

# Jahresbericht des wbk 2020

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

**wbk Institut für Produktionstechnik**



## Vorwort

Das wbk Institut für Produktionstechnik des Karlsruher Instituts für Technologie (KIT) ist Teil der KIT-Fakultät für Maschinenbau. Es gliedert sich in die drei Bereiche: 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.

Die 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 setzen wir auf die Vernetzung in Forschungsschwerpunkten. In unserem neuen Forschungsschwerpunkt Nachhaltige Produktion ist es das Ziel, die Ressourceneffizienz von Fertigungsprozessen und Anlagen zu steigern

und zirkuläre Ansätze von Remanufacturing und Kreislaufwirtschaft zu entwickeln. 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 wir uns generativen Fertigungsverfahren in den Themen optimierte Prozessstrategien, Anlagentechnik und Fabrikintegration. Durch intelligente Vernetzung entstehen im Forschungsschwerpunkt Industrie 4.0 neue Produkte, Dienstleistungen und Geschäftsmodelle sowie effiziente betriebliche Prozesse.

Das wbk bietet wissenschaftlichen Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern sowie Studierenden durch die moderne und umfangreiche Sachausstattung ausgezeichnete Rahmenbedingungen für theoretische und experimentelle Forschungsarbeiten mit dem Ziel, ein integratives Verständnis von den Prozessen über die Anlagen und die Automatisierung bis hin zu vernetzten Fabriken zu vermitteln. Für unsere Forschung und Lehre im Bereich Produktionstechnik setzen wir gezielt auf weltweite Partnerschaften. Neben Forschungsprojekten mit anderen wissenschaftlichen Einrichtungen sind für

uns gemeinsame Projekte mit Industriepartnern entscheidend. Wir entwickeln Lösungen für vielfältige Themenstellungen der Produktionstechnik und entwickeln, mit Blick in die Zukunft, neue Methoden und Prozesse für die Produktion von morgen. Das Jahr 2020 war in jeder Hinsicht außergewöhnlich. In zahlreichen intensiven Gesprächen und spannenden Diskussionen mit der Wirtschaft ging es für uns meist um die Frage, wie wir die Entwicklungen der deutschen Industrie für die Zukunft gemeinsam gestalten können.



Wir sind stolz auf unser Team, das gerade in dieser Zeit 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 2020 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 2020



## INSTITUT

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



## FORSCHUNG

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



## KOOPERATIONEN

Bereichsübergreifende Forschungsprojekte .....	36
Global Advanced Manufacturing Institute (GAMI) .....	38
Advanced Manufacturing Technology Center (AMTC) .....	40
Industriepartnerschaften .....	42
Innovationscampus Mobilität der Zukunft (ICM) .....	44



## DISSERTATIONEN

Dr.-Ing. Andreas Kuhnle .....	45
Dr.-Ing. Sven Coutandin .....	46
Dr.-Ing. Marius Dackweiler .....	47
Dr.-Ing. Fabio Echsler Minguillon .....	48
Dr.-Ing. Janna Hofmann .....	49
Dr.-Ing. Stefan Treber .....	50
Dr.-Ing. Raphael Wagner .....	51
Dr.-Ing. Tom Stähr .....	52
Dr.-Ing. Christoph Liebrecht .....	53
Dr.-Ing. Sebastian Haag .....	54



## STUDIUM UND LEHRE

Leitbild und Zahlen .....	55
Vorlesungsangebot .....	56
Neue Lehrveranstaltungen und Auszeichnung .....	57
Exkursion / Winterschule .....	61
Abschlussarbeiten	
Masterarbeiten .....	62
Bachelorarbeiten .....	70



## VERÖFFENTLICHUNGEN

Konferenzbeiträge .....	76
Zeitschriftenartikel .....	77



wbk Institut für Produktionstechnik  
**Standorte des Instituts**



**Fasanengarten  
Karlsruhe  
Deutschland**

*Produktionssysteme  
Maschinen, Anlagen und  
Prozessautomatisierung*



**Ehrenhof  
Karlsruhe  
Deutschland**

*Fertigungs- und Werkstoff-  
technik*



**Materialwissenschaftliches Zentrum für  
Energiesysteme  
Karlsruhe  
Deutschland**

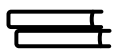
*Fertigungs- und Werkstoff-  
technik*

**Zahlen 2020**



**MITARBEITER**

- Wissenschaftler 84
- Technik und Verwaltung 26
- Auszubildende 5
- Studentische Hilfskräfte 340



**LEHRE**

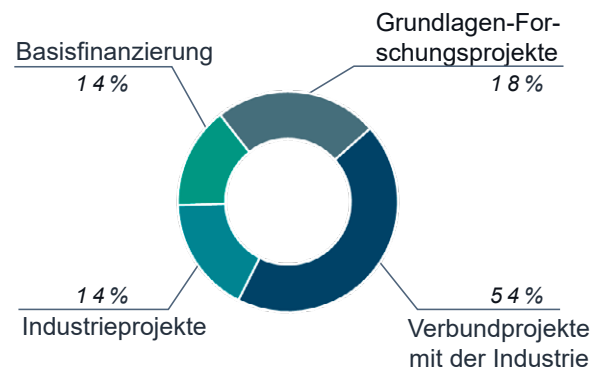
- Lehrveranstaltungen 20
- Prüfungen 1.800
- Abschlussarbeiten 450



**AUSSTATTUNG**

- 1.500 m<sup>2</sup> Laborfläche
- ca. 40 Versuchsstände
- 2 mechanische Werkstätten mit Lehrlingsausbildung
- Umfassendes Rechner- und Simulationsequipment

**FINANZIERUNG**



**PROJEKTE**

- Grundlagen-Forschungsprojekte 44
- Verbundprojekte 52
- Industrieprojekte 61



**Campus Nord  
Eggenstein-  
Leopoldshafen  
Deutschland**

*Maschinen, Anlagen und  
Prozessautomatisierung*



**Suzhou  
Volksrepublik  
China**

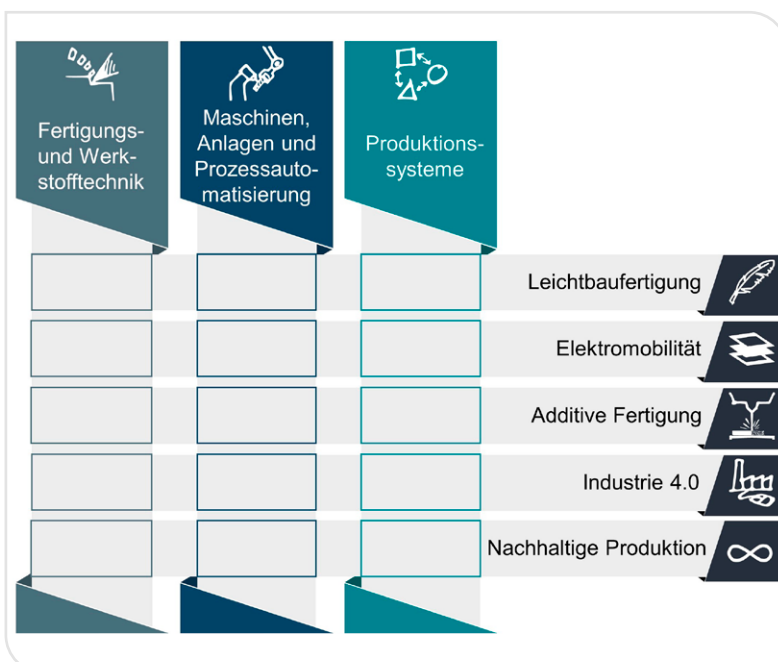
*GAMI – Global Advanced  
Manufacturing Institute*



**Shanghai  
Volksrepublik  
China**

*AMTC – Advanced Manu-  
facturing Technology Center*

## Forschungsstruktur



Prof. Dr.-Ing.  
Jürgen Fleischer

Prof. Dr.-Ing.  
Gisela Lanza

Prof. Dr.-Ing. habil.  
Volker Schulze

## Veranstaltungen

## Herbsttagung 2020: Nachhaltige Produktion – Circular Economy als Befähiger



**Ansprechpartner am wbk:**  
Jan-Philipp Kaiser, M.Sc.  
Telefon: +49 1523 9502579  
jan-philipp-kaiser@kit.edu

Am 15. Oktober 2020 fand die jährliche wbk-Herbsttagung statt. Die Tagung stand in diesem Jahr ganz im Zeichen der Nachhaltigkeit und befasste sich mit Themen rund um die Kreislaufwirtschaft und zukünftigen Geschäftsmodellen. Aufgrund der besonderen Umstände fand die Herbsttagung zum ersten Mal hybrid statt – mit etwa 100 Teilnehmenden.

Die Tagung nahm ihren Auftakt mit einer Begrüßung und Einführung durch Professorin Gisela Lanza, Leiterin des wbk Instituts für Produktionstechnik. Sie skizzierte die forschungsseitige Adressierung der Kreislaufwirtschaft durch Projekte innerhalb des Forschungsschwerpunktes „Nachhaltige Produktion“.

Trotz dieses Formats sowie der damit einhergehenden Herausforderungen konnten in neun Fachvor-

Professor Thomas Weber, Vizepräsident der acatech, präsentierte die Circular Economy Initiative Deutsch-



**Ansprechpartner am wbk:**  
Felix Klenk, M.Sc.  
Telefon: +49 1523 9502589  
felix.klenk@kit.edu



Plenum und Diskussion

trägen mit zahlreichen Vertretern aus Forschung, Industrie und Politik Chancen und Herausforderungen des Wandels von linearen zu zirkulären Produktionsansätzen und Geschäftsmodellen erfolgreich diskutiert werden.

land sowie deutsche und europäische Perspektiven und Chancen auf dem Weg zur Kreislaufwirtschaft. Anschließend stellte Dr. Hans-Friedemann Kober (Robert Bosch GmbH) als Leiter Produktbereich im Automotive Aftermarket Erfolgsfaktoren sowie zukünftige Geschäftsmodelle für die Kreislaufwirtschaft vor.



Kommunikationspause und Dialog

Danach präsentierte Peter Bartel (Circular Economy Solutions GmbH) das Konzept „Closing the Loop“ sowie dessen Notwendigkeit und Chance zur Stärkung der Wettbewerbsposition. Andreas Koetz (ZF Friedrichshafen AG) ergänzte dies durch seinen Vortrag zum Wiederaufbereitungsprozess gebrauchter Komponenten im Automotive Aftermarket.

Im Anschluss an die Mittagspause beschrieb Thomas Meyer (Knorr-Bremse Systeme für Nutzfahrzeuge GmbH) den Benchmark für die industrielle Wiederaufbereitung im Automotive Aftermarket. Daraufhin stellte Dr. Benjamin Häfner (wbk) die



**Agiles Produktionssystem bei ungewissen Produktspezifikationen**

Konfiguration eines skalierbaren Produktionssystems

Messtechnischer Wahrnehmung der Systemkomponenten

Steuerung des Produktionssystems

Autonomes Lernen von Robotern

Partner

17 15.10.2020 Prof. Dr.-Ing. J. Fleischer, Prof. Dr.-Ing. G. Lenze, Prof. Dr.-Ing. habil. V. Schulze

**Link zum Chat: <https://tlk.io/wbk-herbsttagung>**

Hybrides Konzept und digitale Teilnahme

Zwischenergebnisse des Forschungsprojekts Agi-Probot - Agiles Produktionssystem mittels mobiler, lernender Roboter mit Multisensorik bei ungewissen Produktspezifikationen vor.

Den Abschluss der Tagung stellten die Vorträge durch Maximilian Lang (Lang Recycling GmbH) über die Fortschritte und Möglichkeiten beim Neuschrottreycling sowie durch Dr. Uwe Kehn (GreenIng GmbH & Co. KG) dar, welcher durch seinen Vortrag zum Thema „Design for Second Life“ nicht nur die Tagung abrundete, sondern auch in-

haltlich die Schließung des Kreislaufes in der Produktentwicklung darstellte.

Nach einem regen Austausch und einer eingehenden Diskussion untereinander sowie mit den digitalen Teilnehmer neigte sich ein erkenntnisreicher und erfolgreicher Tag dem Ende zu und die Teilnehmer ließen die Veranstaltung bei weiteren Fachgesprächen an den Stehtischen und digital gemeinsam ausklingen. Die Rückmeldungen zu Inhalt und Durchführung der Veranstaltung waren sehr positiv. ■



Begrüßung

## Veranstaltungen

### 3. Expertenforum „Globale Produktion“ – Master the Transformation of Global Production



**Ansprechpartner am wbk:**  
Bastian Verhaelen, M.Sc.  
Telefon: +49 1523 9502626  
bastian.verhaelen@kit.edu

Wie lassen sich Produktionsnetzwerke an die ständig neuen Herausforderungen im Geschäftsumfeld anpassen? Mit dieser Frage befasste sich das 3. Expertenforum „Globale Produktion“. Das wbk Institut für Produktionstechnik richtete dies in Kooperation mit dem Werkzeugmaschinenlabor der RWTH Aachen (WZL) und dem ITEM der Universität St. Gallen am 28. September 2020 im Steigenberger Hotel Graf Zeppelin in Stuttgart aus. Dieses Mal war es möglich, digital oder vor Ort an der Veranstaltung teilzunehmen.

In einem vielseitigen Programm vermittelten die Institute anhand von wissenschaftlichen Vorträgen Einblicke in aktuelle Forschungstätigkeiten zur globalen Produktion. Referenten aus der Industrie berichteten aus der Praxis.

Professorin Gisela Lanza, Leiterin des wbk, eröffnete die Veranstaltung mit einem Vortrag zu aktuellen Trends und Herausforderungen der globalen Produktion. Darin stellte sie zukunftsorientierte Fokusbereiche der globalen Produktion vor dem Hintergrund zunehmender Vernetzung dar. Dr. Jan Spies, Leiter Planung und Produktionstechnik bei VW, berichtete über den Wandel der Fabriken des wachsenden Produktionsnetzwerks der Volkswagen AG.

Professor Günther Schuh, Institutsleiter des Werkzeugmaschinenlabors an der Rheinisch-Westfälischen Technischen Hochschule Aachen, referierte über drastische Produktivitätssteigerungen in globalen Netzwerken. Anschließend schilderte Dr. Stefan Kozielski, Werkleiter Düsseldorf der Henkel AG die Herausforderungen in den Bereichen Supply Chain und Digitalisierung im Konsumgüterbereich.

Im letzten Block der Veranstaltungen stellte Professor Thomas Friedli, Leiter Institut für Technologiemanagement (ITEM) der Universität St.Gallen, einen Lösungsansatz zur Steuerung dynamischer Produktionsnetzwerke vor. Dr. Holger Feldhege, COO der Bühler AG, gab einen Einblick in die strategische Transformation der Bühler AG sowie die Lösungsansätze in der Steuerung von Produktionsnetzwerken.

Die Pausen zwischen den einzelnen Vorträgen boten Raum für intensive Diskussionen und Networking physisch vor Ort sowie digital über die Plattform Zoom. Die Teilnehmenden hatten die Möglichkeit, über das interaktive Feedbacktool Mentimeter in einen direkten Austausch mit Vortragenden, Industrieteilnehmern und Institutsangehörigen zu treten. Das 4. Expertenforum „Globale Produktion“ ist im Jahr 2022 geplant. Informationen dazu erteilt Martin Benfer ([martin.benfer@kit.edu](mailto:martin.benfer@kit.edu)).



Impression des Vortrags von Prof. Gisela Lanza

## Veranstaltungen

**Wertstromkinematik – Produktionssysteme neu gedacht**

Heutige Produktionssysteme können aufgrund ihrer begrenzten Freiheitsgrade nur einen Teil des durch Industrie 4.0 geschaffenen Potenzials nutzen. Um das volle Potenzial von Industrie 4.0 und die neuen Möglichkeiten, die es bietet, nutzen zu können, ist neue Hardware mit mehr Freiheitsgraden erforderlich. Die Produktionsmaschinen und -systeme von morgen müssen grundlegend überdacht werden. Das Forschungsvorhaben Wertstromkinematik stellt sich dieser Herausforderung. Das neuartige Produktionskonzept fokussiert sich auf den Entwurf ganzer Produktionssysteme aus einer universellen roboterähnlichen Kinematik. Der Wertstrom soll vollständig aus dieser flexiblen Kinematik und unter völligem Verzicht auf Spezialmaschinen aufgebaut werden. Das daraus resultierende Produktionssystem verfügt über eine Wandlungsfähigkeit, die es ermöglicht, das Potenzial von Industrie 4.0 voll auszuschöpfen und wird gerade in der aktuellen Situation zunehmend notwendig sein, globale Wertschöpfungsketten zu erhalten und anzupassen.

**Digitale Hannover Messe und Webinar**

Gemeinsam mit den Partnern GROB und Siemens hat das wbk Institut für Produktionstechnik im Rahmen des Forschungsvorhabens einen Messedemonstrator aufgebaut, um diesen auf der Hannover Messe auszustellen. Da die Messe statt physisch in diesem Jahr erstmals virtuell stattfand, nahm das Team an den Hannover Messe Digital Days teil. Darüber hinaus veranstaltete das wbk gemeinsam mit den Industriepartnern eine eigene digitale

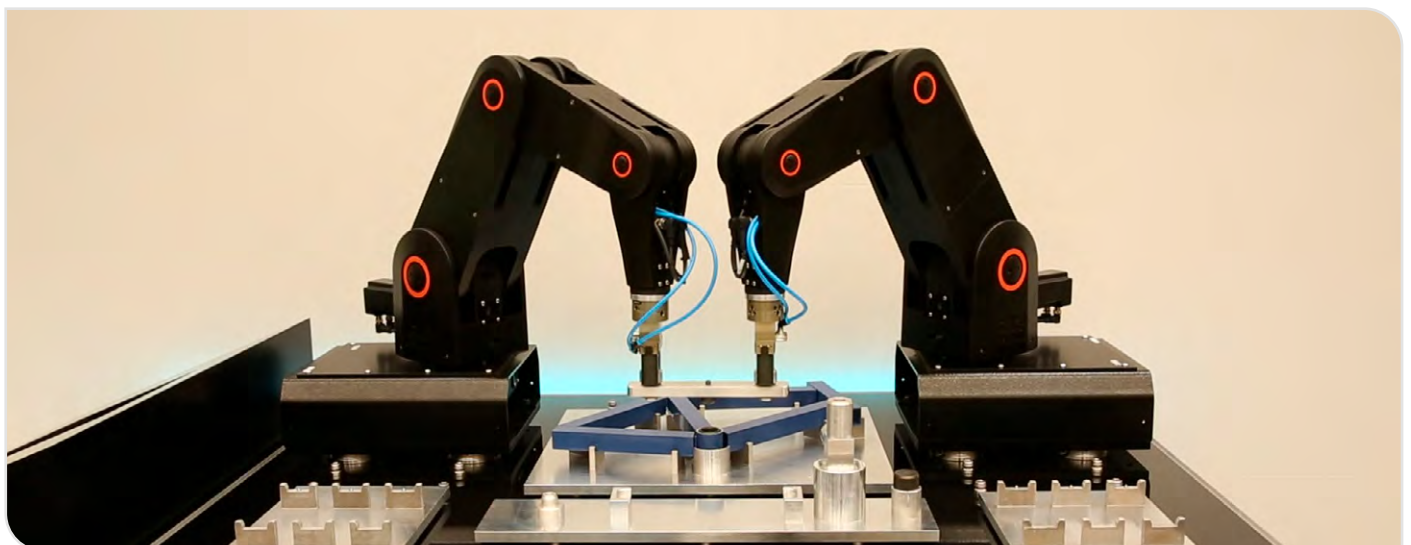
Vorstellung des Wertstromkinematik-Demonstrators als Ersatz. Über 120 Teilnehmende besuchten die digitale Veranstaltung und beobachteten, wie der Demonstrator im produktionstechnischen Labor des wbk sein Werk verrichtet. Die Resonanz war durchweg positiv, sowohl inhaltlich als auch bezüglich des Ablaufs der Veranstaltung. Durch den Auftritt konnte das Konzept der Wertstromkinematik einem breit gefächerten Publikum und zahlreichen Interessenten vorgestellt werden. Neben Forschungsinstitutionen nahmen auch Vertreter von Großkonzernen sowie kleinen und mittleren Unternehmen teil. Im nächsten Schritt erfolgt nun die Gesprächsaufnahme mit Interessenten, die sich bereits als potentielle Kunden und Entwicklungspartner gemeldet haben. Als positives Fazit lässt sich bereits jetzt sagen, dass mit dem Event die gewünschte enorme Reichweite erzielt wurde. ■



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



Vision der vollständig aus Roboterkinematiken aufgebauten Produktion der Zukunft



Wertstromkinematik Messedemonstrator

Bemerkenswertes im Jahr 2020

## Kurz gefasst – Highlights am wbk Institut für Produktionstechnik

### Visiere für Kliniken

Dieses Jahr war in jeder Hinsicht besonders und anders für uns alle. Wir freuen uns, dass wir in der Pandemie zumindest einen kleinen Beitrag leisten konnten, um Krankenhäuser zu in Karlsruhe zu unterstützen. „In dieser außergewöhnlichen Situation ist es ermutigend zu erleben, wie eine schnelle Unterstützung durch lokale Einrichtungen möglich ist“, so Richard Wentges, Vorstandsvorsitzender ViDia Christliche Kliniken Karlsruhe nach Erhalt der 260 Visiere, die das Team des wbk Instituts für Produktionstechnik mittels 3D-Druck erstellte.

Zudem konnte das Team des wbk 200 Visiere an das Deutsche Rote Kreuz, Kreisverband Karlsruhe, ausliefern, welches damit seine 80 Notfallhilfen ausstattete.

### Digitale Lehre und Veranstaltungen

Virtuelle Formate waren in diesem Jahr so bedeutend wie nie zuvor. Das galt für die Forschung, für Veranstaltungen und auch unseren Lehrbetrieb in ganz besonderem Maße und erforderte viel Disziplin von allen Beteiligten.



260 Visiere im 3-D-Druck erstellt.

### Politik und Wirtschaft

Noch bevor die Corona-Pandemie Deutschland erreichte, haben wir uns über diesen Tweet gefreut:



Tweet Ulrich Steinbach

Anschließend zählten Masken und Abstand zum Alltag.

Auch bei der digitalen Zwischenbilanzkonferenz des Strategiedialogs Automobilwirtschaft der Landesregierung Baden-Württemberg war das wbk mit mehreren Projekten aus dem Themenfeld der Elektromobilität vertreten.

## Neuer Forschungsschwerpunkt und bahnbrechendes Forschungsprojekt

Für unsere Forschungsarbeit ist das Highlight 2020 definitiv unser neuer Forschungsschwerpunkt: Nachhaltige Produktion. Dieses Thema wird in den nächsten Jahren intensiv von uns bearbeitet.

Unser revolutionäres Forschungsprojekt „Wertstromkinematik“ ist ebenso ein Highlight der diesjährigen Forschungsarbeit - und bedeutend für die Zukunft.

## Funktionen bei der DFG, CIRP und im Cluster PoLiS

Die Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG) ist die größte Forschungsförderorganisation und zentrale Selbstverwaltungseinrichtung der Wissenschaft in Deutschland. Wir freuen uns sehr, dass unsere Institutsleiterin Prof. Gisela Lanza seit 2020 Mitglied im DFG-Senat ist. Insgesamt hat der DFG-Senat 39 Mitglieder. Von diesen werden 36 von der Mitgliederversammlung gewählt. Professorin Gisela Lanza die zweite Wissenschaftlerin des Karlsruher Instituts für Technologie, die dem aktuellen DFG-Senat angehört.

Die Internationale Akademie für Produktionstechnik (franz. College International pour la Recherche en Productique (CIRP)) ernannte Prof. Gisela Lanza zur „Fellow“ und damit zur international anerkannten Wissenschaftlerin auf Lebenszeit. Fellows gibt es nur in begrenzter Anzahl in der CIRP.



Internationale Akademie für Produktionstechnik

Dr.-Ing. Frederik Zanger wurde als einer der wenigen nichtprofessoralen Wissenschaftler als „Associate Member“ in diese weltweit renommierte Akademie aufgenommen.

Seit Mitte Juni leiten Janna Hofmann, Oberingenieurin am wbk Institut für Produktionstechnik, und Dr. Margret Wohlfahrt-Mehrens vom ZSW einen der vier Forschungsbereiche im Exzellenzcluster PoLiS unter anderem mit dem Ziel, Produktionsprozesse zu beschleunigen.



Forschungsbereich des Exzellenzclusters PoLiS

## 80. Geburtstag des früheren wbk Institutsleiters

Am 1. Oktober 2020 feierte der frühere Leiter des wbk Instituts für Produktionstechnik, Prof. Hartmut Weule, seinen 80. Geburtstag. Er hat während seiner Lehrtätigkeit mehrfach zwischen Industrie und Hochschule gewechselt und so beide Bereiche vorangebracht. Ab 1973 erprobt er bei der Daimler-Benz AG in Sindelfingen systematisch den Robotereinsatz in der Automobilindustrie. 1982 wird er auf den Lehrstuhl für Werkzeugmaschinen und Betriebstechnik der Fakultät Maschinenbau an der Universität Karlsruhe (TH) berufen. Dort entwickelt er ein integriertes Ausbildungskonzept für Produktionsingenieure. Während seiner siebenjährigen Vorstandstätigkeit im Bereich Forschung und Technik im Daimler-Benz-Konzern intensiviert er den Dialog zwischen Wirtschaft und Wissenschaft. Nach Erfolgen in der Brennstoffzellentechnologie kehrt er zurück an die Universität Karlsruhe. Die Nachwuchsförderung liegt ihm bis heute am Herzen.



Prof. Hartmut Weule



Forschungsbereich

## Fertigungs- und Werkstofftechnik (FWT)



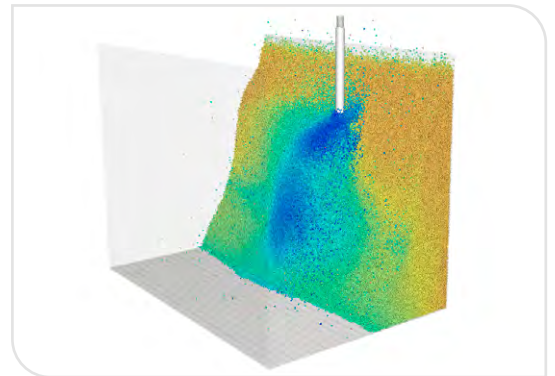
**Ansprechpartner am wbk:  
Institutsleiter (FWT)**

Prof. Dr.-Ing. habil.  
Volker Schulze  
volker.schulze@kit.edu

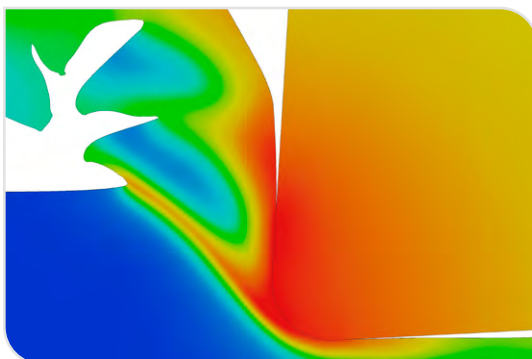
Die Entwicklung neuer Produkte ist eine zentrale Ingenieursaufgabe, die zunehmend nur noch interdisziplinär, also in Zusammenarbeit zwischen Produktentwicklung, Produktion und Werkstofftechnik zu bewältigen ist. Dies hat seine Ursache darin, dass die in der Entwicklung geforderten Bauteileigenschaften 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, Mikrobearbeitung, 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. Bei der Mikrobearbeitung kommen das Mikrofräsen oder die Laserablation sowie Kombinationen der Verfahren zum Einsatz.

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 schädigungsarmen 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



Partikelsimulation des Tauchgleitschleifprozesses



Simulation der Spanbildung von Titanlegierungen



Wälzschälen einer hochfesten Innenverzahnung

Fertigungsverfahren nicht mehr oder nur noch sehr schwer herstellbar sind. Der InnovationsCampus Mobilität der Zukunft (ICM), als gemeinsame Initiative des Karlsruher Instituts für Technologie (KIT) und der Universität Stuttgart, verfolgt die exzellente Grundlagenforschung im Bereich Mobilität von übermorgen. Der Schwerpunkt der Pilotphase liegt am wbk in 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.

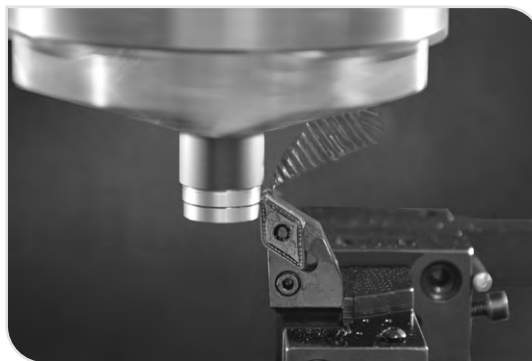
Richtungsweisend ist unter anderem das am wbk koordinierte DFG-Schwerpunktprogramm „Ober-

flächenkonditionierung in der Zerspaltung“ (SPP 2086).

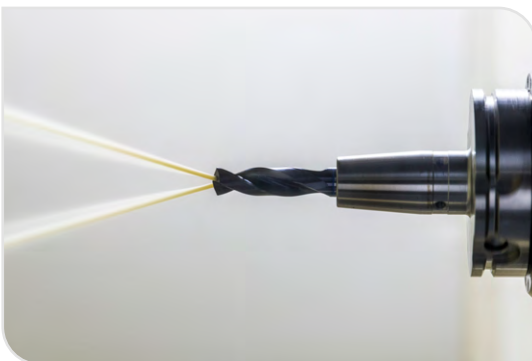
Es widmet sich mit neuen Ansätzen der Stabilisierung zerspanungsbedingter Randschichtzustände. Im Schwerpunktprogramm arbeiten 23 Institutionen an zwölf Forschungsprojekten, von denen drei in Karlsruhe in Zusammenarbeit mit verschiedenen Partnern bearbeitet werden. Das SPP 2086 verspricht Fertigungsprozesse zu verbessern, um den steigenden Anforderungen der Industrie an Produktivität, Bauteilqualität und Ressourceneffizienz gerecht zu werden. Kernidee ist die In-Prozess-Kontrolle von üblichen Zerspaltungsprozessen, 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. ■



Laser-Pulverbetttschmelzen eines Impellers



Untersuchung von Prozessstrategien bei der Drehbearbeitung



Optimierung des Kühlschmiermittelflusses beim Bohren



Kryogene Kühlung mit Stickstoff bei Drehen von Titan

Forschungsprojekt FWT

## Taumelfräsen-5-Achs-Bearbeitung von CFK-Bohrungen



**Ansprechpartnerin am wbk:**  
Felicitas Böhlend, M.Sc.  
Telefon: +49 1523 9502647  
felicitas.boehland@kit.edu

### Ziel des Vorhabens

Nicht nur in der Automobilbranche und Luft- und Raumfahrttechnik etablieren sich faserverstärkte Kunststoffe. Vermehrt werden sie auch in regenerativen Energiesystemen wie Windkraftanlagen angewandt. Obwohl die Bauteile möglichst endkonturnah hergestellt werden, ist die zerspanende Nachbearbeitung durch beispielsweise Strukturbohrungen unerlässlich. Beim Bohren von faserhaltigem Material besteht ein Hauptproblem darin, dass ganze Schichten aus den Decklagen des Bauteils ausbrechen. Bohrungsinduzierte Delaminationen zu vermeiden, ist unter anderem in der Luftfahrtindustrie entscheidend für die Sicherheit der Verbindung von CFK-Strukturbauteilen. Beschädigungen führen zu teurem Ausschuss am Ende der Fertigungsprozesskette. Um diese Nachteile zu beseitigen, ist es notwendig, geeignete Bearbeitungsstrategien zu entwickeln.

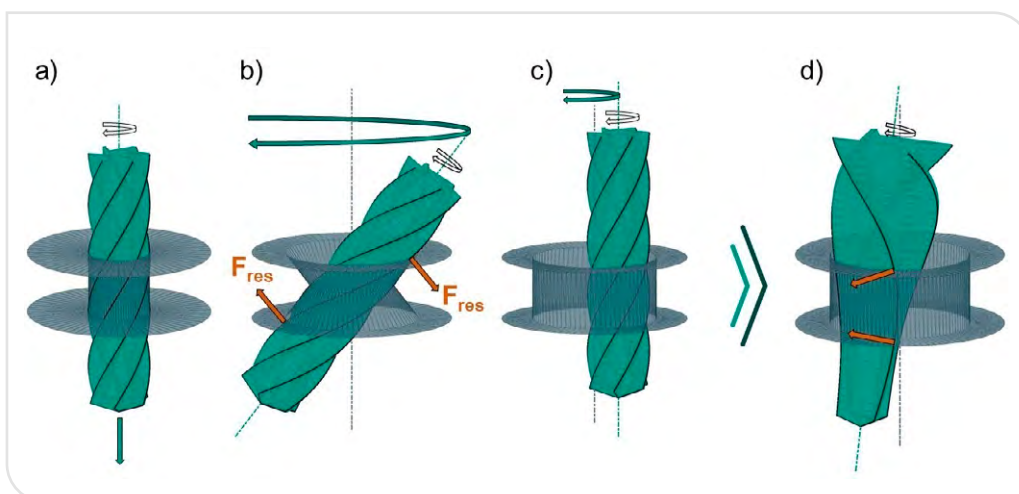
### Vorgehensweise

Das Taumelfräsen besteht aus drei Phasen, in denen das Bohrloch gefertigt wird. Zunächst wird ein Pilot-Loch vorgebohrt, das dann im zweiten Schritt durch ein Verkippen des eingesetzten Fräsbohrers an den Decklagen auf das gewünschte Endmaß gebracht wird. Durch das Verkippen und das Taumeln um die Bohrlochachse zeigen die Bearbeitungskräfte deutlich ins Bauteilinnere. Mit dem abschließenden Zirkularfräsen wird dann noch das verbliebene Material innerhalb des Bohrlochs abgetragen und das Bohrloch fertiggestellt. Der Einsatz von fünf Achsen ermöglicht es, gezielt die

Schnittkraftrichtungen einzustellen. So führt der Taumelschritt zu besserer Qualität des Bauteils und verhindert Delaminationen. Das bereits untersuchte 5-Achs-Taumelfräsen soll nun hinsichtlich Effizienz und Schädigungsminimierung durch das konische Taumelfräsen optimiert werden. Die Produktivitätssteigerung erfolgt dabei durch die Verringerung von drei auf zwei Prozessschritte. Im Vergleich zum konventionellen Bohren ist mit dem konischen Taumelfräsen nicht nur eine schädigungsärmere Bohrlochherstellung möglich, sondern auch ein wesentlich flexiblerer und effizienterer Einsatz des Werkzeugs für unterschiedliche Bohrlochgrößen. Die notwendige Entwicklung der konischen Werkzeuge erfolgt am wbk Institut für Produktionstechnik mithilfe einer Schnittkraftsimulation, die die lokalen Prozesskenngrößen für verschiedene Geometrien und Verfahrenswegen vorhersagen kann. Auf diese Weise wird das Verständnis für die geeignete Kombination von Konus-, Drall- und Taumelwinkel sowie die Auswirkung verschiedener Anfahrstrategien beim konischen Taumelfräsen aufgebaut.

### Ergebnisse

Die 5-Achsbewegung des TaumelfräSENS, die bei der Fertigung von komplexen Strukturbauteilen in Bearbeitungszentren an Grenzen stößt, konnte bereits erfolgreich auf dem Industrieroboter des beteiligten Projektpartners implementiert werden. Je größer der Taumelwinkel beim Taumelfräsen gewählt wird, desto höher wird der Anteil der Schnittkraft, die ins Bauteilinnere zeigt und desto bessere Oberflächenqualitäten können eingestellt werden. Zudem zeigt sich, dass sich der Werkzeugverschleiß erst später negativ auf die Bearbeitungsqualität auswirkt, als beim Bohren und Zirkularfräsen. Das heißt, in Bezug auf die Bohrungsqualität und Wirtschaftlichkeit ist durch das Taumelfräsen eine vorteilhafte Entkopplung von Werkzeugverschleiß und Prozesskraft möglich. ■



Schematische Darstellung der Prozessschritte und Kräfte beim Taumelfräsen und geplante Umsetzung mit konischer Form (a: Vorbohren, b: Taumeln, c: Kreisfräsen, d: Konisches Taumeln)



Forschungsprojekt FWT

## Hämmerndes Drehen – Integration der mechanischen Oberflächenbehandlung in den Zerspanungsprozess

### Ziel des Vorhabens

Da der Innovationsbedarf in der Fertigung steigt und Prozessketten verkürzt werden müssen, gilt es, zeit- und kosteneffiziente Prozesse zu etablieren. Neue Fertigungsstrategien, die mehrere Prozesse kombinieren, können einen geeigneten Ansatz hierfür darstellen. Dies gilt auch für die Randschicht vieler hochbelasteter Bauteile, die nach der spanenden Herstellung mithilfe einer nachfolgenden mechanischen Oberflächenbehandlung optimiert wird. Eine so verfestigte Oberfläche kann aufgrund günstiger Eigenspannungen mögliche Schädigungen an der Oberfläche durch dynamische Lasten verzögern oder gar unterbinden.

### Vorgehensweise

Ziel des DFG-Projekts „Hämmerndes Drehen“ ist die hauptzeitparallele Kombination der mechanischen Oberflächenbehandlung mit der Zerspanung. Dies bedeutet, den konventionell nachgelagerten Schritt der mechanischen Oberflächenbehandlung zeitgleich in die Zerspanung zu integrieren. Bei dieser Fertigungsstrategie soll die mechanische Oberflächenbehandlung nicht wie üblich mit einem speziellen Werkzeug erfolgen. Vielmehr soll die plastisch-elastische Deformation der Randschicht durch das Zerspanungswerkzeug selbst hervorgerufen werden. Um die hämmernde Bewegung des Werkzeugs zu ermöglichen, ist es jedoch notwendig, diese Bewegung von der Zerspanung zu entkoppeln. Hierfür wird das Werkzeug mithilfe von Piezos, die

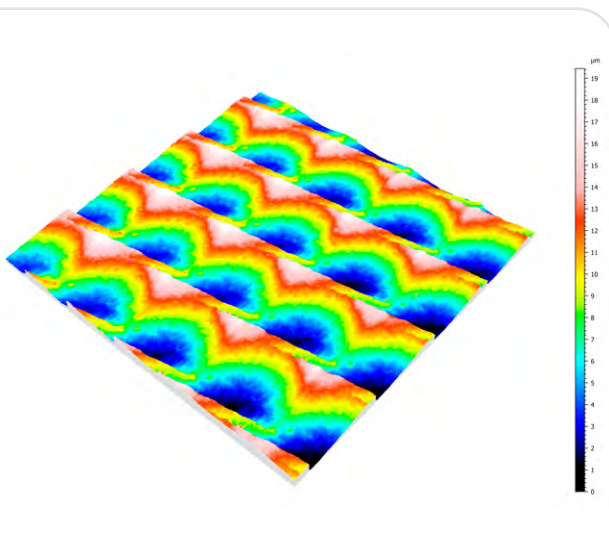
sich durch eine angelegte elektrische Spannung verformen, in Schwingung versetzt. Die Amplitude dieser Schwingung wird mit der Schnittbewegung überlagert. Da das Werkzeug aufgrund der Schwingung periodisch sowohl eine Bewegungs-komponente mit als auch gegen die Schnittrichtung aufweist, ergeben sich durch die Überlagerung mit der Schnittgeschwindigkeit Minima der Relativgeschwindigkeit zwischen Werkzeug und Werkstück. In diesen Minima führt das Werkzeug eine Hämmerbewegung normal zu der Werkstückoberfläche aus, diese Bewegung wird ebenfalls durch eine Piezoaktik hervorgerufen. Das wbk Institut für Produktionstechnik untersucht dabei die Prozesskombination beim Außenlängsdrehen von Wellen aus 42CrMo4, einem Vergütungsstahl, der sich aufgrund seiner chemischen Zusammensetzung zum Härten eignet und im vergüteten Zustand gleichzeitig sehr zäh und zugfest ist.

### Ergebnisse

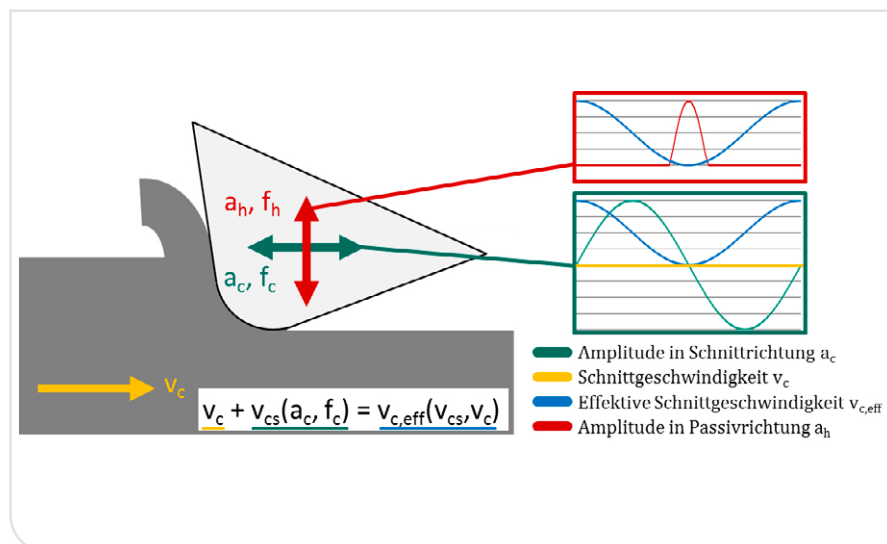
In entsprechenden Vorarbeiten am wbk konnte bereits gezeigt werden, dass ein mechanisches Hämmern mit der Wendeschneidplatte möglich ist. Hierbei konnten ähnliche Effekte in der Randschicht belegt werden, wie sie bei etablierten mechanischen Oberflächenbearbeitungsverfahren auftreten. Doch in diesen ersten Untersuchungen des Hämmerns, in der die Kinematik einer Werkzeugmaschine genutzt wurde, zeigte sich ebenfalls, dass die Parameter geeignet gewählt werden müssen, da es sonst zu einer Zerrüttung des Werkstoffs kommt. ■



**Ansprechpartner am wbk:**  
Jannik Schwalm, M.Sc.  
Telefon: +49 1523 9502648  
jannik.schwalm@kit.edu



Konfokalmikroskopische Aufnahme der Topographie



Schematische Darstellung der Kinematik des Hämmernden Drehens



Forschungsbereich

## Maschinen, Anlagen und Prozessautomatisierung (MAP)



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

Maschinen und Anlagen in heutigen und künftigen Produktionen müssen sich in einem volatilen wirtschaftlichen und technologischen Umfeld behaupten, um dem steigenden internationalen Wettbewerbsdruck gerecht werden. Neben wesentlichen Kriterien wie Stückzahl- und Variantenflexibilität sowie der Minimierung von Investitions- und Instandhaltungskosten rückt zudem der Umgang mit unreifen Technologien, beispielsweise aus der Elektromobilität oder der Leichtbauproduktion, in den Vordergrund. Gerade in Gebieten, in denen Produkteigenschaften sowie geeignete Produktionsarchitekturen und -parameter noch weitgehend unbekannt sind, sind interdisziplinäre Fachkompetenzen gefordert, um geeignete produktionstechnische Lösungen entwickeln zu können. Um die gehobenen Marktanforderungen zu erfüllen und damit auch zukünftig eine wettbewerbsfähige Produktion an Hochlohnstandorten, wie Deutschland, zu ermöglichen, muss die Verschmelzung von Produkt- und Produktionstechnologieentwicklung mehr denn je intensiviert werden.

Zukünftige Generationen mechatronischer Produkte sowie die zugehörige Produktionstechnik integrieren dafür neben der klassischen Mechanik zunehmend IT-Bausteine sowie Leistungs- und Regelungselektronik, um immer schnellere, flexiblere und energieeffiziente Produkte und Produk-

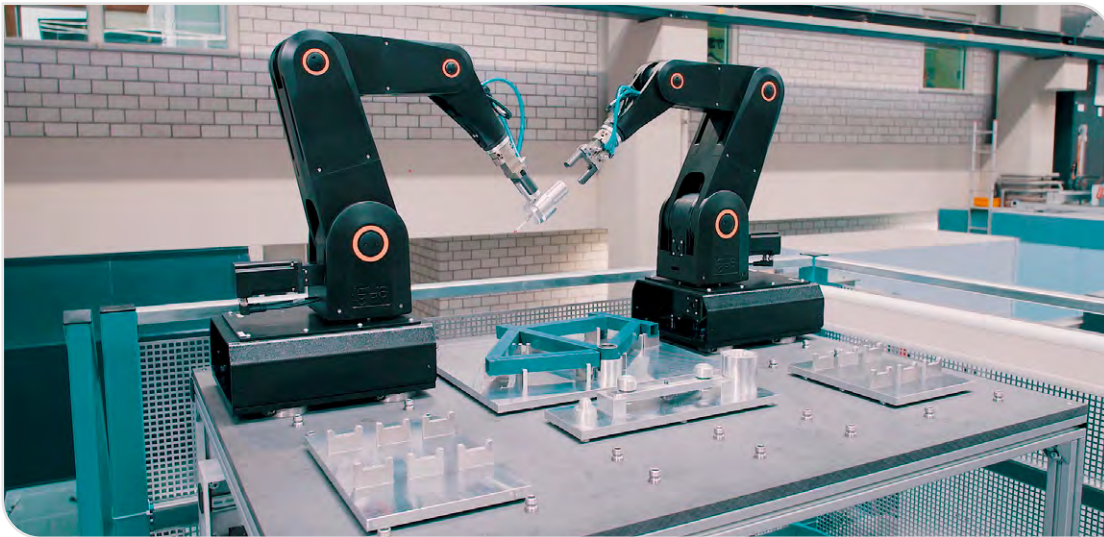
tionsprozesse anbieten zu können. Die Kernkompetenzen des Bereichs Maschinen, Anlagen und Prozessautomatisierung liegen in diesem Kontext in der Entwicklung und Auslegung von intelligenten, ressourceneffizienten Komponenten für Maschinen und Anlagen sowie in der ganzheitlichen Gestaltung automatisierter Prozessketten. Im Fokus stehen dabei Handhabungs- und Montagetechnologien, Greiftechniken sowie die Herstellung und Entwicklung mechatronischer Komponenten. Anwendungsfelder sind Werkzeugmaschinen sowie Fertigungs- und Montageanlagen für Leichtbau und Elektromobilität. Neben der Grundlagenforschung werden dabei in besonderem Maße auch Partner aus der Industrie in die Forschungstätigkeiten eingebunden, um Fragestellungen und Problemen produzierender Unternehmen praxisnah begegnen zu können. Ein besonderes Augenmerk der Forschungs- und Entwicklungsarbeiten liegt dabei auf dem ressourcenschonenden Umgang mit Energie und den eingesetzten Ausgangsmaterialien sowie auf der wachsenden Digitalisierung und Vernetzung von Produktionstechnologien. Ziel ist dabei nicht nur die Schonung von Ressourcen, sondern ebenso die Steigerung der Wirtschaftlichkeit von Produktionsprozessen. Bereits während der Konzeptionsphase der Forschungsarbeiten müssen diese Ziele und damit einhergehende wissenschaftliche Fragestellungen in Zusammenarbeit mit den Forschungs- und Industriepartnern berücksichtigt werden. Ein aktuelles Thema im Anwendungsfeld Werkzeugmaschinen ist etwa die Entwicklung intelligenter Maschinenkomponenten mit Industrie-4.0-Funktionalitäten. Beispiele sind Systeme zur Zustandsdiagnose und -prognose für intelligente mechanische Antriebskomponenten sowie zur adaptiven Einstellung der dynamischen Eigenschaften von Maschinenbauteilen. 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 Wertstromkinematik, deren Entwicklung gemeinsam mit GROB und Siemens vorangetrieben wird, soll in Zukunft den Aufbau vollkommen wandlungsfähiger Produktionen ermöglichen. Als Alternative zur ausgefallenen Hannover Messe wurde gemeinsam eine eigene digitale Messe veranstaltet, in der das Konzept der Produktion der Zukunft vorgestellt wurde. Darüber hinaus wird aktuell am KIT eine breit aufgestellte Community mit zahlreichen



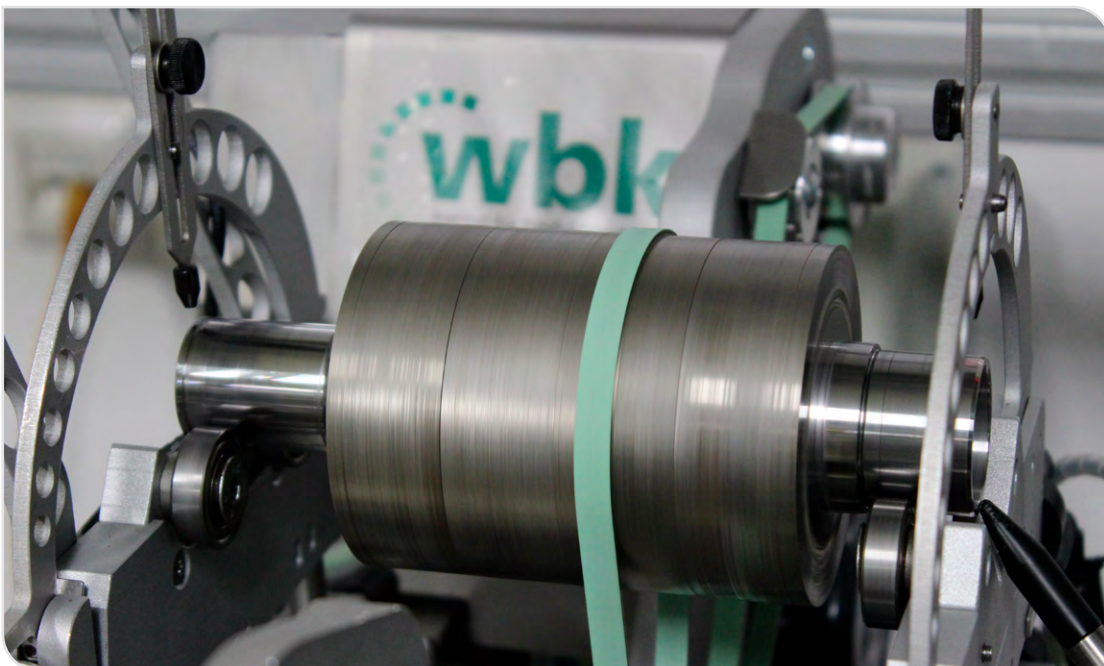
Coil2Stack – neuartiges Zellstapelbildungsverfahren zur formatflexiblen Produktion von Li-Ionen Batteriezellen

Instituten aus dem Maschinenbau, der Informatik und der Elektrotechnik zur vollumfänglichen Entwicklung der Wertstromkinematik aufgebaut. Im Anwendungsfeld Leichtbaufertigung werden derzeit ganzheitliche Prozessautomatisierungslösungen für die Fertigung von Aluminium-Space-Frame-Strukturen sowie für faserverstärkte Kunststoffe 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. Das Anwendungsfeld

Elektromobilität erforscht Produktionstechnologien für die Herstellung von Batteriezellen, modulen und Brennstoffzellen sowie für elektrische Antriebe. Themen sind die Produktoptimierung durch Prozessoptimierung, ein ganzheitliches Prozessverständnis durch tiefgehende Modellbildung und die Entwicklung von Lösungen für höchste Agilität und Flexibilität in der Produktion. Darüber hinaus steht die parallele Erarbeitung produkt- und produktionsspezifischer Lösungen im Mittelpunkt aktueller Forschungsarbeiten mit universitären und industriellen Kooperationspartnern. ■



Messedemonstrator der Wertstromkinematik



Unwuchtmessung zur Validierung intelligenter Rotormontagestrategien

Forschungsprojekt MAP

## Bildbasierte Zustandsüberwachung von Kugelgewindetrieben



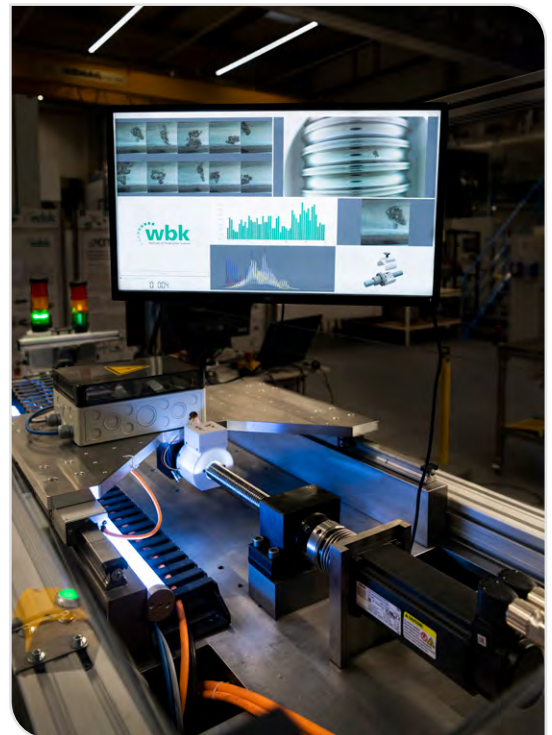
**Ansprechpartner am wbk:**  
Tobias Schlagenhauf, M.Sc.  
Telefon: +49 1523 9502610  
tobias.schlagenhauf@kit.edu

### Ziel des Vorhabens

Ziel ist es, die Oberfläche von Kugelgewinde-trieb-(KGT)-Spindeln bildbasiert zu überwachen, um Oberflächendefekte mittels maschinellem Lernen zu detektieren. Die Detektion von frühzeitigen Schäden auf der Spindel befähigt den Maschinenbetreiber, einen bevorstehenden Ausfall vorherzusehen und entsprechend darauf reagieren zu können.

### Vorgehensweise

Um die Bilddaten der KGT-Spindel-Oberfläche automatisiert aufnehmen und auswerten zu können, wurde ein Prototyp eines elektromechanischen Kamerasystems konzipiert und für den Einsatz in einem Messeversuchsstand qualifiziert. Zur automatisierten Aufnahme der Bilddaten wurde zunächst eine Steuerungsarchitektur entwickelt, welche die Kommunikation zwischen Kamerasystem, Versuchsstandrechner und Maschinensteuerung übernimmt. Hierbei kommuniziert das Kamerasystem mit dem Versuchsstandrechner über eine SSH-Schnittstelle. Die Kommunikation des Versuchsstandrechners mit der Maschinensteuerung erfolgt mittels einer OPC-UA-Verbindung. Ein zentrales Skript auf dem Versuchsstandrechner steuert die Kommunikation. Durch diese Steuerungsarchitektur ist es möglich, dass das Kamerasystem die gesamte KGT-Spindel positionsgenau und automatisiert aufnimmt. Auf den aufgenommenen Bilddaten soll im nächsten Schritt mittels Methoden des Maschinellen Lernens automatisiert nach Fehlstellen gesucht wer-

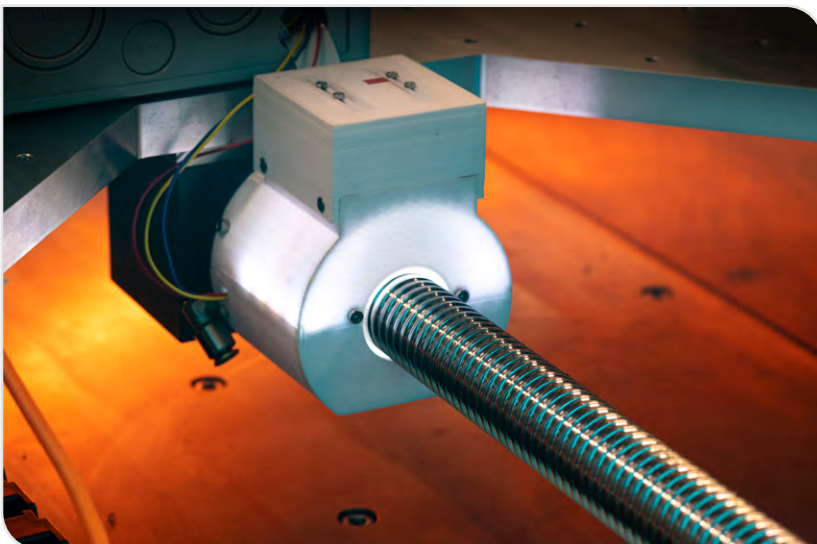


Grafische Oberfläche zur Auswertung der Ergebnisse

den. Hierzu werden im Voraus Kugelgewindetriebe auf einem Versuchsstand in Lebensdauerversuchen verschlissen und Bilddaten generiert. Diese Bilddaten werden dem Machine Learning Modell zum Training übergeben. Das Machine Learning Modell erlernt damit die Unterschiede in den Merkmalen von Bildern mit und Bildern ohne Schädigung. Im Anschluss an das Training ist das Modell dann in der Lage, neue Bilder zu klassifizieren und damit Fehlstellen auf dem KGT zu detektieren. Dem Gedanken der Predictive Maintenance wird damit Rechnung getragen und es ist möglich, die Oberfläche der Spindel automatisiert zu überwachen.

### Ergebnisse

Es wurden ein Prototyp eines elektromechanischen Kamerasystems konzipiert, eine Steuerungsarchitektur implementiert und damit ein Bilddatensatz der gesamten KGT-Oberfläche zur Zustandsüberwachung generiert. Lebensdauerversuche zur Bilddatengenerierung sind angestoßen und erste Modelle zur Klassifikation werden untersucht. ■



Integriertes Kamerasystem

Forschungsprojekt MAP

## Modulare Schulungsplattform für rekonfigurierbare Produktionsanlagen

### Ziel des Vorhabens

Im Rahmen des Verbundforschungsprojektes Modulare Produktionsanlagen für hochbelastbare Hybridbauteile (MoPaHyb) wurden am wbk Institut für Produktionstechnik neue Ansätze zur Rekonfiguration modularer Anlagen und eine entsprechende servicebasierte Steuerungsarchitektur entwickelt. Ziel einer durch das BMBF gewährten Anschlussförderung ist es, die Projektergebnisse in die akademische Lehre und die Industrie zu transferieren. Hierzu wurde eine modulare Schulungsanlage am wbk aufgebaut, wo Studierende und Industrievertreter die Projektergebnisse durch Praktika und Workshops anwendungsnah einsehen können.

### Vorgehensweise

Im Rahmen des Vorhabens wurde eine aus vier Produktionsmodulen bestehende Schulungsanlage aufgebaut. Mit Hilfe dieser Produktionsmodule können zwei verschiedene Prozessketten abgebildet werden. Die Produktionsmodule weisen dabei eine serviceorientierte Anlagensteuerung auf. Durch eine Rekonfiguration der Produktionsanlage

können zwei unterschiedliche Produktionsszenarien abgebildet werden. Die Rekonfiguration erfolgt durch einen am Institut entwickelten Modulbaukasten, in welchem auf Basis einer Modellierung der Produktionsmodule in der Beschreibungssprache Automation ML die Gesamtanlage konfiguriert werden kann. Mittels einer automatisierten Codegenerierung wird anschließend der Steuerungscode für die Zentralsteuerung, welche die Produktionsmodule über das herstellerunabhängige Protokoll OPC UA steuert, generiert.

### Ergebnisse

Die aufgebaute modulare Produktionsanlage steht dem wbk als leistungsfähige Plattform für weiterführende Forschungsarbeiten und zum Transfer der Ergebnisse zur Verfügung. Im Rahmen der Vorlesungen „Automatisierte Produktionsanlagen und International Production Engineering“ konnten bereits erste Studierende praxisnah in die Thematik eingeführt werden. Weiterhin sind ab Anfang 2021 Workshops für Industrievertreter geplant, in denen diese praxisnahe Erfahrungen mit AutomationML, OPC UA und serviceorientierten Steuerungen sammeln können. ■



**Ansprechpartner am wbk:**  
Patrick Moll, M.Sc.  
Telefon: +49 1523 9502600  
patrick.moll@kit.edu



Modulare Schulungsanlage am wbk; Andreas Drollinger/KIT



Forschungsbereich

## Produktionssysteme (PRO)



**Ansprechpartnerin am wbk:  
Institutsleiterin (PRO)**

Prof. Dr.-Ing. Gisela Lanza  
Telefon: +49 721 60844017  
gisela.lanza@kit.edu

Der Forschungsbereich Produktionssysteme (PRO) betrachtet Ansätze zum Planen, Bewerten und Regeln der Produktion von morgen, das heißt: agile Produktionssysteme mit robusten Prozessen in einer globalen, digitalisierten Produktionsumgebung. Dabei befasst sich der Bereich 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.

Die wissenschaftlichen Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter entwickeln Strategien zur datengetriebenen Planung und Steuerung von Produktionsnetzwerken. Im Fokus steht dabei, die Unternehmensstrategie möglichst nahtlos in die taktische und operative Ausgestaltung des Netzwerks zu übersetzen. Dazu werden vor allem die Potenziale der Digitalisierung sowie mathematische Methoden der Datenanalyse und Optimierung genutzt. Zur gezielten Anpassung globaler Produktionsnetzwerke werden Methoden zur Planung des „Global Footprint“ entwickelt und alternative und resiliente Migrationspfade untersucht. Um auf Störungen wie Qualitätsprobleme oder Lieferverzögerungen besser reagieren zu können, werden die Informationsflüsse im Netzwerk, der Einsatz neuer Technologien, Strategien der Anpassung sowie Kollaborationsmodelle mittels Smart Services analysiert. Auf dieser Basis werden auch Ansätze zur dy-

namischen Steuerung der Materialflüsse sowie zum Tracking und Tracing von Produkten im Netzwerk erforscht.

hen, die sich dem dynamischen Produktionsumfeld und den sich ändernden Produkten schnell anpassen. Diese Wandlungsfähigkeit erlangt durch Industrie 4.0 neuen Auftrieb. Die schnelle Verfügbarkeit von Informationen führt nicht nur zu mehr Transparenz, sondern kann, beispielsweise mit Methoden der Künstlichen Intelligenz, auch zur Prognose und autonomen Reaktion genutzt werden.

Für besonders variantenreiche Produkte oder Produktionssysteme wird hierzu die klassische, starr verkettete Produktionslinie aufgetrennt und in eine Matrixanordnung mit selbststeuernden Transportsystemen überführt. In dieser Matrix kann jedes Produkt eine individuelle Sequenz an Fertigungsschritten durchlaufen. Durch die gewonnenen Freiheitsgrade bei der Fertigung stellt diese besondere Anforderungen an die Steuerung der Produktion. Für diese werden selbstoptimierende, lernende Steuerungsalgorithmen auf Basis der Methoden des maschinellen Lernens entwickelt. Auch die Rolle des Menschen in digitalen Assistenzsystemen steht im Forschungsfokus des Forschungsbereiches Produktionssysteme. Durch eine am Institut aufgebaute Produktionsumgebung, die Lernfabrik Globale Produktion, können diese Fragestellungen erlebbar gemacht und untersucht werden. Ein weiterer Fokus liegt auf der Technologievorausschau unreifer Fertigungstechnologien, wie etwa additiver Verfahren, sowie Entscheidungsunterstützungssysteme, welche das gezielte Produkt-Produktions-Codesign unterstützen. Ein weiterer Fokus liegt auf der Technologievorausschau – sowohl auf unreifen Fertigungstechnologien, wie etwa additiven Verfahren, als auch auf Entscheidungsunterstützungssystemen, die das gezielte Produkt-Produktions-Codesign unterstützen.



Lernfabrik Globale Produktion

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 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.

Auf Standortebene müssen Produktionsnetzwerke aus agilen und robusten Systemen/Fabriken beste-

hen, die sich dem dynamischen Produktionsumfeld und den sich ändernden Produkten schnell anpassen. Diese Wandlungsfähigkeit erlangt durch Industrie 4.0 neuen Auftrieb. Die schnelle Verfügbarkeit von Informationen führt nicht nur zu mehr Transparenz, sondern kann, beispielsweise mit Methoden der Künstlichen Intelligenz, auch zur Prognose und autonomen Reaktion genutzt werden.

Für besonders variantenreiche Produkte oder Produktionssysteme wird hierzu die klassische, starr verkettete Produktionslinie aufgetrennt und in eine Matrixanordnung mit selbststeuernden Transportsystemen überführt. In dieser Matrix kann jedes Produkt eine individuelle Sequenz an Fertigungsschritten durchlaufen. Durch die gewonnenen Freiheitsgrade bei der Fertigung stellt diese besondere Anforderungen an die Steuerung der Produktion. Für diese werden selbstoptimierende, lernende Steuerungsalgorithmen auf Basis der Methoden des maschinellen Lernens entwickelt. Auch die Rolle des Menschen in digitalen Assistenzsystemen steht im Forschungsfokus des Forschungsbereiches Produktionssysteme. Durch eine am Institut aufgebaute Produktionsumgebung, die Lernfabrik Globale Produktion, können diese Fragestellungen erlebbar gemacht und untersucht werden. Ein weiterer Fokus liegt auf der Technologievorausschau unreifer Fertigungstechnologien, wie etwa additiver Verfahren, sowie Entscheidungsunterstützungssysteme, welche das gezielte Produkt-Produktions-Codesign unterstützen. Ein weiterer Fokus liegt auf der Technologievorausschau – sowohl auf unreifen Fertigungstechnologien, wie etwa additiven Verfahren, als auch auf Entscheidungsunterstützungssystemen, die das gezielte Produkt-Produktions-Codesign unterstützen.

tung. So werden etwa für die Charakterisierung von CFK-Preforms neben optischen Messverfahren auch zerstörungsfreie Prüfverfahren, z.B. Thermographie- oder Terahertz-Sensorik, integriert. Für das additive Fertigungsverfahren des Laser-Strahlschmelzen wird eine prozessintegrierte akustische Sensorik kombiniert mit einer optischen Sensorik zur Detektion von Fehlstellen während des Aufbauprozesses entwickelt und eine Datenauswertung mit den Methoden des Maschinellen Lernens umgesetzt.

Die gewonnenen Messergebnisse werden genutzt, um intelligente Qualitätsregelkreise umzusetzen und die Wirtschaftlichkeit und Ressourcenschonung der Prozesse zu erhöhen. Vor allem, um Baugruppen aus Komponenten zu realisieren, deren Fertigungsprozesse an technologische Grenzen stoßen, werden echtzeitfähige Paarungsstrategien als eine Form der Qualitätsregelkreise untersucht. Bei der Erforschung der In-Line-Messtechnik in vielfältigen Anwendungsfällen geht es auch um die aufgabenspezifische Messunsicherheit, die die Güte der Messergebnisse bewertet. Am wbk steht dafür ein klimatisiertes Messzentrum mit modernsten Anlagen auf rund 150 Quadratmetern Fläche zur Verfügung.

Auf allen Betrachtungsebenen befasst sich der Bereich Produktionssysteme intensiv mit dem Remanufacturing, das heißt der Wiederaufarbeitung von Altteilen. Auf Netzwerkebene werden zirkuläre Materialflüsse zurück vom Kunden geplant und ausgestaltet. Zur Realisierung von Produktionssystemen für das Remanufacturing werden agile Fabrikstrukturen und Methoden der Materialflussteuerung entwickelt. Darin werden autonom lernende In-Line-Messtechnik-Lösungen integriert, um den unbekanntem Zustand der rückgeführten Altteile zu analysieren. ■

### Globale Produktionsstrategien

- Harmonisierung von Unternehmens- und Produktionsstrategie
- Gestaltung resilienter Produktionsnetzwerke
- Transparenz und Traceability in der Supply Chain
- Autonome und integrierte Planung und Steuerung im Netzwerk
- Kollaboration und Plattformökonomie
- Standortgerechte Produktionsgestaltung



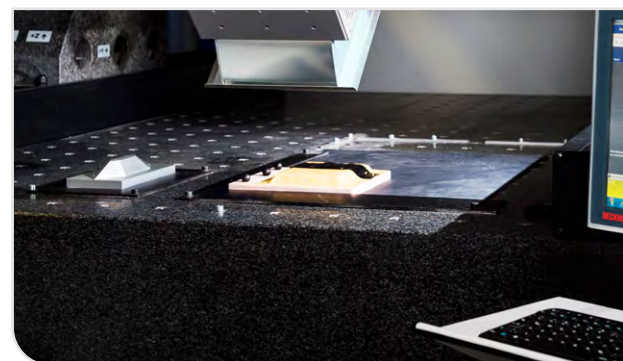
Entwicklung digitaler, modularer und skalierbarer Produktionssysteme für die variantenreiche Serienfertigung

### Produktionssystemplanung

- Adaptive Produktionssysteme
- Fluide Automatisierung
- Autonome Produktionssteuerung
- Machine Learning in der Produktion
- Digitaler Zwilling
- Kostenbewertung & Szenarioanalyse
- Industrie 4.0-Methoden & Digitalisierungsstrategie
- Planung unreifer Technologien
- Produkt-Produktions-Codesign

### Qualitätssicherung

- Produktionsintegrierte Messtechnik
- Quantitative zerstörungsfreie Prüftechnik
- Metrologische Informationsfusion
- Künstliche Intelligenz in der Qualitätssicherung
- Funktionsorientiertes Messen und Funktionsmodellierung
- Autonome Messtechnik
- Messunsicherheitsermittlung
- Intelligente Qualitätsregelkreise



Messtechnikaufbau zur Untersuchung der Datenfusion von Thermografie und Lasertriangulation für die Qualitätssicherung im Leichtbau

Forschungsprojekt PRO

## Produkt-Produktions-Co-Design – Menschorientierte Gestaltung komplexer System of Systems (MOSys)



**Ansprechpartner am wbk:**  
Alexander Jacob, M.Sc.  
Telefon: +49 1523 9502586  
alexander.jacob@kit.edu

Um komplexe technische Systeme oder Produkte und die dazugehörigen Dienstleistungen zu entwickeln, arbeiten unterschiedliche Akteure unternehmensintern und -übergreifend zusammen. Ziel ist es, innovative technische Systeme als Teil eines übergeordneten System of Systems (SoS) zu gestalten. Dieses Gesamtsystem, setzt sich zeit- und ortsabhängig aus verschiedenen Einzelsystemen zusammen. Die Herausforderungen bei der Gestaltung bestehen zum einen darin, dass neuartige Methoden und Hilfsmittel für eine durchgängige und integrative Herangehensweise in der Produktentwicklung erarbeitet werden müssen. Zum anderen gilt es, das Potential einer digitalen und agilen Kollaboration in etablierte Aufbau- und Ablauforganisationen einzuführen. Hierbei ist der Mensch in den Mittelpunkt aller Aktivitäten zu stellen. Das wbk Institut für Produktionstechnik arbeitet zusammen mit dem Institut für Produktentwicklung – Fahrzeug- und Akustikprüfzentrum (IPEK) des Karlsruher Instituts für Technologie (KIT), dem Fraunhofer Institut für Entwurfstechnik Mechatronik (IEM) und dem Institut für Soziologie (IFS) der Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg im Forschungsprojekt MoSys an diesen Herausforderungen.

### Ziel des Vorhabens

Ziel des Projekts ist es, neue Methoden, Hilfsmittel und IT-Werkzeuge zu entwickeln, um technische Systeme und die zugehörigen Wertschöpfungsnetze als Elemente komplexer SoS zu gestalten. Ferner entstehen Leitfäden zur Gestaltung des Wandels, die Unternehmen auf dem Weg hin zu einem digitalen und kollaborativen Arbeitsumfeld unterstützen und für klare und nachvollziehbare Entscheidungsprozesse dienen. Hierbei werden alle an der Entstehung beteiligten Bereiche (Produkt-, Produktions- und Dienstleistungsentwicklung) einbezogen. Berücksichtigt werden beispielsweise Aspekte einer fachdisziplinübergreifenden Zusammenarbeit von Beschäftigten und Interessenvertretungen, das Denken in Produktgenerationen sowie Modellierungskonzepte und Methoden für die Abbildung von SoS.

### Vorgehensweise

Die Projektergebnisse werden an ausgewählten Anwendungsbeispielen aus verschiedenen Bereichen, wie Industrie 4.0, Smart Products oder Mobilität der Zukunft pilotiert. Die Partner fokussieren im Rahmen des Projekts unterschiedliche Themenschwerpunkte, wie etwa eine Analyse von Änderungsauswirkungen im Systementwurf. Ferner werden beispielsweise kundenorientierte und modellbasierte Entwicklungsansätze erforscht, die teilweise durch neuartige Algorithmen der Künstlichen Intelligenz (KI) unterstützt werden. Die Standardisierung von Systemkomponenten und -architekturen bildet die Basis zur Abbildung der Systeme mit dem Konzept des „Digitalen Zwillings“.



Exemplarische Vision des digitalen Engineerings; Bildquelle: Adobe Stock



Forschungsprojekt PRO

## Konsortialbenchmarking – Management globaler Produktionsnetzwerke

Die „VUCA-Welt“ (volatil, unsicher, komplex, mehrdeutig) prägt das heutige Geschäftsumfeld erheblich und beeinflusst sowohl Effektivität als auch Effizienz vom einzelnen Standort bis zum Netzwerkverbund produzierender Unternehmen. Neben den VUCA-Einflüssen sehen sich Unternehmen insbesondere mit steigenden Kundenanforderungen und einer zunehmenden Variantenvielfalt konfrontiert. Dies spiegelt sich in einer zunehmenden Komplexität der Organisations- und Netzwerkstrukturen sowie der Prozesse und der Koordination wider.

Neue Konzepte und Methoden, unterstützt durch Digitalisierung und zunehmende Vernetzung, werden benötigt, um mit der steigenden Komplexität umzugehen. Dabei gilt es, Interdependenzen von strategischen und operativen Entscheidungen aufeinander abzustimmen. Durchgehende Transparenz, Kollaboration und eine lückenlose Datenverfügbarkeit innerhalb der Unternehmen und entlang der gesamten Lieferkette sind nur einige Möglichkeiten, um den neu entstandenen Herausforderungen zu begegnen.

### Ziel des Vorhabens

Ziel des Projekts ist es, anhand erfolgreicher Unternehmensbeispiele – sogenannter Successful Practices – neue, realisierbare Wege im Umgang mit Komplexität und Interdependenzen im Produktionsnetzwerk aufzuzeigen.

### Vorgehensweise

Das Projekt folgt dem klassischen Vorgehen eines Konsortialbenchmarkings. In einem ersten Schritt werden, basierend auf Diskussionen der Konsortialpartner während des Kickoff-Meetings, Themen für eine Studie entwickelt. Der Fragebogen wird während des Screenings an über 1.000 Unternehmen geschickt, wodurch besonders performante Unternehmen identifiziert werden. Anschließend finden fünf Werksbesuche bei den Successful-Practice-Unternehmen statt. In einem letzten Schritt werden die gewonnenen Erkenntnisse im Rahmen einer Abschlusskonferenz zusammengefasst und es werden spezifische Potentiale für die Konsortialpartner abgeleitet. ■



**Ansprechpartner am wbk:**  
Bastian Verhaelen, M.Sc.  
Telefon: +49 1523 9502626  
bastian.verhaelen@kit.edu



Kickoff-Meeting des Konsortiums an der Universität St. Gallen



Forschungsschwerpunkt

## Neuer Forschungsschwerpunkt: Nachhaltige Produktion



**Ansprechpartner am wbk:**  
Dr.-Ing. Andreas Kuhnle  
Telefon: + 49 1523 9502593  
andreas.kuhnle@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 autonomer Produktionssteuerung, der Reduktion von Verschleißteilen oder den Prinzipien einer ressourcenschonenden Fertigung den Produktionsprozess verbessern können. Dieses Know-how wird im neuen 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 neuer Forschungsschwerpunkt entsteht am wbk nicht nur aufgrund theoretischer Überlegungen“, so Institutsleiterin Prof. Gisela Lanza, „sondern in sehr engem Austausch mit Partnern aus der Industrie. Gemeinsam eruieren wir künftige Herausforderungen und Ziele und stellen so sicher, dass unsere Lösungen direkt in der Wirtschaft umgesetzt werden“. Ein Thema wird zum Forschungsschwerpunkt, wenn es wirtschaftlich, gesellschaftlich und technologisch von großer Relevanz ist und in den Forschungsbereichen des wbk mehrere Forschungsvorhaben in dem Themenfeld bestehen. Darüber hinaus muss es am wbk übergreifend über die Forschungsbereiche aus verschiedenen Perspektiven beleuchtet werden. Ein Forschungsschwerpunkt bleibt mitunter 15 Jahre

lang bestehen – und damit weit über die Dauer der meisten Forschungsprojekte hinaus. Mit dem neuen Forschungsschwerpunkt wollen die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler die Prozesse, Anlagen, Systeme und Netzwerke in Industrieunternehmen nachhaltiger gestalten und so die Ressourceneffizienz steigern.

Die politische Relevanz des Themas zeigt sich – auch mit Blick auf die in Deutschland angestrebte Klimaneutralität bis 2050 – etwa auch in der Kreislaufwirtschaftsstrategie der Europäischen Union. Ziel ist die Entwicklung nachhaltiger Prozesse und Produkte, die langlebig sind oder sich wiederverwerten, reparieren oder wiederaufbereiten lassen. Zudem soll der Bedarf nach neuen Ressourcen wieder gesenkt werden.

Auch Unternehmen, die zunächst weiter in linearen Produktionsketten arbeiten, werden lernen, effizienter mit Ressourcen umzugehen, indem sie einerseits ressourceneffiziente Komponenten entwickeln und andererseits die Material- und Energieeffizienz von Fertigungsprozessen steigern. Ein von der DFG gefördertes Schwerpunktprogramm kümmert sich beispielsweise um die Reaktion auf Störgrößen mittels Oberflächenkonditionierung in der Zerspanung. Hierbei werden Prozesse erforscht, mit denen sich Bauteilrandschichten optimieren lassen. Ziel ist es, basierend auf der Kombination geeigneter Sensorik mit Simulationsrechnungen und mittels künstlicher Intelligenz dynamische Prozessregelungen aufzubauen. Somit erreichen die gefertigten Bauteile trotz vorliegender Störgrößen im Prozess die gewünschte Langlebigkeit bei gleichzeitig reduziertem Materialeinsatz und verbesserter Energieeffizienz. ■



Gruppenfoto der Teilnehmer des Arbeitskreistreffens Modellbildung und Simulation am wbk Institut für Produktionstechnik in Karlsruhe

Forschungsprojekt Nachhaltige Produktion

## DigiPrime – Plattform für die Kreislaufwirtschaft

### Ziel des Vorhabens

Das Forschungsprojekt „DigiPrime“ wird von der EU-Kommission im Rahmen des Horizon-2020-Programms gefördert und zielt auf die Entwicklung einer neuen digitalen Plattform für die Kreislaufwirtschaft ab. Diese soll dabei helfen, derzeitige Informationsasymmetrien zwischen verschiedenen Akteuren der Wertschöpfungskette zu überwinden und somit neue Geschäftsmodelle der Kreislaufwirtschaft zu erschließen. Hierdurch sollen der lineare „take-make-dispose“-Ansatz, der massive Verschwendung verursacht, abgelöst und eine nachhaltige Entwicklung angestrebt werden. Die Geschäftsmodelle sollen auf der datengestützten Wiederherstellung und Wiederverwendung von Funktionen und Materialien aus Produkten mit hohem Wertanteil basieren. Des Weiteren sollen branchenübergreifende Ansätze zur Wiederverwendung von Produkten und Materialien erprobt werden, beispielsweise durch das sogenannte „Up-cycling“ von Produkten, indem der Restwert eines Produkts in der Post-Use-Phase maximiert wird.

### Vorgehensweise

Insbesondere Lebenszyklusdaten wie Nutzungsstatistiken und häufige Fehlerursachen können dazu dienen, interne Planungsprozesse der Wiederaufbereitung in diesem komplexen und dynamischen

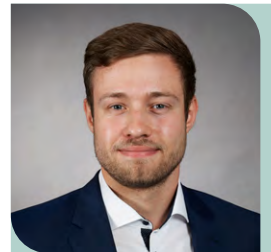
Umfeld zu verbessern. Zudem sollen durch die Integration industrieller und gesellschaftlicher Cluster Barrieren bei der Bearbeitung, dem Verkauf sowie der Nutzung von Produkten im zweiten Lebenszyklus reduziert werden.

Um Informationsasymmetrien zu überwinden und Verbesserungspotentiale zu erschließen, werden sogenannte Mikro-Services auf der digitalen Plattform entwickelt, die entsprechende Funktionalitäten bereitstellen. Der föderale Aufbau dieser Plattform ermöglicht es, die zur Verfügung stehenden Services zu skalieren und problemspezifisch anzuwenden.

In sechs branchenübergreifenden Pilotprojekten, die wiederum aus mehr als 20 Anwendungsfällen bestehen, werden die entwickelten Services und Funktionalitäten validiert und getestet. Hierdurch werden fünf verschiedene, europäische Industriebranchen abgedeckt: Electronics, Batteries, Mechatronics, Composites and Technopolymers und Textile.



**Ansprechpartner am wbk:**  
Felix Klenk, M.Sc.  
Telefon: +49 1523 9502589  
felix.klenk@kit.edu



**Ansprechpartner am wbk:**  
Marco Wurster, M.Sc.  
Telefon: +49 1523 9502599  
marco.wurster@kit.edu



Gruppenfoto des Gesamtkonsortiums am Projekt Kick-Off Meeting in Mailand



## Forschungsschwerpunkt Leichtbaufertigung



**Ansprechpartner am wbk:**  
Dr.-Ing. Sven Coutandin  
Telefon: +49 1523 9502568  
sven.coutandin@kit.edu

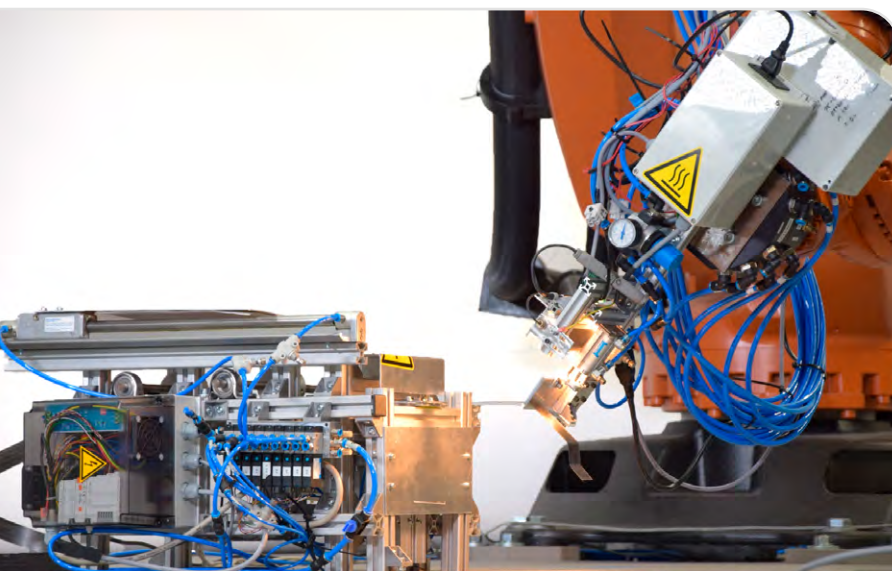
Hohe Energiekosten und ein zunehmendes Umweltbewusstsein in der Bevölkerung sowie die immer strengere Gesetzgebung forcieren den Einsatz leichter Werkstoffe zur Energie- und Ressourceneinsparung. Um diesen Herausforderungen gerecht zu werden, befasst sich der Forschungsschwerpunkt Leichtbaufertigung am wbk Institut für Produktionstechnik wissenschaftlich mit speziell angepassten Fertigungslösungen und macht diese der Industrie zugänglich.

Um den richtigen Werkstoff an der richtigen Stelle einzusetzen, zählt die Entwicklung von anforderungsgerechten Produktionstechnologien für neu entwickelte Materialien und Konstruktionsweisen mit hohem Leichtbaupotential zu den Zielen des

Forschungsschwerpunkts. 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 Modulstrategien flexibilisiert, um diese in einer Serienfertigung bei steigender 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 Fertigungstechnologien, wie beispielsweise dem Faserblasverfahren zur Nutzung von Recyclingfasern, dem Fügewickelverfahren und dem Schleuderverfahren. Dazu zählt auch insbesondere die durchgängige Automatisierung und Modularisierung solcher Prozessketten. Im Zuge der Digitalisierung werden vermehrt intelligente Komponenten und Maschinelles Lernen angewandt, um das Prozessverständnis und die Bauteilqualität zu steigern. 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 punktschweißbare CFK-Metall-Bauteile, welche sich kostengünstig mittels Widerstandspunktschweißen ohne weitere Fügeverfahren in einen metallischen Rohbau einbinden lassen. Zur Steigerung der Wirtschaftlichkeit dieser innovativen Produkte werden neue Verbindungstechnologien, roboterbasierte Automatisierungslösungen, angepasste Bearbeitungsstrategien sowie Qualitätssicherungskonzepte entwickelt. ■



Werkzeugloses Umformen lastangepasster thermoplastischer UD-Tape-Verstärkungen



Intelligentes Greifsystem zur Materialerkennung von Textilien durch KI-gestützte Sensorintegration

Forschungsprojekt Leichtbaufertigung

## CELMAT – Hocheffiziente elektrische Leichtbau-Antriebe für Drohnen

### Ziel des Vorhabens

Der Markt für kommerziell eingesetzte Drohnen, sogenannte UAVs (englisch: unmanned aerial vehicles), ist in den letzten Jahren stark gewachsen. Derartige Drohnen können beispielsweise in der Logistik oder Landwirtschaft, für Überwachungsaufgaben oder zukünftig für den individuellen Personenverkehr (sogen. Lufttaxis) eingesetzt werden.

Innerhalb des Projekts „CELMAT“ entwickelt das wbk Institut für Produktionstechnik gemeinsam mit Alva Industries AS und Helix-Carbon GmbH einen hocheffizienten Leichtbau-Antrieb für Drohnen. Der Fokus des wbk liegt dabei auf den weichmagnetischen Komponenten des Rotors, welche im Stand der Technik typischerweise als Blechpakete ausgeführt werden. Stattdessen werden in CELMAT sogenannte Soft Magnetic Compounds (SMC) als Werkstoff eingesetzt. Diese bestehen aus einem weichmagnetischen Pulver, eingebettet in eine Kunststoffmatrix, können spritztechnisch verarbeitet werden und weisen – im Gegensatz zu Blechpaketen – quasi keinerlei Wirbelstromverluste auf.

### Vorgehensweise

Gemeinsam mit den Projektpartnern wird im ersten Schritt ein Konzept für einen ganzheitlich leichten und effizienten Antrieb entwickelt. Darauf aufbau-

end wird das Antriebsdesign weiter ausdetailliert, wobei der Fokus von Helix auf dem Propeller liegt, Alva mit einem neuartigen Wickelverfahren den Stator betrachtet und das wbk ein Zwei-Komponenten-Design für den magnetischen Rückschluss entwickelt. Anschließend wird ein Prototyp des Antriebs aufgebaut. Für das Zwei-Komponenten-SMC-Bauteil wurde gemeinsam mit der Polar-Form Werkzeugbau GmbH ein Spritzgusswerkzeug für die Prototypenfertigung entwickelt und von Polar-Form gefertigt. Nach der Inbetriebnahme des Werkzeugs am wbk auf einer Arburg Allrounder 520S Spritzgussmaschine können Bauteile mit verschiedenen SMC-Materialien produziert werden, sodass der Einfluss verschiedener Werkstoffe auf die Antriebseffizienz ermittelt werden kann. Die 2K-Bauteile werden gemeinsam mit den Komponenten der Projektpartner zu mehreren Prototypen montiert und hinsichtlich Ihrer Leistung und Effizienz getestet.

### Ergebnisse

Ausgehend von den magnetischen Simulationen innerhalb der Design-Phase ist davon auszugehen, dass die Gesamteffizienz des Antriebs bei gleichzeitig geringerem Gewicht gesteigert werden kann. Nach der Inbetriebnahme des Werkzeugs konnten die ersten Bauteile produziert werden, die nun zeitnah getestet werden können. ■



**Ansprechpartner am wbk:**  
Paul Ruhland, M.Sc.  
Telefon: +49 1523 9502608  
paul.ruhland@kit.edu



Zwei-Komponenten-Rotorscheiben mit SMC (grau, außen) und PA6



## Forschungsschwerpunkt **Elektromobilität**



**Ansprechpartnerin am wbk:**  
Dr.-Ing. Janna Hofmann  
Telefon: +49 1523 9502584  
janna.hofmann@kit.edu



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

Im Anwendungsfeld Elektromobilität vereint das wbk Institut für Produktionstechnik Fertigungsprozesse zur Herstellung des vollelektrischen und hybriden Antriebsstrangs auf Basis unreifer Fertigungstechnologien und etablierte, serientaugliche Prozesse. Die Anwendung im Automobilbereich definiert neuartige Anforderungen an Elektromotoren und Energiespeicher hinsichtlich Automatisierungsgrad, Stückkosten und Qualitätssicherbarkeit sowie Leistungs- und Energiedichte, Wirkungsgrad, kalendarische und zyklische Lebensdauer, Gewicht und Packaging. Gleichzeitig sind die Produkthanforderungen und das Marktumfeld hoch veränderlich. Der Forschungsschwerpunkt Elektromobilität hat deshalb das Ziel, fähige Produktionstechnologien für die automatisierte Herstellung von Batteriezellen und Batteriemodulen sowie Brennstoffzellen und Elektromotoren in einer wirtschaftlichen und skalierbaren Serienfertigung zu entwickeln.

Dabei soll der produktionstechnische Transfer im Labor neu entwickelter Technologien in die wirtschaftliche Herstellung mittels seriennaher Auto-

omatisierungslösungen ermöglicht werden. Am wbk werden die produktionstechnischen Herausforderungen der Grundelemente im elektrifizierten Antriebsstrang adressiert.

Im Bereich der Herstellung der Batteriezelle liegen die Schwerpunkte auf dem Kalandrieren, der Zellstapelbildung und neuartigen Verpackungsformaten. Dabei sollen gesamte Produktionssysteme format-, material- und stückzahlflexibel ausgelegt werden.

Im Themenfeld der Batteriemodulmontage werden deren Automatisierung sowie die Verbindungstechnologie zur Kontaktierung der Batteriezellen untersucht. Außerdem werden die Module von Beginn an so entwickelt, dass sie in einem zweiten Leben wiederverwendbar sind und demontagegerecht gebaut werden können oder einem Recyclingprozess zugeführt werden.

Im Bereich der Brennstoffzellentechnologie befasst sich das wbk vor allem mit den flexiblen Handhabungstechnologien zur Bildung des Stacks. Außerdem werden skalierbare Automatisierungskonzepte entwickelt, um agil auf Ramp-up-Prozesse reagieren zu können.

Die Weiterentwicklung und der Aufbau eines Prozessverständnisses der Wickeltechnologie sowie der selektiven Magnetmontage zum Wuchtverzicht sind Schwerpunkte der Produktionstechnologieentwicklung für den Elektromotor. Hierfür gilt es gleichermaßen klassische Wickelverfahren zu optimieren und neue Technologien zu entwickeln. In diesem Zusammenhang befasst sich das wbk sowohl mit der Runddraht- als auch mit der Flachdrahttechnologie. Darüber hinaus werden verschiedenste Themen der Qualitätssicherung und Wandlungsfähigkeit entlang der gesamten Wertschöpfungskette des elektrischen Antriebsstrangs am wbk erforscht. ■



Formatflexible Batteriezellfertigung im Forschungsvorhaben SmartBatteryMaker

Forschungsprojekt Elektromobilität

## AgiloDrive und AgiloBat

### Motivation

Ambitionierte Energie- und Emissionsziele, der voranschreitende Klimawandel und ein wachsendes Umweltbewusstsein werden in Zukunft zu einem steigenden Absatz elektrifizierter Fahrzeuge führen. Eine volatile Kundennachfrage nach Mobilitätslösungen, veränderliche rechtliche und politische Rahmenbedingungen sowie dynamische technische Entwicklungen führen jedoch zu einer hohen Unsicherheit hinsichtlich der zu erwartenden Stückzahlen und eingesetzten Technologien. Im Rahmen der Forschungsvorhaben AgiloDrive und AgiloBat werden daher agile Produktionssysteme für Traktionsmotoren und -batterien entwickelt, die eine anwendungsspezifische Wandlung und nachfrageorientierte Skalierung gestatten.

### AgiloDrive

Der elektrische Traktionsmotor nimmt unabhängig vom Energiespeichersystem eine zentrale Rolle im elektrischen Antriebsstrang ein. Aufgrund unscharfer Zukunftsprognosen sind Investitionen in heutige Produktionslösungen jedoch als riskant anzusehen, da diese zwar eine hohe Produktivität aufweisen, aber nur eingeschränkt flexibel und skalierbar sind. Durch die Möglichkeit, Prozesspfade dynamisch zu adaptieren und skalieren, wird im Projekt AgiloDrive eine anwendungsorientierte Wandlung des Produktionssystems befähigt. Hierdurch sollen Skaleneffekte in Zukunft auch über verschiedene Produktbaureihen und Fertigungstechnologien hinweg

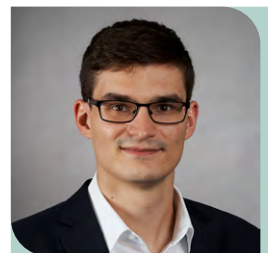
genutzt und damit die Wettbewerbsfähigkeit deutscher Unternehmen nachhaltig gestärkt werden. In der Pilotphase des Projektes wird das wbk Institut für Produktionstechnik durch das Elektrotechnische Institut und das Institut für Produktentwicklung sowie die assoziierten Partner Schaeffler, Gearing und die e-mobil BW unterstützt.

### AgiloBat

Im Projekt AgiloBat wird ein agiles Produktionssystem für Li-Ionen-Batteriezellen entwickelt. Damit sollen Zellen für Klein- und Prototypserien für die Automobilindustrie, Power Tools und Consumer Electronics flexibel produziert werden können. Das Produktionssystem wird dabei aus Produktionszellen bestehen, in welchen flexible Module die Prozessschritte der Fertigung übernehmen. Die Zelle dient ebenso als lokaler Trockenraum, ein sogenanntes Microenvironment, um die Anforderungen an die Batteriezellproduktion erfüllen zu können. Bei der Entwicklung der Produktionsanlage wird besonders auf die Format- und Materialflexibilität geachtet, sodass elektrische Anforderungen und Bauraumanforderungen von den Batterien erfüllt werden. Durch die Flexibilität des Produktionssystems ergeben sich bei der Gestaltung der Batterie neue Freiheitsgrade, die eine Anpassung der Batterie an komplexe Bauräume ermöglichen. Um diese Aufgabe zu bewältigen, hat sich ein Projektteam bestehend aus dem KIT, dem Fraunhofer ICT und dem Zentrum für Sonnenenergie und Wasserstoff-Forschung (ZSW) in Ulm gefunden. ■



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



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



Lösungsansatz und Forschungsinhalte des Vorhabens AgiloDrive



## Forschungsschwerpunkt Additive Fertigung



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

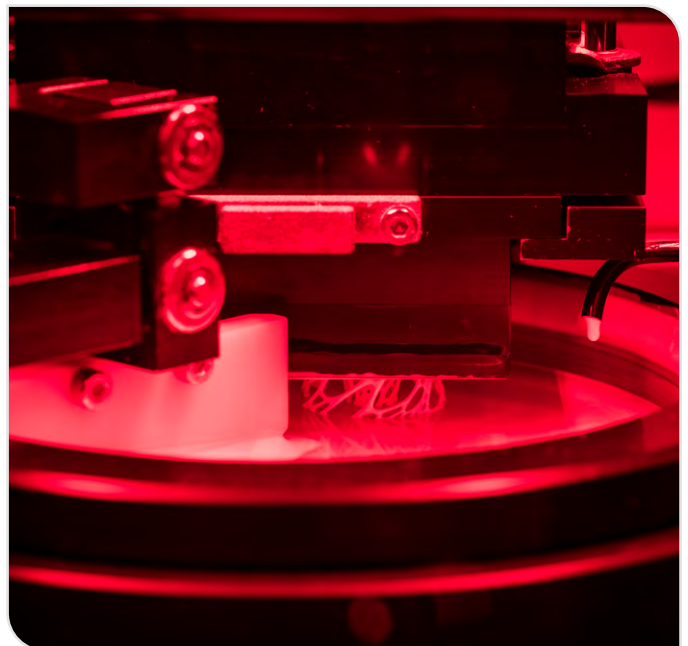
Die Branche der additiven Fertigung unterliegt einem starken Wachstum mit immer neuen Anwendungsbereichen, woraus für die additiven Fertigungsverfahren kontinuierlich mehr Herausforderungen entstehen. Diese liegen seitens der Produktionstechnik vor allem in der Integration bestehender und neuer Prozessketten, sowie der eingeschränkten Materialauswahl und langen Prozesszeiten. Im Forschungsschwerpunkt Additive Fertigung werden die Kompetenzen der drei Forschungsbereiche am wbk Institut für Produktionstechnik synergetisch zu einem einzigartigen Angebot im Bereich der additiven Fertigung kombiniert. Gemeinsam mit starken Industrie- und Forschungspartnern beginnen die Untersuchungen bei der Materialentwicklung und reichen bis zu Themen zur Potenzialvalidierung additiver Verfahren für die Serienproduktion und der Qualitätssicherung additiv hergestellter Bauteile. 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 Arburg-Kunststoff-Freiformen (AKF) und das Selektive Lasersinterverfahren (SLS) weiterentwickelt. Größte Anwendung findet aktuell das Verfah-

ren Laser Powder Bed Fusion (LPBF) zur pulverbettbasierten Verarbeitung von Metallen. Keramiken werden mittels des Verfahrens Lithography-based Ceramic Manufacturing (LCM) 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. Das LPBF-Verfahren wird aus zwei Gesichtspunkten betrachtet. Einerseits werden der Einfluss der Prozessparameter auf die Werkstoffeigenschaften der unterschiedlichen Materialien, die zerspanende Nachbearbeitung und das Aufbauen auf bestehende Rohlinge untersucht sowie Themen der Prozessüberwachung mittels neuronaler Netze entwickelt und angewendet. Andererseits werden verfahrensübergreifend additive, konventionelle und hybride Prozessketten geplant und einander bewertend gegenübergestellt. Die Forschungsthemen beim LCM-Verfahren liegen im Bereich der Einbringung von Leistungselektronik und der Multi-Materialbearbeitung.

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



Additive Fertigung von Metall mit dem LPBF-Prozess (links) und von Keramiken mit dem LCM-Prozess (rechts)



Forschungsprojekt Additive Fertigung

## HiPTSLAM – Entwicklung von Metallpulvern aus Hochleistungs-Werkzeugstahllegierungen für die additive Laserfertigung

### Ziel des Vorhabens

Ziel des Vorhabens ist die Qualifizierung einer Methodik zur schnellen Entwicklung neuer Materialien für die fertigungstechnische Prozesskette des selektiven Laserschmelzverfahrens (Laser Powder Bed Fusion (LPBF)), beginnend bei der Pulververdüsung über den LPBF-Prozess bis hin zur spanenden Nachbearbeitung von Funktionsflächen. Im Rahmen des Projekts erfolgt dies am Beispiel von hochfesten Werkzeugstählen, deren Anforderungen bzw. deren notwendige Eigenschaften für den Einsatz zur additiven Herstellung von Bauteilen ermittelt werden.

### Vorgehensweise

Zur Erreichung des Projektziels soll die gesamte Prozesskette von der Pulververdüsung über den LPBF-Prozess und die Wärmebehandlung bis zur spanenden Nachbearbeitung an zwei neuen Legierungen untersucht werden. Hierbei handelt es sich um die Werkzeugstähle Specialis SLM Alloy 1 mit einem erhöhten Kohlenstoffgehalt und Specialis SLM Alloy 2, der martensitisch aushärtend ist.

In einem ersten Schritt werden die Zusammenhänge zwischen den Legierungselementen und dem Pulverherstellungsprozess, den Pulvereigenschaften und den Auswirkungen auf den LPBF-Prozess untersucht und eine geeignete Wärmebehandlung für die neue Legierung ermittelt.

Im Anschluss folgt die Untersuchung des Einflusses des LPBF-Prozesses auf die spanende Nachbearbeitung. Hier werden insbesondere das Fräsen und das Bohren untersucht.

In einem letzten Schritt sind technische Richtlinien für die Verwendung der Ergebnisse in verschiedenen Anwendungsbereichen zu erstellen.

### Ergebnisse

Der Specialis SLM Alloy 1 wurde aufgrund des hohen Kohlenstoffgehalts mit einer Bauraumheizung des Maschinenherstellers und einer laserbasierten Hochtemperaturheizung bearbeitet. Die Legierung konnte somit im LPBF-Prozess bearbeitet werden, weist allerdings noch eine erhöhte Rissbildung an den fertigen Bauteilen auf, was weitere Untersuchungen erforderlich macht.

Der martensitisch aushärtende Werkzeugstahl Specialis SLM Alloy 2 wurde bereits im Verdüsungsprozess und LPBF-Prozess untersucht. Nach einer Legierungsanpassung wurden Standardparameter für beide Prozesse ermittelt und es konnte eine Härte von über 60 HRC nach der Wärmebehandlung erreicht werden. Die ersten Fräs- und Bohrversuche zu dieser Legierung finden im nächsten Schritt statt. ■



**Ansprechpartnerin am wbk:**  
Manuela Neuenfeldt, M.Sc.  
Telefon: +49 1523 9502596  
manuela.neuenfeldt@kit.edu



Untersuchte Prozesskette: v.l.n.r Metallpulverherstellung durch Verdüsung, LPBF-Prozess, Wärmebehandlung, zerspanende Nachbearbeitung, Materialcharakterisierung, fertiges Bauteil



## Forschungsschwerpunkt Industrie 4.0



**Ansprechpartnerin am wbk:**  
Dr.-Ing. Nicole Stricker  
Telefon: +49 721 60842444  
nicole.stricker@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, die Effizienz betrieblicher Prozesse zu steigern und neue Produkte, Dienstleistungen oder Geschäftsmodelle auf den Weg zu bringen.

Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler des wbk Instituts für Produktionstechnik erproben stets neuste Technologien und unterstützen Unternehmen darin, deren Potentiale für ihre Produkte oder ihre Produktion zu entfalten. Die neue Mobilfunktechnologie 5G ist ein Beispiel hierfür. Sie stellt den Kommunikationsstandard der Zukunft dar: hohe Bandbreite, niedrige Latenz und hohe Verbindungsanzahl. Damit schafft 5G eine wichtige Grundlage für Anwendungen der Industrie 4.0. Gemeinsam mit weiteren Forschungspartnern betreibt das wbk das Transferzentrum 5GKMU. Im Transferzentrum 5G4KMU haben kleine und mittelständische Unternehmen (KMU) die Möglichkeit, ihre Produkte, Anwendungen und Geschäftsmodelle mit dem neuen Mobilfunkstandard 5G weiterzuentwickeln. Neben der notwendigen 5G-Infrastruktur profitieren Unternehmen von der wissenschaftlichen Expertise.

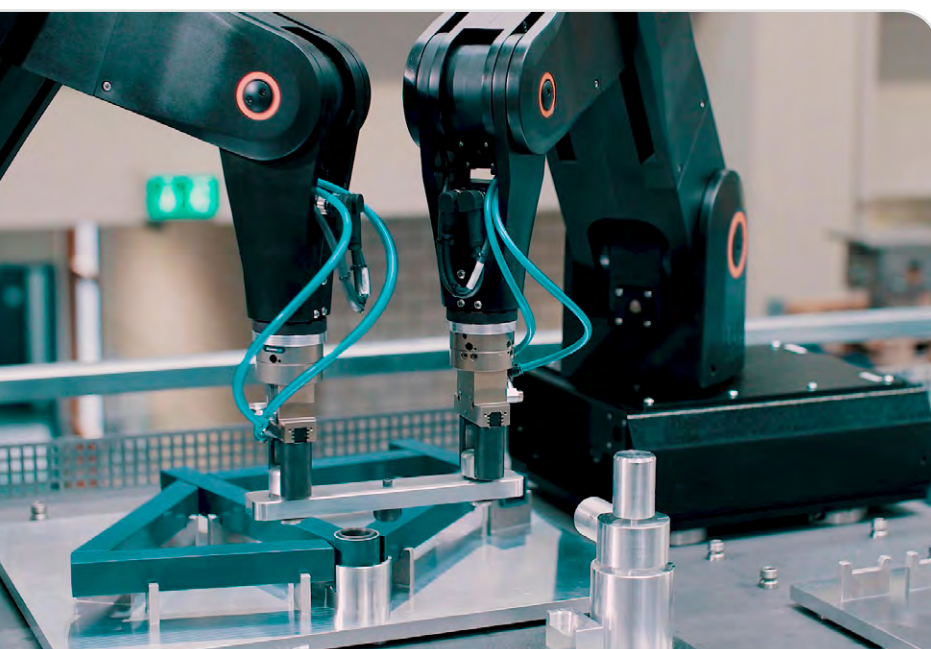
Die neuen Technologien revolutionieren auch ganze Produktionsnetzwerke und -systeme.

Das Team des wbk untersucht IT-Referenzarchitekturen für die sichere Kommunikation, etwa mittels Blockchain, sowie darauf aufbauende automatisierte Verhandlungsmechanismen und kollaborationsfördernde Geschäftsmodelle. Auch an der Datenbasis arbeitet das Team. Es unterstützt Unternehmen dabei, die für sie besten technischen und organisatorischen Traceability-Lösungen zu identifizieren. Traceability gewinnt zunehmende Bedeutung in allen Branchen und stellt einen enormen Hebel für die Kreislaufwirtschaft dar.

Die konsequente Weiterführung der Möglichkeiten in den Feldern Connectivity sowie Devices und Systeme führt zum Konzept der Wertstromkinematik. Hierbei können ganze Produktionsflüsse durch einheitliche, auf Vertikalknickarmrobotern basierende Standardkinematiken abgebildet werden. Neben den Handhabungsaufgaben soll die Standardeinheit auch verschiedenste Aufgaben wie 3D-Druck, Trenn- und Fügeverfahren sowie Zerspanungsaufgaben, durch prozessspezifische, andockbare Endeffektoren, ausführen können. Der Aufbau einer Produktion aus Standardkinematiken erlaubt eine häufige und flexible Neuordnung des Produktionssystems. Das volle Potential dieses extrem wandlungsfähigen Produktionssystems entfaltet sich durch eine intelligente und dynamische Produktionssystemplanung und -steuerung (PPS). Am wbk werden umfassend Themen der dynamischen PPS erforscht. Der optimale Grad an De-/Zentralität einer PPS wird dabei nur eine Fragestellung. Auch die Modellierung und Umsetzung der PPS, etwa als Reinforcement Learning-basierte Agentensysteme, ist ein wichtiger Baustein für autonome dezentrale Produktionssysteme.

Verfahren des Maschinellen Lernens, Neuronaler Netze, etc. werden in allen Feldern des Forschungsschwerpunktes eingesetzt und zeigen auch in der Qualitätssicherung und im Zusammenspiel mit Produktionsdaten große Erfolge.

Demonstriert werden die Aktivitäten im mehrfach ausgezeichneten Produktionstechnischen Labor des wbk und der Lernfabrik „Globale Produktion“ mit zahlreichen Workshops und Veranstaltungsreihen. ■



Wertstromkinematik: innovative, wandlungsfähige Produktion der Zukunft

Forschungsprojekt Industrie 4.0

## Digitales Qualitätsmanagementsystem – Datengetriebene Prozessmodelle für eine Null-Fehler-Fertigung

### Ziel des Vorhabens

Smarte Fabriken erzeugen große Datenmengen, die Qualitätsinformationen über den Ablauf der Produktionsverfahren und die Produkte selbst enthalten. Das Potential dieser Informationen, um Fehler zu analysieren oder zu vermeiden sowie die Qualität der Herstellungsverfahren und Produkte zu optimieren, wird bei weitem noch nicht ausgeschöpft. „DAT4.ZERO“ zielt auf die Erforschung eines digital erweiterten Qualitätsmanagementsystems (DQM) ab, das Daten aus verteilten Systemen sammelt, organisiert und gezielt bereitstellt. Im Fokus stehen vor allem die Datengenauigkeit für eine effektive Entscheidungsunterstützung bei geringen Losgrößen, ein beschleunigter Produktionsanlauf, sowie die Umsetzung einer Null-Fehler-Fertigung durch eine intelligente Prozessregelung.

### Vorgehensweise

Das europäische Projektkonsortium setzt sich aus insgesamt 20 Partnern zusammen und integriert in fünf verschiedenen industriellen Pilotlinien zunächst kostengünstige, intelligente Sensoren. Die im Prozess aufgenommenen Daten werden gesammelt, aggregiert und einer Datenanalyse unterzogen. Diese Daten charakterisieren den gerade vollzogenen Fertigungsprozess und lassen Rückschlüsse auf Produkteigenschaften zu. Statistische Verfahren ermöglichen es, besonders relevante Daten zu identifizieren. Diese können dann genutzt werden, um digitale Zwillinge zu entwi-

ckeln. Digitale Zwillinge bezeichnen virtuelle Prozess- und Funktionsmodelle von Produkten, die den Einfluss kleinster Prozess- und Fertigungsabweichungen auf die Funktionsfähigkeit, bspw. die Geräuschemissionen eines Dentalen Instruments, abbilden können. Aufgrund der hohen Geschwindigkeit der Datenverarbeitung können die Daten in Kombination mit den virtuellen Modellen für die datengetriebene Prozesssimulation, -überwachung und -steuerung genutzt werden. Das Team des wbk Instituts für Produktionstechnik arbeitet in dem Projekt intensiv an zwei Anwendungsfällen mit der Robert Bosch GmbH und Dentsply Sirona zusammen.

### Ergebnisse

Im Oktober 2020 wurde der Projektstart erfolgreich digital durchgeführt. Auf Basis einer Prozess- und Produktanalyse wurden für das Vorhaben relevante Prozessinformationen erfolgreich identifiziert. Eine geeignete Sensorauswahl konnte für den Fertigungsprozess von einem relevanten Mikroverzahnungsbauteil, im Anwendungsfall der Dentalen Instrumente, bereits in Teilbereichen erfolgen. Des Weiteren stellte sich in dem Anwendungsfall der Dieselinjektor-Produktion heraus, dass gerade in einem verteilten Produktionsnetzwerk die Datenherkunft und Vertrauenswürdigkeit der aggregierten Daten von hoher Wichtigkeit ist. Aus diesem Grund wird im nächsten Schritt eine semantische Modellierung umgesetzt. ■



**Ansprechpartner am wbk:**  
Lucas Bretz, M.Sc.  
Telefon: +49 1523 9501234  
lucas.bretz@kit.edu



© Robert Bosch GmbH

© Dentsply Sirona

Demonstratoranwendungen des Forschungsprojekts DAT4.ZERO (Dieselinjektor (links) und Dentalinstrument (rechts))

Bereichsübergreifende Projekte

## Forschungscluster InZePro – Intelligente Batteriezellproduktion



**Ansprechpartnerin am wbk:**  
Dr. Annelie Kreft  
Telefon: +49 1523 9501234  
annelie.kreft@kit.edu

Die Batterieforschung in Deutschland will das Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) mit vier neuen Kompetenzclustern entscheidend voranbringen. Das Karlsruher Institut für Technologie (KIT) ist an allen vier Clustern beteiligt, an zwei davon als Koordinator: Bei „Intelligente Batteriezellproduktion (InZePro)“ stehen flexible Produktionssysteme im Fokus. Bei „Analytik/Qualitätssicherung (AQua)“ geht es darum, Leistungsfähigkeit und Lebensdauer von Batterien zu verbessern. Zur Förderung in den Clustern stellen die beteiligten Forscherinnen und Forscher nun zunächst Vollarträge.

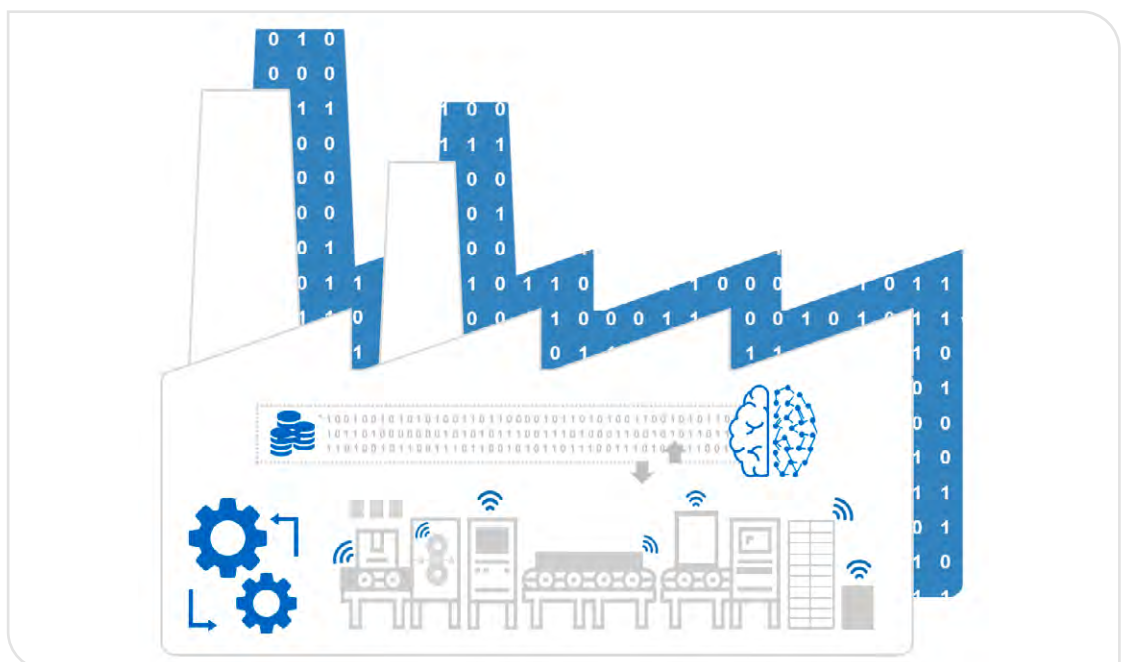
„Leistungsfähige und sichere Batterietechnologien sind Grundvoraussetzung dafür, dass wir die Energiewende schaffen und unsere Mobilität nachhaltig gestalten können“, sagt der Präsident des KIT, Professor Holger Hanselka. „Die Cluster greifen die dafür ganz zentralen Aspekte – agile Produktionssysteme, Recycling, Nutzungskonzepte und Qualitätssicherung – auf. Wir freuen uns sehr darauf, gemeinsam mit den Partnern in allen vier Clustern unsere Kompetenzen zu bündeln und die Batterieforschung voranzutreiben.“

### Intelligente Batteriezellproduktion (InZePro)

Im Fokus des Kompetenzclusters Intelligente Batteriezellproduktion (InZePro) stehen eine agile und flexible

Anlagentechnik (mittels der sich Batteriezellen variantenflexibel und stückzahlangepasst fertigen lassen), die Digitalisierung einzelner Anlagen und des gesamten Produktionssystems sowie virtuelle Produktionssysteme und KI in der Produktion. „Ziel ist es, vielfältige Varianten von Batteriezellen in kleinen bis großen Stückzahlen für eine flexible, automatisierte und intelligente, durch Künstliche Intelligenz optimierte Fertigung herzustellen. So wollen wir dafür sorgen, dass produzierende Unternehmen, beispielsweise in der Automobilindustrie, ihre Produktivität selbst bei schwankender Auftragslage und hoher Produktvarianz steigern“, erläutert Professor Jürgen Fleischer, Leiter des wbk Instituts für Produktionstechnik, der für das KIT im Koordinationsteam von InZePro ist. Das Cluster wird insgesamt mit voraussichtlich rund 30 Millionen Euro gefördert. Der Cluster InZePro ist erfolgreich im September 2020 mit dem Begleitprojekt Batter4.0 gestartet.

Die Kompetenzcluster sind Teil des Dachkonzepts „Forschungsfabrik Batterie“ und sollen dazu beitragen, die Batterieforschung in Deutschland entlang der gesamten Wertschöpfungskette zu stärken. Das BMBF investiert dazu 100 Millionen Euro in die Batterieforschung an Hochschulen und außeruniversitären Forschungseinrichtungen. ■



Forschungscluster InZePro – Intelligente Batteriezellproduktion

Bereichsübergreifende Projekte

## Linienintegration additiver Fertigungsverfahren zur Serienfertigung in der Automobilindustrie

### Ziel des Vorhabens

Die Automobilindustrie ist in Deutschland eine Schlüsselindustrie und schafft sehr viele Arbeitsplätze. Um im internationalen Wettbewerb zu bestehen und die zunehmenden Kundenanforderungen zu erfüllen, sind innovative, flexible und wandlungsfähige Produktionslinien gefragt. So sind gerade für die Elektromobilität leichte und schwingungsarme Bauteile, die zahlreiche Funktionen integrieren, von größtem Interesse. Dazu zählen etwa: integrierte Kühlkanäle, Aktoren und Sensoren. Die additive Fertigung kann hier einen wesentlichen Beitrag leisten, um solche Anforderungen zu realisieren. Im Rahmen des Projekts soll die gesamte (additive) Prozesskette von der Bauteilgestaltung über die Pulverherstellung und den Prozess des selektiven Laserschmelzens bis hin zur Nachbearbeitung hardware- und softwareseitig integriert, analysiert und optimiert werden.

### Vorgehensweise

Das Vorhaben „Intelligent-geregelte additive Prozesskette mittels simulativ und experimentell ermittelten Bauteil-, Werkstoff- und Prozessdaten“ (ReAddi) ist ein Verbundforschungsprojekt, das aus Mitteln des Bundesministeriums für Bildung und Forschung (BMBF) gefördert und vom Verein

Deutscher Ingenieure (VDI) betreut wird. Im Projekt sind insgesamt zwölf Industriepartner sowie drei Forschungspartner involviert. Gemeinsam mit den Partnern PROTIQ, Mercedes-Benz, Bosch, EDAG Engineering, DMG Mori, INTES, Heraeus Noblelight, Rosswag, Indutherm, QASS, Simufact und USU Software sowie der Universität Erlangen-Nürnberg, Lehrstuhl für Photonische Technologien (LPT) und der Universität Paderborn, Konstruktions- und Antriebstechnik (KAT) wird am wbk Institut für Produktionstechnik eine prototypische additive Serienfertigung für die Automobilbranche umgesetzt. Im Rahmen des Projekts wird somit eine durchgängige und robuste Prozesskette nach den Standards einer automobilen Serienfertigung aufgebaut.

### Ergebnisse

Das Projekt konnte bei der Auftaktveranstaltung bei PROTIQ im September 2019 starten. Teilprojektübergreifend konnten die Randbedingungen an eine additive Serienproduktion ermittelt und Demonstratorbauteile ausgewählt werden. In allen Arbeitsgruppen wurden in enger Kooperation der Projektbeteiligten bereits erste Forschungsarbeiten erfolgreich durchgeführt. Diese konnten beim ersten Meilensteintreffen in Stuttgart bei Bosch vorgestellt werden. ■



**Ansprechpartner am wbk:**  
Marco Batschkowski, M.Sc.  
Telefon: +49 1523 9502645  
marco.batschkowski@kit.edu



Additiver Fertigungsprozess eines Bauteils; Bildquelle: PROTIQ



Partnerschaften aus Forschung und Lehre

## Global Advanced Manufacturing Institute (GAMI)



### Ansprechpartner am wbk:

Dr.-Ing. Tobias Arndt  
(General Manager)  
Telefon: +86 152 62967398  
arndt.tobias@silu.asia  
www.silu.asia

Die weltweite Kundennachfrage und der globale Wettbewerb veranlassen einen Großteil deutscher Unternehmen dazu, sich in globalen Produktionsnetzwerken zu organisieren. Denn neben kürzeren Wegen zu Kunden können sie so lokal differenzierte Produkte herstellen und die Kostenvorteile regionaler Märkte nutzen. Dabei ist vor allem eine Präsenz auf dem chinesischen Markt von entscheidender Bedeutung für den geschäftlichen Erfolg. Auch für deutsche Forschungsinstitutionen ist es von großem Interesse, an den Entwicklungen in China teilzuhaben, da viele gesellschaftliche Bedürfnisse und Herausforderungen, wie etwa eine nachhaltige Produktion, Industrie 4.0 oder Künstliche Intelligenz beide Länder gleichermaßen betreffen und sich nur gemeinsam angehen lassen. Nur durch eine Überführung der Forschungsergebnisse aus der ganzen Welt in anwendbaren Output können dringende Probleme schnell und nachhaltig adressiert werden.

In diesem Zusammenhang kooperiert das GAMI mit Sitz im Suzhou Industrial Park (SIP) mit lokalen Universitäten und unterstützt deutsche Unternehmen und deren chinesische Lieferkette mit einem breiten Portfolio an Forschungs- und Industrieprojekten sowie Weiterbildungsprogrammen zu folgenden Themenschwerpunkten:

- Lieferantenmanagement
- Qualitätsmanagement
- Produktionssystemgestaltung
- Logistikmanagement
- Industrie 4.0

Vor allem aufgrund der in China signifikant steigenden Lohnkosten wird dort ebenfalls 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 auf der Unterstützung von Organisationen bei der Weiterentwicklung in diesem Themenkomplex. 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 (Artificial Intelligence – AI) in der Produktion analysiert werden.

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

Die zunehmende Digitalisierung stellt vor allem die Mitarbeiter 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



Artificial Intelligence (AI) Innovation Factory am GAMI in Suzhou

erforderlichen Komponenten am richtigen Ort bereitstellen 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 AI in der Produktion (weiter-)entwickelt und erprobt sowie Kompetenzen zur Implementierung von AI-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 bei-

den Zentren 2019 als „Smart Manufacturing Advanced Unit in Jiangsu Province“ ausgezeichnet.

## Forschung

Forschungsseitig unterstützt das GAMI vor allem das Verbundprojekt „Sino-German Industry 4.0 Factory Automation Platform“ (I4TP). Ziel des Projekts ist es, eine Plattform zur individualisierten und automatisierten Konfiguration von schlüsselfertigen Produktionssystemen zu entwickeln, basierend auf Produkt- und Kundenanforderungen. Für die Anwendungsfälle im Projekt erstellt das GAMI eine Simulation des Produktionssystems, optimiert den Einsatz von Betriebsmitteln und Ressourcen und entwickelt darüber hinaus eine Roadmap zur Generierung eines digitalen Geschäftsmodells, das Markt- und Kundenanforderungen optimal abdecken kann.

Zudem startete 2019 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.

## 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.

2020 entwickelte das GAMI etwa einen Demonstrator zum Thema skalierbare Mensch-Roboter-Kooperation für ein Demonstrationszentrum in Jinan, ein simulationsgestütztes Produktionsplanungskonzept zur Reduktion der Bestände für einen Automobilzulieferer, eine Einführungsstrategie von Qualitätssicherungsmethoden aus der Automobilindustrie für einen Industriegüterhersteller oder ein Materialfluss- und Logistikkonzept für ein Unternehmen der Sanitärindustrie.

## Weiterbildung

Kern der Weiterbildungsangebote 2020 stellte das von der sequa gGmbH geförderte Projekt ProTalent dar. Im dessen Rahmen wurde zusammen mit dem International Department des KIT sowohl eine Summer School für interessierte Schüler im Bereich Maschinenbau durchgeführt, als auch eine Summer School für die Xian Jiaotong Liverpool Universität im Bereich Industrie 4.0 und Robotik organisiert. Zudem fanden diverse Workshops für chinesische Zulieferer deutscher Unternehmen vor allem zu den Themen Lean Management und Industrie 4.0 statt. Aufgrund der Situation bezüglich Covid-19 wurden die Inhalte in diesem Jahr verstärkt online vermittelt. Über das Projekt ProTalent hinaus führte das GAMI auch 2020 zahlreiche Trainingstage mit internationalen Unternehmen zu den dargestellten Themenschwerpunkten in unterschiedlichen Online-, Offline- und Hybridformaten durch.

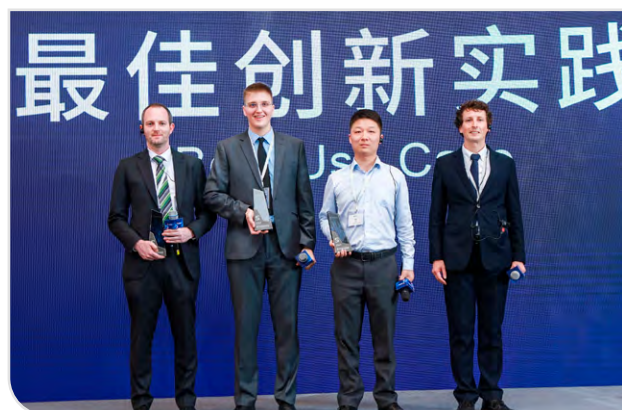
## Veranstaltungen

Trotz Covid-19-bedingter Einschränkungen konnten 2020 am GAMI dennoch insgesamt vier verschiedene Foren und Round Tables zu Themen wie etwa Lean Management in Zeiten von Industrie 4.0, Maschinelles Lernen in der Produktion oder Wandlungsfähige Produktion mit insgesamt über 80 Teilnehmenden als physische Veranstaltungen durchgeführt werden.

Zudem war das GAMI Partner des Mitte Oktober stattfindenden „Smart Manufacturing Application Sharing Forums“, welches zusammen mit ruhlamat Automation Technologies veranstaltet wurde. Auf diesem stellten acht Experten aus Industrie und Wissenschaft den rund 300 Teilnehmenden praxisnahe Innovationen rund um das Thema Industrie 4.0 in Vorträgen und ausgestellten Demonstratoren vor. ■



Demonstrator zum Thema skalierbare Mensch-Roboter-Kooperation



Smart Manufacturing Application Sharing Forum

Partnerschaften aus Forschung und Lehre

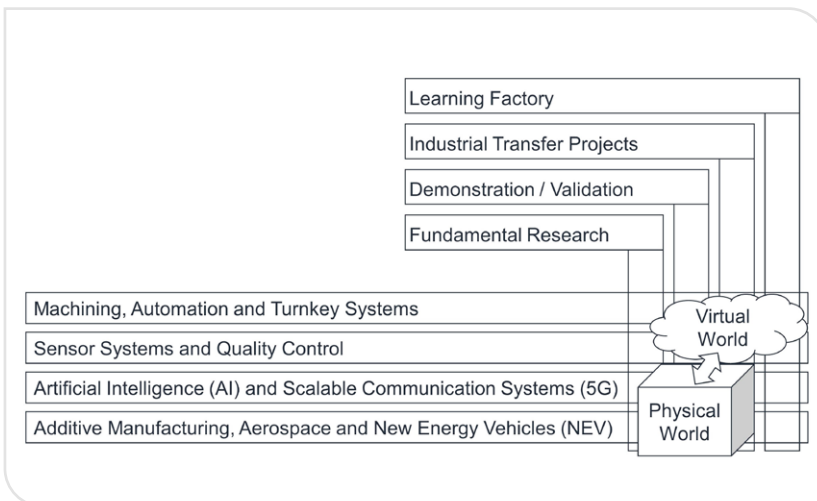
## Advanced Manufacturing Technology Center (AMTC) an der Tongji-Universität in Schanghai

### Chinesisch-deutsche Kooperation

Seit 2012 existiert in Schanghai 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.



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



Strategische Themengebiete des AMTC

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 Industrie 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



Vorlesung „Grundlagen der zerspanenden Fertigung und Werkzeugmaschinen“



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

Das seit 2018 laufende deutsch-chinesische Verbundprojekt I4TP (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 KIT und der Tongji Universität beteiligen sich von deutscher Seite Bosch Rexroth, Schaeffler und Schunk, alle drei bereits Partner des AMTC. Die Chinesischen Firmenpartner iSESOL (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. Aktuell erfolgt die Integration von modularen, standardisierten Produktionseinheiten, welche die im Projektziel genannte rasche Inbetriebnahme und Rekonfiguration demonstrieren werden.

## Konferenzen und Messen

Die seit 2013 jährlich im Herbst stattfindende International Conference on Sustainable Manufacturing (ICSM) musste dieses Jahr Corona-bedingt abgesagt

werden, nach dem 2019 noch ein neuer Teilnehmerrekord verzeichnet wurde. Das AMTC steht jedoch wieder kleineren Besuchergruppen unter verschärften Hygieneauflagen offen. Auf der Messe „Startup Grind Shanghai“ war das AMTC zusammen mit Projektpartnern als Aussteller vertreten, gezeigt wurde ein neuartiges System zur ML-basierten Qualitätskontrolle und Prozessoptimierung für Fertigungssysteme.

## Lehre

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 industrienahen 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 Demo-Validation-Center

## Partnerschaften aus Forschung und Lehre

# Angebote an die Industrie

Das wbk Institut für Produktionstechnik arbeitet eng mit produzierenden Unternehmen weltweit zusammen. Wir bieten für Unternehmen 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 Zahntechnik 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 die Marktführer im produzierenden Umfeld sein, auch kleine und mittlere Unternehmen (KMU) oder spezialisierte Betriebe.

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:

### Fertigungs- und Werkstofftechnik (FWT)

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

### Maschinen Anlagen und Prozessautomatisierung (MAP)

- Entwicklung von Lösungen – von der Handhabung textiler Halbzeuge, über das Condition Monitoring bis hin zur Produktion von Batterien.

### Produktionssysteme (PRO)

- 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.



Bosch-Vorstände am wbk

## Beispielhafte Dienstleistungen:

- Experimentelle Analyse von Fertigungsprozessen
- Parameteroptimierung und Standzeitversuche
- Optimierung der Kühlschmierstrategie in der Zerspanung
- Laserparameter für hochbelastbare additiv gefertigte Bauteile
- Simulationsgestützte Prozessoptimierung FEM-Simulationen
- Werkzeugauslegung für Verzahnprozesse
- Messung im Prozess sowie von Werkstück und Werkzeug
- Einsatz von Sensorik beim Kunden
- Wechselwirkung Fertigungsprozess-Werkstoff
- Prozesskettenbetrachtung
- Maschinenauswahl für Fertigungsprozesse
- Fertigungsgerechte Konstruktion
- Produktionsstrategien in globalen Produktionsnetzwerken
- Standortgerechte Anpassung des Produktionssystems
- Herstellkostenbetrachtungen unter Betrachtung von Dynamik und Stochastik
- Entwicklung von Digitalisierungsstrategien
- Auswahl produktionsintegrierter Messtechnik und Sensorik
- Informationsfusion zur funktionsorientierten Messung
- Konzeption von Qualitätsregelkreisen in der Fertigung hochpräziser Produkte

## Schulungen für Industrievertreter

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.



Vor Ort bei Jenoptik

## Bestandteile unseres Schulungskonzepts:

- Lean Management und Industrie 4.0
- Six Sigma 4.0
- Lieferanten-Management
- Skalierbare Automatisierung
- Machine Learning in produktionsnahen Bereichen
- Prozessüberwachung und Optimierung
- Praxisorientierung und Anwendungsbezug
- Prozesskette zur industriellen Fertigung von elektrischen Antrieben und Batteriemodulen
- Matching zum Abgleich der fertigungstechnischen Kompetenzen
- Entwicklung zum Einstieg in den neuen Markt „Elektromobilität“

## Weitere Informationen und Kontakt

[www.wbk.kit.edu/angebote-an-die-industrie.php](http://www.wbk.kit.edu/angebote-an-die-industrie.php)



Besuch bei Infineon

Bereichsübergreifende Projekte

## InnovationsCampus Mobilität der Zukunft – additive Fertigung und emissionsfreie Antriebe als Schlüsseltechnologien



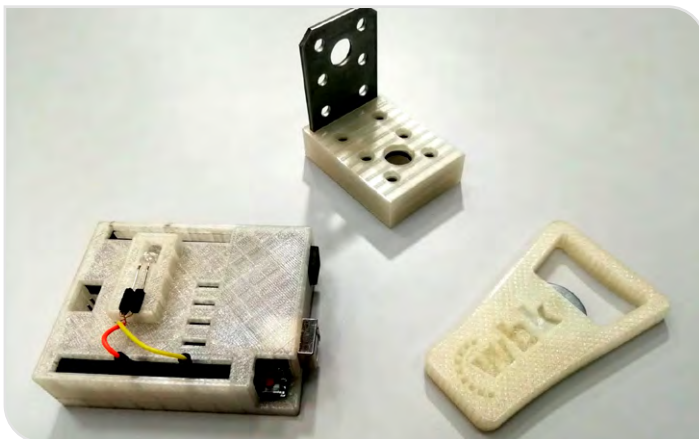
**Ansprechpartnerin am wbk:**  
Dr. Sandra Kauffmann-Weiß  
Telefon: +49 1523 9502655  
sandra.kauffmann-weiss@kit.edu

### Ziel des Vorhabens

Ziel des InnovationsCampus Mobilität der Zukunft (ICM) ist es, durch exzellente Grundlagenforschung in den Bereichen Produktion und Mobilität neue Technologien und Innovationen hervorzubringen. Zur Zielerreichung bündeln im ICM die Universität Stuttgart und das Karlsruher Institut für Technologie (KIT) ihre Kompetenzen transuniversitär und interdisziplinär. Erforscht werden neue Mobilitätsformen, flexible Produktionssysteme und zukünftige Wertschöpfungsketten für eine nachhaltige Mobilität von morgen. Dabei werden die zwei strategischen Forschungsfelder „Advanced Manufacturing“ und „Emissionsfreie Mobilität“ adressiert. Das wbk Institut für Produktionstechnik ist in der ersten Förderphase an vier von zehn Verbundprojekten in der additiven Fertigung beteiligt.



LPBF: Wärmetauscher für Elektromotoren



FFF: Hybride Metall-Kunststoffbauteile

### Vorgehensweise

Die einzelnen Projekte befassen sich mit der additiven Verarbeitung unterschiedlicher Werkstoffe, der Funktionsintegration sowie der Entwicklung und Bewertung von Produktions- und Anlagentechnik. Der Einsatz additiver Verfahren erlaubt dabei neue Freiheitsgrade für zukünftige Fahrzeugkomponenten bzw. neue Mobilitätskonzepte.

Im Laser-Pulverbettsschmelzen (LPBF) wird die Verarbeitung des Werkstoffs AlSi10Mg weiterentwickelt und mittels angepasster Prozessführung werden Poren gezielt in das Material eingebracht. Mechanische Analysen zeigen, dass so leichtere additive Strukturen fertigbar sind. Zur Herstellung von hochkomplexen Keramikbauteilen mit innenliegenden stromführenden Leiterbahnen werden verschiedene Konzepte entwickelt und experimentell untersucht. Als Grundlage dient das stereolithographiebasierte LCM-Verfahren.

Bei der Weiterentwicklung von emissionsfreien Antriebskomponenten zur Steigerung der Drehmomentdichte und der Betriebsfestigkeit stehen neue faserverstärkte Rotorkonzepte im Fokus. Dazu werden Struktursimulationen durchgeführt und experimentelle Funktionsprototypen sowie Konzepte zur produktionstechnischen Umsetzung entwickelt und systematisch bewertet.

Darüber hinaus fokussiert sich das wbk auf die Entwicklung einer Anlage zur Herstellung von hybriden Kunststoffbauteilen mit integrierten metallischen oder mechatronischen Funktionskomponenten für hochkomplexe Bauteile durch Filamentextrusion (FFF).

### Ergebnisse

Die gewonnenen Erkenntnisse fließen unmittelbar in einem Versuchsträger (z. B. Elektromotor) bzw. dem Aufbau einer Demonstrationsanlage ein. Aufbauend auf den Ergebnissen werden für die nächste Förderphase neue Konzepte abgeleitet.

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)

Dissertationen

# Adaptive Produktionssteuerung mittels Reinforcement Learning für die komplexe Werkstattfertigung



## Ziel des Vorhabens

Heutige Produktionssysteme tendieren durch die Marktanforderungen getrieben zu immer kleineren Losgrößen, höherer Produktvielfalt und größerer Komplexität der Materialflusssysteme. Diese Entwicklungen stellen bestehende Produktionssteuerungsmethoden in Frage. Im Zuge der Digitalisierung bieten datenbasierte Algorithmen des maschinellen Lernens einen alternativen Ansatz zur Optimierung von Produktionsabläufen. Daher ist es Ziel der Arbeit, einen Reinforcement-Learning-Ansatz zur Steuerung komplexer Werkstattfertigungssysteme zu entwickeln und umfassend zu analysieren.

## Vorgehensweise

Aktuelle Forschungsergebnisse zeigen eine hohe Leistungsfähigkeit von Verfahren des Reinforcement Learning (RL) in einem breiten Anwendungsspektrum. Im Bereich der Produktionssteuerung haben sich jedoch bisher nur wenige Autoren damit befasst.

Unter den Aufgaben der Produktionssteuerung gewährleistet die Auftragssteuerung (dispatching) eine hohe Leistungsfähigkeit und Flexibilität der Produktionsabläufe, um eine hohe Kapazitätsauslastung und kurze Durchlaufzeiten zu erreichen. Somit wurde im Rahmen der Arbeit die adaptive Auftragssteuerung als Fokus festgelegt.

Im Anschluss wurde eine Methodik entwickelt, welche die Modellierung und Implementierung von RL-Agenten als Dispatching-Entscheidungseinheit adressiert. Bekannte Herausforderungen der RL-Modellierung in Bezug auf Zustand, Aktion und Belohnungsfunktion werden dabei berücksichtigt. Die Einbeziehung realer Systemdaten ermöglicht eine genauere Erfassung des Systemverhaltens als statische Heuristiken oder mathematische Optimierungsverfahren. Zusätzlich wird der manuelle Aufwand reduziert, indem auf die Inferenzfähigkeiten des RL zurückgegriffen wird. Das zugehörige Vorgehensmodell ist in untenstehender Abbildung dargestellt.

## Ergebnisse

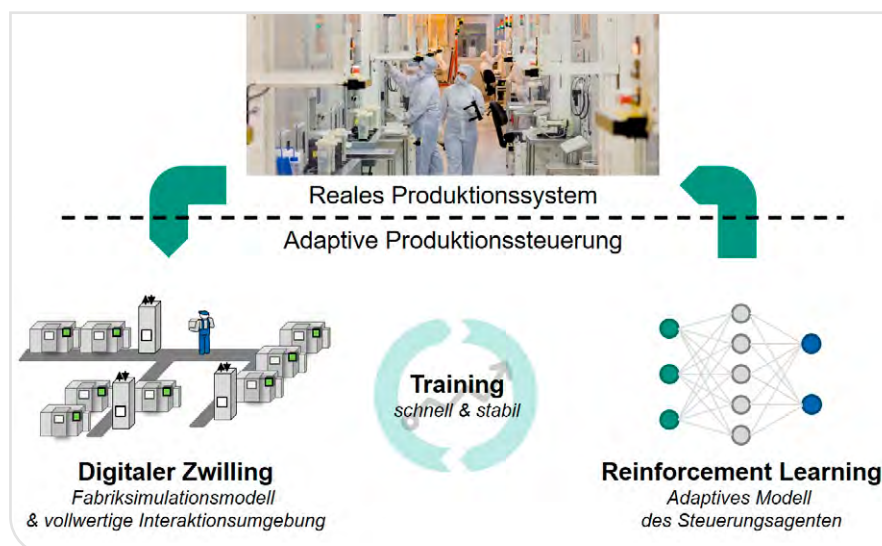
Die Modellierungsalternativen werden auf der Grundlage von zwei realen Produktionsszenarien eines Halbleiterherstellers analysiert. Die Ergebnisse zeigen, dass RL-Agenten adaptive Steuerungsstrategien erlernen können und bestehende regelbasierte Benchmarkheuristiken übertreffen.

Die Erweiterung der Zustandsrepräsentation verbessert die Leistung deutlich, wenn ein Zusammenhang mit den Belohnungszielen besteht. Die Belohnung kann so gestaltet werden, dass sie die Optimierung mehrerer Zielgrößen ermöglicht. Schließlich erreichen spezifische RL-Agenten-Konfigurationen nicht nur eine hohe Leistung in einem Szenario, sondern weisen eine Robustheit bei sich ändernden Systemeigenschaften auf.

Damit stellt die Forschungsarbeit einen wesentlichen Beitrag in Richtung selbstoptimierender und autonomer Produktionssysteme dar. Datenbasierter, lernender Verfahren haben das Potential, in Bezug auf Flexibilität wettbewerbsfähig zu bleiben und gleichzeitig den Aufwand für den Entwurf, den Betrieb und die Überwachung von Produktionssteuerungssystemen in einem vernünftigen Gleichgewicht zu halten. ■



**Ansprechpartner am wbk:**  
Dr.-Ing. Andreas Kuhnle



Lösungsansatz zur Entwicklung einer adaptiven Produktionssteuerung

Dissertationen

## Prozessstrategien für das automatisierte Preforming von bebinderten textilen Halbzeugen mit einem segmentierten Werkzeugsystem



**Ansprechpartner am wbk:**  
Dr.-Ing. Sven Coutandin  
Telefon: +49 1523 9502568  
sven.coutandin@kit.edu

### Motivation und Ziel des Vorhabens

Das Stempel-Preforming in der Binder-Umformtechnik bietet ein großes Potential, um komplexe, schalenförmige Preforms zu fertigen, was einen Schlüsselprozess in der Herstellung von endlosfaserverstärkten Bauteilen darstellt. Einen innovativen Ansatz zur Verbesserung der Preformqualität stellen segmentierte Werkzeugsysteme dar.

Das Werkzeugsystem führt zu einer hohen Anzahl an Möglichkeiten für eine Werkzeugsegmentierung und -sequenz, sodass eine intuitive Definition der Werkzeugeinstellung nicht mehr möglich ist. Zusätzlich verändert das sequentielle Schließen der Werkzeugsegmente die Umformtemperatur sowie -dauer.

Es sind somit geeignete Aktivierungsparameter für ein segmentiertes Werkzeugsystem zu definieren, sodass eine geringer Verformungswiderstand und eine ausreichende Stabilität nach dem Umformvorgang gewährleistet sind.

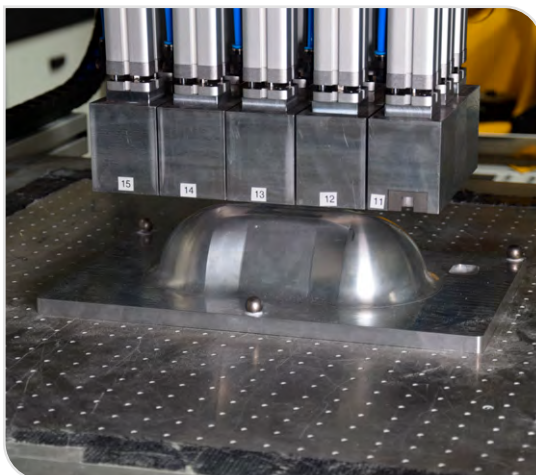
Ziel der Dissertation ist es, eine systematische Vorgehensweise zu entwickeln, die ausgehend von einem Materialsystem und einer Bauteilgeometrie die Prozessstrategie für das Preforming mit einem segmentierten Werkzeugsystem definiert. Die Prozessstrategie umfasst die Werkzeugsegmentierung und -sequenz sowie die Aktivierungszeit und -temperatur.

### Vorgehensweise und Ergebnisse

In der Dissertation werden zur Definition der Prozessstrategie unterschiedliche Modelle entwickelt und validiert, die abschließend zu einem systematischen Vorgehen kombiniert werden.

Ein vereinfachtes Temperaturmodell ermöglicht es, in Abhängigkeit der Material- und Kontaktparameter die Start- und End-Umformtemperatur für verschiedene Werkzeugsegmentierungen und -sequenzen zu berechnen. Die Stabilität des Preforms erfordert eine ausgeglichene Aufteilung der inter- und intralaminaren Binderanteile, für deren Bestimmung ein Tränkungsmodell vorgestellt wird. Es lassen sich somit eine minimale Umform- und Aktivierungstemperatur sowie kurze Aktivierungszeit identifizieren.

Die Definition der Werkzeugsegmentierung basiert auf einer geometrischen Analyse der Bauteilgeometrie. Die Optimierung der Werkzeugsequenz erfolgt anschließend durch eine Kopplung eines FE-basierten Umformmodells mit einem genetischen Algorithmus, der die Faltenbildung im Preform minimiert. Anhand von zwei unabhängige Bauteilgeometrien wird das Vorgehen validiert, mit dem eine Steigerung der Preformqualität erreicht wird. Es ist somit möglich, komplexere Bauteilgeometrien durch die Definition einer Prozessstrategie für das Preforming mit einem segmentierten Werkzeugsystem im Vergleich zu einem globalen Umformwerkzeugs herzustellen. ■



Segmentiertes Werkzeugsystem



Intra-laminarer Binderanteil

Dissertationen

## Modellierung des Fügewickelprozesses zur Herstellung von leichten Fachwerkstrukturen

### Ziel des Vorhabens

Ein verändertes ökologisches Bewusstsein und gesetzliche Rahmenbedingungen führen in industriellen Anwendungen zum vermehrten Einsatz von Leichtbaukomponenten aus Faserverbundwerkstoffen. Vor diesem Hintergrund fokussiert die Arbeit daher ein neuartiges Verfahren zum Fügen von Hohlprofilen aus derartigen Verbundwerkstoffen. Aufbauend auf den vorliegenden Erkenntnissen lag das Ziel der Arbeit darin, die Wickelverbindung und den zugehörigen Fügeprozess zu modellieren, um die Flexibilität und Reproduzierbarkeit des Verfahrens zu erhöhen.

Das Faserwickeln zum Fügen von Hohlprofilen grenzt sich gemäß des Stands der Forschung und Technik durch das hohe Leichtbaupotential und die große Gestaltungsfreiheit von den bisher bestehenden Fügeverfahren ab. Um dieses Potential vollständig auszunutzen, ist allerdings eine vollständige Modellierung von Wickelpfaden und -mustern sowie der Bewegungen im Prozess notwendig.

### Vorgehensweise

Im ersten Schritt werden die für die Modellierung relevanten Einflussgrößen identifiziert und die Varianz an möglichen Wickelmustern durch manuelle Wickelversuche ermittelt. Die Reibung der Fasern beim Ablegen auf der Profilloberfläche wird als wichtiger Parameter bei der Modellbildung detaillierter untersucht. Die Modellierung der Wicklungen zur Erzeugung der Fügeverbindung erfordert zunächst die mathematische Beschreibung der Oberflächen beider Profile. Ein iterativer Algorithmus optimiert dabei den Kurvenverlauf hinsichtlich der maximalen

Rutschneigung, um ein Verrutschen der Fasern durch zu große Krümmungsänderungen beim Ablegen zu vermeiden. Die Modellierung der Bewegungen während des Prozesses basiert auf einer geometrischen Betrachtung des Vertikal-Knickarm-Roboters sowie des Wickelrings. Zusammen mit den diskreten Punkten des modellierten Wickelmusters sowie den Geometrieparametern der Profile können die einzelnen Gelenkstellungen sowie die Rotorposition des Wickelrings mittels inverser Kinematik für jeden Bewegungsschritt ermittelt werden.

### Ergebnisse

Die Wickeleinheit wird konstruktiv umgestaltet und in einem Prototyp mit neuem Antriebs- und Lagerungskonzept des Rotors sowie einem selbstregelnden Vorspannungsmodul aufgebaut. Die für die Bewegungen notwendigen Steuerungsbefehle werden mittels einer entwickelten Methodik automatisiert anhand der vorhandenen Modelle abgeleitet und in maschinenlesbare Schritte übersetzt.

Die abschließende, erfolgreiche Validierung der Modelle erfolgt durch experimentelle Wickelversuche mit unterschiedlichen Profilen. Die hergestellten Fügeverbindungen werden kamerabasiert untersucht und die Ist-Position der einzelnen Wicklungen mit den Soll-Positionen aus der Modellierung verglichen. Die Ergebnisse zeigen unter Berücksichtigung der getroffenen Annahmen und Vereinfachungen eine Abweichung der Mittelwerte zwischen Modell und realen Wicklungen von 2,22 mm bis 3,53 mm. Der Fehler bei der Abschätzung der Prozesszeit durch das Modell liegt bei maximal 3,8 Prozent. Die benötigte Rovinglänge für eine Wicklung kann mit einer Ungenauigkeit von 0,9 Prozent berechnet werden. ■



**Autor:**  
Dr.-Ing. Marius Dackweiler



Profilverbindung mittels Fügewickeln



Aufbau des Fügewickelprozesses

Dissertationen

## Prädiktiv-reaktives Scheduling zur Steigerung der Robustheit in der Matrix-Produktion



**Autor:**  
Dr.-Ing. Fabio Echsler  
Minguillon

### Ziel des Vorhabens

Die steigende Unsicherheit hinsichtlich Produktmix und Stückzahlen in Abnehmermärkten erfordert flexible Produktionssysteme wie die Matrix-Produktion. Die Maschinenbelegungsplanung (Scheduling) ist dabei aufgrund der hohen Planungskomplexität eine wesentliche Herausforderung. Es besteht aber auch ein hoher Freiheitsgrad bei der Umplanung, wenn Stationen ausfallen. Ziel der Dissertation war es, ein optimales Verhältnis zwischen Antizipation (prädiktiv) und Reaktion (reaktiv) im Scheduling in der Matrix-Produktion abzuleiten, um eine angestrebte Termintreue auch bei Störungen robust zu erreichen.

### Vorgehensweise

Zunächst erfolgt die Entwicklung eines prädiktiven Verfahrens, das ein Scheduling vor Beginn der Produktion erlaubt. Dieses kann so parametrisiert werden, dass wahrscheinliche Maschinenausfälle bei der Planung bereits durch ein Robustheitsmaß berücksichtigt werden können. Eine Umplanung ist dann bei kleineren Störungen nicht erforderlich.

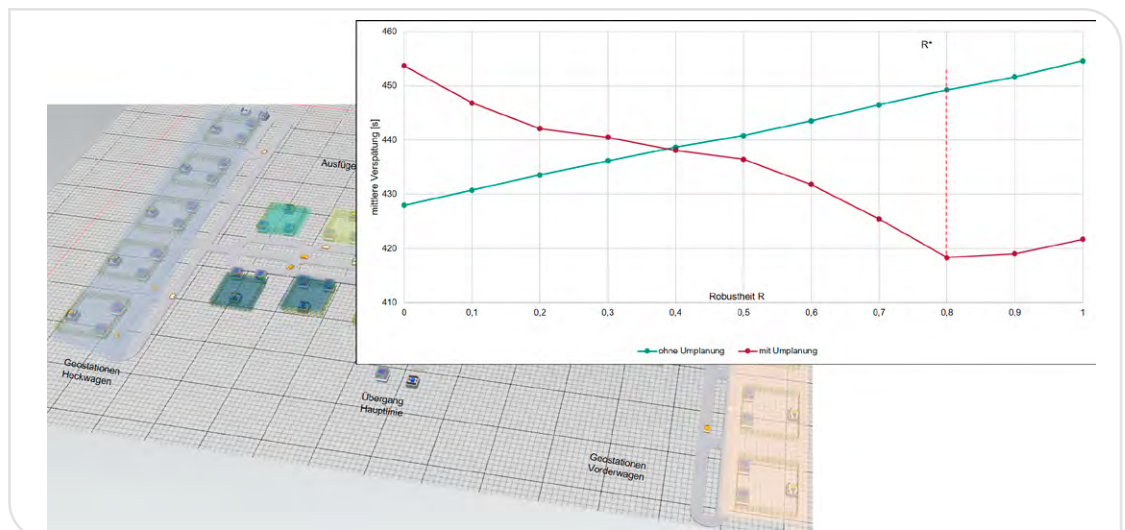
Bei längeren Störungen hingegen ist es nötig, den Schedule anzupassen. Hierfür wird ein lernendes Verfahren für die Umplanung entwickelt, das die jeweilige Situation in der Produktion sowie die zu planenden Aufträge berücksichtigt. Dabei kann während einer Störung echtzeitnah entschieden

werden, wie Aufträge auf welche Stationen umgeplant werden sollen, bis wieder mit dem ursprünglichen Schedule fortgefahren werden kann. Mithilfe einer Ablaufsimulation werden das prädiktive und das reaktive Scheduling gekoppelt und es können unterschiedliche Grade der Antizipation von Störungen hinsichtlich ihrer Auswirkung auf die Termintreue in Szenarien analysiert werden.

### Ergebnisse

Das Ergebnis der Methode ist ein Schedule für einen Planungshorizont, der das optimale Maß an kurzen Störungen durch vorgehaltene Leerzeiten abpuffert und nur bei längeren Störungen eine Umplanung erforderlich macht.

Die Erprobung erfolgte anhand einer Matrix-Produktion im Karosseriebau. Zum einen wurde gezeigt, dass lernende Verfahren großes Potenzial für die reaktive Umplanung besitzen, da sie sich – einmal eingelernt – an unterschiedlichste Situationen anpassen können und eine höhere Leistungsfähigkeit als statische Prioritätsregeln besitzen. Zudem wurde gezeigt, dass ein optimales Maß der Antizipation ermittelt werden kann, welches die Termintreue maximiert. Das bedeutet, dass für eine maximale Termintreue manche Störungen vorab berücksichtigt werden sollten, während die Auswirkungen längerer Störungen durch eine reaktive Umplanung korrigiert werden sollten. ■



Ablaufsimulation der Matrix-Produktion und ermittelte optimal Robustheit



Dissertationen

## Prozessmodellierung des Fünf-Achs-Nadelwickelns zur Implementierung einer trajektorienbasierten Drahtzugkraftregelung

### Ziel des Vorhabens

Die Produktion elektrischer Antriebsstränge findet derzeit nur teilweise in Deutschland statt. Durch seinen neuen Einsatz als Traktionsantrieb im Fahrzeug steigen jedoch die Anforderungen an den Elektromotor im Vergleich zum Einsatz als Antriebsselement in beispielsweise einer Werkzeugmaschine. Mit den neuen Anforderungen an den Traktionsmotor und den damit verbundenen Produktentwicklungen müssen neue Produktionsverfahren entwickelt und etabliert werden.

Die Wicklung des Stators, die das elektromagnetische Feld erzeugt, ist eine Komponente, deren Leistungsmerkmale wesentlich durch die Fertigungstechnik beeinflusst werden. Die Wickeltechnologie ist eine forschungsseitig noch nicht lange untersuchte Fertigungstechnologie, die das formschlüssige Fügen von Kupferlackdraht um das Eisenblechpaket bezeichnet. Das im Rahmen dieser Dissertation zu untersuchende Fünf-Achs-Nadelwickelverfahren ermöglicht es, flexibel hochdrehende Elektromotoren für die Anwendung in batterieelektrischen Fahrzeugen mit einer verteilten Wicklung mit höchstem mechanischem Füllfaktor zu fertigen.

Zielsetzung der Dissertation ist die Frage, ob es möglich ist, durch eine Prozesssimulation und die Erarbeitung einer CAE-Prozesskette eine trajektorienbasierte Drahtzugkraftregelung zu implementieren.

### Vorgehensweise

Zunächst werden die Systemgrenzen definiert und eine analytische Beschreibung der Wickeltrajektorie wird vorgenommen. Anschließend wird geeignete Sensorik in die Maschine integriert, um die im Prozess herrschende Drahtzugkraft messen zu können. Darauf aufbauend folgen die numerische Modellierung der Drahtzugkraft und eine analytische Beschreibung der Wickelmaschine zur Modellierung der Bremsraddehnung. Dann wird die Implementierung der trajektorienbasierten Drahtzugkraftregelung durch den Aufbau einer durchgängigen CAE-Prozesskette vorgenommen. Abschließend werden die Validierung der Implementierung sowie eine Potenzialanalyse der tra-

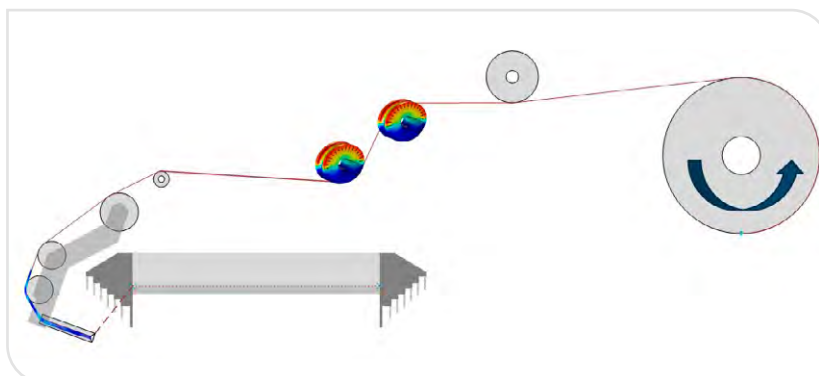
jektorienbasierten Drahtzugkraftregelung für das Fünf-Achs-Nadelwickeln dargestellt.

### Ergebnisse

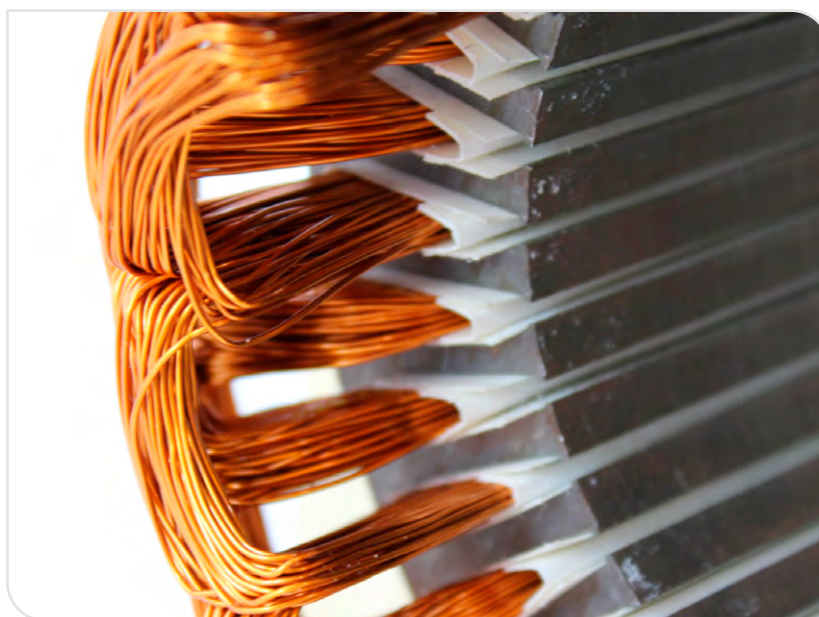
Die Arbeit zeigt, dass es aufbauend auf den Modellierungen und der Erarbeitung der CAE-Prozesskette möglich ist, die trajektorienbasierte Drahtzugkraftregelung auch für den kinematisch deutlich komplexeren Prozess des Fünf-Achs-Nadelwickelns zu implementieren. Die Ergebnisse der Drahtzugkraftauswertung zeigen bei niedriger Wickelgeschwindigkeit den erwarteten Verlauf, der mit der Momentenregelung vergleichbar ist. ■



**Ansprechpartnerin am wbk:**  
Dr.-Ing. Janna Hofmann  
Telefon: +49 1523 950 2584  
janna.hofmann@kit.edu



Prozessmodellierung des Fünf-Achs-Nadelwickelns



Mit dem Fünf-Achs-Nadelwickeln hergestellter Stator eines Elektromotors

Dissertationen

# Transparenzsteigerung in Produktionsnetzwerken



**Autor:**  
Dr.-Ing. Stefan Treber

## Motivation und Zielsetzung

Viele Lieferanten, Produktionsstandorte und Kunden globaler Produktionsnetzwerke tauschen heute oft nur unzureichend Informationen aus. Ihre Zulieferketten und Distributionskanäle sind von Intransparenz geprägt. In der Folge werden Störungen im Auftragsmanagement, der Qualitätsproblembehebung sowie im technischen Änderungsmanagement häufig nicht schnell genug erkannt und beseitigt. Dies verschlechtert die operative Leistung der Produktionsnetzwerke. Die Digitalisierung befähigt Industrieunternehmen zu einem intensiveren Informationsaustausch. Allerdings sind die Wirkzusammenhänge zwischen Störungen, Informationsaustausch und Leistungsfähigkeit bisher unbekannt. Es fehlt ein Ansatz, der ein gegenüber Störungen robustes Zielbild für den Informationsaustausch bestimmt und Maßnahmen zur Umsetzung vorschlägt.

## Vorgehensweise

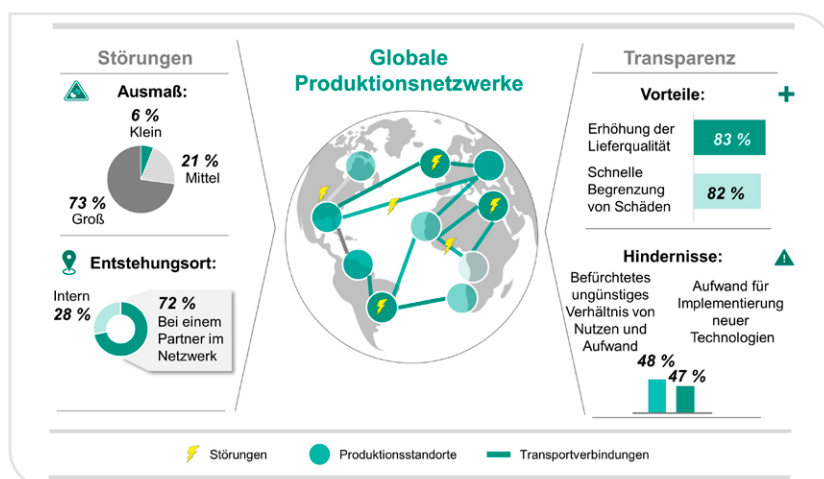
Der entwickelte Ansatz zur Transparenzsteigerung in Produktionsnetzwerken nutzt Beschreibungs-, Analyse- und Umsetzungsmodelle sowie ein übergeordnetes Vorgehen. Die Beschreibungsmodelle bilden zuerst Produktionssysteme, Kennzahlen, Störungen, Störungsmanagement und Informationsaustausch in Produktionsnetzwerken deskriptiv ab. Insbesondere die Automobilzulieferindustrie steht im Fokus. Die Analysemodelle bestehen aus einem Simulations- und einem Versuchs-Framework. Das Simulations-Framework implementiert die Be-

schreibungmodelle in einer ereignisdiskreten und agentenbasierten AnyLogic-Ablaufsimulation. Das Versuchs-Framework nutzt in Matlab implementierte, statistische Verfahren zur gezielten Auswertung des Simulations-Frameworks. Screening-Versuche identifizieren zuerst Störungen und Informationen, deren Auftreten beziehungsweise Austausch signifikant auf die Leistung von Produktionsnetzwerken wirken. Um in kurzer Zeit und ohne Rückgriff auf die Simulation Kennzahlenwerte für beliebige Kombinationen aus signifikanten Störungen und Informationen voraussagen und visualisieren zu können, werden Metamodelle (englisch: surrogate model) an das Verhalten der Simulation angepasst. Die Metamodelle sind zuletzt Eingangsgrößen einer robusten Optimierung, welche den Zielzustand des Informationsaustauschs im Produktionsnetzwerk bestimmt. Die Umsetzungsmodelle bestehen aus praxistauglichen Maßnahmen aus den Bereichen Anwendungssysteme, etwa Einführung von Elektronischem Datenaustausch (EDI)), Infrastruktur (wie Tracking von Objekten) sowie Standards (wie Nutzung von Quality Data eXchange (QDX)) zur Umsetzung des Informationsaustauschs. Das Vorgehen dient der Anwendung der Modelle und steigert somit die Transparenz in der Praxis.

## Beispielhafte Anwendung

Der Ansatz wird auf ein Produktionsnetzwerk zur Fertigung von Kunststoff-Metall-Bauteilen eines Stellantriebs für die Automobilzulieferindustrie angewendet. Die Ergebnisse zeigen, dass Informationen des Auftragsmanagements nicht möglichst intensiv, sondern zielgerichtet ausgetauscht werden sollten. In der Qualitätsproblembehebung und im technischen Änderungsmanagement ist ein starker Austausch umzusetzen. Die verstärkte Nutzung des Supply-Chain-Managements-Systems SupplyOn sowie die netzwerkweite Nutzung eines Computer-Aided Quality-Systems (CAQ-System) werden vorgeschlagen.

Zusammenfassend leistet die entwickelte Methodik einen wesentlichen Beitrag, um die Wirtschaftlichkeit von Fließbandabstimmungen im unsicheren Marktumfeld zu erhöhen, in dem die Veränderungsfähigkeit zielgerichtet eingesetzt wird.



Lösungsansatz zur Transparenzsteigerung in Produktionsnetzwerken

Dissertationen

## Strategien zur funktionsorientierten Qualitätsregelung in der Serienproduktion

### Ziel des Vorhabens

Die Herstellung hochpräziser Produkte unterliegt hohen Qualitätsanforderungen, um deren Funktion sicherzustellen. In einigen Fällen übersteigen diese Anforderungen technologische Fertigungsgrenzen. Die Funktionalität hergestellter Produkte kann in diesen Fällen nicht mehr sichergestellt werden. Als Folge werden die Aufwendungen für Nacharbeit und Wertschöpfung non-konformer Produkte größer und die Produktionskosten steigen. Der Ansatz der Qualitätsregelung wird daher in einigen Fällen bereits als Abhilfemaßnahme eingesetzt.

Das Ziel der Arbeit ist es, die Produktqualität hochpräziser Produkte durch den Einsatz funktionsorientierter, intelligenter Qualitätsregelungen in der Produktion zu steigern.

### Vorgehensweise

Um dieses Ziel zu erreichen, erfolgte eine ganzheitliche Modellierung bestehende Strategien der Qualitätsregelung, als Grundlage der Planungsmethode. Anschließend wurde ein Vorgehen zur Modellierung quantitativer Funktionszusammenhänge, unter geringer Unsicherheit, entwickelt. Durch Integration der Funktionszusammenhänge konnten die Qualitätsregelungen zu funktionsorientierten Strategien befähigt werden. Zur Auswahl geeig-

neter Strategiealternativen des jeweiligen Anwendungsfalls wurde eine Metrik entwickelt, die den Einsatz funktionsorientierter Qualitätsregelungen, unter technischen und wirtschaftlichen Aspekten, bewertbar macht. Anhand von Simulationsexperimenten entwickelter Strategiealternativen kann eine gesamtheitliche Strategiebewertung erfolgen. Die Planungsmethode zur Ableitung funktionsorientierter Qualitätsregelungen befähigt zur durchgängigen Anwendung des Vorgehens in der industriellen Praxis.

### Ergebnisse

Der entwickelte Lösungsansatz wurde exemplarisch an der Serienproduktion zur Herstellung automobiler Piezo-Injektoren demonstriert. Durch den Einsatz funktionsorientierter Qualitätsregelungen konnte der First Pass Yield der bestehenden Serienproduktion durch Simulationen um bis zu 2 Prozent, im Vergleich zur bisher eingesetzten, konventionellen Qualitätsregelungen im Status Quo, gesteigert werden. Die Gesamtkosten je konformem Produkt reduzieren sich gleichzeitig um bis zu 1,79 Prozent gegenüber den Gesamtkosten des Status Quo. Eine Steigerung des First Pass Yield in der Serienproduktion des Industriepartners konnte durch die Realisierung der funktionsorientierten Qualitätsregelung bereits nach einem Zeitraum von sechs Monaten validiert werden. ■



**Autor:**  
Dr.-Ing. Raphael Wagner

## ANWENDUNGSFALL IST DIE QUALITÄTSSTEIGERUNG HERGESTELLTER PIEZO-INJEKTOREN

Produkteigenschaften mit sehr hohen Qualitätsanforderung zur Sicherstellung der Produktfunktion „Einspritzung einer präzisen Kraftstoffmenge“



Bewertung funktionsorientierter Strategiealternativen und Implementierung geeigneter Qualitätsregelungen

Dissertationen

# Methodik zur Planung und Konfigurationsauswahl skalierbarer Montagesysteme – Ein Beitrag zur skalierbaren Automatisierung



**Autor:**  
Dr.-Ing. Tom Stähr

## Ziel des Vorhabens

Ziel der vorliegenden Arbeit ist die Ableitung technischer Maßnahmen für die Erreichung der optimalen Wandlungsfähigkeit eines Montagesystems. Die Optimalität der Wandlungsfähigkeit wird zu diesem Zweck anhand der erwarteten Lebenszykluskosten des Montagesystems gemessen. Der Ansatz beschränkt sich auf die Betrachtung von Montagesystemen und schließt die Berücksichtigung der Teilefertigung aus. Die betrachtete Wandlungsfähigkeit soll insbesondere die skalierbare Automatisierung berücksichtigen.

## Vorgehensweise

Die Methodik der Ableitung technischer Maßnahmen zur Erreichung der optimalen Wandlungsfähigkeit besteht aus vier Schritten:

Der erste Schritt ist die Quantifizierung von Volatilität und Unsicherheit auf der Grundlage von Wandlungstreibern, die spezifische Rezeptor-Kennzahlen beeinflussen. Im zweiten Schritt wird der technische Lösungsraum möglicher physikalischer Konfigurationen des Systems entwickelt. Um eine Skalierungsstrategie zu berechnen, wird im dritten Schritt ein Markovsches Entscheidungsproblem formuliert und gelöst. Der vierte Schritt besteht aus der Analyse der Skalierungsstrategie und der Ableitung von Konstruktionsrichtlinien für spezifische Wandlungstreiber,

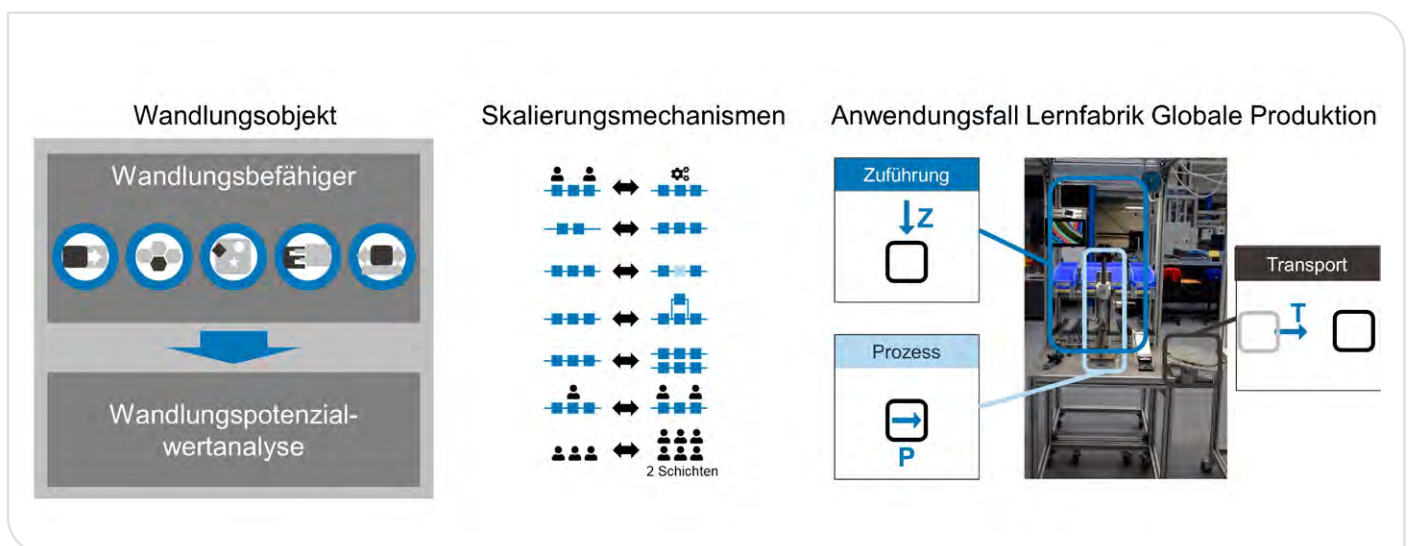
um technische Maßnahmen zur Erreichung der optimalen Wandlungsfähigkeit zu finden. Die Methodik wird am Beispiel der Lernfabrik Globale Produktion erläutert. Erprobt wird der Ansatz anhand eines Herstellers von Hochdruckventilen für den Einsatz in mobilen Brennstoffzellen.

## Ergebnisse

Bisher bleiben die Ansätze im Stand der Technik eine konkrete Aussage über die anzuwendenden Wandlungsbefähiger für spezifische Problemstellungen schuldig. Die Verknüpfung des morphologischen Kastens der Wandlung auf Ebene von Systemabschnitten mit einem Katalog spezifischer Wandlungsbefähiger in der vorliegenden Methodik schließt diese Lücke erfolgreich.

Eine weitere Herausforderung für die Nutzung der Vorteile skalierbar automatisierbarer Montagesysteme ist die Kostenrechnung. Die vorgestellte Methodik bietet einen Ansatz um, unter unsicheren Einflussfaktoren und einer Vielzahl alternativer Investitionsoptionen, optimale Investitionsentscheidungen treffen zu können.

Ein weiteres Ergebnis ist die Erweiterung einstufiger Konfigurationsentscheidungen unter Unsicherheit zu einer Skalierungsstrategie, die über den gesamten Lebenszyklus eines Montagesystems Aktionen vordenkt. ■



Allgemeiner Lösungsansatz

Dissertationen

# Entscheidungsunterstützung für den Industrie-4.0-Methodeneinsatz

## Ziel des Vorhabens

Das Ziel dieser wissenschaftlichen Arbeit ist es, eine Methodik zur Entscheidungsunterstützung für den Industrie 4.0-Methodeneinsatz einer Produktion zu entwickeln. Die Methodik ermöglicht es, auf Grundlage einer zu entwickelnden allgemeinen Methoden-Toolbox für Industrie 4.0 eine nutzen- und aufwandsbasierte Bewertung von Industrie-4.0-Methoden durchzuführen sowie darauf aufbauend relevante Implementierungsreihenfolgen abzuleiten.

## Vorgehensweise

Die Methodik ist in drei Phasen strukturiert. Grundlage der Methodik ist eine allgemeine Methoden-Toolbox. In dieser sind Industrie-4.0-Methoden mittels eines Rahmenmodells grob strukturiert. Alle Industrie-4.0-Methoden werden durch einen Methodensteckbrief genau beschrieben und voneinander abgegrenzt.

Darauf aufbauend werden in der ersten Phase für das Unternehmen relevante Methodenstränge anhand betriebstypologischer Merkmale ausgewählt. In der zweiten Phase werden die den Strängen zugehörigen Methoden hinsichtlich strategischer Zielgrößen und des monetären Aufwands bewertet und Einfüh-

rungsszenarien ausgearbeitet. Basierend auf diesen Einführungsszenarien werden in der dritten Phase Implementierungsreihenfolgen mittels einer System-Dynamics-Simulation abgeleitet und eine individuelle Industrie 4.0 Roadmap vorgeschlagen.

## Ergebnisse

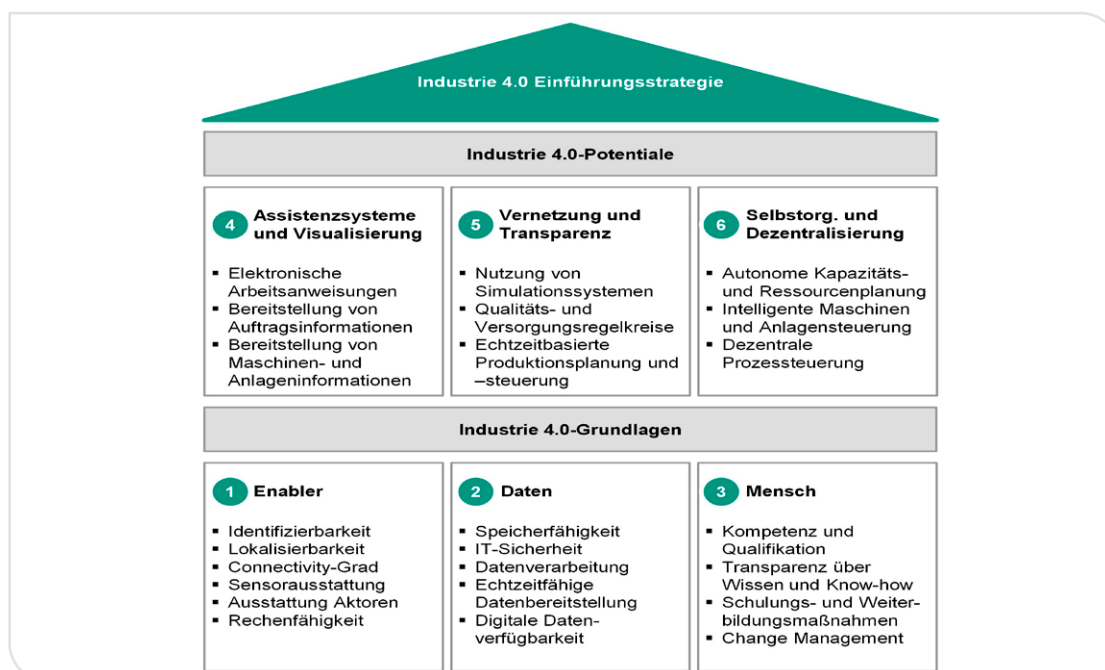
Produzierenden Unternehmen werden durch die Methodik konkrete Handlungsempfehlungen in Form von allgemeinen und unternehmensspezifischen Industrie-4.0-Methoden aufgezeigt.

Dazu wurde eine Methoden-Toolbox auf Basis von Expertenwissen aufbereitet. Um die Industrie-4.0-Methoden praktisch nutzbar zu machen, wurde die Methoden-Toolbox über eine definierte Kombinatorik mit einem Bewertungs- und Simulationsansatz verknüpft und in Form eines modularen Softwaredemonstrators prototypisch umgesetzt. Zusätzlich wurde ein begleitendes Workshopkonzept erstellt.

Die Methodik wurde im Rahmen des vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) geförderten Projekts „Befähigungs- und Einführungsstrategien für Industrie 4.0 (Intro 4.0)“ entwickelt und beispielhaft mit einem Partnerunternehmen aus der Bahnindustrie validiert. ■



**Autor:**  
Dr.-Ing. Christoph Liebrecht



Allgemeine Methoden-Toolbox

Dissertationen

## Entwicklung eines Verfahrensablaufes zur Herstellung von Batteriezellstapeln mit großformatigem, rechteckigem Stapelformat und kontinuierlichen Materialbahnen



**Autor**  
Dr.-Ing. Sebastian Haag

### Ziel des Vorhabens

Die Elektrifizierung des Antriebsstrangs in der Automobilindustrie und die Realisierung der Energiewende erfordern leistungsfähige Energiespeicher. Hierfür weisen elektrochemische Energiespeicher, insbesondere Li-Ionen-Batterien, großes Potential auf. Eine zentrale Herausforderung bei der Herstellung von großformatigen Li-Ionen-Batteriezellen ist die Stapelbildung, die wechselnde Anordnung von Anode, Separator und Kathode. Die Stapelbildung hat maßgeblichen Einfluss auf die realisierbaren Stapeldesigns und damit auf die Eigenschaften einer Batteriezelle. Ein Batteriezellstapel, welcher mit gestapelten Einzelblättern aufgebaut ist, weist die besten Eigenschaften derzeitiger großformatiger Batteriezellen auf. Nachteilig ist bei diesem Stapeldesign jedoch, dass die kontinuierlichen Ausgangsmaterialbahnen zu Einzelblättern konfektioniert werden müssen.

Im Rahmen dieser Arbeit wird ein Stapeldesign konzipiert, welches die positiven Eigenschaften einer einzelblattgestapelten Zelle aufweist und gleichzeitig aus kontinuierlichen Materialbahnen

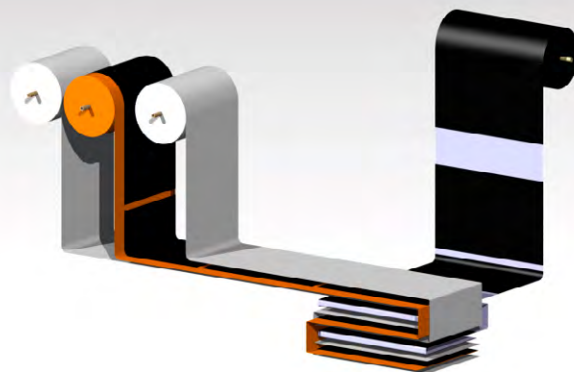
besteht, sodass eine maximale Elektrodenflächenausnutzung der Materialbahnen erzielt werden kann und keine Konfektionierung der Elektrodenflächen erforderlich ist. Kern dieser Arbeit ist es, einen Verfahrensablauf für die Herstellung des Stapeldesigns zu erarbeiten.

### Vorgehensweise

Zunächst werden die wesentlichen Anforderungen an Stapeldesign und Stapelbildung abgeleitet. Basierend auf dieser Analyse erfolgt die Konzeptionierung eines neuen Stapeldesigns. Anschließend wird ein geeigneter Produktionsablauf zur Herstellung des konzipierten Stapeldesigns entwickelt. Von zentraler Bedeutung ist hierbei die Materialbahnformung um 180 Grad. Für diese werden die erforderlichen Materialbahnverläufe definiert und notwendige Werkzeugkomponenten abgeleitet.

### Ergebnisse

Der Nachweis der Prinziptauglichkeit des neuen Verfahrensablaufes erfolgt an der prototypische umgesetzten Materialbahnformung. ■



Neues Stapeldesign

Studium und Lehre

# Leitbild und Zahlen



Studierendenzahlen Studienjahr 2019/2020 im Vergleich zu den Vorjahren.

Anzahl Studierendenanfänger	Studienjahr 2020/21 **	Studienjahr 2019/20	Studienjahr 2018/19	Studienjahr 2017/18	Studienjahr 2016/17
<b>Maschinenbau</b>					
Bachelor		355	450	514	540
Master		314	361	458	706
<b>Wirtschaftsingenieurwesen</b>					
Bachelor		553	603	564	497
Master		332	397	363	438
<b>Gesamt</b>		<b>1554</b>	<b>1811</b>	<b>1899</b>	<b>2181</b>

\*\* Für das Studienjahr 2020/21 liegen noch keine endgültigen Zahlen vor!

## 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.

<b>Vorlesungen</b> (inkl. Übung / Tutorien)	<b>Projektarbeiten</b> (inkl. Praktika, Labore)	<b>Weiterbildung</b> (berufsbegleitend)	<b>Promotion</b> (Assistenzpromotion)
Für die Fakultäten Maschinenbau, Wirtschaftsingenieurwesen und Informatik	Studentische Abschlussarbeiten	Seminare	Strukturierter Promotionsprozess
Einbindung von Gastdozenten aus der Industrie	Industrial Case Studies mit Studierenden	Workshops	Professionalisierung und Persönlichkeitsförderung
Umfangreiches Angebot aus den Bereichen FWT, MAP und PRO	Internationaler Studentenaustausch	Executive Master an der Hector-School	Industrieerfahrung
	Lernfabrik im produktionstechnischen Labor	(Production Operations Management)	Lehrerfahrung
			Internationalisierung (Konferenzen, Forschungsaufenthalte)

## Basiskompetenz durch Methodenausbildung

Analyse-, Planung- &amp; 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
Grundlagen der Fertigungstechnik (WS) Basics of Manufacturing Technology (WS)	Einführung in die Grundlagen und Überblick über die Verfahren der Fertigungstechnik	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
Der Wertstrom im Industrieunternehmen - Am Beispiel der Wertschöpfungskette bei Bosch (WS)	Einblicke in Unternehmensprozesse und Funktionen	Fleischer, Maier
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 und Logistik - Teil 1: 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	Stegmüller, Kienzle
Produktionstechnisches Labor (SS)	Praktische Umsetzung der Kenntnisse über die Komponenten einer modernen Fabrik	Deml, Fleischer, Furmans, Ovtcharova
Projekt Mikrofertigung: Entwicklung und Fertigung eines Mikrosystems (WS)	Entwicklung und Fertigung von Mikrosystemen im Team anhand eines konkreten Entwicklungsprojekts mit einem Projektpartner aus der Industrie	Schulze, Dehen
Qualitätsmanagement (WS)	Qualitätsmanagementmethoden, Fertigungsmesstechnik, statistische Methoden, Service, Zertifizierungsmöglichkeiten, rechtliche Aspekte	Lanza
Steuerungstechnik (SS)	Signalverarbeitung, Detektion und Beeinflussung von Prozesszuständen, elektrische Steuerungen, Bussysteme	Gönnheimer
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 Handhabungstechnik (WS)	Aufbau und Einsatz/Verwendung von Werkzeugmaschinen und Handhabungstechnik, Auswahl, Auslegung und Beurteilung von Werkzeugmaschinen	Fleischer



Studium und Lehre

## Vorlesungsangebot für Studierende des Wirtschaftsingenieurwesens

Veranstaltung	Beschreibung	Dozent
Automatisierte Produktionsanlagen (SS)	Werkstücke, Werkzeuge, Materialfluss, Roboter, Steuerungstechnik, Qualitätssicherung, Montage	Fleischer
Fertigungstechnik (WS)	Prozesswissen der gängigen Verfahren der Fertigungstechnik, Prozessketten	Schulze, Gerstenmeyer
Globale Produktion und Logistik - Teil 1: Globale Produktion (WS)	Globaler Vertrieb, standortgerechte Produktions- und Produkthanpassung, 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
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
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
Qualitätsmanagement (WS)	Qualitätsmanagementmethoden, Fertigungsmesstechnik, statistische Methoden, Service, Zertifizierungsmöglichkeiten, rechtliche Aspekte	Lanza
Seminararbeit Produktionstechnik (WS/SS)	Projekt mit schriftlicher Ausarbeitung zu aktuellen Forschungsthemen - allein oder im Team	Fleischer, Lanza, Schulze
Steuerungstechnik (SS)	Signalverarbeitung, Detektion und Beeinflussung von Prozesszuständen, elektrische Steuerungen, Bussysteme	Gönnheimer
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 Handhabungstechnik (WS)	Aufbau und Einsatz/Verwendung von Werkzeugmaschinen und Handhabungstechnik, Auswahl, Auslegung und Beurteilung von Werkzeugmaschinen	Fleischer

Studium und Lehre

## Auszeichnungen (bis November 2020)

Erneut machten Studierende des wbk Instituts für Produktionstechnik mit herausragenden Arbeiten auf sich aufmerksam. Die Fakultät für Maschinenbau verlieh den Dr.-Ing. Willy Höfler Preis des Jahres 2020 an Andreas Hilligardt für seine Masterarbeit mit dem Titel „Prozessauslegung für das Wälzschälen von Innen- und Außenverzahnungen“.

Der Preis von der Dr.-Ing. Willy-Höfler-Stiftung wird an die jahrgangsbeste Masterarbeit im Bereich Produktionstechnik verliehen.



Preisträger Andreas Hilligardt

Vorlesungen

## Neuer Fokus auf hochpräzise Fertigungssysteme

Die Vorlesung „Werkzeugmaschinen und hochpräzise Fertigungssysteme“ gibt einen Überblick über den Aufbau sowie den Einsatz dieser Anlagen. Der Fokus der Vorlesung verschiebt sich ab diesem Jahr von der Handhabungstechnik hin zu hochpräzisen Fertigungssystemen. Der Schwerpunkt der Werkzeugmaschinen bleibt erhalten. Aus diesem Grund wurde die Vorlesung von „Werkzeugmaschinen und Handhabungstechnik“ in „Werkzeugmaschinen und hochpräzise Fertigungssysteme“ umbenannt.

Im Rahmen der Vorlesung wird ein fundiertes und praxisorientiertes Wissen für die Auswahl, Auslegung und Beurteilung von Werkzeugmaschinen und hochpräzisen Fertigungssystemen dargelegt. Ziel der Lehrveranstaltung ist es, den Studierenden ein Komponentenverständnis zu vermitteln, dass zur breiten Anwendung genutzt werden kann, um so

systematisch das jeweilige Fertigungssystem erstellen zu können. Darüber hinaus wird auf die Datenauswertung und -analyse für Predictive Maintenance und Condition Monitoring eingegangen. Hierzu wird der Einsatz von Methoden des Maschinellen Lernens eingeführt.

Abgerundet wird die Vorlesung durch eine Vielzahl an Maschinenbeispielen. Die aufgeführten Maschinen verdeutlichen das weite Einsatzgebiet sowie die Verwendung von Werkzeugmaschinen und hochpräzisen Fertigungssystemen in der Produktion, wie beispielsweise in der additiven oder spanenden Fertigung. Die Vorlesung ist reich an Beispielen aus der aktuellen Forschung, der industriellen Anwendung sowie der Umsetzung von Industrie 4.0 für die behandelten Thematiken.



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



**Ansprechpartner am wbk:**  
Alexander Puchta, M.Sc.  
Telefon: +49 1523 9502627  
alexander.puchta@kit.edu



Werkzeugmaschine am wbk mit nachgerüsteten Industrie-4.0-Anwendungen

## Vorlesungen

## Spannende Einblicke in internationales Unternehmen im Rahmen einer Ringvorlesung

Im Rahmen der Ringvorlesung „Steuerung eines global agierenden Unternehmens – am Beispiel der Robert BOSCH GmbH“ referieren drei ehemalige und sieben aktive Bosch-Direktorinnen und -Direktoren zu den wesentlichen Unternehmensprozessen und Funktionen sowie den vielfältigen Aufgaben und Rollen des Ingenieurwesens.

Die Studierenden lernen durch wechselnde Inhalte und Unternehmensbereiche entlang des gesamten Wertstroms die Prozesse in einem global agierenden Unternehmen kennen. Besondere Eindrücke erhalten sie durch die Erfahrungsberichte der Bosch-Managerinnen und Manager zu den zentralen Herausforderungen, eigenen Erfolgen oder auch Misserfolgen und Produkt- sowie Prozessinnovationen. Die Studierenden lernen, Probleme an den Schnittstellen zwischen Funktions- und Organisationsbereichen zu erkennen und sie erarbeiten Lösungsansätze, um diese zu überwinden. Der interaktive Austausch mit den Referenten zu fachlichen und persönlichen Erfahrungen macht diese Ringvorlesung besonders attraktiv. Ein weiteres Highlight war in den vergangenen Jahren die externe Vorlesungseinheit mit Führung am Bosch-Standort in Karlsruhe-Hagsfeld.



Robert Bosch GmbH in Karlsruhe-Hagsfeld; Quelle: Robert Bosch GmbH



**Ansprechpartner am wbk:**  
Markus Netzer, M.Eng.  
Telefon: +49 1523 9502601  
markus.netzer@kit.edu

## Vorlesungen

## Mit neuer Lehrveranstaltung Projektarbeit im internationalen Kontext verstehen und erfahren

Grundlage für die neue Lehrveranstaltung „International Production Engineering“ (IPE) war die vorhergehende Analyse zu den Erwartungen an Ingenieure der Produktionstechnik von morgen. Bereits nach Abschluss des Studiums besitzen sie idealerweise fachliches Know-how und die Fähigkeit, methodisch Probleme lösen zu können. Darüber hinaus haben sie im Studium praktische und internationale Erfahrung im industriellen Kontext gesammelt. Um diese Anforderungen zu adressieren, startete zu Beginn des Sommersemesters 2020 erstmalig die neue, über zwei Semester andauernde Lehrveranstaltung „International Production Engineering“. Gemeinsam mit einem Industriepartner, der sowohl in Deutschland als auch in China aktiv ist, wird in einem Team aus fünf Studierenden eine praxisrelevante Industrieraufgabe aus dem Maschinen- und Anlagenbau bearbeitet. Das Sommersemester startet mit der Erarbeitung innovativer Ideen und Konzepte zur Lösung des Problems. Gemeinsam mit dem Industriepartner erfolgt die Auswahl des besten Konzepts, das bis Ende des Semesters detailliert konstruiert, dimensi-

oniert und zur Fertigung freigegeben wird. Begleitend zum praktischen Teil der Lehrveranstaltung bekommen die Studierenden durch das wbk Institut für Produktionstechnik fachlichen Input zu Themen wie Projektmanagement, Simulation, Steuerungstechnik und Sensorintegration. Während die Studierenden sich nach dem Sommersemester auf ihre Prüfungen konzentrieren können, fertigt und beschafft der Industriepartner alle Komponenten. Als ein Highlight der Lehrveranstaltung ist geplant, dass die Studierenden im Wintersemester nach China, an den Standort des Industriepartners reisen, ihr geplantes Projekt in Betrieb nehmen und die Ergebnisse validieren.

Durch die enge Zusammenarbeit mit dem Industriepartner lernen die Studierenden, wie Projektarbeit im industriellen Kontext durchgeführt wird. Darüber hinaus entwickeln sie fachlich breit gefächerte, nicht nur für die Produktionstechnik relevante Kompetenzen. Nicht zuletzt runden die Studierenden ihr Profil durch die Projektbearbeitung im Team sowie den internationalen Aufenthalt ab.



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

## Vorlesungen

## Digitale Vorlesung „Integrierte Produktionsplanung im Zeitalter von Industrie 4.0“



**Ansprechpartnerin am wbk:**  
Carmen Krahe, M.Sc.  
Telefon: +49 1523 950 2591  
carmen.krahe@kit.edu

### Einführung

Die Veranstaltung „Integrierte Produktionsplanung im Zeitalter von Industrie 4.0“ vermittelt den Bachelor- und Masterstudierenden die Grundlagen, Prinzipien und Schritte, die nötig sind, um ein ganzheitliches Produktionssystem zu planen. Für das digitale Konzept wurde eine Mischung aus synchroner und asynchroner Lehre gewählt. Die Veranstaltungsinhalte werden über maximal zehninütige, inhaltlich abgerundete Lehrvideos vermittelt, die eigens für die digitale Lehre angefertigt wurden. Diese sind in einem online zu Verfügung gestellten Syllabus integriert, in dem zusätzlich noch weitere Lernmaterialien, wie Folienskripte, weiterführende Informationen, Übungsaufgaben sowie deren Lösungen, vorzufinden sind. Zweimal pro Woche werden zusätzlich digitale Live-Veranstaltungen abgehalten. Als Vorbereitung hierfür werden die Studierenden angehalten, sich mittels der bereitgestellten Lehrvideos den Stoff im Selbststudium zu erarbeiten. In den Live-Veranstaltungen selbst wird der Vorlesungsstoff durch Praxisbeispiele, interaktive Umfra-

gen und Übungsaufgaben vertieft. Zudem werden zu den thematischen Schwerpunkten entsprechende Industrieexperten eingeladen, die nach einem kurzen Vortrag für eine interaktive Diskussion mit den Studierenden bereitstehen.

Trotz der Umgewöhnung auf das neue Lernformat, fallen die Rückmeldungen der Studierenden, insbesondere durch den starken interaktiven Anteil, sehr positiv aus.



Digitale Vorlesung am wbk

### Projektpraktikum Additive Fertigung

## Vollständige Prozesskette für die Herstellung additiver Bauteile verstehen und praktisch umsetzen



**Ansprechpartner am wbk:**  
Victor Lubkowitz, M.Eng.  
Telefon: +49 1523 9502646  
victor.lubkowitz@kit.edu

Im laufenden Wintersemester 2020/21 findet zum ersten Mal am wbk Institut für Produktionstechnik die neue Lehrveranstaltung „Projektpraktikum Additive Fertigung“ statt. Zu Beginn haben 20 Studierende einen Überblick über gängige additive Fertigungsverfahren im Rahmen einer Blockveranstaltung erhalten. Zudem wurden Themen speziell im Anlagenaufbau und den Wirkmechanismen des pulverbettbasierten Laserstrahlschmelzen (engl. LPBF) vertieft.

gesetzt. In diesem Jahr kommt die Aufgabenstellung vom Karlsruher Formula-Student-Team KA-Racing e.V., das nach Abschluss der Veranstaltung mit einer neu designten, auf Leichtbau getrimmten Komponente an den Start gehen darf.



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

Die Grundlagen der additiven Bauteilgestaltung, die LPBF-Prozesssimulation, die Baujobvorbereitung und -durchführung sowie die anschließende mechanische Fertigbearbeitung runden den theoretischen Teil der Veranstaltung ab. Der Clou: Alle genannten Inhalte werden in Workshops vertieft, wodurch die Anwendung der notwendigen Tools interaktiv gelehrt werden. Das so gewonnene Wissen wird von den Studierenden in fünf Gruppen auf eine externe Aufgabenstellung übertragen und abschließend real um-



Aufbau der Lehrveranstaltung

Winterschule

## Diskussionstag zum Thema „Zukunft der automobilen Antriebe – Worauf müssen wir uns einstellen?“

Nachdem auch die diesjährige Assistentenexkursion aufgrund der Corona-Pandemie entfallen musste, wurde den wissenschaftlichen Mitarbeitenden des wbk am 23. September eine Ersatzveranstaltung in Form eines Diskusstages im Audimax des Karlsruher Institut für Technologie (KIT) geboten. Initiiert durch den Institutsleiter Professor Jürgen Fleischer schloss die Veranstaltung an die Workshops der zweitägigen Winterschule an und rundete so das Programm ab.

Unter erschwerten Bedingungen und mit ausreichendem Abstand zueinander wurde im Rahmen der Veranstaltung die Zukunft der automobilen Antriebe diskutiert. In diesem Zusammenhang wurden insbesondere die Auswirkungen des Mobilitätswandels auf die Arbeit und die zukünftige Ausrichtung des wbk Instituts für Produktionstechnik debattiert: Leitfragen waren etwa: „Welche Auswirkungen hat der Transformationsprozess auf den Entwicklungs- und Produktionsstandort Deutschland?“, „Welchen Beitrag muss und kann die Forschung zu einer erfolgreichen Bewältigung der Zukunft beitragen?“, „Wie ist das wbk aufgestellt?“

Fünf Gastredner skizzierten ihre Einschätzung der aktuellen Situation und zukünftigen Entwicklung des automobilen Antriebs und beleuchteten das Thema aus sehr unterschiedlichen Blickwinkeln. Zu Beginn stellte Thomas Pfund (Leiter Geschäftsbereich E-Motor & Leistungselektronik, Schaeffler Automotive Bühl) die Marktentwicklung von hybriden und elektrischen Fahrzeugen und die damit verbundenen Herausforderungen für Unternehmen in den Vordergrund. Dr. Franz Alt (Fernseh-Journalist und Buchautor) lenkte die Aufmerksamkeit in einem kontrovers diskutierten Vortrag auf die ökologischen Auswirkungen und warb für erneuerbare Energien und batterieelektrische Fahrzeuge.

Dr. Wolfgang Bernhart (Senior Partner at Roland Berger's Automotive Competence Center, Global Head of Advanced Technology Center) erörterte insbesondere die Marktentwicklung auf globaler Ebene und die Batterietechnologie. Professor Thomas Koch vom Institut für Kolbenmaschinen am KIT zeigte in seinem Vortrag die bestehenden Nachteile elektrischer Fahrzeuge auf, stellte alternative Optionen vor und warb für Technologieoffenheit gegenüber allen Antriebstechniken.

Abschließend beleuchtete Roman Zitzelsberger (Bezirksleiter IG Metall Baden-Württemberg) die Thematik aus Sicht der Arbeitnehmer und des Arbeitsmarktes.

Nach den Vorträgen bestand für alle Anwesenden die Möglichkeit, den Gastrednern Fragen zu stellen und offene Punkte mit diesen zu diskutieren. Diese Möglichkeit wurde rege genutzt und führte zu teilweise kontroversen, aber äußerst kurzweiligen Debatten.

Wir danken allen Teilnehmenden und insbesondere den Gastrednern für ihre Beiträge und die spannenden Diskussionen. ■



**Ansprechpartner am wbk:**  
**Felix Fraider**  
Telefon: +49 1523 9502607  
felix.fraider@kit.edu



Spannendes und abwechslungsreiches Alternativprogramm für die wissenschaftlichen Mitarbeitenden

## Abschlussarbeiten

## Masterarbeiten 2020

**Abusabbah, Ramiz**

Machine Learning zur Produktionsplanung kundenindividueller medizinischer Produkte

**Albaalbaki, Ali**

Reinforcement Learning Ansätze in kinematischer Simulation zur Optimierung des Spitzenlos-Durchgangsschleifprozesses

**Ambs, Philipp**

Konstruktion, Projektierung und Aufbau einer Anlage zur automatisierten Herstellung und Montage einer Statorwicklung für elektrische Traktionsantriebe

**Aßmann, Carl**

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

**Bachtin, Alexej**

Inbetriebnahme und experimentelle Parameteranalyse verschiedener Heizmethoden für ein neuartiges Preformverfahren

**Bader, Hannes**

Erarbeitung einer Vorgehensweise zur zyklischen Optimierung von Produktgruppen mit langen und nicht vordefinierten Produktlebenszyklen

**Baehr, Armin**

Die Dynamik des technologischen Wandels in Deutschland und China: Ein System Dynamics Ansatz für die Maschinenbauindustrie

**Bakozahos, Alexandros**

Produktion von Hochvoltbatterien in der Automobilindustrie: Optimierung der Produktionssteuerung unter dem Einfluss einer zunehmenden Batterievarianz

**Bauder, Friederike**

Erstellung eines Defektkatalogs für das Laser-Powder Bed Fusion (L-PBF) Verfahren mit experimenteller Untersuchung

**Beichter, Sebastian**

Entwicklung einer Anlage zum Selektiven Lasersintern von Kunststoffen mit einer automatisierten Einbringung von Endlosfasern

**Ben Othman, Hassen**

Entwicklung sowie Implementierung und Integration von Ansätzen der Bildvorverarbeitung zur Klassifikation von Elektromotoren mittels Deep Convolutional Neural Networks

**Berhalter, Lorenz**

Implementierung eines ROS Nodes zur geodatenbasierten Triggerung von Recordings autonomer Fahrzeuge bei der ZF Friedrichshafen AG

**Biehler, Michael**

KI-basierte Funktionsvorhersage und Messunsicherheitsermittlung von Mikroverzahnungen

**Bliß, Frederick**

Skalierbarer Roll-Out digitaler Track & Trace – Plattformen aus der Business Model-Perspektive

**Blum, Paul**

Untersuchung des Einsatzpotentials der Augmented-Reality-Lösung MiRA an der NH90-Montagelinie und Entwicklung einer Roadmap für die Implementierung

**Brack, Jan**

Entwicklung einer Simulationsumgebung zur Identifizierung und Analyse von Key-Performance-Indikatoren innerhalb globaler Produktionsnetzwerke

**Brand, Johannes**

Digitale Ansätze zur Produktdatenextraktion und Technologiemanagement am Beispiel der Additiven Ersatzteilerfertigung

**Brander, Tim**

Entwicklung eines Algorithmus zur automatisierten Analyse des zeitlichen Wachstums von Pittings auf Videodaten einer Werkzeugmaschinen spindle

**Brecht, Gerrit**

Entwicklung eines Anlagenkonzepts für funktionsintegrierte intelligente 3D-Druck-Verfahren

**Breuner, Helmut**

Technologiepotentialanalyse eines neuen additiven Fertigungsverfahrens

**Briesemeister, Lina**

Entwicklung einer Methodik zur Implementierung einer unternehmensspezifischen Industrie 4.0-Vision

**Bühner, Sophia**

Überwindung von Akzeptanzproblemen bei der Implementierung von Industrie 4.0 durch die Verknüpfung mit Lean Management-Methoden

**Cao, Ailing**

Konzeption einer Roboterzelle für die agile Demontage von Batteriemodule

**Carl, Timon**

Entwicklung eines Verfahrens zur prozessbegleitenden Detektion von Rissen beim Laser Powder Bed Fusion mithilfe akustischer Emissionen und maschinellem Lernen

**Cedzich, Maximilian**

Entwicklung eines Industrie 4.0-Implementierungsmodells, das die Dimensionen Technologie, Organisation, Mensch und Rahmenbedingungen integriert

**Chang, Tzu-Yen**

Programmierung einer Webapplikation zur automatisierten Generierung von G-Code für CNC-Fräsanwendungen

**Chen, Bingke**

Entwicklung einer Methode zur Bewertung von Digital Business Model basierend auf einer Fabrikautomatisierungsplattform

**Chen, Xiangyu**

Verfahren zur kamerabasierten Erhöhung der Stapelgenauigkeit in der Brennstoffzellenfertigung durch maschinelles Lernen

**Chen, Zhehao**

Eine Methode zur Entwicklung eines Funktionsmoduls für eine industrielle Applikation

**Chew, Zhen Yin**

Systematische Entwicklung eines flexiblen Montagemoduls zur Anordnung von Hairpin-Steckspulen für die Fertigung von Statorn elektrischer Antriebe

**Conrad, Patrick**

PFMEA: Erweiterung der Methodik um eine modulare Vorgehensweise und Einsatz als Grundlage für technische Entscheidungsfindungen in der Medizintechnik

**Dallamango, Joli**

Flexible Reaktion auf Störungen während des Produktionsanlaufs in globalen Wertschöpfungsnetzwerken im Zeitalter von Industrie 4.0

**Deng, Xuelin**

Bildabgleich für die Kollisionsvermeidung in Werkzeugmaschinen

**Denneborg, Lukas**

Prozess- und Methodenentwicklung zur In-situ-Rotormagnetisierung - Im Rahmen der Fertigung von Aktivkomponenten und deren Absicherung für hochperformante E-Antriebe

**Ding, Jianzheng**

Klassifikation von Schrauben mithilfe von Computer Vision Ansätzen

**Ding, Junsheng**

Entwicklung und Inbetriebnahme einer Stereokamera für die Messung und Prozessregelung in einer Roboterzelle

**Diringer, Philipp**

Entwicklung eines modularen simulationsbasierten Fabrikplanungsansatzes für den ganzheitlichen Produktionsprozess am Beispiel der Brennstoffzelle

**Drechsel, Kai-Uwe**

Experimentelle und simulative Untersuchung des Einflusses der Prozessstellgrößen bei der hybriden additiven Bauteilfertigung

**Duan, Jiaqi**

Projektierung und Programmierung einer service-orientierten Steuerung für ein Produktionsmodul

**Dufresnoy, Anne-Laure**

Entwicklung einer Methodik zur Verteilung von Entscheidungsautonomie innerhalb globaler Produktionsnetzwerke auf Basis der Unternehmensstrategie

**Dvorak, Julia**

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

**Eitel, Maximilian**

Robustifizierungsmethoden für die Matrixproduktion unter Beibehaltung der Schedule Performance

**Ellwanger, Yannick**

Entwicklung eines Planungsmodells zur Beurteilung der Machbarkeit einer Integration neuer Fahrzeugmodelle auf bestehende Produktionslinien

**Enée, Clara**

Entwicklung einer Ablaufsimulation am Beispiel der wbk Lernfabrik

**Epp, Anton**

Teilautomatisierung einer Batteriemontage

**Erb, Christoph**

Entwicklung des Laserschweißprozesses von Leitfähigkeitsnähten metallischer Bipolarplatten im Bereich PEM Brennstoffzelle

**Erlenmaier, Franz**

Entwicklung und Erprobung eines Verfahrens zur Herstellung weichmagnetischer Kunststoffe für den Einsatz in elektrischen Maschinen

**Ertas, Suzan**

Definition eines Reifegradmodells und Zuordnung von Digitalisierungstechnologien für den Informationsaustausch in Produktionsnetzwerken

**Fang, Zeyu**

Maschinelles Lernen und Vorhersagen für KPI-Systeme

**Fatz, Frederik Sebastian**

Spezifikation und Implementierung eines virtuellen Zellherstellungsprozesses in Plant Simulation zur Analyse von Anlagenspezifika auf die Gesamtprozesskette

**Federhen, Jens**

Online-Auswertung von Schwingungsdaten zur Abschätzung von Oberflächenrauheit und Werkzeugzustand in Werkzeugmaschinen

**Feng, Xin**

Entwicklung einer Methodik zur Auswahl von Sensorlösungen zur Verbesserung der Nachverfolgbarkeit in Produktionsnetzwerken

**Feng, Zelong**

Geometrische Untersuchung des Wälzschleifens und Bestimmung der Durchdringung zur Ermittlung des Zeitspannvolumens

**Finke, Alexander**

Maschinelles Lernen in der Produktionssimulation – Überprüfung der Anwendbarkeit, Erstellung eines Umsetzungskonzepts und beispielhafte Implementierung

**Fischer, Jakob**

Entwicklung eines intelligenten Funktionsmodells zur Qualitätssicherung in der Produktion mittels Datenanalyse

**Fischmann, Patrick**

Entwicklung eines Werkzeugsystems zum Festwalzen des Zahngrundes mit Wälzschälkinematik

**Funk, Rebecca**

Entwicklung eines Prozessmodells zur Unterstützung von Machine Learning-Driven Engineering Projekten

**Gaul, Nils**

Ableitung der Steuerungslogik von Produktionssystemen mittels maschinellem Lernen

**Gegenbauer, Moritz**

Untersuchung der Eignung von akustischer Messtechnik beim Laserstrahlschmelzen (LBM) zum automatisierten Erlernen von Prozessstrategien an einer kommerziellen LBM-Maschine

**Gohl, Lena**

Simulation der Prozesskette hybrider Knieendoprothesen

**Gu, Jiangming**

Maschinelles Lernen in der Produktentwicklung – Repräsentation und Klassifikation von CAD-Modellen

**Gütschow, Tomasz**

Konzeption einer Methodik zur Ableitung intelligenter prozess- und unternehmensübergreifender Qualitätsregelstrategien am Beispiel von Common Rail Diesel Injektoren für Nutzfahrzeuge

**Haas, Simon**

Entwicklung und Implementierung eines flexiblen und modellbasierten Pfadplanungssystems für Flugdrohnen in Produktionssystemen

**Haber kern, Patrick**

Analyse der Adaptivität eines Reinforcement Learning Agenten anhand fluktuierender Nachfrageszenarien in der Produktionssteuerung

**Haizmann, Thomas**

Erarbeitung eines Standards zur intelligenten, automatisierten Erstellung ereignisdiskreter Simulationsmodelle von bereits existierenden Produktionsanlagen mittels Produktionsdaten

**Hansjosten, Malte**

Entwicklung eines intelligenten Kamerasystems zum Condition Monitoring von Kugelgewindetriebsspindeln

**Hartarto, Edwin**

Machine Learning zur Ähnlichkeitsbeurteilung von Bauteilen auf Basis technischer Zeichnungen

**Hartung, Klaus**

Vergleich von additiv, hybrid und konventionell aufgebauten Proben hinsichtlich der Werkstoffeigenschaften und Oberflächengüte bei der Zerspanung des Implantatwerkstoffes Ti6Al4V ELI

**Hauptenthal, Anna**

Technologiemanagement 4.0: Planung hybrider Technologieketten für den 3D-Metalldruck

**Haydn, Ines**

Nachhaltigkeit in globalen Produktionsnetzwerken: Entwicklung eines Vorgehensmodells zur Bewertung der Produktgestalt im Kontext des Remanufacturing

**Heidenreich, Benedikt**

Entwurf und Umsetzung einer Regelung für die Einblasdüse im Faserblasverfahren

**Heim, Markus**

Konzeption und Implementierung eines Konfigurators für ein modulares Industrie 4.0 Produktionssystem

**Heinemann Baptista, Manuel**

Digitales Technologiemanagement durch Planung, integrierter Optimierung und Applikationsanalyse hybrid-additiver Prozessketten

**Heinzel, Yannick**

Weiterentwicklung einer eventgetriggerten bildbasierten Störungserkennung an Werkzeugmaschinen

**Hess, Felix**

Automatische Objektsegmentierung zur bildbasierten Kollisionsvermeidung in Werkzeugmaschinen

**Heuchele, Nina**

Methodik für die Produktionsprogrammplanung von Produkten mit schwankender Kundennachfrage, schneller Auftragsabwicklung und kurzem Produktlebenszyklus

**Hilscher, Arvid**

Machine Learning-Driven Engineering: Anwendung von KI in der Prozess- und Produktentwicklung

**Hoang, Tuan Anh**

Industrie 4.0-Technologiemanagement: Entwicklung und Implementation einer Methodologie zur Planung und Bewertung von hybriden Technologieketten für die additive Fertigung

**von Hörsten, Gero**

Weiterentwicklung eines Konzepts für ein intelligentes Crawler-System zur automatisierten Identifikation und Zuordnung von Datenquellen in Steuerungen von Werkzeugmaschinen

**Huang, Yiming**

Entwicklung eines Webfrontends zur Konfiguration von Greiferfingern

**Janikovits, Micha**

KI-basierte Datenanalyse zur Effizienzsteigerung in halbautomatisierten Montagezellen

**Jiang, Haoran**

Konzeptanalyse einer Prozessverkettung zur Taktzeiterhöhung bei der Batteriezellfertigung

**Jin, Jie**

Modellbildung und numerische Simulation des Betriebsverhaltens eines Strömungsgreifers

**Jin, Yuyang**

Entwicklung einer digitalen Smart-Service-Plattform zur Kontrolle der Produktionskapazität und der globalen Kollaboration

**Kapp, Vadim**

Mustererkennung in multivariaten Zeitreihen – Entwicklung einer robusten Methode zur Ereigniserkennung für intelligente Fertigungsprozesse

**Kaya, Tayfun Murat**

Experimentelle Untersuchung von im Schleuderverfahren hergestellten Faser-Kunststoff-Verbund-Metall-Hybridbauteilen mit Stoffschluss

**Keiner, Lena**

Entwicklung und Evaluation eines Reifegradmodells für die digitale Transformation von Organisation und Führung

**Kengne Kengne, Valasky Jorel**

Praktische Einflussanalyse des Pressens von Wicklungen elektrischer Maschinen

**Kerndl, Felix**

Entwicklung eines Optimierungsmodells zur integrierten Produktallokation und Netzwerkconfiguration in globalen Wertschöpfungsnetzwerken

**KeBler, Jan Nicolas**

Entwicklung einer Roboteranwendung für das Handhaben von Objekten unbekannter Lage und Orientierung

**Kirchner, Jon Frederik**

Die Auswirkungen von Industrie 4.0 Methoden auf Mitarbeitende Ein Ansatz zur menschenzentrierten Industrie 4.0 Methodeneinführung

**Knebel, Lukas**

Evaluation neuer Werkstoffe und Schweißbolzengeometrien beim Lichtbogenbolzenschweißen im Automobil-Karosseriebau

**Köhler, Dominik**

Entwicklung und Validierung eines Simulationsmodells zur grundlegenden Charakterisierung des Wickelns mit verfahrenbaren Wickelwerkzeugen

**Kompa, Tobias**

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



**Kortt, Dennis**

Erarbeitung eines ganzheitlichen, datengetriebenen Konzepts zur Überwachung von Anlagen- und Prozesszuständen

**Kowollik, Raphael**

Konzeptionierung und Integration einer teilautomatisierten Hochvolt-Batterieladestation in eine bestehende Fertigungslinie eines HV-Systems

**Kramer, Steffen**

Einflussanalyse in der Additiven Fertigung von martensitischem Stahl mittels selektivem Laserschmelzen

**Krey, Selina**

Fertigstellung und Inbetriebnahme neuartiger Anlagemodule zur flexiblen Produktion von Li-Ionen-Zellen

**Krieg, Adrian**

Modellierung eines Systems zur Entscheidungsunterstützung als Grundlage für automatisierte Kollaborationsverhandlungen in Wertschöpfungsnetzwerken

**Kriso, Bettina**

Entwurf und Implementierung eines Frameworks für die Datenerfassung in Sensornetzwerken

**Küppers, Kurt**

Robuste Produktionsplanung in Netzwerken unter Berücksichtigung von Unsicherheit

**Langhammer, Patricia**

Digitale Modellierung und physische Implementierung einer Roboterzelle zur Fertigung elektrischer Traktionsmotoren

**Lawnik, Christopher**

Automatisiertes Freifahren von Robotern zur erleichterten Wiederinbetriebnahme von Produktionsanlagen nach Störungen

**Le, Chanh Hieu**

Einfluss fräsbedingter Gestaltabweichungen auf die Festigkeit von Turbolader-Verdichterrädern

**Lei, Tian**

Konzeption und Machbarkeitsanalyse einer bionischen Spindelhalterung für eine Werkzeugmaschine

**Leoni, Moritz**

Generative Modelle zur automatisierten Erstellung und Anpassung von 3D-Modellen

**Lepold, Isabella**

Ausgestaltung eines Konzepts zur Preisbestimmung von Smart Services für produzierende Unternehmen

**Leschinski, Gregor**

Modellierung von Smart Service-Geschäftsmodellen in industriellen Wertschöpfungsnetzwerken

**Li, Boyang**

Konzeptionierung einer Prozessverkettung zur Taktzeiterhöhung bei der Batteriezellfertigung

**Li, Yalun**

Optimierung eines Simulationsmodells zur Vorhersage des Schwingungsverhaltens einer massenadaptierbaren Werkzeugmaschinenkomponente

**Link, Simon**

Elektrisch leitfähiges Kleben im Batteriesystem elektrifizierter Fahrzeuge

**Lippmann, Matthias**

Inbetriebnahme, Regelung und Performance-Messung eines kostengünstigen Zykloidgetriebes zur Erfüllung erhöhter Genauigkeitsanforderungen mithilfe erweiterter Sensorik und Regelungstechnik

**Liu, Fancheng**

Einsatz von maschinellem Lernen für die Formoptimierung von CFK-Preforms

**Liu, Haoran**

Entwicklung eines FEM-Lastmodells zur Untersuchung von Körperschallsensorik an Kugelgewindetrieben

**Liu, Hongshi**

Mehrperiodische Verhandlungen eines OEM mit mehreren Zulieferern in der Automobilindustrie

**Liu, Peng**

Wälzschälern hochfester Innenverzahnungen für Elektromobilgetriebe

**Liu, Xin**

Anforderungsdefinition für Greiferfinger in industriellen Roboteranwendungen

**Liu, Xinhong**

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

**Liu, Yuhui**

Fehlermodellierung in der virtuellen Inbetriebnahme

**Locher, Joshua**

Entwicklung eines Proof of Concepts für die Virtuelle Inbetriebnahme von Pressensystemen

**Loegel, Quentin**

Qualitäts- und Produktivitätsmanagement in OPF mittels Datalake

**Lohmann, Jonas**

Entwicklung eines Simulationsmodells zur systematischen Störungs- & Maßnahmenanalyse in Produktionsnetzwerken

**Lu, Wenhao**

Behandlung ungültiger Aktionen in Reinforcement Learning

**Lucas, Sophie**

Leitfaden zur Implementierung einer Traceabilitylösung am Beispiel einer Getriebeserienproduktion

**Luo, Chuanyu**

Anwendung evolutionärer Algorithmen in der automatisierten Verhandlung

**Luo, Jiawei**

Zerspanungswerkzeug-Zustandsbewertung mittels eines Deep-Learning-Ansatzes

**Luo, Xiang**

Entwicklung eines Prognosemodells für den Materialabtrag und die entstehende Temperatur beim automatisierten Schleifen an Leichtbaukarosserien

**Ma, Ke**

Aufbau und Inbetriebnahme eines Cobot-Versuchsstands für intelligente Greifsysteme

**Marquardt, Raphael**

Entwicklung eines homogenen Metall Matrix Composite auf Basis eines AlSi10Mg Pulvers zur Verarbeitung im pulverbettbasierten selektiven Laserstrahlschmelzen

**Marszallek, Daniil**

Smart Maintenance - Identifikation von Potentialen und relevanten Technologien auf Basis von Risikobewertung in Prozessanlagen

**Martineau, Raphaël**

Technische und wirtschaftliche Bewertung von Fertigungs- und Fügetechnologien für medienführende Schnellkupplungen in der Automobilindustrie

**Massanga-Monkanvula, Lise-Marie**

Implementierung eines Design of Experiments-Verfahrens zur Erhöhung der Robustheit in Produktionsnetzwerken mithilfe eines effizienten reaktiven Störungsmanagements

**Matt, Michael**

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

**Maucher, Sören**

Datenanalyse und Vorhersage von Einhaltung der Zeitbeschränkungen bei der Halbleiterherstellung

**Mayer, Fabian**

Entwicklung und Simulation eines Kennzahlennetzes für das strategische Management in globalen Produktionsnetzwerken

**Mehmedovic, Mahir**

Weiterentwicklung eines KI-Algorithmus zur Mustererkennung an Werkzeugmaschinen

**Mehner, Malte**

Experimentelle und simulative Untersuchung der thermischen Matrixschädigung von CFK durch Widerstandspunktschweißen mittels Inserttechnologie

**Meng, Xing**

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

**Menze, Dominik**

Technische Prozessanalyse der Hardwareseite zur Ermöglichung von Traceability in der Produktion

**Merker, Christian**

Automatisierte Erstellung und Pflege von Ablaufsimulationsmodellen durch Abbildung des Systemaufbaus aus Realdaten

**Merklinger, Philipp**

Maschinelles Lernen in der Produktentwicklung - KI-basierte Empfehlung von Konstruktionsschritten

**Meyer-Garcia, Marcel**

Entwicklung eines optischen Messsystems zur direkten In-Process Überwachung des Laserstrahlschmelzens (L-PBF)

**Miao, Junrong**

Fertigungsoptimierung in der Kleinserie

**Michel, Marius**

Simulation und Steuerung von Matrix-Produktionssystemen im Remanufacturing mit Deep Reinforcement Learning

**Mohr, Lorenz**

Entwicklung und Implementierung eines automatisierten Systems zur Extraktion, Identifikation und Zuordnung von Steuerungsparametern in Werkzeugmaschinen

**Möllers, Hendrik**

Trennen von Klebeverbindungen in Li-Ionen-Batteriemodulen

**Momin, Aizaz**

IT-Architektur für die Kommunikation in globalen Produktionsnetzwerken in Zeiten von Industrie 4.0

**Mu, Yin**

Eine Methode zur lokalisierten Kompetenzentwicklung von Industrie 4.0 durch E-Learning Plattform

**Müller, Anja**

Entwicklung eines Selbst-Checks für Unternehmen zur Bestimmung des Industrie 4.0 Reifegrades unter Berücksichtigung der Dimensionen Technologie, Organisation und Mensch

**Münzenberger, Niels**

Flexible und dezentralisierte Integration von kollaborativen Robotiksystemen

**Nagel, Marius**

Übertragbarkeit ereignisdiskreter Simulationsmodelle mit Hilfe generischer Modelle und Simulationsbausteinen zur Analyse paralleler Produktionslinien

**Neureither, Yannick**

Untersuchung von Stator-Imprägnierverfahren innerhalb der Elektromotorenproduktion

**Nohl, Malte**

Entwicklung eines Montagesystems für die Herstellung von Fahrerlosen Transportsystemen nach Prinzipien des Lean-Managements

**Norouzi, Arash Shater**

Konzeptausarbeitung und Konstruktion einer Anlage zur automatisierten Herstellung und Montage einer Statorwicklung für elektrische Traktionsantriebe

**Ochmann, Dominik**

Konzeptausarbeitung und Konstruktion einer Vorrichtung zur automatisierten Herstellung und Kompaktierung einer Statorwicklung für elektrische Traktionsantriebe

**von Ochsenstein, Claus**

Einflussanalyse von Prozessparametern des selektiven Laserstrahlschmelzens auf die mechanischen Eigenschaften und die Mikrostruktur der Verbindungsstelle in hybriden Fertigungsprozessen mit 1.2709-Werkzeugstahl

**Omidinia, Saina**

Änderungsmanagement in der Prozessplanung vor Serienstart in der Automobilmontage

**Pampus, Oliver**

Optimierung von Produktionsprozessen mittels Datenanalyse

**Pang, Wei**

Entwicklung einer Regelung für den Einblasprozess im Faserblasverfahren

**Petek, Ebru**

Systematische Bewertung und Auswahl eines Greifsystems für den Einsatz in der Brennstoffzellenfertigung in der automobilen Großserie

**Probst, Yannik**

Entwicklung einer Bauraumverkleinerung mit adaptiver homogener Pulverbettheizung für pulverbettbasierte selektive Laserschmelzanlagen

**Puchta, Alexander**

Entwicklung eines Ansatzes zur automatisierten Identifikation von Zeitreihendaten durch Maschinelles Lernen

**Qium, Yao**

Untersuchung und Optimierung eines Machine Vision Systems zur Prozessüberwachung

**Rädler, Christian**

Gestaltung von Skalierungsstrategien für wandlungsfähige Montagesysteme globaler Produktionsnetzwerke bei unsicherer Zukunftsentwicklung

**Rashedi, Roozbeh**

Entwicklung eines neuen Service-Produkts durch die Vereinfachung des Produktlebenszyklus-Informationsmanagements für Produktqualitätsdaten im Rahmen von BaSyx 4.0

**Rdissi, Rania**

Entwicklung eines Vorgehens zur Gestaltung eines Montagearbeitsplatzes für kleine Unternehmen mit geringer Stückzahl und hoher Variantenvielfalt

**Rebel, Felix**

Weiterentwicklung eines flugfähigen Transportsystems zur Umsetzung und Anwendung von dreidimensionalen Transportwegen

**Reichardt, Elisabeth**

Entwicklung eines neuen digitalen plattformorientierten Abnahmeprozess für alle Mercedes Benz Werke

**Reimold, Axel**

Entwicklung von Feinkonzepten zur Implementierung von Industrie 4.0 zur digitalen Transformation der Montage von Elektromotoren in eine Smart Factory

**Reisig, Carolin**

Untersuchung der Leistungsfähigkeit einer Produktion nach dem Chaku-Chaku Prinzip mittels systematischer Versuche am Simulationsmodell

**Riebs, Simon**

Digitalisierung in der industriellen Montage anhand eines Assistenzsystems

**Riechwald, Lukas**

Weiterentwicklung eines produktbasierten Konfigurators für Produktionsanlagen im Rahmen einer Industrie-4.0-Fabrikautomatisierungsplattform

**Rieger, Aron**

Implementierung der Steuerung für einen Prüfstand zur Untersuchung von Wälzkörperkontakten und deren sensorische Zustandsüberwachung

**Roller, Thorben**

Digitale Informationen über den Zustand von Ladungsträgern

**Rosemeyer, Jannik**

Digitales Shopfloor Management – Einsatz von Künstlicher Intelligenz zur Unterstützung der Mitarbeiter

**Rosenau, Carina**

Ein Digitalisierungskonzept eines Ausstellungsraums am Beispiel des IT Showrooms der SAP SE

**Roth, Felix**

Erweiterung eines modularen Simulationsmodells zum Störungsmanagement in Produktionsnetzwerken

**Rottmann, Patrick**

Experimentelle Untersuchung des Einflusses eines spannkraftvariablen Werkstückspannsystems auf Bauteilschwingungen

**Salan, Aylin**

Technologischer Wandel der Fertigungstechnologien beim Übergang zu alternativen Antriebskonzepten und deren Auswirkungen auf den Wirtschaftsstandort Deutschland

**Sallinger, Nikolas**

Target Costing zur Herstellung der Aktivteile von Elektromotoren im Automotive-Bereich und Abgleich mit den Plankosten

**Sanchez Solis, Ernesto Miguel**

Interaktives Messen von Objektposen für Oberflächenpfadoperationen mit industriellen, 6 DoF Roboterarmen

**Sbongk, Fiona**

Systematische Entwicklung eines hochflexiblen Montagekonzepts für variantenreiche Produktionslinien

**Schäfer, Louis**

Nachvollziehbarkeit der Entscheidungsstrukturen und Skalierbarkeit eines Reinforcement Learning Agentensystems zur Produktionssteuerung in der Halbleiterindustrie

**Schanck, Frank**

Entwicklung Cloud-basierter MES Services – Von der Service Architektur bis zum Geschäftsmodelldesign

**Schlaich, Dominik**

Entwicklung und Anwendung einer Methodik zur Identifikation von Automatisierungspotentialen in der Endmontage

**Schlegel, Sonja**

Entwicklung eines Sensor-Kühlkonzepts zur Überwachung des Verdüsungsprozesses von Metallpulver für das Laser Powder Bed Fusion

**Schmid, Paulina**

Realitätsnaher Ausbau eines Künstlich Neuronales Netzes (KNN) zur Bauzeitvorhersage von additiv gefertigten Produkten für eine frühzeitige wirtschaftliche Bewertung der eingesetzten Technologie

**Schmidgruber, Nils**

Entwicklung und Programmierung eines frei parametrierbaren Fertigungssystems mit synchronen Servoantrieben

**Schmidt, Simon**

Transformation herkömmlicher Produktionssysteme in effiziente Matrix-Produktionen mit Hilfe der Implementierung eines Digitalen Zwillinges

**Schmits, Carl Justus**

Entwicklung einer modularen rekonfigurierbaren Montagelinie für ein Industrie 4.0 Demozentrum im chinesisches-deutschen Kontext

**Schollmeyer, Philipp**

Untersuchung des Einflusses von Materialeigenschaften und Prozessparametern auf den Herstellungsprozess von Lithium-Ionen-Elektroden in der Batteriezellfertigung und Analyse geeigneter Deskriptoren

**Schoof, Juliane**

Entwicklung eines Konzepts zur flexiblen Austaktung einer Variantenfließmontagelinie

**Schott, Stefan**

Entwicklung eines dezentralen Technologieansatzes zur Verbesserung des Auftrags- und Qualitätsmanagements in automobilen Wertschöpfungsnetzwerken mit Hilfe der Distributed Ledger-Technologie

**Schubert, Johannes**

Konzeptfindung und Validierung von Herstellverfahren zur Integration von stromführenden Leiterbahnen in keramischen Grundkörpern

**Schuhardt, Manuela**

Konzeptentwicklung zur automatisierten Integration von Funktionskomponenten in den additiven Fertigungsprozess von Kunststoffbauteilen

**Schuppe, Gilbert**

Entwicklung einer Methodik zur Integration eines Performance Management Systems in globale Produktionsnetzwerke am Beispiel eines mittelständischen Automobilzulieferers

**Schygulla, Fabian**

Kinematische Modellierung des Umformformverhaltens von geflochtenen Preforms zur Prozessoptimierung

**Segschneider, Olaf**

Entwicklung einer robotergeführten Fügeweckleinheit zum Fügen von Leichtbaukonstruktionen mit faserverstärkten Thermoplast-Tapes

**Silberzahn, Alexander**

Aufbau eines analytischen Modells zur Beschreibung der Drahtzugkraft beim Wickeln automobiler Statoren

**Simon, Lenard**

Weiterentwicklung einer akustischen Prozessüberwachung für das Laserstrahlschmelzen (L-PBF) durch Maschinelles Lernen

**Sittel, Ole**

Entwicklung eines Vorgehensmodells zur Identifikation von Industrie 4.0 Potentialen in mittelständischen Unternehmen

**Souga, Fares**

Weiterentwicklung einer Spannvorrichtung

**Steier, Gwen**

Digitalisierung in der Produktion – Entwicklung eines Modells zur Bestimmung des Digitalisierungsreifegrads im deutschen Mittelstand

**Steiner, Friedrich**

Entwicklung und Validierung eines Messsystems zur integrierten Unwuchtmessung in Elektromotoren

**Steinke, Martin**

Ganzheitliches Framework auf Basis von Smart Services als Schlüsselement für Kollaboration in Wertschöpfungsnetzwerken

**Stemmler, Christian**

Designverifikation eines innovativen Elektromotors mit innenliegender Kühlung und integrealem Kunststoffgehäuse mit Hilfe eines Funktionsprototypen

**Stetzler, Lena**

Entwicklung eines Gesamtkonzeptes für die Digitalisierung des Shopfloor Managements im Sonderfahrzeugbau

**Stoll, Maximilian**

Konzeption einer Methodik zur Bewertung qualitätskritischer Bauteile für die unternehmensübergreifende Qualitätsregelung in kollaborativen Wertschöpfungsnetzwerken

**Sun, Yipeng**

Untersuchung des Einflusses von Material- und Anlagenparametern auf die Qualität der Vereinzelung von Elektroden in der Li-Ionen Batterieproduktion

**Sutherland, Robin**

Big Data Analyse zur Taktzeitverkürzung bei End-of-Line Prüfungen am Beispiel der Brennstoffzelle

**Tayebi, Ali**

Prozessstabilisierung durch Verringerung der Rattern-Schwingung beim Spitzenlos-Durchgangsschleifen

**Teske, Anita**

Konzeption einer globalen Produktionsstrategie für die Unternehmenswettbewerbsfähigkeit – Industrielle Anwendung an der Produktion von Antriebskomponenten

**Teufel, Michael**

Datenbasierte Ableitung von Ablauflogiken in Produktionssystemen für die Adaption von Simulationsmodellen

**Thiele, Felix**

Verifikation, Validierung und Modifikation eines Simulationsmodells für regionalisierte Smart Automation Implementierungsstrategien

**Trilken, Johannes**

Entwicklung eines offenen Simulationstools für halbautomatisierte Montagezellen mit modularer Steuerungslogik

**Ulmer, Roman**

Identifizierung der Abhängigkeit zwischen Werkzeugzustand und Spanbildungsfrequenz mittels Akustischen Emissionen für ihre Anwendung in der Werkzeugüberwachung

**Valet, Alexander**

Opportunistische Instandhaltungsplanung in der Halbleiterfertigung auf Basis von Reinforcement Learning

**Verrier, Guillaume**

Verzugsanalyse von wärmebehandelten Luftfahrttriebekomponenten

**Virat, Clément**

Modellbildung für das Kalandrieren von Kathoden für Li-Ionen-Batterien unter Zuhilfenahme von KI-basierten Methoden

**Völkle, Daniel**

Szenarioanalyse als Konzept zur Berücksichtigung von Unsicherheit in der Planung von globalen Produktionssystemen

**Vollmer, Jannik**

Verbesserung eines automatisierten Herstellungsprozesses zur Zellassemblierung für die flexible Batterieproduktion

**Wacker, Christian**

Entwicklung eines Baukastensystems für Roboter Endeffektoren zur Demontage von Elektromotoren

**Wang, Di**

Entwicklung eines montagegerechten Rahmensystems für die Batteriemodulmontage

**Wang, Linan**

Entwicklung eines attributbasierten Produkt-Konfigurators für die Generierung produzierbarer Kundenaufträge in regelbasierten Produktstrukturen

**Wang, Qian**

Entwicklung und Optimierung eines digitalen Zwillings zur Matrix-Produktion

**Wang, Yanglingzi**

Optimierungsprozess der Fabrikumstrukturierungsplanung des Groblayouts von KMU im Sondermaschinenbau

**Wannenwetsch, Marc**

Entwicklung eines künstlichen neuronalen Netzes zur echtzeitnahen Funktionsprognose von Mikrozahnrädern  
Weber, Benjamin  
Prüfung und Demontage von Dauermagneten für das Remanufacturing

**Weber, Tobias**

Entwicklung eines modularen simulationsbasierten Montage- und Prüfsystemplanungsansatzes von der Planung bis zum Betrieb

**Weis, Manuel**

Implementierung eines RFID-gestützten Traceability-Ansatzes in ein Manufacturing Execution System (MES)

**Weiss, Urs**

Entwicklung und Konstruktion einer kompakten, modularen Plattform für die Industrie 4.0

**Weitz, Fabian**

Methodischer Vergleich von topographischen Auswerteverfahren für die flächige Charakterisierung von Mikrozahnrädern

**Wenzel, Manuel**

Gestaltoptimierung eines CFK-Bauteils durch Geometrieanalyse und evolutionären Algorithmus

**Winkler, Lukas**

Entwicklung einer KI-basierten Anomalieerkennung zur Identifikation von Verschleiß in Werkzeugmaschinen

**Wörner, Daniel**

Automatisierung des Remanufacturing: KI-gestützte Bildverarbeitung und multimodale Sensoren zur Objektklassifizierung

**Wu, Fangsheng**

Entwicklung und Implementierung eines Ansatzes mittels Neuronaler Netze zur probabilistischen Klassifikation von Elektromotoren

**Wu, Haide**

Pandemie Präparation: Wie können sich globale Wertschöpfungsnetzwerke auf Pandemien vorbereiten?

**Wurba, Ann-Kathrin**

Entwicklung eines Bildverarbeitungssystems für die automatisierte optische Überwachung von Werkzeugen einer Fertigungszelle

**Xia, Yizhou**

Experimentelle Untersuchung der Ausbreitung von Acoustic Emission in Wälzkontakten

**Xie, Xinyi**

Entwicklung und Evaluation der Prognosefähigkeit einer Ablaufsimulation für Produktionssysteme

**Xie, Yiru**

Entwicklung einer Schnittstelle für die Ansteuerung des Roboterarms UR5e mittels Matlab

**Xu, Junjie**

Entwicklung adaptiver Prozessstrategien für das Faserblasverfahren

**Xu, Wenhao**

Weiterentwicklung eines KI-basierten Assistenzsystems zur Unterstützung in der Konstruktion mit CAD

**Yalcin, Özgür**

Ein Vergleich von traditionellen und Deep-Learning-Modellen für die mehrstufige kurzfristige Bedarfsprognose

**Yang, Jingyi**

Aufbau einer Netzwerkoptimierung unter Berücksichtigung relevanter Kosten

**Yang, Lang**

Verfahren zur optimierten Verteilung von Saugöffnungen in einem Niederdruckflächengreifer

**Yang, Rongrong**

Konzeption von Greifern für das sichere Handhaben von Batteriezelle

**Yang, Xiangyu**

Aufbau der Steuerungsarchitektur einer Roboter Demontagezelle

**Yao, Shiji**

Entwicklung und Durchführung einer Testreihe zur Bestimmung der auftretenden Prozesskräfte während der Demontage von Schraubverbindungen

**Zhang, Dikai**

Modalanalyse und simulativer Vergleich einer semi-aktiven Schwingungsdämpfungskomponente

**Zhang, Ningning**

Konstruktion und Entwicklung einer Cobot-basierten Montagestation mit Echtzeit-KPI-Visualisierung

**Zhang, Yang**

Entwicklung und Optimierung der Kalibrierung eines Robot Vision Systems auf Basis einer Monokular-Kamera

**Zhang, Yichen**

Analyse der industriellen Prozesskette zur Brennstoffzellenherstellung im asiatischen Markt unter Berücksichtigung perspektivischer Entwicklungen

**Zhang, Zihan**

Detektion von Oberflächenfehlern auf Kugelgewindetrieben mittels Deep Learning basierter Objektdetektion

**Zhao, Chenjun**

Theoriegeführtes maschinelles Lernen zur Vorhersage der Metallpulverqualität bei der Gaszerstäubung

**Zheng, Yupeng**

Konstruktion einer Montageanlage für das Hochgeschwindigkeitsstapeln von Lithium-Ionen-Pouchzellen

**Zhong, Chuwei**

Entwicklung einer digitalen Smart-Service-Plattform zur Kontrolle der Produktionskapazität und der globalen Kollaboration

**Zhou, Yuheng**

Entwicklung und Implementierung eines Ansatzes zur segmentationsbasierten Merkmalsextraktion und probabilistischen Klassifikation von Elektromotoren

**Bachelorarbeiten 2020****Ahlbrecht, Jesse**

Entwicklung einer Softwareanwendung zur Darstellung und Speicherung von Maschinendaten im Produktionsumfeld

**Albers, Alexander**

Simulative Bewertung unternehmensübergreifender Qualitätsregelstrategien unter Berücksichtigung technischer und ökonomischer Aspekte am Beispiel von Commonrail-Einspritzsystemen

**Allmendinger, Simeon**

Einsatz von KI-Methoden in der Brennstoffzellenfertigung zur Optimierung eines Greifsystems

**Alshawani, Abdallah**

Entwicklung eines montagegerechten Rahmensystems und eines Demonstrators für die Batteriemodulmontage

**Ammon, Leonie**

Entwicklung eines Produktionsmoduls für Statoren mit kontinuierlicher Flachdrahtwellenwicklung

**Anderlik, Simon**

Untersuchung des Einflusses des Schneidspalts und des Fassvolumengehaltes beim Scherschneiden von Sheet-Molding-Compounds

**Bail, Finn**

Analyse der Vorhersagegenauigkeit verschiedener KI-Algorithmen bei der Ausschussklassifikation von Elektromotoren anhand von Produktionsdaten

**Bartsch, Hannah**

Validierung und Bewertung einer langen und flexiblen Änderbarkeit in der Kundenauftragssteuerung eines Automobilherstellers

**Bauer, Dominik**

Auswirkungen von Veränderungsprojekten auf die Mitarbeitenden und die Bedeutung des Mitarbeitenden-Führungskräfte-Verhältnisses

**Ben Chaabane, Mehdi**

Entwicklung einer webbasierten Simulation für Produktionsprozesse

**Benhaouala, Sedki**

Möglichkeiten zur Untersuchung des Einflusses des Kalandrierens auf die Performance von Lithium-Ionen-Batterien

**Berg, Henning**

Industrie 4.0: Integration von RFID und IO-Link in dezentrale industrielle Informations- und Kommunikationsnetzwerke

**Bicer, Mustafa**

Einfluss der Minimalmengenschmierung auf die Verlustleistung und Wärmeentwicklung eines High-Speed Getriebes

**Bizenberger, Paul**

Entwicklung eines generischen Vorgehens zur Unterstützung der Ausarbeitung geeigneter Kollaborationsszenarien und Entscheidungsfindung

**Bletzer, Simon**

Umsetzung eines Sicherheitskonzeptes und Inbetriebnahme einer MRK Anwendung zur unwuchtminimalen Magnetmontage für Elektroantriebe

**Bolz, Noah**

Entwicklung eines Vorgehens für KMU zur Implementierung von Industrie 4.0 in der Produktion

**Borgel, Daniel**

Konstruktion und Aufbau einer modularen Anlage für das automatisierte Rillen und Vorschieben der Papierisolation für Statornuten

**Brandão de Souza, Francisco**

Digitalisierung und Quantifizierung von Kontaktflächen in der Werkzeugeinarbeitung

**Braun, Bastian**

Detaillierte Analyse elektrischer Antriebsstrangarchitekturen zur Ableitung von Entwicklungstrends und daraus resultierenden Auswirkungen auf den Montageprozess

**Brehmer, Ferdinand**

Konzeptionelle Betrachtung hochproduktiver Anlagen zum Verpacken von Lithium-Ionen-Pouch-Zellen

**Brenneis, Jonas**

Experimentelle Untersuchung des Verschleißes bei der Zerspaltung von Ti-6Al-4V unter variierenden Eingriffsbedingungen

**Brennenstuhl, Felix**

Prozesscharakterisierung des Stream Finishing Verfahrens an einer prototypischen Maschine zur Ableitung eines Serienkonzepts

**Brenner, David**

Untersuchung und Anpassung eines genetischen Algorithmus für die Formoptimierung von UD-Tape Preforms

**Bresnan, Adriano**

Gestaltung und Bewertung eines Greifers für das Stapeln von Bauteilen eines Brennstoffzellenstacks

**Brunnenkant, Finn-Augustin**

Entwicklung eines Zeitreihen-Clustering-Algorithmus zur Erkennung wiederkehrender Bewegungen auf Basis eines Zwei-Stufen-Ansatzes mit DBSCAN

**Burchard, Benedikt**

Konstruktion einer Anlage zum selektiven Lasersintern von Kunststoffen mit einer automatisierten Einbringung von Endlosfasern

**Calisir, Can**

Analysis of the Technological Development of Fuel Cell Technology for Mobility Applications

**Chang, Liu**

Entwicklung und Konstruktion eines Konzepts für das Einzelblattstapeln in der Batteriezellfertigung für die Elektromobilität

**Chen, Ziyu**

Mikrofräsen: Anwendungen, Forschung und Trends

**Chupin, Sergey**

Experimentelle Untersuchung des Einflusses der Einblasparameter auf die Eigenschaften fasergeblasener Preforms

**Corduan, Jan**

Validierung eines Simulationsmodells für ein spannkraftvariables Werkstückspannsystem

**Debowski, Krzysztof**

Messunsicherheitsanalyse der struktursimulierten, mechanischen Eigenschaften eines defektbehafteten Zugstabs aus hybridem SMC

**Detroy, Jan**

Untersuchung von Verschleiß im Wälzkörperkontakt in Maschinenelementen mittels Acoustic Emission und maschinellem Lernen

**Dhakaan, Yash Arvind**

Charakterisierung einer zylindrischen Li-Ionen-Zelle im Zeitbereich unter Verwendung eines Ersatzschaltmodells

**Dick, Alexander**

Entwicklung einer Roadmap zur organisationalen und menschenzentrierten Implementierung von Industrie 4.0

**Dieners, Diane**

Ermittlung der Wirkzusammenhänge zwischen Material- und Maschinenparametern für das Kalandrieren von Kathoden unter Berücksichtigung der Flächenbelastung

**Dold, Susanne**

Konstruktion eines Versuchsaufbaus zur Untersuchung der Faser-Matrix-Anhaftung von faserverstärkten Kunststoffproben hergestellt mit selektivem Lasersintern

**Dressler, Kai-Uwe**

Meta-Modell zur Darstellung von IT-Architekturen und Standards im Kontext einer cloudbasierten unternehmensübergreifenden Vernetzung

**Dughmosh, Mohamad**

Auslegung von Programmsequenzschablonen für nutzerfreundliche, aufgabenorientierte Roboterprogrammierung

**Dürr, Johannes**

Optimierung bestehender Machine-Learning-Modelle zur Taktzeitverkürzung mittels Klassifizierung bei End-of-Line Prüfungen am Beispiel der Brennstoffzelle

**Edalati Nozadi, Mahsa**

Parameterstudie zur Optimierung des Kalandrierens von Kathoden mittels Wärme

**El Bobbou, Sleiman**

Recherche und Analyse des aktuellen Stands der Technik, Forschung und der Patentsituation im Bereich der Drahtzugkraftregelungssysteme

**Fausel, Kathrin**

Entwicklung eines Simulationsmodells zur Analyse des Einflusses eines Smart Services auf ein Produktionssystem

**Fauss, Marcel**

Detaillierte Analyse von E-Antriebssträngen und deren Einzelkomponenten zur Ableitung von Entwicklungstrends und daraus resultierenden Auswirkungen auf den Fertigungsprozess

**Feil, Michael**

Deep Learning-basierter Ansatz zur Anomalieerkennung an CNC-Fräsmaschinen in einer IIoT-Umgebung

**Flaig, Paula**

Untersuchung des Einflusses der Schnittgeschwindigkeit und des Faservolumengehaltes beim Scherschneiden faserverstärkter Kunststoffe

**Frankenhauser, Max**

Untersuchung von Multimaterial 3D-Druck in Bezug auf Grenzschichten und mögliche geometrische Anbindungsoptimierungen

**Frech, Christian**

Materialcharakterisierung und simulative Analyse des Stapelbildungsprozesses für die Lithium-Ionen Zellproduktion

**Frescher, Samuel**

Experimentelle Reinigungsuntersuchung zur Realisierung der Multimaterialfertigung mit dem LCM Verfahren

**Frey, Maximilian**

Beitrag zur Effizienzsteigerung beim selektiven Laserstrahlschmelzen – Laserbasierte Hochtemperaturheizung und Bauplattenpositionierung

**Furtwängler, Fabian**

Anwendung von Data Mining Methoden zur Prozessanalyse in der Produktion

**Gaffga, Yannik**

Untersuchung von Kodierungsverfahren für einen 3D-Scanner mit strukturiertem Licht

**Gehring, Lorenz**

Aufbau eines digitalen Zwillings für eine Fräsmaschine

**Gerber, Jonas**

Konzeption und Entwicklung eines modularen Greiferfingerbaukastens für mechatronische Zweifinger-Parallelgreifer

**Gerner, Johannes**

Systematische Entwicklung eines Anlagenmoduls zur flexiblen Formgebung von Hairpin-Steckspulen für die Elektromobilität

**Gerweck, Maximilian**

Entwurf und Absicherung von Konzepten für das Ausrichten und Fügen von UD-Tape Preforms

**Gese, Simon**

Untersuchung und Gestaltung globaler Wertschöpfungsnetzwerke in netzwerkübergreifender Kollaboration

**Goldschmidt, Raoul**

Entwicklung und Erprobung eines Messsystems zur Bestimmung der Mediaverteilung in hochdrehenden, geschlossenen Stream Finishing Maschinen

**Götz, Marius**

Aufbau und Steuerung einer robotergeführten Extrusionseinheit für großvolumige 3D-Druck Bauteile

**Griener, Marvin**

Konstruktion eines Versuchsaufbaus zur Untersuchung der Wärmeeinflusszone einer Düse zur Endlofaserintegration in ein gesintertes PA12 Bauteil

**Gutiérrez Pérez, Andrea**

Optische 3D-Bestimmung des Werkzeugverschleißes und ihre Anwendung in 3D-FEM-Zerspansimulation

**Hahn, Lasse**

Materialcharakterisierung und simulative FEM-Analyse des Stapelbildungsprozesses für die Lithium-Ionen Zellproduktion

**Hamouda, Abdalla**

Entwicklung und Validierung eines Sensorsystems zur Erfassung kleinskaliger Partikelbewegungen im Stream-Finishing-Prozess

**Hanke, Aaron**

Methodiken zur Entwicklung und Gestaltung von Baukastensystemen am Beispiel des Kreiselzettwenders Volto 1100

**Härter, Peter**

Machbarkeitsanalyse zur automatisierten Kontaktierung von Mechatronik-Subkomponenten im funktionsintegrierten 3D-Druck

**Harz, Nico**

Konzeptionierung, Entwicklung und Durchführung eines Produktentwicklungsprozesses zur Planung einer Green-field Production in BRICS-Staaten

**Heil, Fabian**

Erarbeitung eines Konzepts zur Prozesssicherung der Demontage von Batteriemodulen

**Heilig, Alexander**

Analyse agentenbasierter Reinforcement Learning-Methoden zur Auftragsdisposition in der Werkstattfertigung der Halbleiterindustrie im Kontext agiler Produktionssysteme

**Heintz, Manuel**

Implementierung einer Soft-PLC als Retrofit für Industrie 4.0 Lösungen im Bereich Antriebstechnik

**Henrich, Keno**

Entwicklung eines Baukastens für die Technologieplanung in Demontagesystemen

**Henß, Jan**

Kombinierte Optimierung von Produktdesign und Technologiezuordnung am Beispiel der Hybrid-Additiven Fertigung

**Hermann, Yannik**

Machine Learning zur Ähnlichkeitsanalyse von 3D-Modellen

**Hertweck, Maximilian**

Untersuchung des Einflusses der Einblasparameter auf die Eigenschaften fasergeblasener Preforms mittels Durchlichtaufnahmen

**Hessemann, Sebastian**

Automatisierte Detektion von wiederkehrenden Bearbeitungen in Produktionsmaschinen auf Basis der NC-Sollwertvorgabe

**Hieu Dao, Duc**

Konzeption einer Drahtbeschädigungserkennung für den Nadelwicklungsprozess

**Hillebrands, Johannes**

Untersuchung von Einsatzmöglichkeiten der 3D-MID Technologie in einem Powertool am Beispiel des Akkuschraubers PDC von Festool

**Hoerger, Moritz**

Ableitung strategischer Implikationen reaktiver Maßnahmen für Produktionsnetzwerke und Selektion proaktiver Strategien

**Hoffmann, Maximilian**

Erweiterung eines Magnetfeld-Sensor-Prüfstandes um eine zweite zu messenden Achse

**Hollinger, Verena**

Konzeption eines Use Case spezifischen Machine Learning Leitfadens

**Hora, Gunank**

Experimentelle Untersuchung und Analysen des Einflusses des Einpressvorgangs von Blechpaketen auf die Initialunwucht von Permanentmagnetrotoren

**Horlacher, Patrick**

Entwicklung eines Kommunikationskonzeptes für die roboterbasierte Integration mechatronischer Komponenten bei der additiven Fertigung

**Höschele, Nico**

Optimierung des Druckbildes einer robotergeführten Extrusionseinheit für großvolumige 3D-Druck Bauteile

**Hussein, Ali**

Untersuchungen einer elektrischen Maschine zur Potentialbewertung einer neuartigen Wickelkopf Kühlung

**Ittenbach, Johannes**

Analyse und Simulation des Informationsflusses in globalen Remanufacturing-Netzwerken

**Jain, Jivesh**

Konstruktion einer Vorrichtung für die additive Fertigung von Polymerbauteilen mit integrierten Formgedächtnislegierungsdrähten

**Jamanka, Yunusa**

Entwicklung und Konstruktion eines SMC-Demonstrators und eines variablen Formwerkzeugs mit Rippenstruktur und Sicke

**Jaspers, Marie-Christin**

Entwicklung eines Baukastens für Kreislaufprozesse zur Unterstützung der Prozessentwicklung und Gestaltung von Datensupportsystemen

**Jesse, Florian**

Entwicklung einer Verstärkerschaltung für hochfrequenten Körperschall

**Ji, Hongchen**

Simulative und experimentelle Untersuchung des Klemmvorgangs im Einzelblattstapelbildungsprozess für Lithium-Ionen Batterien

**Jung, Niels**

Entwicklung und Implementierung eines adaptiven Korrekturalgorithmus zur automatisierten Überwachung und Regelung von Fräsprozessen

**Juwono, Jonathan**

Kamerabasierte Positionsbestimmung an einem funktionsintegrierten Greifer für das Stapeln von Brennstoffzellenbauteilen

**Kehm, Felix**

Entwicklung einer Methodik zur flexiblen Reaktion auf Störungen von Produktionsanläufen in globalen Produktionsnetzwerken

**Keller, Eugen**

Entwicklung eines Prüfstands zur Vereinzelung von Separatoren für die Batteriezellfertigung

**Kiefer, Lars**

Produktionssteuerung für eine Matrixproduktion mit Hilfe von angebotsgesteuerten Multiagentensystemen

**Kirchenbauer, Max**

Entwicklung eines Positionierungssystems für die Lasertexturierung von rotationssymmetrischen Bauteilen

**Klaus, Oliver**

Entwicklung eines KI-basierten Recommender-Systems zur Produktionsauftragsvergabe in verteilten Produktionsnetzwerken



**Kleim, Sebastian**

Automatisierung einer additiven Fertigungsanlage zur Herstellung funktionsintegrierter Bauteile

**Klumpp, Jeannine**

Untersuchung des Ableitermontageprozesses zur Taktzeiterhöhung bei der Batteriezellfertigung für die Elektromobilität

**Knipper, Justin**

Systematische Weiterentwicklung einer Softwareumgebung zur Validierung von Drahtverläufen innerhalb Nuten elektrischer Maschinen

**Kobuß, Pascal**

Entwicklung eines Simulationsmodells zur Analyse des Aufheizverhaltens von bebinderten Faserpreforms

**Koch, Dominik**

Metamodellierung der mechanischen Eigenschaften eines defektbehafteten, hybriden Sheet Molding Compound unter Zugbelastung

**Kochendörfer, Pauline**

Erstellung von Kompetenzmodellen zur organisationalen und menschenzentrierten Implementierung von Industrie 4.0

**Köhler, Lutz**

Weiterentwicklung einer intelligenten KI-basierten Anomalieerkennung am Anwendungsbeispiel Fräsmaschine

**Kolb, Jan**

Recherche von Qualitätssicherungsstrategien für dünne Kunststofffolien mit Fokus auf dem Technologietransfer in die Brennstoffzellenfertigung

**Kolb, Leander**

Erarbeitung und Anwendung ausgewählter Konzepte und Instrumente zur Innovation des Geschäftsmodells eines KMU des produzierenden Gewerbes

**Kraft, Julian**

Entwicklung eines Pick and Place Systems zum Steigern der Geschwindigkeit des Stackings in der Serienproduktion automobiler Brennstoffzellen

**Krause, Jonas**

Konzeptentwicklung einer hybriden Versuchsanlage in der additiven Fertigung von Metallen und Polymeren

**Kreb, Nicolai**

Entwicklung und Konzeption eines Digitalen Zwillings zur Matrixproduktionssteuerung

**Kreß, Jonathan**

Experimentelle Untersuchung und Auswahl von festigkeitsbeurteilenden Prüfmethode für eine zeitoptimierte Qualitätskontrolle von Holzwerkstoffplatten

**Kretschmer, Jakob**

Aufbau eines Prüfstands zur Lokalisierung von Schäden am Kugelgewindetrieb

**Krippner, Achim**

Konzeption einer Kollaborationsmechanik zur Demonstration horizontaler Integration

**Kronenberger, Philipp**

Entwicklung eines Bewertungssystems für digitalisierte Führungsinstrumente in der Produktion

**Kues, Caroline**

Machine Learning für die Qualitätsprognose kritischer Komponenten zur Befähigung der Qualitätsregelung in kollaborativen Wertschöpfungsnetzwerken

**Küppers, Caroline**

Untersuchung der Übertragbarkeit des Einsatzes von Reinforcement Learning in verschiedenen Entscheidungsszenarien in der Halbleiterindustrie

**Kutscher, Caroline**

Beschichtung von Endlosfasern zur Steigerung der Faser-Matrix-Anhaftung

**Lalla, Fabian**

Konzeptionierung, Auslegung und Konstruktion eines Schleuderprüfstandes für Highspeed Anwendungen im Hochtemperaturbereich

**Laub, Jannis**

Konzeption und Entwicklung eines adaptiven Schraubensystems für Roboter

**Lehmann, Chantal-Liv**

Fertigung von bionischen Konturen für Implantate

**Lei, Yu**

Entwicklung eines dynamischen, instationären Wärmestrommodells von Siegelprozessen

**Leinen, Lars**

Entwicklung eines Entscheidungsunterstützungssystems für die Bedarfsplanung im Remanufacturing

**Lindemann, Maren**

Simulation von globalen Produktionsnetzwerken mit Einbezug des Remanufacturing

**Liu, Jo Yuan**

Prozessentwicklung zur Herstellung thermoplastischer Faserverbunde im Faserblasverfahren

**Liu, Lydia**

Entwicklung eines Montagesystems für die Herstellung von Fahrerlosen Transportsystemen nach Prinzipien des Lean-Managements

**Löhner, Philipp**

Konzipierung und Konstruktion einer SLS-Anlage mit integrierter Einheit zur automatisierten Einbringung von Endlosfasern in den Sinterprozess

**Lohrey, Kira**

Entwicklung eines FE-basierten Simulationsmodells für die mehrstufige Formgebung von Hairpin-Steckspulen

**Macean, Patrick**

Untersuchung des Einflusses der Komplementärzersetzung auf offenliegende Poren in additiv gefertigten Bauteilen

**Magin, Tobias**

Entwicklung eines Messsystems für die In-Line Bestimmung des Materialeinzugs beim Preforming

**Maier, Andreas**

Entwicklung eines FE-basierten Simulationsmodells des werkzeuggesteuerten Formgebungsprozesses von Hairpin-Steckspulen

**Mann, Felix**

Simulative Analyse der Komplementärzersetzung

**Männle, Patrick**

Ausgleich von Störeinflüssen zur bildbasierten Kollisionsvermeidung in Werkzeugmaschinen

**Martens, Melanie**

Simulation eines agilen Produktionssystems zur Fertigung von Batteriezellen

**Mayerhofer, Florian**

Entwicklung einer Methodik zur Darstellung von Abhängigkeiten zwischen Zielsystemen und komplexitätsorientierten Einflussfaktoren idealtypischer Unternehmen

**Mertens, Michelle**

Analyse von Wasserstoffelektrolyseuren und deren Entwicklungspotenzial für den Maschinen- und Anlagenbau

**Molz, Jan**

Entwicklung einer Simulation zur Optimierung der Austaktung einer Produktionslinie anhand verschiedener Montagekonzepte und -szenarien

**Mosberg, Maximilian**

Einfluss der Energiedichte beim Selektiven Lasersintern von Polyamid 6 auf die mechanischen Eigenschaften der gefertigten Bauteile

**Nguyen, Thanh Pho**

Methode zur Performancebewertung modularer Produktstrukturen von Greiferfingern

**Osen, Gregor**

Modulares Konzept für Sensorhalterungen an offenen Wälzkörpergetrieben

**Palendran, Pratheepan**

Systematische Entwicklung, Konstruktion und Inbetriebnahme eines Versiegelungsmoduls

**Pehlevan, Batuhan**

Entwicklung von intelligenten Aufbaustrategien zur additiven Herstellung von funktionsintegrierten Kunststoffbauteilen

**Petersen, Julia**

Experimentelle Transferpfadanalyse verschiedener Kühlmittelfluiden für den Elektromotor

**Pörtner, Lara**

Entwicklung eines Tools zur Wirtschaftlichkeitsanalyse von Fertigungsrouten für weichmagnetische Polymer-Rotoren

**Pöschl, Jona**

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

**Pütz, Paul**

Herstellungsverfahren eines Rotors im Leichtbauverfahren mit der Verwendung eines Verbundwerkstoffes aus Metall und Kunststoff

**Qian, Chenkai**

Optimierung von Produktionsfaktoren für die Matrix Produktionsplanung

**Roller, Lukas**

Entwicklung und Konstruktion des Gesamtsystems einer Reinigungsanlage für den LCM Prozess mit Multimaterial-Anwendung

**Rudorf, David**

Leadership 4.0 in der Produktion – Entwicklung eines Konzepts für den digitalen Shopfloor

**Ruppelt, Peter**

Deep Learning basiertes Modell zur Klassifikation von Oberflächendefekten auf Kugelgewindetriebspindeln

**Rutschke, Yann**

Entwicklung und Konstruktion eines modularen Versuchsaufbaus zur Durchführung von Schneidversuchen für Separatoren

**Sagir, Baris**

Untersuchung des Adhäsionsvermögens zwischen einem additiv gefertigten Kunststoffbauteil und einem eingebetteten funktionsintegrierenden Metallinsert

**Saur, Leonard**

Prozessparameterwahl und Prozessvalidierung bei einem neuartigen Biegeprozess für das Preforming von UD-Tapes

**Sauter, Manuel**

Leadership 4.0 in der Produktion – Entwicklung eines Konzepts für den Digitalen Shopfloor  
Schauer, Linus  
Konzeptionierung, Entwicklung und Umsetzung eines Produktentstehungsprozesses zur Planung einer Greenfield-Production in BRICS-Staaten

**Schenkel, Luca**

Reifegradmodell für ein digitales Shopfloor Management

**Schild, Philipp**

Simulation eines mitteleuropäischen Werkes in einem globalen Produktionsnetzwerk unter Berücksichtigung von Autonomiekriterien

**Schindler, Nick**

Entwicklung und Konstruktion eines Ultraschall-Prüfstands zur Charakterisierung von Faserverbundstoffen

**Schlegel, Marius**

Entwicklung und Umsetzung eines regelbaren Heizsystems für Fügeverbindungen mit faserverstärkten Thermoplast-Tapes

**Schlick, Oliver**

Detektion von Fehlstellen mittels Kameraüberwachung beim Fused Deposition Modeling

**Schmidt, Kimon**

Systematische Untersuchung der Einflussfaktoren im Stacking von Brennstoffzellenbauteilen durch statistische Versuchsplanung

**Schnauder, Niklas**

Ermittlung der Einflüsse ausgewählter Prozessstellgrößen auf die additive Fertigung von Kniegelenkprothesen

**Schön, Georg**

Entwicklung eines Use-Cases für einen neuartigen biobasierten ID-Tag am Anwendungsbeispiel Produktpiraterie

**Schülle, Simon**

Methode zur Klassifizierung von Störungen und Ableitung von Aufhebungsmaßnahmen im Einkaufsmanagement am Beispiel der Hansgrohe SE

**Shah, Abhiraj**

Der kulturelle Einfluss auf die Gestaltung des Shopfloor Managements

**Singer, Max**

Numerische Optimierung der Oberflächenstruktur von Lastenleitungselementen für intrinsisch gefertigte Schleuderteile

**Sliti, Nadia**

Entwicklung eines Reifegradmodells zur organisationalen und führungsbezogenen Gestaltung des digitalen Shopfloor Managements

**Sluneko, Anne**

Erweiterung und Optimierung einer automatisierten Fertigungsanlage zur Zellassemblierung für die flexible Batterieproduktion

**Söllner, Yannick**

Experimentelle Werkzeugentwicklung für die Komplementärspannung

**Spuler, Konstantin**

Machine Learning im Produktentstehungsprozess – Konzeptionierung und Ausarbeitung eines intelligenten Konstruktionsassistenten und Implementierung neuer Klassifizierungsalgorithmen

**Stangier, Jonas**

Evaluierung von verschiedenen Demontagestrategien für Lithium-Ionen-Batteriemodule

**Stefan, Marvin**

Entwicklung eines Wärmestrommodells des Siegelvorgangs beim Heißsiegeln von Kunststoffverbundfolien

**Stempfle, Tobias**

Entwicklung eines integrierten Reifegradmodells zur Digitalisierung des Shopfloor Management

**Strack, Daniel**

Entwicklung eines numerischen Tränkungsmodells für das Schleuderverfahren

**Suchy, Laura**

Optimierung einer Anlage zum selektiven Lasersintern mit einer Einheit zur automatisierten Einbringung von Endlosfasern

**Taupitz, Richard**

Konstruktion und Inbetriebnahme von Statoraufnahme und Trenneinheit einer Anlage zum automatisierten Einbringen von Papierisolationen in Statornuten

**Tegeder, Frederik**

Nibbeln faserverstärkter Kunststoffe - Untersuchung prozessbedingter Schädigungen bei unregelmäßigem linearem Vorschub

**Thiel, Justus**

Erstellen eines Dashboards zur Darstellung einer intelligenten, Matlab-basierten Anomalieerkennung im Intranet

**Tonon, Davis**

Definition und Optimierung von Standortrollen der Sammelstandorte in Remanufacturing-Netzwerken

**Tran, Alwin**

Entwicklung eines Algorithmus auf Basis von KI-Methoden zur Erkennung von Wrinkles beim Kalandrieren von hochverdichteten Kathoden

**Trenkle, Alina**

Entwicklung eines Konzepts zur wertstrombasierten und echtzeitfähigen Kennzahlendarstellung im digitalen Shopfloor Management

**Tschmelak, Janek**

Experimentelle Wirkzusammenhangsermittlung für die Herstellung von Elektrode-Separator-Verbänden und Konzeption eines Fügeystems für die Lithium-Batterieproduktion

**Vigener, Paul**

Kosteneinsparpotentiale in der Batterieproduktion durch Automatisierung und Recycling

**Vogel, Lutz**

Untersuchungen zur Prozessfähigkeit und -Sicherheit von Klebprozessen bei FVK Bauteilen im Automotive Umfeld

**Wagner, Benedikt**

Automatisierung des Drapierprozesses für hohle hybride Faser-Metall-Halbzeuge

**Wallner, Christoph**

Nachhaltigkeitssteigerung in der Elektromobilität durch den Einsatz von Kreislaufwirtschaft bei der Herstellung von Antriebskomponenten des Elektroautos

**Wang, Zeyu**

Wirtschaftlichkeitsbetrachtung konventioneller, individueller und modularer Greiferfinger

**Wehrle, Jara**

Risikomanagement für die erfolgreiche Entwicklung einer digitalen Plattform für den sektorübergreifenden Datenaustausch in der Kreislaufwirtschaft

**Wendler, Erik**

Entwicklung eines Versuchsstands zur Positionierung von welligen Elektroden für die Herstellung von Batteriezellen

**Wiedemann, Jonas**

Konzeption und Entwicklung einer flexiblen Spannvorrichtung für die Demontage von Elektromotoren

**Wiltz, Jonathan**

Konzeption und Entwicklung einer Demontagestrategie und eines Demontagewerkzeugs für Elektromotoren

**Windstetter, Lukas**

Konzeption eines KGT-Mutter nahen Kamerasystems zur verschmutzungsresistenten Aufnahme von Bilddaten

**Wurche, Philipp-Daniel**

Weiterentwicklung von intelligenten Clusteransätzen für eine Bewegungserkennung für Werkzeugmaschinen

**Yüce, Abdulkadir**

Untersuchung und Optimierung der Prozessparameter einer 180°-Drehung der Nadel beim Nadelwickeln von Statoren

**Zhurkin, Ivan**

Untersuchungsreihe der Separator-Laminierung anhand von hydraulischen Pressen für die Elektromobilität

**Zink, Fabian**

Eine Methode zur Entwicklung von Softwarekonzepten für unternehmensübergreifende Produkttraceability

**Zirbs, Rebecca**

Prozessfokussierte Anforderungsanalyse des Remanufacturing und Erarbeitung von Automatisierungsmöglichkeiten und Potenzialen der Industrie 4.0 für die Zukunft

**Zwirtz, Nina**

Konzeption eines Modells zur Integration der Prozessschicht in ein Datenmodell am Beispiel des Bosch-Production-System (BPS)



## Veröffentlichungen

(Januar bis September 2020)

### Konferenzbeiträge

*Barton, D. & Fleischer, J. (2020), „Concept for predicting vibrations in machine tools using machine learning“.* Production at the leading edge of technology, Hrsg. Behrens, B.; Brosius, A.; Hintze, W.; Ihlenfeldt, S. & Wulfsberg, J. P., Springer, Berlin, Heidelberg, S. 549-558.

*Bold, B. & Fleischer, J. (2020), „In-Line Messung beim Kalandrieren von NMC 622 Kathoden zur Detektion von wrinkles und Dehnungen zur Erweiterung des Prozessverständnisses“.* Abstracts Batterieforum 2020, Hrsg. Lithium-Ionen-Batterien (KLiB) e. V., S. 14.

*Bretz, L.; Günther, F.; Jost, H.; Schwarz, M.; Kretzschmar, V.; Pohl, M.; Weiser, L.; Häfner, B.; Summa, J.; Herrmann, H.; Stommel, M. & Lanza, G. (2020), „Design and quality assurance of intrinsic hybrid metal-CFRP lightweight structures“.* 4th International Conference Hybrid Materials and Structures 2020, S. 144-156.

*Bretz, L.; Wilke, M.; Häfner, B. & Lanza, G. (2020), „Comparison of anomaly detection capabilities of pulse phase thermography in transmission and reflection setup on Sheet Molding Compound“.* 4th International Conference Hybrid Materials and Structures 2020, S. 108-115.

*Dehen, S.; Segebade, E.; Gerstenmeyer, M.; Zanger, F. & Schulze, V. (2020), „Milling parameter and tool wear dependent surface quality in micro-milling of brass“.* 5th CIRP Conference on Surface Integrity (CSI 2020), Hrsg. Arrazola, P. J., S. 95-100.

*Fleischer, J.; Schäfer, J.; Wöbner, W. & Hofmann, J. (2020), „Leitfaden Fit4E“.*

*Gönzheimer, P.; Puchta, A. & Fleischer, J. (2020), „Automated Identification of Parameters in Control Systems of Machine Tools“.* Production at the leading edge of technology, Hrsg. Behrens, B.; Brosius, A.; Hintze, W.; Ihlenfeldt, S. & Wulfsberg, J. P., Springer, Berlin, Heidelberg, S. 568-577.

*Gonzalez Fernandez, G.; Plogmeyer, M.; Zanger, F.; Biehl, S.; Bräuer, G. & Schulze, V. (2020), „Effect of tool coatings on surface grain refinement in orthogonal cutting of AISI 4140 steel“.* S. 176-180.

*Graf, G.; Leoni, M.; Müller, T.; Fischer-Bühner, J.; Frey, M.; Beckers, D.; Donisi, S.; Zanger, F. & Schulze, V. (2020), „Thermal insulation and laser-based preheating method for processing a ledeburitic tool steel in LPBF“.* Holistic innovation in Additive Manufacturing.

*Halwas, M.; Hausmann, L.; Wirth, F.; Fleischer, J.; Jux, B. & Doppelbauer, M. (2020), „Influences of Design and Manufacturing on the Performance of Electric Traction Drives“.* 2020 International Conference on Electrical Machines (ICEM), Hrsg. IEEE.

*Hausmann, L.; Wirth, F.; Oliveira Flammer, M.; Hofmann, J. & Fleischer, J. (2020), „Aligning vocational training to the electromobile transformation by establishing the „Training Factory Stator Production“ - A methodical deficit analysis with derivation of measures“.* Procedia Manufacturing, Hrsg. Elsevier Ltd., S. 448-453.

*Hillenbrand, J. & Fleischer, J. (2020), „Autoconfiguration of a Vibration-Based Anomaly Detection System with Sparse a-priori Knowledge Using Autoencoder Networks“.* Production at the leading edge of technology, Hrsg. Behrens, B.; Brosius, A.; Hintze, W.; Ihlenfeldt, S. & Wulfsberg, J. P., Springer, Berlin, Heidelberg, S. 518-527.

*Hofmann, J.; Lepold, A.; Fleischer, J. & . (2020), „Analytical modeling of the winding trajectory of the multi-wire needle winding process“.* Elsevier, S. 497-502.

*Hofmann, J.; Wurba, A.; Bold, B.; Maliha, S.; Schollmeyer, P.; Fleischer, J.; Klemens, J.; Scharfer, P. & Schabel, W. (2020), „Investigation of Parameters Influencing the Producibility of Anodes for Sodium-Ion Battery Cells“.* Production at the leading edge of technology, Hrsg. Behrens, B.; Brosius, A.; Hintze, W.; Ihlenfeldt, S. & Wulfsberg, J. P., Springer, Berlin, Heidelberg, S. 171-181.

*Kain, M.; Miqueo, A.; May, M. C. & Häfner, B. (2020), „Metal Additive Manufacturing of Multi-Material Dental Strut Implants“.* Proceedings of the 20th International Conference of the European Society for Precision Engineering and Nanotechnology, S. S. 175-176.

*Kandler, M.; Lanza, G. & Krahe, C. (2020), „Development of a Human-centered Industry 4.0 Philosophy“.* New Developments in Sheet Metal Forming, S. 123-135.

*Klenk, F.; Gleich, K.; Meister, F.; Häfner, B.; Lanza, G. & . (2020), „Approach for developing implementation strategies for circular economy in global production networks“.* Advancing Life Cycle Engineering: from technological eco-efficiency to technology that supports a world that meets the development goals and the absolute sustainability, Hrsg. Brissaud, D.; Zwolinski, P.; Paris, H. & Riel, A., S. 127-132.

*Kupzik, D.; Ding, J.; Coutandin, S. & Fleischer, J. (2020), „Digital Process Management for the Integrated Bending of Thermoplastic CFRP Tapes“.* Procedia CIRP, Elsevier, S. 514-419.

Langer, J.; Gerstenmeyer, M. & Schulze, V. (2020), „Investigation of automated nibbling as an alternative cutting technology for machining of fiber-reinforced polymers“. Hybrid 2020 - Materials and Structures - Proceedings, Hrsg. DGM - Deutsche Gesellschaft für Materialkunde e.V., S. 261-267.

May, M. C.; Overbeck, L.; Wurster, M.; Kuhnle, A. & Lanza, G. (2020), „Foresighted Digital Twin for situational Agent Selection in Production Control“.

Moll, P.; Pirrung, F.; Baranowski, M.; Coutandin, S. & Fleischer, J. (2020), „Evaluation of Fiber Placement Strategies for the Implementation of Continuous“. SAMPE 2020 Virtual Series | Additive Manufacturing.

Mühlbeier, E.; Gönnheimer, P.; Hausmann, L. & Fleischer, J. (2020), „Value Stream Kinematics“. Production at the leading edge of technology, Hrsg. Behrens, B.; Brosius, A.; Hintze, W.; Ihlenfeldt, S. & Wulfsberg, J. P., Springer, Berlin, Heidelberg, S. 409-418.

Netzer, M.; Michelberger, J. & Fleischer, J. (2020), „Intelligent Anomaly Detection of Machine Tools Based on Mean Shift Clustering“. Procedia CIRP, Elsevier, S. 1-1552.

Nieschlag, J.; Coutandin, S. & Fleischer, J. (2020), „Production and Tensile Testing of Rotationally Molded Hybrid Composite Tie Rods“. SAMPE 2020 Virtual Series | Multifunctional Materials and Structures.

Peukert, S.; Lohmann, J.; Häfner, B. & Lanza, G. (2020), „Increasing Robustness in Global Production Networks by Means of an Integrated Disruption Management“. Procedia CIRP, Elsevier, S. 706-711.

Schwalm, J.; Gerstenmeyer, M.; Zanger, F. & Schulze, V. (2020), „Complementary Machining: Effect of tool types on tool wear and surface integrity of AISI 4140“. Procedia CIRP 87, Hrsg. Procedia CIRP, S. 89-94.

Stampfer, B.; Böttger, D.; Gauder, D.; Zanger, F.; Häfner, B.; Straß, B.; Wolter, B.; Lanza, G. & Schulze, V. (2020), „Experimental identification of a surface integrity model for turning of AISI4140“. Procedia CIRP 87, S. 83-88.

Wirth, B.; Coutandin, S. & Fleischer, J. (2020), „Disturbance Force Estimation for a Low Pressure Suction Gripper Based on Differential Pressure Analysis“. Annals of Scientific Society for Assembly, Handling and Industrial Robotics, Springer Vieweg, Berlin, Heidelberg, S. 263-273.

Wirth, F.; Nguyen, C.; Hofmann, J. & Fleischer, J. (2020), „Characterization of Rectangular Copper Wire Forming Properties and Derivation of Control Concepts for the Kinematic Bending of Hairpin Coils“. Procedia Manufacturing, Hrsg. Elsevier Ltd., S. 678-685.

Yang, S.; Liu, H.; Zhang, Y.; Arndt, T.; Hofmann, C.; Häfner, B. & Lanza, G. (2020), „A Data-Driven Approach for Quality Analytics of Screwing Processes in a Global Learning Factory“. Learning Factories across the value chain - from innovation to service, S. 454-459.

## Zeitschriften

Altenmüller, T.; Stüker, T.; Waschneck, B.; Kuhnle, A. & Lanza, G. (2020), „Reinforcement learning for an intelligent and autonomous production control of complex job-shops under time constraints“, Production Engineering, Band 3, S. 319-328. 10.1007/s11740-020-00967-8

Baranowski, M.; Moll, P.; Coutandin, S.; Fleischer, F. & Jürgen, J. (2020), „SLS-Prozess für endlofaserverstärkte Kunststoffbauteile“, VDI-Z Integrierte Produktion, Band 162, Nr. 5, <https://www.ingenieur.de/fachmedien/vdi-z/additive-fertigung/sls-prozess-fuer-endlofaserverstaerkte-kunststoffbauteile/>

Baranowski, M.; Netzer, M.; Coutandin, S. & Fleischer, J. (2020), „Produktivitätssteigerung durch Hybridisierung im 3D Druck“, wt Werkstattstechnik online , Nr. 7, S. 521-526.

Barton, D.; Stamm, R.; Mergler, S.; Bardenhagen, C. & Fleischer, J. (2020), „Industrie-4.0-Nachrüstkit für Werkzeugmaschinen“, wt Werkstattstechnik online , Band 110, S. 491-495.

Benfer, M.; Gartner, P.; Treber, S.; Kuhnle, A.; Häfner, B. & Lanza, G. (2020), „Implementierung von unternehmensübergreifender Traceability“, ZWF Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb, Band 5, S. 304-308. 10.3139/104.112284

Eschner, N.; Weiser, L. & Lanza, G. (2020), „Classification of specimen density in Laser Powder Bed Fusion (L-PBF) using in-process structure-borne acoustic process emissions“, Additive Manufacturing, Band 34, 10.1016/j.addma.2020.101324

Friedmann, M.; Köse, H.; Roth, S.; Wirth, B.; Coutandin, S. & Fleischer, J. (2020), „Werkstückerkennung mit Greifsystemen“, Robotik und Produktion, Nr. 5, S. 32-33.

- Gönnheimer, P.; Netzer, M.; Mohr, L.; von Hörsten, G. & Fleischer, J. (2020), „Erhöhung der Skalierbarkeit von KI-Anwendungen in Produktionsanlagen durch intelligente Parametridentifikation und Datensegmentierung“, ZWF Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb, S. 517-519. 10.3139/104.112318
- Greinacher, S.; Overbeck, L.; Kuhnle, A.; Krahe, C. & Lanza, G. (2020), „Multi-objective optimization of lean and resource efficient manufacturing systems“, Production Engineering, Band 14, S. 165-176. 10.1007/s11740-019-00945-9
- Kandler, M.; Kurtz, J. J.; Stricker, N. & Lanza, G. (2020), „Digitales, Agiles Management auf dem Shopfloor“, Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb, S. 23-26. 10.3139/104.112241
- Kapp, V.; May, M. C.; Lanza, G. & Wuest, T. (2020), „Pattern Recognition in Multivariate Time Series: Towards an Automated Event Detection Method for Smart Manufacturing Systems.“, Journal of Manufacturing and Materials Processing, Band 3
- Kuhnle, A.; Kaiser, J.; Theiß, F.; Stricker, N. & Lanza, G. (2020), „Designing an adaptive production control system using reinforcement learning“, Journal of Intelligent Manufacturing, 10.1007/s10845-020-01612-y
- Lanza, G.; Schuh, G.; Friedli, T.; Verhaelen, B.; Rodemann, N. & Remling, D. (2020), „Transformation globaler Produktionsnetzwerke“, ZWF Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb, Nr. 4, S. 196-199. 10.3139/104.112262
- May, M. C.; Kuhnle, A. & Lanza, G. (2020), „Digitale Produktion und Intelligente Produktionssteuerung“, wt Werkstattstechnik online, Band 4, S. 255-260. 10.5445/IR/1000119555
- Meyer, N.; Schoettl, L.; Bretz, L.; Hrymak, A. & Kaerger, L. (2020), „Direct Bundle Simulation approach for the compression molding process of Sheet Molding Compound“, Composites Part A: Applied Science and Manufacturing, Band 132, S. 105809. 10.1016/j.compositesa.2020.105809
- Moll, P.; Wang, S.; Coutandin, S. & Fleischer, J. (2020), „Analysis of Basis Weight Uniformity Indexes for the Evaluation of Fiber Injection Molded Nonwoven Preforms“, Autex Research Journal, 10.2478/aut-2020-0039
- Moll, P.; Wang, S.; Coutandin, S. & Fleischer, J. (2020), „Fiber orientation measurement of fiber injection molded nonwovens by image analysis“, Textile Research Journal, 10.1177/0040517520948903
- Netzer, M.; Gönnheimer, P.; Michelberger, J. & Fleischer, J. (2020), „Skalierbarkeit von KI-Anwendungen in der Produktion“, Fabriksoftware, S. 25. 10.30844/FS20-1\_51-54
- Neuenfeldt, M.; Zanger, F. & Schulze, V. (2020), „Zerspanung hybrid (konventionell und additiv) aufgebauter Proben aus 316L, IN718 und Ti-6Al-4V“, HTM Journal, Band 75, S. 192-203. 10.3139/105.110411
- Overbeck, L.; Brützel, O.; Stricker, N. & Lanza, G. (2020), „Digitaler Zwilling des Produktionssystems“, ZWF Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb, S. 62-65. 10.3139/104.112326
- Peukert, S.; Treber, S.; Balz, S.; Haefner, B. & Lanza, G. (2020), „Process model for the successful implementation and demonstration of SME-based industry 4.0 showcases in global production networks“, Production Engineering Research and Development, S. 1-14. 10.1007/s11740-020-00953-0
- Roth, S.; Hezler, A.; Pampus, O.; Coutandin, S. & Fleischer, J. (2020), „Influence of the process parameter of resistance spot welding and the geometry of weldable load introducing elements for FRP/metal joints on the heat input“, Journal of Advanced Joining Processes, S. 100032. 10.1016/j.jajp.2020.100032
- Roth, S.; Pracinore, F.; Coutandin, S. & Fleischer, J. (2020), „A new approach for modelling the fibre path in bolted joints of continuous fibre reinforced composites“, Composite Structures, S. 0-0. 10.1016/j.compstruct.2020.112184
- Rothaupt, B.; Roth, S.; Yu, L. & Fleischer, J. (2020), „Fibre-metal elastomer laminates – Lightweight components with superior damping characteristics“, JEC Composites Magazine, S. 151-153.
- Ruhland, P.; Nieschlag, J.; Coutandin, S. & Fleischer, J. (2020), „Wirtschaftliche Herstellung von Leichtbau-Komponenten mittels intrinsischer Hybridisierung“, wt Werkstattstechnik online, Nr. 7, S. 517-520.
- Schlagenhauf, T.; Ruppelt, P. & Fleischer, J. (2020), „Detektion von frühzeitigen Oberflächenzerrüttungen“, wt Werkstattstechnik online, Band 7, S. 501-506. <https://e-paper.vdi-fachmedien.de/webreader-v3/index.html#/2657/49>
- Veith, M.; Zimmermann, A.; Hillenbrand, J. & Fleischer, J. (2020), „Detektion des Vorspannungsverlusts in Kugelgewindetrieben“, wt Werkstattstechnik online, Band 7, S. 485-490.

Verhaelen, B.; Kehm, F.; Häfner, B. & Lanza, G. (2020), „**Reaktion auf Störungen globaler Produktionsanläufe**“, ZWF Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb, Band 8, S. 492-496. 10.3139/104.112377

Wagner, R.; Haefner, B.; Biehler, M. & Lanza, G. (2020), „**Digital DNA in quality control cycles of high-precision products**“, CIRP Annals, S. 373-376.

Weinmann, H. W.; Töpfer, H. & Fleischer, J. (2020), „**Coil2Stack: Ein innovatives Verfahren zur formatflexiblen Batteriezellherstellung**“, ZWF Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb, Band 115, Nr. 4, S. 241-243. 10.3139/104.112192

Wirth, B.; Dittus, J.; Baumann, F.; Coutandin, S. & Fleischer, J. (2020), „**Lastgerechte Endlosfaserverstärkungen im 3D-Druck**“, wt Werkstattstechnik online , Band 110, S. 424-428.





**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 2020





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