wöbner, W. (2021), „Agile Produktion elektrischer Traktionsmotoren als Antwort auf volatile Märkte und Technologien“, *ZWF Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb*, Band 116, Nr. 3, S. 128-132. 10.1515/zwf-2021-0025

Frey, A. M.; Stindt, J.; Lanza, G. & Mark, P. (2021), „Geometrische Bewertung und Optimierung der Modulordnung in Tragwerken - Ein Beitrag zur adaptiven Fertigung im Bauwesen“, *Bautechnik*, S. 662-670. 10.1002/bate.202100027

Gauder, D.; Biehler, M.; Gözl, J.; Stampfer, B.; Böttger, D.; Häfner, B.; Wolter, B.; Schulze, V. & Lanza, G. (2021), „Development of a methodical approach for uncertainty quantification and meta-modeling of surface hardness in white layers of longitudinal turned AISI4140 surfaces“, *tm - Technisches Messen*, doi.org/10.1515/teme-2021-0037

Gonzalez Fernandez, G.; Diaz Ocampo, D.; Segebade, E.; Heizmann, M. & Zanger, F. (2021), „Chip segmentation frequency based strategy for tool condition monitoring during turning of Ti-6Al-4V“, *Procedia CIRP*, Band 102, S. 276-280. 10.1016/j.procir.2021.09.047

Graf, G.; Neuenfeldt, M.; Müller, T.; Fischer-Bühner, J.; Beckers, D.; Donisi, S.; Zanger, F. & Schulze, V. (2021), „Efficient Qualification Strategy of New Steel Alloys for Laser Powder Bed Fusion“, *Advanced Materials Research*, Band 1161, 10.4028/www.scientific.net/AMR.1161.27

Graf, G.; Nouri, N.; Dietrich, S.; Zanger, F. & Schulze, V. (2021), „Dual-Laser PBF-LB Processing of a High-Performance Maraging Tool Steel FeNiCoMoVTiAl“, *Materials*, Band 14, S. 1-18. 10.3390/ma14154251

Halwas, M.; Wirth, F. & Fleischer, J. (2021), „Kompaktwickelprozess zur Herstellung verteilter Wicklungen“, *ZWF*, Band 116, Nr. 3, S. 124-127. 0.1515/zwf-2021-0024

Hausmann, L. & Fleischer, J. (2021), „Flexibles Twisten von Statoren mit Hairpin-Wicklung“, *wt Werkstattstechnik online*, Band 111, S. 490-494. doi.org/10.37544/1436-4980-2021-07-08

Hillgardt, A.; Klose, J.; Gerstenmeyer, M. & Schulze, V. (2021), „Modelling and prevention of meshing interference in gear skiving of internal gears“, *Forschung im Ingenieurwesen*, Band 85, doi.org/10.1007/s10010-021-00520-8

Hochdörffer, J.; Klenk, F.; Fusen, T.; Häfner, B. & Lanza, G. (2021), „Approach for integrated product variant allocation and configuration adaption of global production networks featuring post-optimality analysis“, *International Journal of Production Research*, 10.1080/00207543.2021.1884765

Kuhnle, A.; May, M.; Schäfer, L. & Lanza, G. (2021), „Explainable reinforcement learning in production control of job shop manufacturing system“, International Journal of Production Research, 10.1080/00207543.2021.1972179

Malessa, N.; Ast, J.; Kandler, M.; Ströhlein, K.; Nyhuis, P.; Lanza, G.; Nieken, P. & . (2021), „Digitale Führung und Technologien für die Teaminteraktion von morgen“, Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb, Band 115, S. 540-544. <https://www.hanser-elibrary.com/doi/10.3139/104.112374>

Mark, P.; Lanza, G.; Lordick, D.; Albers, A.; König, M.; Borrmann, R.; Stempniewski, L.; Forman, P.; Frey, A. M. & Renz, R. (2021), „Vom Handwerk zur individualisierten Serienfertigung: Schwerpunkt adaptive Modulbauweisen mit Fließfertigungsmethoden“, Bautechnik, S. 243-256. 10.1002/bate.202000110

Matkovic, N.; Götz, M.; Kupzik Daniel, K. D.; Nieschlag Jonas, S. & Fleischer, J. (2021), „Additives Roboter-Extrusions-System“, VDI-Z, Band 163, S. 55-57. <https://www.ingenieur.de/fachmedien/vdi-z/additive-fertigung/industriero-boter-fertigung-additiv-grossvolumige-kunststoff-bauteile/>

May, M.; Albers, A.; Fischer, M. D.; Mayerhofer, F.; Schäfer, L. & Lanza, G. (2021), „Queue Length Forecasting in Complex Manufacturing Job Shops“, forecasting, Nr. 3, S. 322-338. 10.3390/forecast3020021

Netzer, M.; Begemann, E.; Gönzheimer, P. & Fleischer, J. (2021), „Digitalisierung im deutschen Maschinen- und Anlagenbau“, wt Werkstattstechnik online, Band 111, S. 526-530. 10.37544/1436-4980-2021-07-08-58

Netzer, M.; Gönzheimer, P.; Schäfer, W.; Grosser, K. & Fleischer, J. (2021), „Daten-Enabling für eine breite KI-Anwendung“, wt Werkstattstechnik online, Band 111, S. 481-485. 10.37544/1436-4980-2021-07-08-13

Neuenfeldt, P.; Brennenstuhl, F. & Schulze, V. (2021), „Stirradbearbeitung im Tauchgleitschleifen“, wt-online, S. 403-407. DOI 10.37544/1436-4980-2021-06-47

Plogmeyer, M.; Gonzalez Fernandez, G.; Biehl, S.; Schulze, V. & Bräuer, G. (2021), „Wear-resistant thin-film sensors on cutting tools for in-process temperature measurement“, S. 85-88. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2021.02.011>

Schäfer, L.; Burkhardt, L.; Kuhnle, A. & Lanza, G. (2021), „Integriertes Produkt-Produktions-Code-sign“, wt Werkstattstechnik online, Band 111, S. 201-205. 10.37544/1436-4980-2021-04-23

Schlagenhauf, T.; Ammann, N. & Fleischer, J. (2021), „Online Learning für die präventive Verschleißdetektion“, wt Werkstattstechnik online, S. 475-780. 10.37544/1436-4980-2021-07-08-7

Song, K.; Wang, Y.; Xu, H.; Müller-Welt, P.; Stuermlinger, T.; Bause, K.; Ehrmann, C.; Weimann, H. W.; Schaefer, J.; Fleischer, J.; Zhu, K.; Weihard, f.; Trostmann, M.; Schwartz, M. & Albers, a. (2021), „Assembly techniques for proton exchange membrane fuel cell stack: A literature review“, 10.1016/j.rser.2021.111777

Stampfer, B.; Gonzalez Fernandez, G.; Gerstenmeyer, M. & Schulze, V. (2021), „The Present State of Surface Conditioning in Cutting and Grinding“, Journal of manufacturing and materials processing, Band 5, Nr. 3, S. 1-17. doi.org/10.3390/jmmp5030092

Stampfer, B.; Gonzalez Fernandez, G.; Segebade, E.; Gerstenmeyer, M. & Schulze, V. (2021), „Material parameter optimization for orthogonal cutting simulations of AISI4140 at various tempering conditions“, Procedia CIRP, Band 102, S. 198-203. 10.1016/j.procir.2021.09.034

Treber, S.; Benfer, M.; Häfner, B.; Wang, L. & Lanza, G. (2021), „Robust optimization of information flows in global production networks using multi-method simulation and surrogate modelling“, CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology, Band 32, S. 491-506. 10.1016/j.cirpj.2020.08.012

Verhaelen, B.; Mayer, F.; Peukert, S. & Lanza, G. (2021), „A comprehensive KPI network for the performance measurement and management in global production networks“, Production Engineering Research and Development, 10.1007/s11740-021-01041-7



#### Impressum

#### Satz und Layout

CrossMedia – Grafik, ASERV

#### Redaktion

Melanie Klagmann, wbk Institut für Produktionstechnik

#### Druck

Nino Druck GmbH

#### Kontakt

Karlsruher Institut für Technologie (KIT)  
wbk Institut für Produktionstechnik  
Prof. Dr.-Ing. Jürgen Fleischer, Prof. Dr.-Ing. Gisela Lanza und  
Prof. Dr.-Ing. habil. Volker Schulze

Campus Süd  
Kaiserstraße 12  
76131 Karlsruhe  
[www.wbk.kit.edu](http://www.wbk.kit.edu)

#### Herausgeber

Karlsruher Institut für Technologie (KIT)  
Präsident Professor Dr.-Ing. Holger Hanselka  
Kaiserstraße 12  
76131 Karlsruhe  
[www.kit.edu](http://www.kit.edu)

Karlsruhe © KIT 2021





[www.wbk.kit.edu](http://www.wbk.kit.edu)