

# Institutsbericht

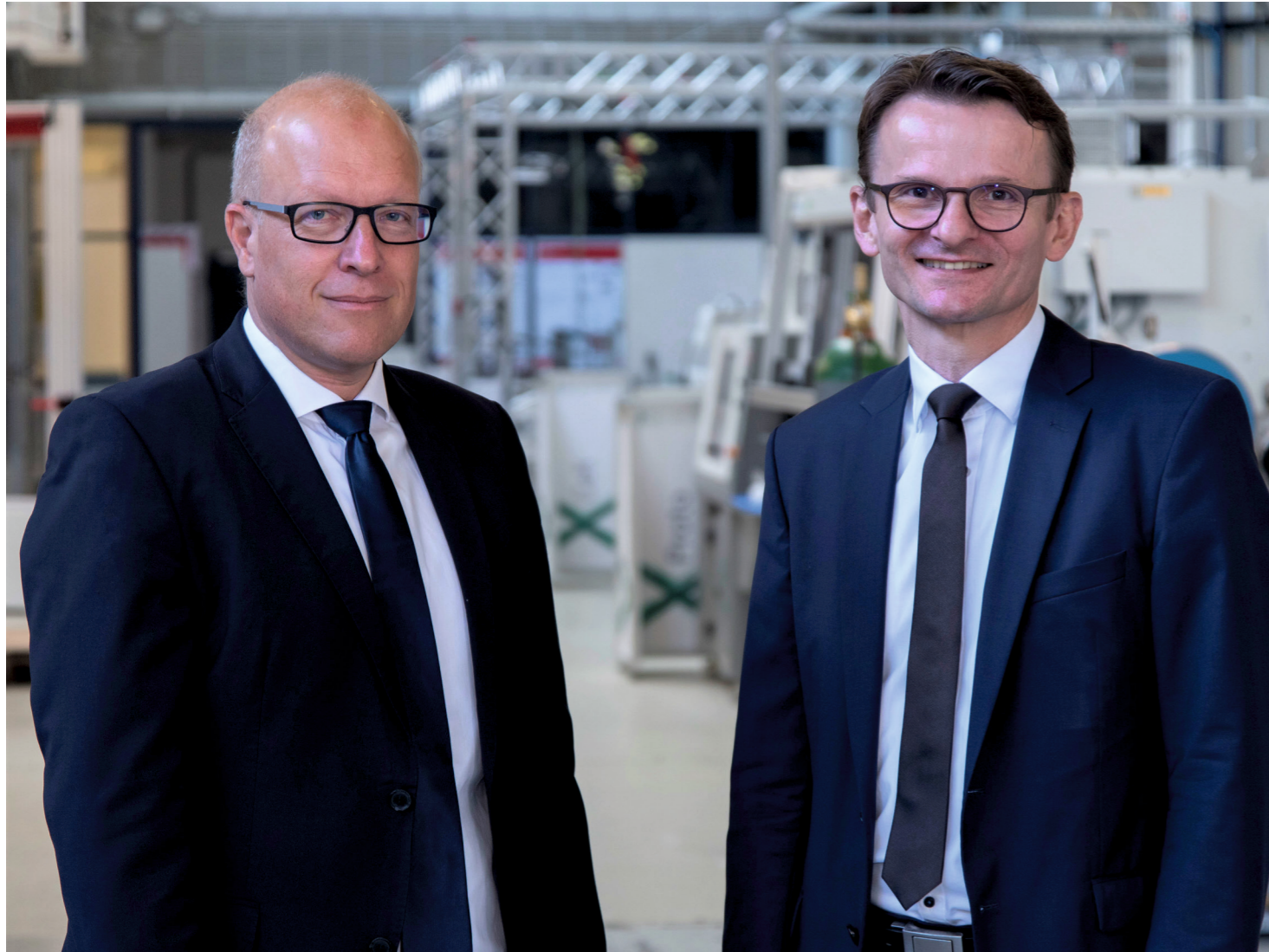
2022/2023

**Institut für Werkzeugmaschinen und Fertigungstechnik (IWF)  
der Technischen Universität Braunschweig**

Institutsleitung

Prof. Dr.-Ing. Klaus Dröder

Prof. Dr.-Ing. Christoph Herrmann



Institutsleitung (links nach rechts)  
 Prof. Dr.-Ing. Christoph Herrmann  
 Prof. Dr.-Ing. Klaus Dröder

# Innovation und Wachstum

Liebe Partnerinnen und Partner, Fördererinnen und Förderer sowie Freunde des IWF,

wir freuen uns, Sie mit diesem Bericht über viele positive Neuigkeiten des Instituts für Werkzeugmaschinen und Fertigungstechnik informieren zu können. Wir konnten an vielen strategischen Entwicklungen der TU Braunschweig teilhaben und diese an einigen Stellen tatkräftig mitgestalten.

Eine der aufregendsten Neuigkeiten ist zweifellos die Überführung des Standortes in Wolfsburg in einen Universitäts- und Innovationscampus der Technischen Universität Braunschweig. Unter Beteiligung der Volkswagen AG, der Fraunhofer-Gesellschaft und der Ostfalia Hochschule wird in der Open Hybrid LabFactory zukünftig die industrielle Fahrzeugproduktion nachhaltig und im Sinne einer Kreislaufwirtschaft gestaltet. Dieser Meilenstein eröffnet unserem Institut neue Chancen und Möglichkeiten für die kollaborative Forschung und Wissenschaft.

Darüber hinaus freuen wir uns darüber, dass die Ausgestaltung der Forschungspräsenz in Singapur weiter Gestalt bekommt. Singapur bietet ein hochattraktives Forschungsumfeld und hervorragende Möglichkeiten zur Erforschung wissenschaftlicher Fragestellungen in den Bereichen Urbane Produktion, Stadt der Zukunft, Mobilität und Energieversorgung. Die Entscheidung unterstreicht die internationale Ausrichtung der Universität und eröffnet uns Zugang zu globalen Netzwerken und Kooperationen in einem sich abkoppelnden Wissenschaftsumfeld des südostasiatischen Marktes.

Ein weiterer Höhepunkt war der Spatenstich für das Institutsgebäude des Fraunhofer-Zentrums für Energiespeicher und Systeme (ZESS). Dieses Zentrum wird sich auf die Entwicklung von wegweisenden Systemlösungen für Energiespeicher und Wasserstofftechnologien konzentrieren und fungiert damit als Innovationsplattform, um gemeinsam die Herausforderungen der Energiewende zu meistern und Chancen für unsere Region zu schaffen.

Zusätzlich zu diesen strategischen Projekten konnten wir im vergangenen Jahr unsere Partnerschaften erfolgreich pflegen und endlich auch wieder (inter-)nationale Konferenzen organisieren und daran persönlich teilnehmen. Beispiele hierfür sind die (Mit-)Organisation der "International Battery Production Conference" in

Braunschweig sowie der Fachkonferenz "CO<sub>2</sub>-neutrale Fabrik" in Augsburg. Zudem war das IWF bei wichtigen (internationalen) Tagungen und Workshops vertreten, darunter der Industrietag zum Forschungscluster "Intelligente Batteriezellproduktion", der "Global Product Systems Sustainability Workshop" in Rhode Island sowie die „Life Cycle Engineering“ Tagung der Internationalen Akademie für Produktionstechnik (CIRP) in New Brunswick. Auch institutsinterne Veranstaltungen wie Doktoranden-Workshops und Strategiemeetings konnten wieder in Präsenz stattfinden, trugen zu einem regen Austausch bei und förderten so unsere Forschungsaktivitäten.

Die Erfolge und Errungenschaften des vergangenen Jahres sind das Ergebnis ausdauernder Arbeit, großer Entschlossenheit und eines gemeinsamen Engagements aller Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter unseres Instituts, für das wir uns sehr herzlich bedanken. Wir sind stolz auf das Erreichte und blicken optimistisch in die Zukunft, in der wir unsere Ziele weiterverfolgen und unseren Beitrag zur Wissenschaft und Gesellschaft leisten möchten.

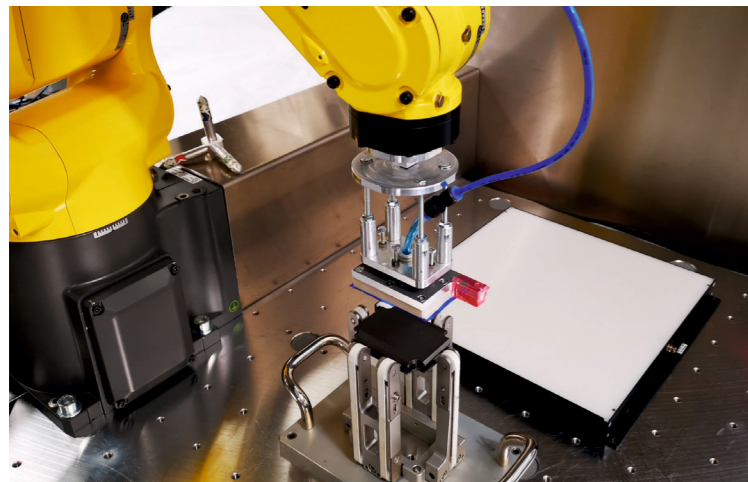
Damit möchten wir Ihnen auch in diesem Jahr wieder eine Vielzahl laufender und neuer Forschungsvorhaben vorstellen. Auf den folgenden Seiten haben wir Ihnen wie gewohnt eine Auswahl aus unseren Forschungsprojekten und Aktivitäten zusammengestellt. Wir wünschen Ihnen ein spannendes Forschungsjahr und freuen uns auf zukünftige Treffen und Möglichkeiten zum Austausch.

Mit besten Grüßen aus dem IWF

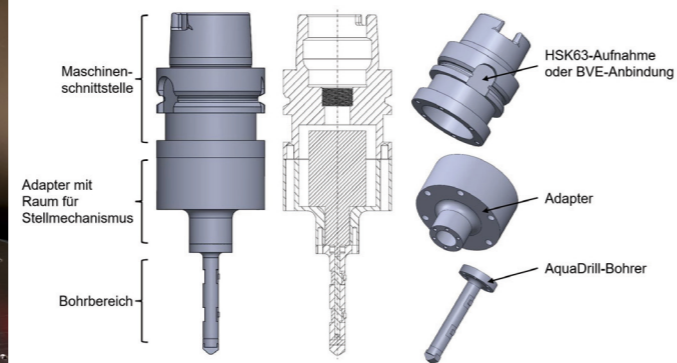
Prof. Dr.-Ing. Klaus Dröder      Prof. Dr.-Ing. Christoph Herrmann

# Inhalt

Einen kleinen Vorgeschmack auf die spannenden Aktivitäten des IWF haben Sie im Vorwort erfahren können. Auf den folgenden Seiten haben wir Ihnen eine Auswahl aus unseren Forschungsprojekten und Aktivitäten zusammengestellt.



Seite 27 | FestBatt2 – Kompetenzcluster für Festkörperbatterien



Seite 35 | AquaDrill – Bohrwerkzeug zur Herstellung kleiner Funktionsbohrungen in Hybridwerkstoffen



Seite 29 | KoDI – Kompensation von Druckschwankungen im Inneren von Batteriezellen

Seite 19 | Die Lernfabrik



Seite 49 | ISUrF-Hub

Aufbau einer gemeinsamen Forschungspräsenz im Forschungsfeld urbane Produktion und industrielle Symbiose mit dem Singapore Institute of Manufacturing



## 1 Institutsprofil

- 7 Organisationsstruktur und Arbeitsfelder
- 9 Professur Fertigungstechnologien und Prozessautomatisierung
- 11 Professur Nachhaltige Produktion und Life Cycle Engineering

## 2 Forschung am IWF

- 13 Einrichtungen
- 21 Forschungsgruppen
- 23 EXIST Forschungstransfer
- Ausgewählte Forschungsprojekte:
- 25 Fertigungstechnologien und Prozessautomatisierung
- 43 Nachhaltige Produktion und Life Cycle Engineering
- 67 Projektträger und Förderhinweise
- 68 Konferenzen 2022/2023
- 69 Promotionen 2022/2023

## 3 Lehre am IWF

- 75 Vorlesungen und Dozenten
- 77 Personalkennzahlen | Das Team des IWF
- 78 Impressum

# Organisationsstruktur und Arbeitsfelder

Das Institut für Werkzeugmaschinen und Fertigungstechnik (IWF) wird gemeinschaftlich von Prof. Dr.-Ing. Klaus Dröder und Prof. Dr.-Ing. Christoph Herrmann geleitet. Sie haben die Professuren für Fertigungstechnologien und Prozessautomatisierung sowie Nachhaltige Produktion und Life Cycle Engineering inne.

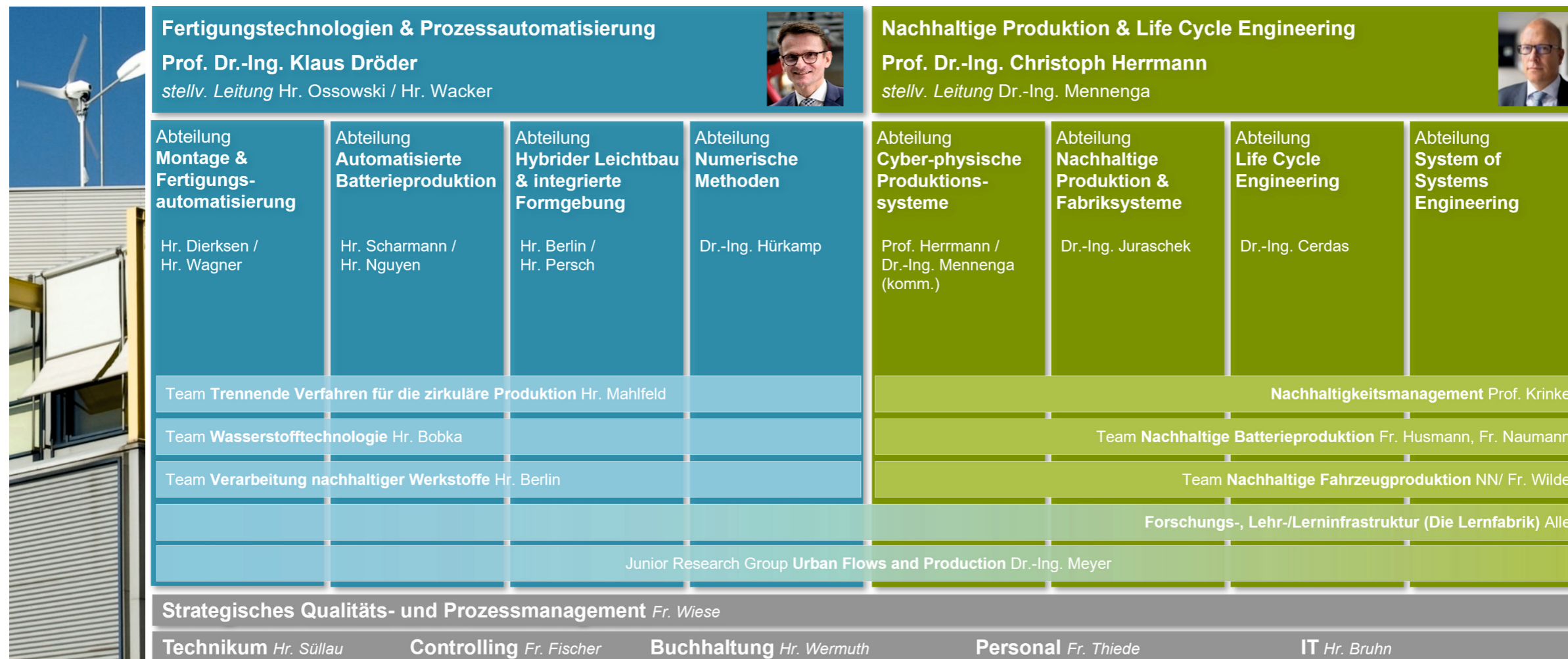
Die Professur Fertigungstechnologien & Prozessautomatisierung von Prof. Dr.-Ing. Klaus Dröder fokussiert technologische und automatisierungstechnische Fragestellungen entlang aktueller und zukünftiger Fertigungsprozessketten. Die Schwerpunkte zielen auf die Umsetzung zukünftiger Fertigungsstrategien ab, die eine stückzahl- und variantenflexible Fertigung funktionalisierter Produkte mit höchster Effizienz ermöglichen. Die Forschungsgebiete erstrecken sich von der Montage und Fertigungsautomatisierung über die automatisierten Prozessketten für die Batterieproduktion bis hin zu neuen Fertigungs- und Werkzeugtechnologien für die integrierte Herstellung werkstoffhybrider Funktionsstrukturen sowie die virtualisierte Prozesskettenbetrachtung unter Zuhilfenahme von numerischen Methoden. Hierbei werden insbesondere innovative und nachhaltige (De-)Montage- und Fertigungskonzepte zur Ertüchtigung einer Kreislaufproduktion betrachtet.

Die Professur für Nachhaltige Produktion & Life Cycle Engineering von Prof. Dr.-Ing. Christoph Herrmann verfolgt einen systematischen Ansatz zur Gestaltung von Produkten und Prozessen gemäß einer nachhaltigen Entwicklung (technisch-wirtschaftlich und ökologisch). Forschungsschwerpunkte sind Technologien sowie (digitale) Methoden und Werk-

Professurübergreifend strukturieren sich die Forschungsaktivitäten als Matrixorganisation in acht Abteilungen und sieben Teams. Die Abteilungs- und Teamstrukturen sorgen für die nötige fachbezogene Vernetzung und reflektieren die vielschichtige Einbindung des Instituts in die strategischen Forschungsschwerpunkte der Technischen Universität Braunschweig „Mobilität“, „Engineering for Health“, „Stadt der Zukunft“ sowie „Metrologie“.

zeuge zur Steigerung der Energie- und Ressourceneffizienz und zur Schließung von Stoffkreisläufen. Gestaltungsansätze fokussieren die Optimierung der (Teil-)Systeme einer Fabrik: von einzelnen Maschinen und Prozessketten, der technischen Gebäudeausstattung bis hin zu Produktionssystemen und deren Einbettung in den urbanen Kontext. Weiterhin zielt die Forschung auf die Minimierung von Kosten und Umweltwirkungen entlang des gesamten Produktlebenszyklus sowie auf die optimierte Gestaltung übergeordneter, komplexer Systeme der Systeme, welche durch eine intelligente Vernetzung von Produkten, Maschinen und Anlagen mit ihrer Umwelt gekennzeichnet sind.

Das IWF engagiert sich in fächer- und fakultätsübergreifenden Forschungsverbänden, welche als Zentren organisiert sind. Am Standort Braunschweig befinden sich die „Battery LabFactory“ (BLB) zur Erforschung neuer Prozessketten für die Herstellung von Traktionsbatterien, die Niedersächsischen Forschungszentren für Luftfahrt und Fahrzeugtechnik (NFL und NFF) sowie das Zentrum für Pharmaverfahrenstechnik (PVZ) zur Entwicklung von Herstellungsverfahren für kostengünstige, wirksame und personalisierte Arzneimittel. Der Wasserstoffcampus in Salzgitter bildet den Fokus des IWF für die Weiterentwicklung von Prozessketten rund um die Elektrolyseur- und Brennstoffzellenproduktion. Am Standort Wolfsburg befindet sich zudem der im Jahr 2016 eröffnete BMBF-Forschungscampus „Open Hybrid LabFactory“ (OHLF) als weiterer Standort des IWF. Hier werden neue Produktionstechnologien für multifunktionale Fahrzeugstrukturen erforscht und zusammen mit industriellen Partnern im Rahmen einer Public Private Partnership entwickelt. Aktuell wird dieser Forschungscampus in Richtung eines Transferzentrums für die Kreislaufwirtschaft (Circular Economy) weiterentwickelt.



# Fertigungstechnologien und Prozessautomatisierung

Innerhalb der Abteilung für Montage und Fertigungsautomatisierung werden innovative Lösungen und Ansätze in der Automatisierung und Handhabungstechnik der Produkte von Morgen untersucht. Neben der Montage werden hier auch Aspekte der Demontage betrachtet und durch Funktions- und Sensorintegration in der Handhabung sowie durch maschinelle Lernstrategien weiterentwickelt. Der Fokus liegt im konzeptionellen Entwurf, der System- und Prozessmodellierung, der automatisierungsorientierten Prozessgestaltung und der Didaktik für Automatisierungs- und Montagekonzepte.

Die Themenschwerpunkte der Abteilung Automatisierte Batterieproduktion umfassen die volumenfähige und variantenflexible Batterieproduktion mit den Fertigungsprozessen Stapelbildung, Lamination, Einhausung und Elektrolytbefüllung zur Herstellung von Lithium-Ionen-Batterien sowie Prozessen für All-Solid-State-Batterien. Dabei werden insbesondere die Erforschung von Prozess-Produkt-Wirkbeziehungen, die Entwicklung materialangepasster und hochdurchsatzfähiger Handhabungskonzepte sowie die Demontage von Batteriesystemen bis auf Elektrodenoberfläche fokussiert.

Die Gestaltung und Fertigung von Produkten mit dem Anspruch eines nachhaltigen Materialeinsatzes ist Forschungsgegenstand der Abteilung Hybrider Leichtbau und integrierte Formgebung. Darüber hinaus werden intelligente und funktionalisierte Werkzeug- und Formenbau-Technologien entwickelt, um neue Fertigungsstrategien für kreislauffähige Leichtbau- und Funktionsstrukturen zu realisieren. Der Schwerpunkt liegt auf den Fertigungsprozessen und der Prozessintegration zur Sicherung und Verbesserung der Produktqualität.

Ziel der Abteilung Numerische Methoden ist die Simulation und Modellierung von Produktionsverfahren. Hierbei werden virtuelle Prozessketten erforscht, die verschiedene Einzelmodelle im Sinne eines ganzheitlichen Produkt- und Produktionsengineering koppeln. Diese Modelle ermöglichen es, Prozesseinflüsse und Wechselwirkungen zu analysieren und ein erhöhtes Prozessverständnis zu erlangen. Die numerischen Ansätze werden zudem mit Methoden der Künstlichen Intelligenz erweitert um recheneffiziente, physikbasierte Modelle zur Optimierung und Regelung im Betrieb aufzustellen. Die Abteilung Numerische Methoden ist querschnittlich ausgerichtet und fokussiert somit sowohl Fragestellungen aus der Open Hybrid LabFactory als auch aus der Battery LabFactory.

## Internationale Kooperationen

Internationale Kooperationen sind für uns von großer Bedeutung. Auf europäischer Ebene sind wir seit Ende 2018 aktives Mitglied im EIT Manufacturing, einem Konsortialverbund aus 50 Forschungspartnern aus Industrie und Wissenschaft. Mit dem kanadischen National Research Council (NRC) begann eine neue Projektkooperation im Themenbereich der Fertigungstechnik für hybride Funktionsstrukturen.

## Montage und Fertigungsautomatisierung

Fynn Dierksen, M.Sc.  
Arne Wagner, M.Sc.

## Automatisierte Batterieproduktion

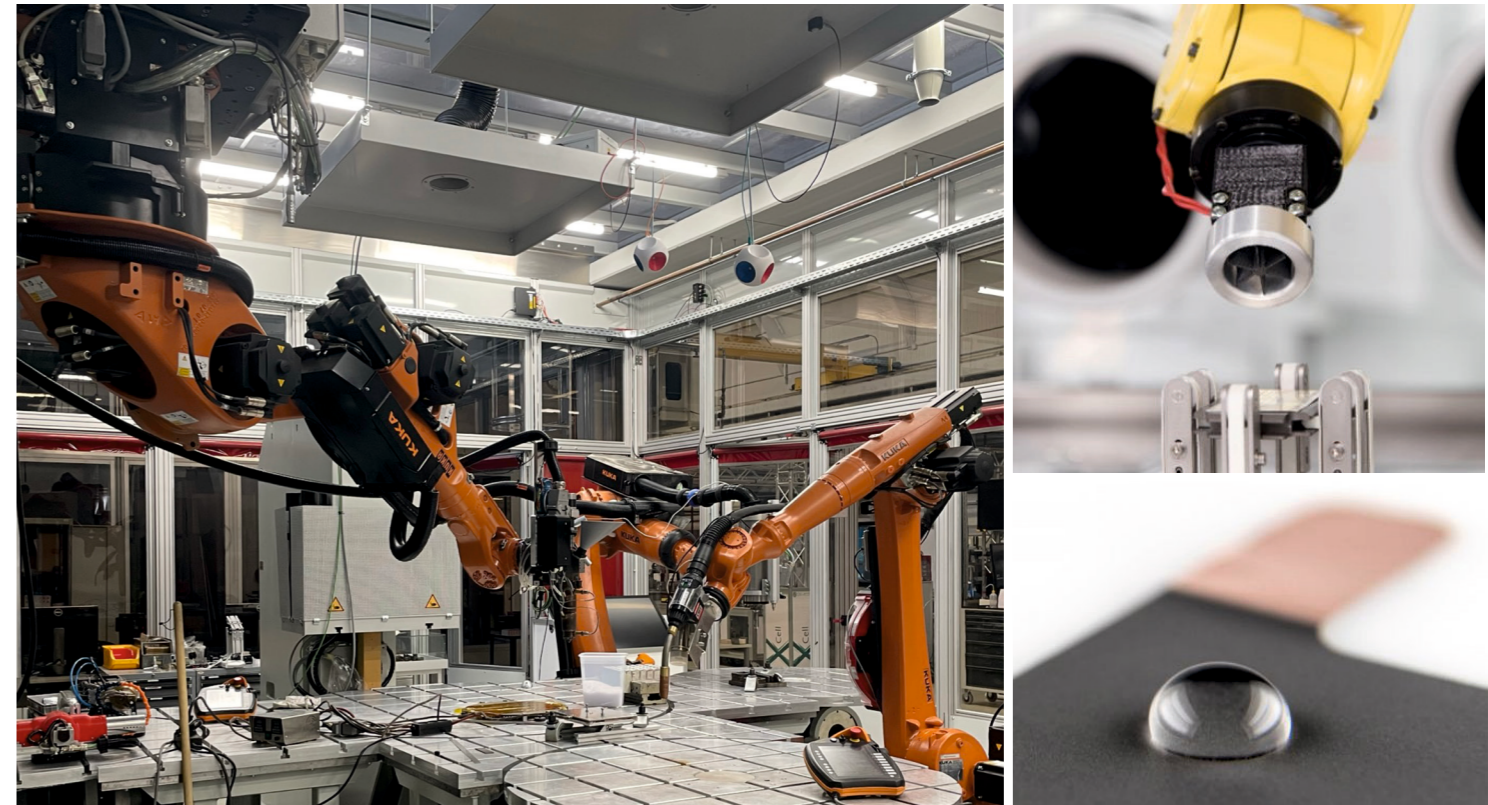
Timon Scharmann, M.Sc.  
Do Minh Nguyen, M.Sc.

## Hybrider Leichtbau und integrierte Formgebung

Werner Berlin, M.Sc.  
Christoph Persch, M.Sc.

## Numerische Methoden

Dr.-Ing. André Hürkamp



Die Professur "Fertigungstechnologien und Prozessautomatisierung" fokussiert technologische und automatisierungstechnische Fragestellungen entlang aktueller und zukünftiger Fertigungsprozessketten. Innerhalb der Forschungsarbeiten zielen die Schwerpunkte auf die Umsetzung intelligenter Fertigungsstrategien, die eine hochproduktive, digitalisierte und effiziente Fertigung funktionalisierter Produkte und ihrer Varianten in unterschiedlichen Stückzahlen ermöglichen. Besonderes Augenmerk gilt dabei der prozessindividuellen Montage- und Fertigungsautomatisierung, der Fertigung kreislauffähiger Produkte sowie den Werkzeug- und Simulationstechniken. Besondere Zielfelder bilden hierbei zukünftige Fertigungstechniken und virtuell abbildbare Prozessketten, die automatisierte Batterieproduktion, skalierbare additive Fertigungsverfahren für verschiedenste Einsatzfelder (z.B. in der Werkzeugtechnik oder im Bauwesen) sowie sogenannte Reverse-Production-Techniken als "Enabler" für eine zukünftige Kreislaufwirtschaft.



Prof. Dr.-Ing. Klaus Dröder

# Nachhaltige Produktion und Life Cycle Engineering

Auch die Professur Nachhaltige Produktion und Life Cycle Engineering gliedert sich in vier Abteilungen. Die Abteilung Cyber-Physische Produktionssysteme fokussiert die Erforschung des Zusammenspiels von physischer Anlageninfrastruktur mit all ihren Konfigurations- und Steuerungsparametern sowie Modell- und Simulationsumgebungen. Dies erfolgt über eine echtzeitfähige Datenerfassung und -verarbeitung mittels Data Mining sowie einer an die virtuellen (Simulations-)Modelle gekoppelten Entscheidungsunterstützung zur bestenfalls automatisierten Steuerung der physischen Infrastruktur. Im Fokus steht die Unterstützung des Menschen in seiner Arbeitsumgebung zur Schaffung von Lösungen für eine digitalisierte nachhaltige Produktion.

Die Abteilung Nachhaltige Produktion und Fabriksysteme entwickelt Methoden, digitale Werkzeuge und Technologien für die nachhaltigkeitsorientierte Analyse und Bewertung sowie Planung und Steuerung von Fabriken. Hierbei werden alle Teilsysteme der Fabrik – Produktionsmaschinen und -prozessketten, technische Gebäudeausstattung und Gebäudehülle – sowie ihre Einbettung in den räumlichen und urbanen Kontext integrativ betrachtet. Im Fokus sind dabei jegliche mit der Produktion in Verbindung stehenden relevanten Ressourcen, wie insbesondere Material- und Energieflüsse.

Der Schwerpunkt der Abteilung Life Cycle Engineering liegt auf der Entwicklung von rechnerunterstützten Ansätzen zur Analyse und Bewertung von lebenszyklusübergreifenden ökologischen und ökonomischen Auswirkungen von Produkten, Prozessen und Dienstleistungen. Die Weiterentwicklung hin zu einem Integrated Computational Life Cycle Engineering ermöglicht auch die Betrachtung komplexer Produkte unter zugrundeliegender Variabilität.

Die Abteilung System of Systems Engineering fokussiert die Entwicklung von Methoden und Werkzeugen zur Analyse, Bewertung und Gestaltung komplexer (technischer) Systeme sowie der mit ihnen in Wirkbeziehung stehenden Um- und Subsysteme. Ziele sind die Bündelung der Fähigkeiten und Ressourcen von unabhängigen Teil-Systemen und die Realisierung emergenten Verhaltens durch ein intelligentes Zusammenwirken. Handlungsfelder sind u.a. neuartige Geschäftsmodelle, industrielle Produkt-Service-Systeme sowie innovative Formen der Zusammenarbeit zwischen Unternehmen im Sinne einer industriellen Symbiose (Industrial Symbiosis).

## Internationale Kooperationen

Für die Förderung einer nachhaltigen Entwicklung ist es essentiell, Anforderungen einer globalisierten Welt zu berücksichtigen. Daher ist es unser Bestreben, ein starkes Netzwerk der internationalen Zusammenarbeit aufzubauen. Diese Zusammenarbeit zielt auf einen aktiven Austausch von WissenschaftlerInnen und Studierenden. Neben zahlreichen weiteren Kooperationen bilden die Kooperationen mit dem Birla Institute of Technology (BITS Pilani, Indien) und dem Singapore Institute of Manufacturing Technology (SIMTech, Singapur) die Leuchttürme unserer Aktivitäten.

## Cyber-physische Produktionssysteme

Prof. Dr.-Ing. Christoph Herrmann, Dr.-Ing. Mark Mennenga (komm.)

## Nachhaltige Produktion und Fabriksysteme

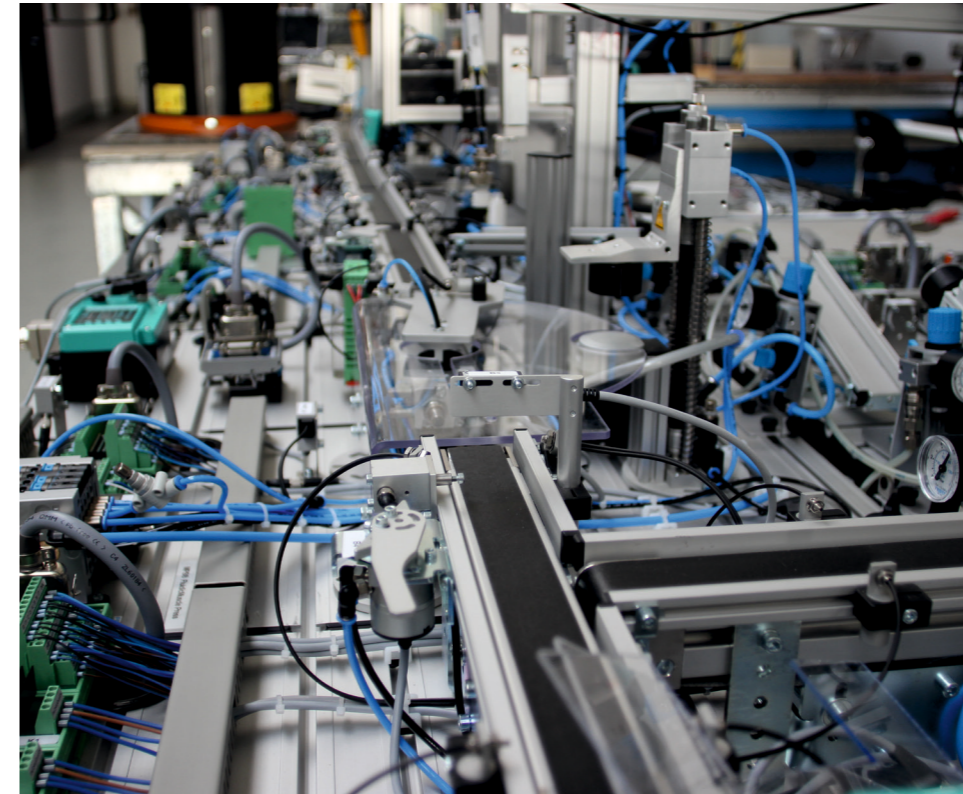
Dr.-Ing. Max Juraschek

## Life Cycle Engineering

Dr.-Ing. Felipe Cerdas

## System of Systems Engineering

Dr.-Ing. Mark Mennenga



Seit dem Jahr 2000 sind die Forschungsfelder Nachhaltigkeit in der Produktion und Life Cycle Engineering am IWF verankert und bilden seit 2011 den inhaltlichen Schwerpunkt der Professur von Prof. Dr.-Ing. Christoph Herrmann. Dieses Portfolio wird durch die Abteilungen Cyber-Physische Produktionssysteme sowie System of Systems Engineering erweitert. Das von uns entwickelte Konzept des Ganzheitlichen Life Cycle Management dient hierbei als Rahmen für die Aktivitäten in Forschung und Lehre, welche wir in enger Anbindung an die Industrie durchführen.



Prof. Dr.-Ing. Christoph Herrmann



Aleksandra Naumann

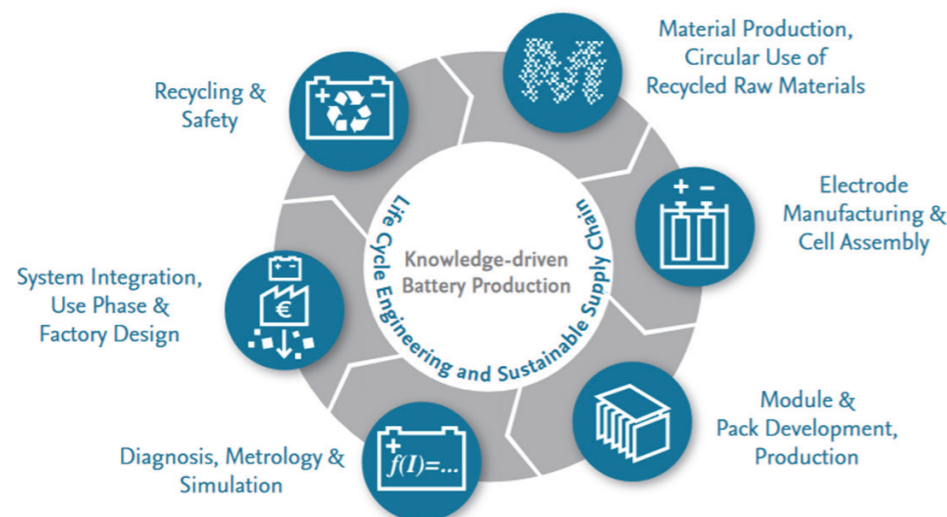
al.naumann@tu-braunschweig.de  
Telefon + 49 531 391-7642

EINRICHTUNG\_Battery LabFactory Braunschweig

# Battery LabFactory Braunschweig



Die Battery LabFactory Braunschweig (BLB) ist eine Einrichtung der TU Braunschweig in Kooperation mit der Physikalisch-Technischen Bundesanstalt (PTB), der TU Clausthal, der LU Hannover und dem Fraunhofer IST. Durch den Zusammenschluss der Partner wird die gesamte Prozesskette der elektrochemischen Speichertechnik interdisziplinär untersucht. Die BLB vereint die gerätetechnische Ausstattung zur Untersuchung großformatiger Traktionsbatterien über Institutsgrenzen hinaus. Mit dieser gemeinsamen Infrastruktur ist es möglich, sowohl grundlagen- als auch anwendungsorientierte Forschungsfragen aus den Bereichen der Verfahrens-, Produktions- und Elektrotechnik sowie der Elektrochemie zu behandeln. Das Forschungsspektrum erstreckt sich hierbei über den gesamten Produktlebenszyklus - von der Materialaufbereitung bis zum Recycling (siehe Abbildung unten).



**Idee der Battery LabFactory Braunschweig**

Die Battery LabFactory Braunschweig ist eine offene Forschungsinfrastruktur für die wissenschaftliche Untersuchung von elektrochemischen Speichern mit dem Schwerpunkt auf Lithium-Ionen-Batterien. In dieser Infrastruktur werden Fragestellungen entlang der Herstellung von Elektroden, Batteriezellen und -modulen in öffentlich geförderten, bi- und multilateralen Forschungsprojekten adressiert.

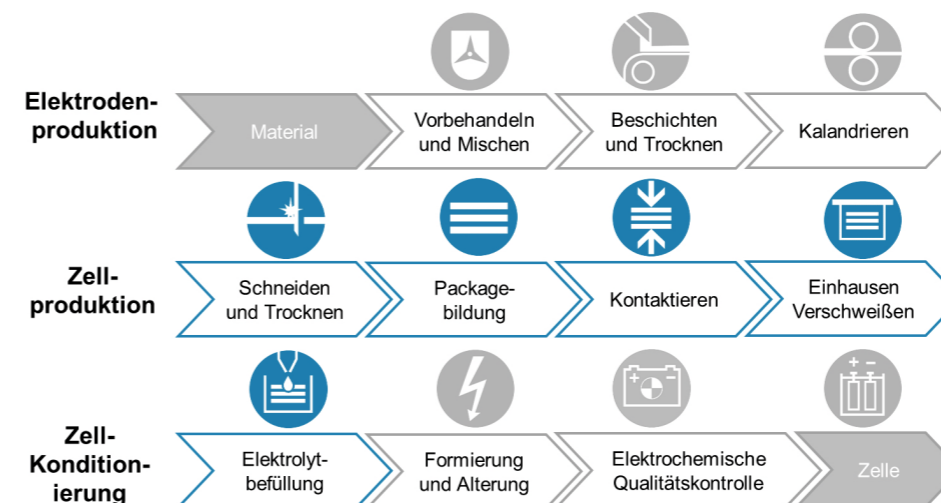
Die Maschinen- und Anlagentechnik, die zur Herstellung von Batteriezellen benötigt wird, ist in der BLB entsprechend der abgebildeten Prozesskette zusammengefasst. Kernbestandteil ist ein ca. 160 m<sup>2</sup> großer Trockenraum, in dem die Prozessschritte Stapelbildung, Kontaktieren, Einhausen, Verschweißen und Elektrolytbefüllung stattfinden. Die Gerätetechnik des Trockenraums versorgt weiterhin die angrenzenden Prozessschritte Beschichten, Trocknen und Schneiden, um eine durchgängige Raumluftkonditionierung zu gewährleisten.

**Forschungsschwerpunkt IWF**

Die Professur von Prof. Herrmann forscht an den Themenfeldern nachhaltige Produkte und Prozesse, Ressourceneffizienz, Simulation und dem Einsatz von Industrie-4.0-Ansätzen in der Batterieproduktion sowie dem Batterierecycling. Es werden Methoden zur umwelt- und kostenorientierten Prozesssystemanalyse, zur Datenerfassung, -speicherung, und -verarbeitung entwickelt. Übergeordnete Ziele sind hierbei die Produkt- und Prozessqualität zu erhöhen sowie die prozessabhängigen Kosten und Emissionen zu reduzieren. In öffentlich geförderten sowie industriellen Projekten wird neben Lithium-Ionen-Batterien mit flüssigem Elektrolyt an Next-Generation-Batterien und Festkörperbatterien (ASSB) geforscht.

Die Professur von Prof. Dröder entwickelt mit Hilfe der Infrastruktur der BLB neuartige Automatisierungsstrategien und erschließt Rationalisierungspotenziale in der Batteriezellproduktion. Hierbei bilden die Stapelbildung, die durchsatzgesteigerte Produktion sowie das Recycling Forschungsschwerpunkte in öffentlich geförderten sowie industriellen Projekten. Dabei werden beispielsweise Prozessketten mit gesteigerter Produktivität bei gleichzeitig hoher Produktqualität (DuLiPro) oder materialangepasste Handhabungstechnik für die Stapelbildung von Festkörperbatterien untersucht (FB2-Prod). Im Rahmen des Graduiertenkollegs CircularLiB wird mit Beteiligung des IWF ein Vorgehen zur Zelldemontage erarbeitet, um die Kreislaufproduktion für die Batteriefertigung zu schließen.

<https://www.tu-braunschweig.de/blb>



Timon Scharmann

t.scharmann@tu-braunschweig.de  
Telefon + 49 531 391-8758



↑ Bild rechts oben | BLB2 Pouchzelle

← Bild rechts unten | Prozesskette zur Herstellung von Batteriezellen

↑ Bild links oben | Die Battery LabFactory in Braunschweig

→ Bild links unten | Wertschöpfungskreislauf und Forschungsschwerpunkte



Tim Ossowski

t.ossowski@tu-braunschweig.de  
Telefon +49 531 391-65040

EINRICHTUNG\_OHLF – Open Hybrid LabFactory

# OHLF – Open Hybrid LabFactory

## Die Weiterentwicklung zum Universitäts- und Innovationscampus Wolfsburg

Die Automobilindustrie ist die wichtigste Industriebranche in Niedersachsen und der Motor für Wohlstand und wirtschaftliche Entwicklung. Weltweit befindet sich die Automobilindustrie in einem tiefgreifenden Wandel. Erhebliche Veränderungen in Technik und Gesellschaft, auch bestimmt durch energie- und klimapolitische Erfordernisse, verändern die Rahmenbedingungen der Industrie grundlegend.

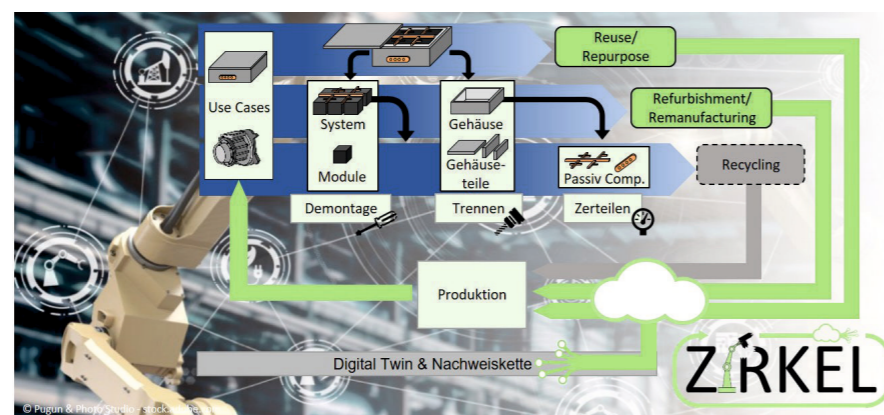
Die Gründung eines Universitäts- und Innovationscampus der TU Braunschweig in Wolfsburg baut auf der erfolgreichen Etablierung des bestehenden projektorientiert geförderten Forschungscampus Open Hybrid Lab Factory (OHLF) auf.

### Forschungsprogramm "Circular Economy Technologies"

Dieser Universitäts- und Innovationscampus widmet sich zukünftig der dringenden Frage, wie die industrielle Fahrzeugproduktion nachhaltig und im Sinne einer Circular Economy gestaltet werden kann. Der Forschungscampus bietet hierfür sowohl bzgl. der Kompetenzen als auch des Kooperationskonzeptes ideale Voraussetzungen. Der Forschungscampus ist eine einzigartige Kooperationsplattform, die durch eine gewachsene vertrauensvolle Zusammenarbeit von Wissenschaft mit Unternehmen gekennzeichnet ist, vom regionalen KMU über weltweit agierende Technologieunternehmen bis hin zum OEM.

Die Forschungsprogramm "Circular Economy Technologies" adressiert neue Produktionstechniken und digitale Methoden, die eine unabdingbare Voraussetzung zur Umsetzung zukünftiger Kreislaufsysteme bilden. Die in der Abbildung dargestellte Forschungsprogramm wird gemeinsam von den vor Ort tätigen WissenschaftlerInnen der TU Braunschweig, der Fraunhofer-Gesellschaft und der Ostfalia Hochschule – in Kooperation mit Unternehmen – bearbeitet und weiterentwickelt.

Die mit der Forschungsprogramm adressierten Produktionstechniken und digitalen Methoden haben zum Ziel, die immer stärker integrierten Komponenten und Funktionsmodule speziell von Mobilitätsträgern (z.B. hybride Komponenten, elektronische Baugruppen, Energiespeicher und -wandler) nach Ende der Nutzungsphase automatisiert in ihre Bestandteile zurückzuführen. Damit wird ermöglicht, diese dem Produktionsprozess auf einer möglichst hohen Wertschöpfungsstufe erneut zuzuführen und somit zukünftig den Kreislauf vom Rohstoff zum Produkt zum Rohstoff schließen zu können. Im Vergleich zu verfahrenstechnischen Recyclingstrategien, die oftmals mit sehr hohem Energieeinsatz, Qualitäts- und Reinheitsverlusten der



Komponenten- und Werkstoffkreislauf am Beispiel des BMBF-Projekts ZIRKEL

zurückgewonnenen Stoffe verbunden sind, stehen neue produktionstechnisch basierte Prozesse und digitale Methoden des „Re-Manufacturing“ im Mittelpunkt, die eine hochproduktive und gleichzeitig variantenflexible Demontage und Zerteilung komplexer Produkte ermöglichen, um deren Bestandteile und Werkstoffe in hoher Reinheit und hoher Güte dem Herstellprozess erneut zuzuführen.

### Universitäts- und Innovationsstandort der Zukunft

Für den Universitäts- und Innovationscampus der TU Braunschweig in Wolfsburg wird das Zielbild formuliert, zu den führenden ingenieurwissenschaftlichen Forschungs- und Bildungsstandorten in Deutschland und Europa zu gehören. Der Campus zeichnet sich durch eine zukunftsweisende Forschungsprogramm sowie eine einzigartige Spitzeninfrastruktur aus, die sowohl den Forschenden als auch den Studierenden bzw. Lernenden eine optimale Arbeitsumgebung bietet. Besonders hervorzuheben ist die intensive Zusammenarbeit zwischen Universitäts-, Hochschul- und außeruniversitären Forschungsinstituten sowie Unternehmen.

Diese enge Vernetzung ermöglicht es den Studierenden und Forschenden, ihre Ideen und Entwicklungen gleichzeitig in Zusammenarbeit mit der Wirtschaft zu verwirklichen und erfolgreich am Markt zu platzieren. Der Campus ist in die Gebiets- und Regionsstrategie "New Wolfsburg" und "Circular Region Niedersachsen" eingebettet. Dadurch wird ein Ökosystem geschaffen, das den Campus stärkt und im Kampf um Talente wettbewerbsfähig hält. Die enge Zusammenarbeit zwischen den verschiedenen Akteuren fördert nicht nur die Innovationskraft des Campus, sondern auch die regionale Wirtschaft und stärkt die gesamte Region. Die Einbettung in die Gebiets- und Regionsstrategie sowie die Förderung von Begegnungen und Austausch machen den Campus der TU Braunschweig in Wolfsburg zu einem Ort des Wissens, der Innovation und des Fortschritts.

Bestandteil des Universitäts- und Innovationscampus der TU Braunschweig in Wolfsburg ist die Ansiedlung von Professuren und Arbeitsgruppen sowie weiteren projektorientiert zu integrierenden Kompetenzen, die zur Umsetzung der beschriebenen Ziele und Planungen erforderlich sind. Hierfür sollen übergreifende Forschungsgruppen (Joint Research Groups), in denen Forschende der TU Braunschweig, der Fraunhofer-Gesellschaft und der Ostfalia Hochschule vereint sind, initiiert werden.

Durch die interdisziplinäre und institutionenübergreifende Zusammenarbeit in den Joint Research Groups wird das Forschungs- und Entwicklungsnetzwerk der Region weiter gestärkt und soll so die Strahlkraft des Innovations- und Universitätsstandorts in Wolfsburg national und international erhöhen.

Weitere Informationen können unter <https://open-hybrid-labfactory.de/> abgerufen oder bei den Kontaktpersonen angefragt werden.



Anna-Sophia Wilde

a.wilde@tu-braunschweig.de  
Telefon + 49 531 391-65034

Forschungsschwerpunkt „Circular Economy Technologies“







Arne Wagner

ar.wagner@tu-braunschweig.de  
Telefon + 49 531 391-7631

Standortpartner:  
Fraunhofer-Institut für Schicht- und  
Oberflächentechnik IST  
TU Braunschweig  
Robert Bosch Elektronik GmbH  
MAN Energy Solutions SE  
Alstom Transport Deutschland GmbH  
Salzgitter AG  
Allianz für die Region GmbH

EINRICHTUNG\_Wasserstoff Campus Salzgitter

# Wasserstoff Campus Salzgitter

## Wasserstofftechnologien am Standort in Salzgitter

Der Wasserstoff Campus Salzgitter ist ein Zusammenschluss regionaler Akteure aus politischen, industriellen sowie insbesondere auch wissenschaftlichen Vertretern, wie dem Fraunhofer-Institut für Schicht- und Oberflächentechnik IST und dem Institut für Werkzeugmaschinen und Fertigungstechnik der TU Braunschweig. Gemeinsam wird daran gearbeitet und geforscht, wie der Herstellungsprozess und Einsatz rund um grünen Wasserstoff gestaltet werden kann. Die breit gefächerten Aktivitäten der kooperierenden Partner befassen sich mit Technologien und Prozessen für die Erzeugung, Speicherung und Nutzung von Wasserstoff. Auf Basis von Demonstrations- und Versuchsanlagen wird zukunftsweisende, anwendungsbezogene Forschung zu den unterschiedlichen Potenzialen und Herausforderungen in der industriellen Anwendung von und für grünen Wasserstoff betrieben. Insbesondere das Zusammenspiel aus Wirtschaft und Forschung als kooperative Partnerschaft ist Vorbild für viele innovative und relevante Forschungsprojekte auch über die Region hinaus. Der Standort Salzgitter und die damit verbundene Nähe zu Akteuren wie der Robert Bosch Elektronik GmbH, der Salzgitter AG, der MAN Energy Solutions SE und der Alstom Transport GmbH bieten ein ideales Umfeld, um neben Kernfragen wie dem Einsatz von Wasserstoff in mobilen Anwendungen auch ein breiteres Anwendungsspektrum wie die Herstellung von grünem Stahl zu untersuchen.

### Ziele und Fokus der Forschungsaktivitäten der Kooperationspartner am Wasserstoff Campus

Eines der zentralen Ziele des Wasserstoff Campus Salzgitter ist es, neue Geschäftsfelder in der Energiewende zu erschließen. Durch übergreifende Geschäftsmodelle soll der wirtschaftliche Einsatz von Schlüsseltechnologien und der Wasserstoffinfrastrukturen gefördert werden. Hierbei werden in den am Standort angesiedelten Projekten anwendungsnahen Fragestellungen entlang der gesamten Wertschöpfungskette von der Erzeugung, der Wasserstoffmobilität, der Fabriktransformation zur Dekarbonisierung der Wertschöpfungskette, der Speicherung bis hin zur Nutzung des Wasserstoffes in mobilen, stationären und industriellen Anwendungen betrachtet.

Die Akteure am Standort umfassen neben der vor Ort fokussierten Partner Stadt Salzgitter, der WEVG Salzgitter GmbH und der Salzgitter AG auch weitere Vertreter wie die Robert Bosch Elektronik GmbH, die Alstom Transport Deutschland GmbH und die MAN Energy Solutions SE. Weiterhin beteiligt sind zusätzlich die Allianz für die Region GmbH sowie das Amt für regionale Landesentwicklung Braunschweig, das zusammen mit dem ebenfalls in Braunschweig ansässigen Fraunhofer-Institut für Schicht und Oberflächentechnik IST gemeinsam mit der Technischen Universität Braunschweig eine umfassende Transformation der Region hin zu einem Fokus auf eine ganzheitliche und umfassende Nachhaltigkeit erwirken wollen. Insbesondere bei den Themen Infrastrukturausbau, Transformation der Industrie und Zukunftstechnologien will die Region rund um Salzgitter als drittgrößter Industriestandort Deutschlands zukünftig noch enger zusammenarbeiten und sich als Vorreiter im Themenfeld der Wasserstofftechnologien entwickeln. Mit dem breiten Anwendungsspektrum insbesondere der wirtschaftlichen Akteure ergibt sich ein entsprechend breites Forschungsfeld und beschränkt sich nicht ausschließlich auf einen Anwendungsfall. Die wichtigen Akteure der Regionalentwicklung – Wissenschaft, Wirtschaft, Land und Kommunen – sind sich einig, gemeinsam die Herausforderungen des Klimawandels anzugehen und in Niedersachsen wegweisend für weitere Forschung den Weg zu ebnen.

### Projekte und Aktivitäten zur ganzheitlichen produktionstechnischen Wasserstoff-forschung

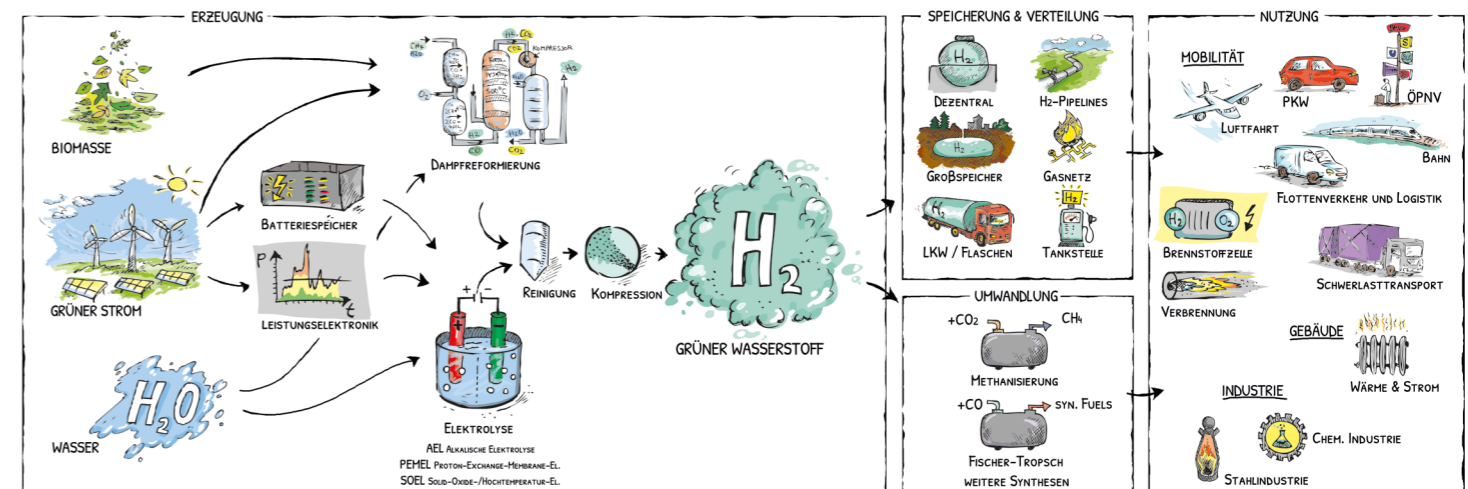
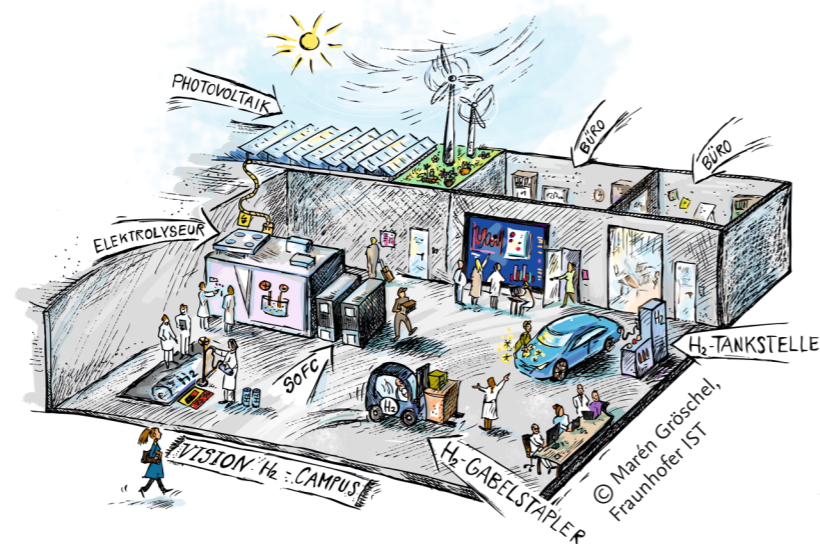
Gemeinsam mit dem Fraunhofer-Institut für Schicht- und Oberflächentechnik IST forscht die TU Braunschweig insbesondere an produktionstechnischen Aspekten für die Wasserstofftechnologie. Neben den Fragestellungen, wie Wasserstoff als Energieträger zukünftig bei der Planung von Fabrikssystemen als wichtiger Baustein zur Dekarbonisierung in der Industrie berücksichtigt werden kann, spielt insbesondere auch die Speichertechnologie eine zentrale Rolle. Darüber hinaus beschäftigt sich das Institut für Werkzeugmaschinen und Fertigungstechnik der TU Braunschweig mit anwendungsnahen Forschungsthemen hinsichtlich der produktionstechnischen Fragestellungen rund um die Wasserstoffelektrolyse und die Brennstoffzelle besonders mit Augenmerk auf eine großserientaugliche Automatisierbarkeit im gesamten Fertigungsprozess. Dabei sind die Abmessungen und Maßstäbe mit einer aktiven Zellafläche von ca. 3 Quadratmetern in Kombination mit hohen Genauigkeits- und Qualitätsanforderungen in dem Forschungsprojekt H2NRY im Kontext der alkalischen Wasserelektrolyse insbesondere in Bezug auf eine automatisierte Montage von Elektrolysezellen ein spannendes Forschungsthema. Mit diesem und weiteren interessanten Forschungsprojekten erfolgt ein Kompetenzaufbau und eine Stärkung der Region im Bezug auf die Wasserstofftechnologien. Gemeinsam werden die gewonnenen Erkenntnisse genutzt, um ein Informationszentrum zu bilden sowie die gesammelten wissenschaftlich fundierten Kenntnisse in der kooperativen Partnerschaft mit Motivation, Faszination und Kreativität in der Region zu festigen und ein gemeinsames Verständnis für Zukunftstechnologien, Infrastrukturausbau und Transformationsprojekte aufzubauen.

Genauigkeits- und Qualitätsanforderungen in dem Forschungsprojekt H2NRY im Kontext der alkalischen Wasserelektrolyse insbesondere in Bezug auf eine automatisierte Montage von Elektrolysezellen ein spannendes Forschungsthema. Mit diesem und weiteren interessanten Forschungsprojekten erfolgt ein Kompetenzaufbau und eine Stärkung der Region im Bezug auf die Wasserstofftechnologien. Gemeinsam werden die gewonnenen Erkenntnisse genutzt, um ein Informationszentrum zu bilden sowie die gesammelten wissenschaftlich fundierten Kenntnisse in der kooperativen Partnerschaft mit Motivation, Faszination und Kreativität in der Region zu festigen und ein gemeinsames Verständnis für Zukunftstechnologien, Infrastrukturausbau und Transformationsprojekte aufzubauen.

<https://wasserstoff-campus-salzgitter.de/>

## Wasserstoff Campus Salzgitter

Vision des Wasserstoff Campus Salzgitter zur Realisierung und Forschung an der gesamten Wertschöpfungskette für Wasserstoff



Wasserstoffwertschöpfungskette von Erzeugung auf Basis regenerativer Energien über die Speicherung bis zur Nutzung in einem breiten Anwendungsspektrum



**Sandro Süß**  
(Forschungsfabrik, Experimentierfabrik)

s.suess@tu-braunschweig.de  
Telefon + 49 531 391-7159

EINRICHTUNG\_Die Lernfabrik

# Die Lernfabrik

Die fortschreitende Digitalisierung von Prozessen und Produktion, die steigende Bedeutung einer nachhaltigen Entwicklung und der stetige globale Wettbewerb bezüglich Kosten und Differenzierung erfordern von produzierenden Unternehmen ein hohes Maß an Wandlungs- und Lernfähigkeit. In diesem Prozess begleitet Die Lernfabrik Unternehmen aus allen Branchen. Dabei dient Die Lernfabrik auch als Plattform für die Ableitung von neuen Forschungsfragen aus aktuellen Forschungsergebnissen und die Übertragung innovativer Technologien und Methoden in die Lehre und Weiterbildung. Seit der erfolgreichen Etablierung im Frühjahr 2012 werden die Infrastruktur und Fähigkeiten stetig an neue Herausforderungen und sich wandelnde Rahmenbedingungen angepasst sowie um technische Innovationen erweitert.

**Drei Säulen der Lernfabrik**

Die Lernfabrik besteht aus drei Säulen: Der Forschungsfabrik, der Experimentierfabrik und der Ausbildungswerkstatt. In jeder Säule wird der entsprechende Fokus stärker auf Forschung oder Aus- bzw. Weiterbildung gelegt. Allen Säulen gemein sind ihre thematische Ausrichtung und die anwendungsnahe Verbindung aus Wissen und Anwendung. Die Lernfabrik adressiert insbesondere die Themen der Energie- und Ressourceneffizienz, Digitalisierung (Industrie 4.0) und urbane Fabriken.

**Forschungsfabrik, Experimentierfabrik und Ausbildungswerkstatt**

Die Forschungsfabrik fokussiert die Entwicklung, prototypische Implementierung innovativer Lösungen sowie die kontinuierliche Ableitung neuer Forschungsfragen. Auf einer Fläche von über 800 m<sup>2</sup> im Versuchsfeld des Instituts für Werkzeugmaschinen und Fertigungstechnik bedient sich die Forschungsfabrik einer industrienahen Infrastruktur zur Erprobung von Prototypen in Real-Umgebungen. Somit können Versuche auf Maschinen- und Anlagen-Ebene durchgeführt werden, aber auch Untersuchungen auf Fabrik-Ebene unter Einbeziehung der gesamten technischen Gebäudeausrüstung erfolgen. Dies ermöglicht beispielsweise die Berücksichtigung der Wechselwirkungen zwischen der Abwärme einzelner Maschinen und der Klimatisierung der Fabrikhalle. Weiterhin gibt es enge Schnittstellen zu anderen Infrastrukturen, wie der Battery LabFactory (BLB), der Open Hybrid LabFactory (OHLF) oder dem Zentrum für Pharmaverfahrenstechnik (PVZ).

In der Experimentierfabrik liegt der Fokus auf der Übertragung erforschter Methoden und Werkzeuge in die universitäre, forschungsorientierte Lehre sowie in die Weiterbildung. Hauptbestandteil ist eine Modellfabrik, bestehend aus einer modular zusammengesetzten Produktionsprozesskette, autonomen Logistiksystem und eigener technischer Gebäudeausrüstung. Ohne die potenziellen Gefahren durch hohe elektrische Spannungen oder große mechanische Kräfte können die Lernenden in geleiteten Workshops oder in freien Projekten ihre Forschungsziele definieren und Experimente durchführen sowie ihr theoretisch erlangtes Wissen praktisch testen und festigen. Im Vergleich zu herkömmlichen Lehrmethoden, die ausschließlich auf Hörsaalunterricht basieren, werden dank des erlebnisorientierten Lernansatzes die Lernziele deutlich schneller erreicht und das Methodenwissen besonders verinnerlicht.

Die Ausbildungswerkstatt ist als zentrale Einrichtung der Technischen Universität Braunschweig für die technisch-gewerbliche Ausbildung an der Schnittstelle zur Forschung zuständig. Konzipiert als offener Lernort für Studierende und Auszubildende ermöglicht sie die praktische Erlebarkeit von Nachhaltigkeit in der Produktion. In einem integrativen Ansatz werden Studierende und Auszubildende als spätere Fach- und Führungskräfte für die Themen Nachhaltigkeit und Digitalisierung sensibilisiert und die nötigen Fach-, Praxis- und Methodenkenntnisse vermittelt.

**Zirkuläre Batterieproduktion**

Aktuell wird die Lernfabrik um das an der TU Braunschweig stark verankerte und zukunftsgerichtete Feld der zirkulären Batteriezellproduktion ergänzt. Im Rahmen des Projekts LEBAZ entsteht ein Ausbildungszentrum für zukünftige Fachkräfte und WissenschaftlerInnen, in dem die Fähigkeiten und Fertigkeiten aller Prozessschritte zur Herstellung von Batteriezellen bis zum Recycling im Sinne einer „Circular Battery Production“ anwendungsnah vermittelt werden sollen. Der Aufbau Lernfabrik wird vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) mit 3,7 Mio. Euro gefördert. Basierend auf den langjährigen Erfahrungen der TU Braunschweig im Bereich der Lernfabriken und der Batteriezellproduktion werden diese Kompetenzen gebündelt, um die notwendigen Fähigkeiten in der Herstellung und für das Recycling von Batteriezellen anwendungs- und praxisnah zu vermitteln.

Die Lernfabrik ist mit zahlreichen nationalen und internationalen Partnern (z.B. aus Indien und Singapur) eng vernetzt und u.a. Mitglied in der International Association of Learning Factories (ialf-online.net), den I4KMU (i4kmu.de)- und LNI-Netzwerken sowie aktiver Partner im Mittelstand 4.0 Kompetenzzentrum Niedersachsen (mitunsdigital.de). Im März 2019 war Die Lernfabrik Gastgeberin für die 9th Conference on Learning Factories, der wichtigsten Veranstaltung für Forschung und Industrie für den Austausch in diesem Themenfeld.



**Dr.-Ing. Mark Mennenga**  
(Ausbildungswerkstatt)

m.mennenga@tu-braunschweig.de  
Telefon +49 531 391-7150



<https://www.tu-braunschweig.de/iwf/die-lernfabrik>

Bild links | Die Forschungsfabrik

Bild rechts | Die Säulen der Lernfabrik



Dr.-Ing. Kolja Meyer

kolja.meyer@tu-braunschweig.de  
Telefon + 49 531 391-2714

Förderung:  
Exzellenzinitiative "Stadt der Zukunft"

Laufzeit: 03/2021 - 02/2025

## FORSCHUNGSGRUPPE

# Nachwuchsgruppe Urban Flows and Production

## Produktion in der Stadt der Zukunft

Im Rahmen der Exzellenzinitiative „Stadt der Zukunft“ der TU Braunschweig wurde eine Nachwuchsforschungsgruppe zum Thema „Urban Flows and Production“ eingerichtet. Die Gruppe setzt sich aus Forschenden beider Lehrstühle des IWF und des ISU (Institute for Sustainable Urbanism) zusammen.

### Herausforderung und Zielsetzung

Städte und urbane Räume sind Motoren der globalen wirtschaftlichen Entwicklung. Doch diese wirtschaftliche Kraft hat einen Preis: Städte sind für einen hohen Anteil der weltweit emittierten Treibhausgase verantwortlich. In Anbetracht der erwarteten drastischen Steigerung der weltweit in Städten lebenden Bevölkerung ist bei einem Festhalten an bisherigen Produktions- und Konsumparadigmen von einer deutlich höheren Belastung auszugehen. Die Bedeutung der Städte und die Auswirkungen der urbanen Räume auf das Klima und die Menschen haben die Aufmerksamkeit unterschiedlicher Entscheidungsträger geweckt. Vertreterinnen und Vertreter aus Politik, Wirtschaft und Wissenschaft haben sich auf verschiedenen Ebenen zusammengefunden, um Ziele für die weitere Stadtentwicklung und Schwerpunkte für eine nachhaltige Transformation zu formulieren. Als Beispiele hierfür können die UN Sustainable Development Goals aus dem Jahre 2017, die Leipzig-Charta sowie der aktuelle IPCC-Bericht angeführt werden.

Die aktuellen Entwicklungen im Bereich der Produktionstechnik bieten einen Weg, das Verhältnis zwischen Städten und Produktion neu zu definieren: Mit der vierten industriellen Revolution werden unter anderem intelligente und digital vernetzte Fertigungssysteme assoziiert, die Kommunikation zwischen Menschen, Maschinen, Anlagen, Logistik und Produkten ermöglichen. Zudem bieten Innovationen im Bereich der Produktionssysteme und -anlagen neue Möglichkeiten, die Herstellung von Gütern in ein urbanes Umfeld zu integrieren. Diese neuen Möglichkeiten eröffnen das Potenzial, Produktion in urbanen Gebieten zu etablieren, bestehende Produktionsprozesse zu optimieren und sowohl für die StadtbewohnerInnen als auch für die Umwelt einen Mehrwert zu generieren.

Die Junior Research Group „Urban Flows and Production“ verfolgt vor diesem Hintergrund das Ziel, Methoden zur ganzheitlichen Planung nachhaltiger Wertschöpfung in urbanen Räumen zu entwickeln.

### Vorgehen

Vor dem beschriebenen Hintergrund untersucht die Nachwuchsforschungsgruppe im Kontext einer nachhaltigen Stadtentwicklung, wie Prozesse der Güterproduktion so gestaltet werden können, dass zwischen ihnen und anderen urbanen Funktionen, wie etwa Wohnen, Freizeit oder Mobilität Synergien entstehen. Dabei stehen auch Regularien, Normen, Gebäudekonfigurationen und Planungsprozesse im Fokus, um diese Synergien rechtlich und organisatorisch zu ermöglichen.

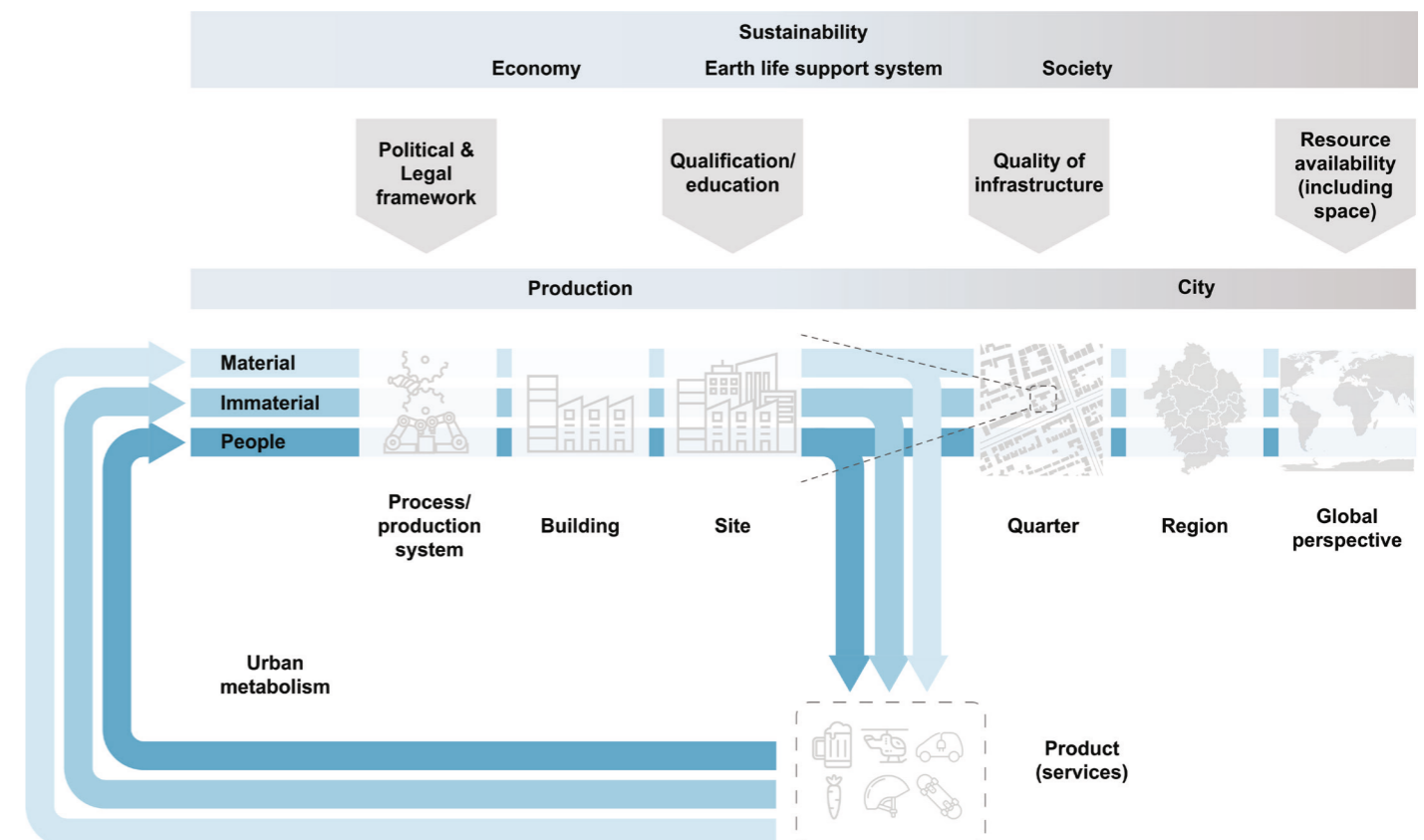
Die Arbeit der Junior Research Group zielt darauf ab, die interdisziplinären Methoden der Entwicklung, Analyse, Bewertung und Planung von Stadtregionen, einschließlich der Aspekte Mobilität, Produktion und Nachhaltigkeitsbewertung an der Schnittstelle der Forschungsdisziplinen des Ingenieurwesens und des Städtebaus voranzutreiben. Die zu entwickelnden integrierten Modelle dienen der Analyse von Material-, Personen-, Energie- und Informationsflüssen innerhalb urbaner Gebiete zur Identifizierung von Auswirkungen und Symbiose-Potenzialen. Unter Betonung der zentralen Bedeutung der Wechselwirkungen zwischen den unterschiedlichen Akteuren und Bedarfen im urbanen Raum wird ein Schwerpunkt auf die Integration heterogener Datenquellen und Modelle gelegt. Mit Hilfe von Modell- und Analyseverfahren sollen Synergiepotenziale und Trade-offs zwischen den verschiedenen Subsystemen, wie bspw. Infrastruktur, Gebäude, Quartiere und Produktionssysteme, identifiziert werden, um zu einer nachhaltigen und ressourcenschonenden Entwicklung beizutragen.

Die Nachwuchsforschungsgruppe verfügt über zwei Teilprojekte: „Flow Assessment and Planning of Production Facilities“ und „Flexible and Modular Sustainable Manufacturing Strategies“. „Flow Assessment and Planning of Production Facilities“ befasst sich primär mit der Entwicklung von Strategien und Regularien zur Integration urbaner Produktion und nimmt die Position des Städtebaus an der Schnittstelle zur Produktionstechnik ein. Das Subprojekt „Flexible and Modular Sustainable Manufacturing Strategies“ befasst sich mit der technischen Ausgestaltung urbaner Produktionssysteme sowie der Interaktion zwischen Produktionsstätten und ihren Umgebungen. Dabei wird eine produktionstechnische Perspektive eingenommen.

<https://www.tu-braunschweig.de/ufp>

Die Junior Research Group „Urban Flows and Production“ verfolgt das Ziel, Methoden zur ganzheitlichen Planung nachhaltiger Wertschöpfung in urbanen Räumen zu entwickeln.

Framework der Junior Research Group





Dr.-Ing. Michael Demes

CEO Sentic  
Co-Founder

m.demes@sentic.de  
Telefon + 49 531 391-65017

EXIST FORSCHUNGSTRANSFER

# Sentic rettet Leben in Industrie und Logistik



**An jedem zweiten Tag verliert ein Mensch sein Leben bei einem Unfall im innerbetrieblichen Transport**

Alle zwei Minuten kommt es im innerbetrieblichen europäischen Transport zu Unfällen mit Personenschäden. Alle zwei Stunden sind die Unfälle so schwer, dass die verunfallte Person berufsunfähig ist und Unfallrenten gezahlt werden. An jedem zweiten Tag verliert ein Mensch sein Leben. Die Unfälle sind maßgeblich getrieben von Fahrzeugen des innerbetrieblichen Transports, wie beispielsweise Gabelstaplern. Auf den Fahrzeugen fehlt die Information, wo sich Personen in der Umgebung aufhalten, sodass Kollisionen vermieden werden können.

**Verhinderung von Unfällen durch fortwährende Sicherheitsanalyse der Umgebung**

Durch die Dienstleistungen von Sentic können diese Unfälle durch eine fortwährende Datenanalyse frühzeitig verhindert werden. Über die einmalige Installation eines Kamernetzwerkes in den Industrieumgebungen der Kunden können fortlaufend aus Bilddaten Positionen von Personen, Fahrzeugen und weiteren Gegenständen wie Paletten ermittelt werden. Da kein Bildmaterial im Betrieb gespeichert oder ausgegeben wird, liegt erstmals ein vollständig datenschutzkonformes System zur Lokalisierung von Objekten vor. Aus den Positionsdaten wird ein digitales Abbild der Umgebung geschaffen, ähnlich einem Radarbild im Luftverkehr. Droht eine Kollision, beispielsweise wenn ein Fahrzeug nah an einer Person betrieben wird, werden diese Daten ausgewertet. Über eine Heatmap können diese unsichtbaren Gefahrenstellen sichtbar gemacht werden und die Anwender können auf das Gefahrenpotenzial reagieren, bevor es zu einem Unfall kommt.

**Aktive Verhinderung von Unfällen durch Eingriff in die Fahrzeuge**

Mit den gewonnenen Positionsinformationen können Unfälle nicht nur präventiv verhindert werden, ein aktiver Eingriff ins Fahrzeug verhindert schwerste Verletzungen unmittelbar vor dem Unfall. Das System berechnet hierbei einen kurz bevorstehenden Unfall auf einem zentralen Server und gibt diese Information an das betroffene Fahrzeug weiter. Das

Fahrzeug wird in der Geschwindigkeit deutlich reduziert, ähnlich einem Nothalteassistenten in einem PKW. Auf dem Fahrzeug wird so unmittelbar ein besseres Situationsbewusstsein geschaffen und der/die Fahrer/in kann auf die Situation entsprechend reagieren.

**Positionsinformationen als Geschäftsmodell**

Die Positionsinformationen erlauben es, eine breite Palette von Produkten und Dienstleistungen im industriellen Bereich umzusetzen. Neben den initialen Produktkategorien Sicherheit und Produktivität in der Produktion und Logistik werden auch andere industrielle Anwendungen wie z. B. Navigationsaufgaben, Automatisierung oder Mensch-Maschine-Kollaboration adressiert. Eine weitere Produkt- und Dienstleistungskategorie ist die Datenanalyse. Diese reichen von Analysen zur Erkennung und Bewertung von Gefährdungspotenzialen bis hin zur Messung und Optimierung von Arbeits- und Transportprozessen.

**Über Sentic**

Die Sentic GmbH wurde im Jahr 2022 von Sebastian Bienia, Lokesh Bisht, Dr. Michael Demes und Robin Wieloch gegründet und beschäftigt im Juni 2023 elf Mitarbeiter. Der Grundstein für die Gründung wurde durch gemeinsame Forschung am Institut für Werkzeugmaschinen und Fertigungstechnik der TU Braunschweig gelegt. Im Rahmen des vom Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz geförderten EXIST-Forschungstransferprojektes wurden die bislang erarbeiteten, grundlegenden Kenntnisse nun in Produkte übertragen und werden aktuell über die Vermarktung auf Industriemessen in den Markt eingeführt.

Der Unternehmenssitz befindet sich in der Open Hybrid LabFactory in Wolfsburg, dessen Technikum ebenfalls genutzt wird, um neue Systemfunktionalitäten weiterzuentwickeln. Aktuell werden Erstkundenprojekte in der Verpackungs- und Automobilindustrie abgeschlossen und die Produkte werden an die Kundenbedürfnisse durch einen Product-Market-fit angepasst. In naher Zukunft ist eine weitere Marktdurchdringung vorerst im deutschen Markt geplant.



Sebastian Bienia

CTO Sentic  
Co-Founder

s.bienia@sentic.de  
Telefon + 49 531 391-65053

Bild oben | Sentic Kollisionspräventionssystem in der Open Hybrid LabFactory

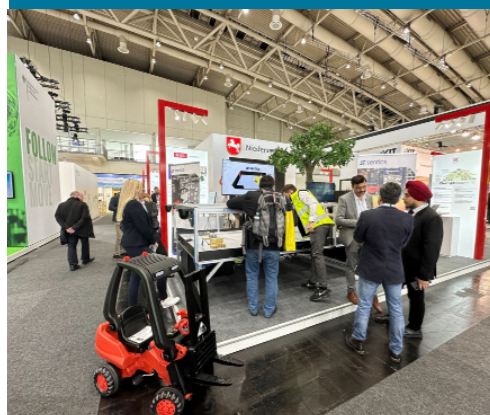


Bild oben | Messestand auf der Hannover Messe 2023

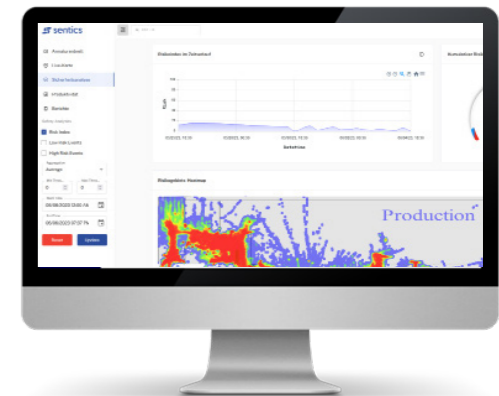


Bild oben | Heatmap-Darstellung gefährlicher Annäherungen zwischen Fahrzeugen und Personen



Bild links | Sebastian Bienia (l) stellt die Lösung dem Ministerpräsidenten des Landes Niedersachsen, Stefan Weil, vor



**Shubiao Wu**

shubiao.wu@tu-braunschweig.de  
Telefon + 49 531 391-7673

Förderung: Niedersächsisches  
Ministerium für Wissenschaft und Kultur  
(MWK)  
Laufzeit: 10/2021 - 09/2024

Projektpartner:  
Technische Universität Clausthal  
Leibniz Universität Hannover  
Fraunhofer-Institut für Schicht- und  
Oberflächentechnik IST



**PROJEKT\_Fertigungstechnologien und Prozessautomatisierung**

# Graduiertenkolleg CircularLIB

## „Circular Production and Usage of Lithium-Ion Batteries“ – Modellierung und Bewertung von „Reverse Production“-Prozessen für die Batteriedemontage

**Motivation und Zielsetzung**

Die Entwicklung der Elektromobilität mit dem Einsatz von Lithium-Ionen-Batterien (LIB) leistet einen wesentlichen Beitrag zur Umstellung der Verkehrsmittel und zur Dekarbonisierung in Europa. Ausgediente LIB müssen zur Ressourcenschonung und Verringerung der Umweltbelastung in Deutschland gesetzlich recycelt werden. Durch die Rückgewinnung des Sekundärmaterials werden Rohstoffversorgungsrisiken und Abhängigkeiten minimiert. Die Altbatterien werden dafür tiefenentladen, zerlegt und schließlich zerkleinert. Heutzutage werden metallurgische Verfahren wie z. B. Pyrometallurgie genutzt, um Rohstoffe aus der sogenannten schwarzen Masse zu gewinnen. Diese Verfahren sind jedoch sehr energie- und kostenintensiv. Ein weiteres Vorgehen ist das direkte Recycling, bei dem das Aktivmaterial chemisch regeneriert wird. Dies reduziert unter anderem Materialverlust, Energieverbrauch und CO<sub>2</sub>-Emissionen. Allerdings ist eine reine und effiziente Trennung des Aktivmaterials erforderlich, wofür bisher kein effizientes Verfahren etabliert ist.

Im Rahmen des Projekts soll die Demontagetiefe von LIB bis auf die Elektrodenebene erweitert werden. Dies ermöglicht eine frühere Trennung der Aktivmaterialien als bei zerkleinernden Verfahren, womit die Reinheit des Rezyklats verbessert werden kann. Für unterschiedliche Zellen hinsichtlich Parameter wie Geometrie, Zellzustand etc. werden die Demontageprozesse methodisch entwickelt. Final soll ein automatisierter Demontageprozess für das direkte Recycling anhand der gewonnenen Erkenntnisse abgeleitet und umgesetzt werden.

**Vorgehen und methodischer Ansatz**

Die Demontage von LIB hat sich bisher vor allem auf Batteriesysteme und -module konzentriert. Die Zelldemontage bis auf Elektrodenebene stellt aufgrund der vielfältigen Zelltypen und der geringen Effizienz manueller Methoden eine große Herausforderung dar. Für die Verbesserung der Rezyklatreinheit soll die Demontagetiefe auf die Elektrodenebene ausgeweitet werden. Zur Realisierung dieser Demontagetiefen werden die Batteriezellen aus den Modulen ausgebaut und zunächst in spezieller Atmosphäre bis auf einzelne Elektroden manuell zerlegt. Damit werden notwendige Schritte zur Zerlegung abgeleitet und Herausforderungen identifiziert. Anschließend ist das Ziel, einen Demontageprozess für Zellen bis auf Elektrodenebene mit einem hohen Automatisierungsgrad zu entwickeln.

Die Bestimmung der optimalen Recyclingstrategie und der entsprechenden Demontagetiefe basiert auf theoretischen Konzeptualisierungen und Laborexperimenten. Für die Konzeptentwicklung erfolgt eine systematische Vorgehensweise mit z. B. morphologischen Analysen zur Konzeptentwicklung für die Zellöffnung. Weiterhin werden experimentelle Untersuchungen bzgl. des Demontageprozesses in einer kollaborativen Mensch-Roboter-Workstation ausgeführt. Verschiedene Zelltypen (Pouchzellen und prismatische Zellen) werden demontiert und Parameter wie z. B. Demontagezeit und Automatisierungsgrad untersucht. Basierend darauf wird ein automatisierter Demontageprozess für Batteriezellen bis auf Elektrodenebene in einem industriell relevanten Maßstab konzipiert sowie die Übertragbarkeit der im Labor verwendeten Prozesse auf diesen Maßstab untersucht.

**Projektfortschritt**

Im Laufe des Projektes wurden bereits Pouchzellen mit Z-gefalteten Elektroden-Separator-Verbänden (ESV) und prismatische Zellen mit gewickelten ESV manuell in einer Glovebox demontiert (Abbildung links unten). Bei Pouchzellen gestaltet sich die Öffnung des Aluminium-Foliengehäuses problemlos. Die Trennung der einzelnen Elektroden kann schnell ausgeführt werden, indem der Separator aus den ESV herausgezogen wird. Für prismatische Zellen sind diese Schritte herausfordernder. Die Trennung des Gehäuses und der gewickelten ESV erfolgt durch das Öffnen der Zelle mit einer Säge. Die untersuchten Ableiter der ESV lassen sich nur schwer abtrennen, da die Al- bzw. Cu-Folien nicht mit Laser oder Ultraschall verschweißt, sondern mit einem Kunststoffelement im Kern der ESV vernietet sind. Sobald die Ableiter abgeschnitten sind, können die gewickelten ESV durch Zugbelastung an den jeweiligen Materialbahnenden voneinander getrennt werden. Ein herausfordernder Schritt für eine Automatisierung der Zelldemontage ist das Erkennen und Ergreifen des Endes vom Separator bzw. Elektrodenbandmaterial, unabhängig vom Zellentypen. Da die Zellen am End-of-Life meist mehrere Jahre im Einsatz waren, kleben die Zellkomponenten aufgrund der Alterung fest aneinander, was die vollständige und erfolgreiche Trennung der ESV beeinträchtigt. Darüber hinaus ist der Separator typischerweise mehrfach um die ESV umwickelt, was die Identifizierung des Endes erschwert. Basierend auf den manuellen Demontageversuchen wird nun ein Demontagekonzept abgeleitet und in einen teilautomatisierten Prozess überführt.

**Ausblick und Potenziale**

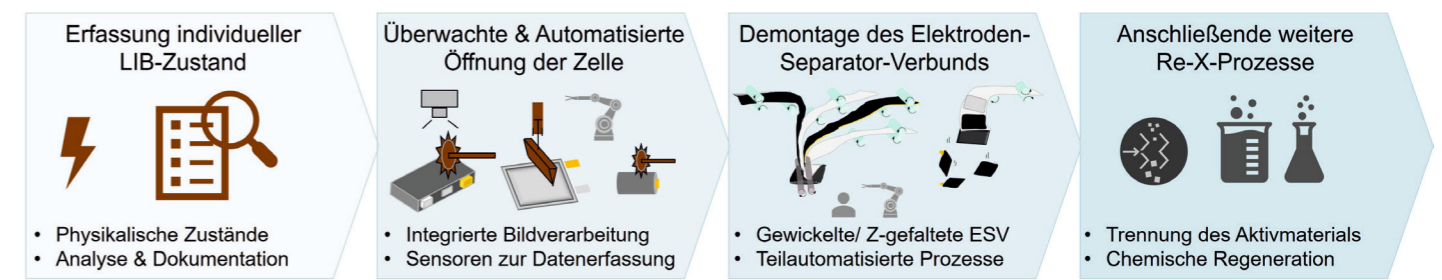
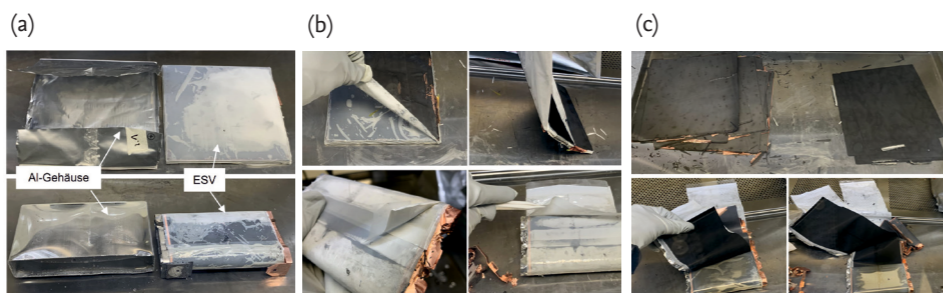
Unter Berücksichtigung einer Vielzahl von Zellformaten und -zuständen werden systematisch und methodisch geeignete Demontagekonzepte entwickelt, die anhand verschiedener Kriterien bewertet und in Experimenten validiert werden (rechts unten). Dazu wird eine teilautomatisierte Workstation aufgebaut und untersucht. Die aufgestellten Konzepte sowie die experimentellen Untersuchungen werden mittels Multi Criteria Analysis und Sensitivitätsanalysen ausgewertet. Auf diese Weise kann der Einfluss von Eingangsparametern (z. B. Zellformat, Zustand) auf diverse Zielparameter (z. B. Demontagezeit, CO<sub>2</sub>-

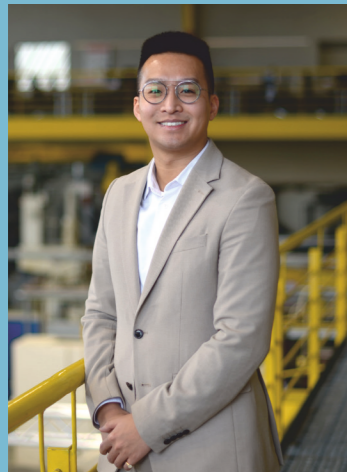
Fußabdruck) ermittelt werden. So wird die ökologisch und ökonomisch beste Recyclingstrategie in Bezug auf die Eingangsparameter festgelegt. Die in diesem Projekt entwickelte reverse Prozesskette ermöglicht eine Erweiterung der Demontagetiefe der LIB, was eine effizientere Trennung des Aktivmaterials ermöglicht. Dies trägt dazu bei, eine zirkuläre Produktion von LIB zu gewährleisten und die nachhaltige Entwicklung der Elektromobilität sicherzustellen.

<https://www.tu-braunschweig.de/iwf/fup/mofa/forschungsprojekte-1/circularlib>

Vereinfachte Konzepte für die teilautomatisierte Batteriedemontage: Abhängig von Zellzustand, Geometrie, etc. werden die Zellen mit verschiedenen Verfahren zerlegt und für weitere chemische Prozesse bereitgestellt.

Manuelle Batteriedemontage der Pouchzelle (oben) und der prismatischen Zelle (unten) in Glovebox: (a) Zellöffnung und Trennung von ESV und Gehäuse; (b) Identifizierung des Separatorendes; (c) Deassemblieren der ESV.





Do Minh Nguyen

do-minh.nguyen@tu-braunschweig.de  
Telefon +49 531 391-7672

Förderung: Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF)  
Laufzeit: 11/2021 - 10/2024

Projektpartner:  
Forschungszentrum Jülich GmbH,  
Fraunhofer-Institut für Fertigungstechnik und Angewandte Materialforschung IFAM,  
Fraunhofer-Institut für Keramische Technologien und Systeme IKTS,  
Fraunhofer-Institut für Schicht- und Oberflächentechnik IST,  
Fraunhofer-Institut für Werkstoff- und Strahltechnik IWS,  
Institut für Produktionstechnik (wbk) –  
Karlsruher Institut für Technologie,  
Institut für Werkzeugmaschinen und Betriebswissenschaften – TU München,  
Institut für Partikeltechnik –  
TU Braunschweig

PROJEKT\_Fertigungstechnologien und Prozessautomatisierung

## FestBatt2 – Querschnitts-plattform Produktion

FestBatt – Kompetenzcluster für Festkörperbatterien

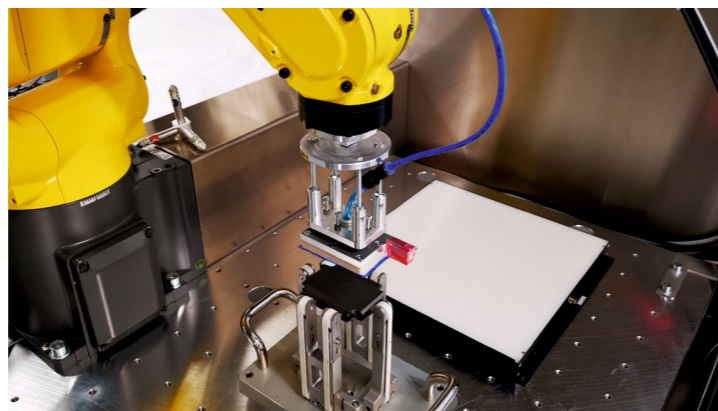
### Motivation und Zielsetzung

Stetig wachsende Leistungsanforderungen an Energiespeicher für höhere Reichweiten und Laderaten zeigen den Bedarf für eine zukünftige Etablierung von Next-Generation-Batterietechnologien, wie der Lithium-Festkörperbatterie. Die dafür verwendeten Festkörperelektrolyten weisen hohe mechanische und atmosphärische Empfindlichkeiten auf, die große Herausforderungen in der automatisierten Zellfertigung bergen. Das Projektziel liegt in der Entwicklung einer skalierbaren, materialangepassten Zellfertigung für den mehrlagigen Zellbau mit Festkörperelektrolyten dreier Materialklassen (Polymer, Oxid, Sulfid). Dabei stehen nicht nur materialspezifische Produktionseigenschaften im Fokus, sondern auch der Einfluss prozessimmanenter Belastungen und die bereitzustellende Prozessatmosphäre nach Materialklasse für die elektrochemische Zelleistungsfähigkeit wird berücksichtigt.

### Projektergebnisse

Im Rahmen des Projektes wurden sechs mechanische Charakterisierungsmethoden für die Ermittlung prozessrelevanter Materialeigenschaften der Festkörperelektrolyten erarbeitet. Tests an polymeren Festkörperelektrolyten zeigten eine hohe mechanische Empfindlichkeit sowie eine starke Neigung zur Adhäsion an sich selbst sowie den Produktionsmitteln. Darauf aufbauend erfolgte die Durchführung von experimentellen Handhabungsuntersuchungen mittels eines Prüfstands im Trockenraum. Als Prozessqualitätsmerkmal diente die Ablagegenauigkeit, die abhängig von den Prozessparametern Haltekraft, Greifergeschwindigkeit sowie Ablageabstand systematisch bewertet wurde. Bei der Evaluierung von fünf Greifern mit den polymeren Proben erzielte ein elektrostatischer Greifer adäquate Ablagegenauigkeiten nach den geforderten Qualitätsgrenzen in nahezu allen Parameterkonfigurationen. Im weiteren Projektverlauf soll neben den Handhabungsuntersuchungen mit weiteren Materialklassen auch die materialspezifische Entwicklung der an das Zellstapeln anschließenden Zellfertigungsprozesse erfolgen.

<https://www.tu-braunschweig.de/iwf/fup/mofa/forschungsprojekte/fb2-prod>



PROJEKT\_Fertigungstechnologien und Prozessautomatisierung

## PolySafe

Steigerung der Sicherheit von Lithium-Ionen-Batterien durch Metall-Polymer-Komposit-Stromkollektoren

### Motivation und Zielsetzung

In der Entwicklung von Lithium-Ionen-Batteriezellen bieten innovative passive Zellkomponenten ein erhebliches Potenzial zur Steigerung der elektrochemischen Performance und Sicherheit. Zu diesen Komponenten zählen auch Metall-Polymer-Komposit-Stromkollektoren, die aus einer Polymerfolie mit einer dünnen Aluminium- oder Kupferbeschichtung bestehen. Gegenüber metallischen Stromkollektoren weist der Metall-Polymer-Komposit-Stromkollektor ein geringeres Gewicht und eine geringe Dicke auf und steigert so die spezifische gravimetrische und volumetrische Leistungsdichte der Batteriezelle. Zudem ermöglicht der Metall-Polymer-Komposit-Stromkollektor eine intrinsische Sicherheitsfunktion der Zelle, da die Polymerfolie beim internen Kurzschluss schmilzt und so ein thermisches Durchgehen der Zelle verhindert. Den genannten Vorteilen der metallisierten Polymerfolie stehen Herausforderungen in der Verarbeitung gegenüber. Das Projekt PolySafe adressiert die Prozessierung der Metall-Polymer-Komposit-Stromkollektoren in der Elektroden- und Zellfertigung.

### Projektergebnisse

Zur Ableitung geeigneter Verarbeitungsparameter der Metall-Polymer-Komposit-Stromkollektoren werden zunächst deren mechanische Eigenschaften charakterisiert. Gegenüber metallischen Stromkollektoren ist die Zugfestigkeit herabgesetzt und die Dehnung erhöht. Diese Merkmale beeinflussen die Eigenschaften der späteren Elektroden wesentlich und erschweren deren Verarbeitung. Auf Basis der ermittelten Eigenschaften werden Anpassungen der Prozessschritte der Elektroden- und Zellfertigung identifiziert. Für die Assemblierung von Elektroden-Separator-Verbunden werden adaptierte Greifer erprobt, die die Belastung der Elektrode beim Greifen reduzieren. Des Weiteren wird im Projekt die Lamination von Elektroden und Separatoren erprobt, um mechanisch stabilere Zwischenprodukte zu schaffen.

<https://www.tu-braunschweig.de/iwf/fup/mofa/forschungsprojekte-1/polysafe>

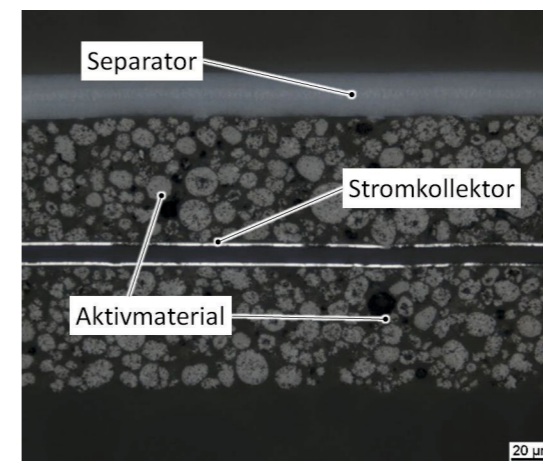


Christina von Boeselager

c.von-boeselager@tu-braunschweig.de  
Telefon +49 531 391-7697

Förderung: Batterie 2020 Transfer (BMBF)  
Laufzeit: 08/2021 – 07/2024

Projektpartner:  
Institut für Partikeltechnik –  
TU Braunschweig,  
Institut für Füge- und Schweißtechnik –  
TU Braunschweig,  
Institut für Hochspannungstechnik und Energiesysteme – TU Braunschweig,  
VON ARDENNE GmbH,  
Brückner Maschinenbau GmbH & Co. KG,  
Fraunhofer-Institut für Organische Elektronik, Elektronenstrahl- und Plasmatechnik FEP,  
Fraunhofer-Institut für Schicht- und Oberflächentechnik IST,  
Varta Microbattery GmbH



Schliffbild des Metall-Polymer-Komposit-Stromkollektors (hier: mit Aluminium metallisiertes PET) nach beidseitiger Beschichtung mit Kathoden-Aktivmaterial und Lamination des Separators unter dem Lichtmikroskop



Versuchsaufbau für experimentelle Handhabungsuntersuchungen von Greiferkonzepten: Hier erfolgt die Validierung des Greifens einer PPC-Elektrolyt-Folie mit einem Vakuumflächensauggreifer in industrienahe Produktionsumgebung.



Jonas Schwieger

j.schwieger@tu-braunschweig.de  
Telefon + 49 531 391-7664

Förderung: BMBF  
Laufzeit: 09/2021 - 08/2024

Projektpartner:  
acp systems AG,  
Ansmann AG,  
Hubert Stüken & Co. KG,  
INFICON,  
ITP GmbH,  
Wirth Werkzeugbau GmbH

## PROJEKT\_Fertigungstechnologien und Prozessautomatisierung

# KoDI

### Kompensation von Druckschwankungen im Inneren von Batteriezellen

#### Motivation und Zielsetzung

Steigerungspotenziale der Energiedichte und Sicherheit von Lithium-Ionen-Batteriesystemen bestehen insbesondere in der Verwendung von Hochenergieelektroden in Kombination mit einem Zellaufbau mit Feststoffelektrolyt. Den Potenzialen stehen jedoch zahlreiche Herausforderungen gegenüber. Unter anderem kommt es bei der zyklischen Ladung und Entladung der Batteriezellen durch die damit verbundene Ein- und Auslagerung der Ionen zu Volumenänderungen der Elektroden, die in Dickenänderungen der Zellen resultieren. Weiterhin wird zur Verbesserung der Ionenleitfähigkeit eine starke Verspannung der Zellen benötigt. In üblicherweise verwendeten starren Systemaufbauten verursachen die Dickenänderungen starke Druckschwankungen. Hieraus entstehen Beschädigungen der Zellmaterialien sowie der verwendeten Gehäuse, die in einer deutlich verkürzten Lebensdauer der Zellen resultiert. Ziel des Projekts KoDI ist daher die Entwicklung von Mechanismen zur Kompensation der Dickenänderung und die Ableitung der dafür erforderlichen Fertigungsprozesse.

#### Projektergebnisse

Relevante Anforderungen an Kompensationsmechanismen auf Zell- sowie Modul-/Systemebene wurden abgeleitet und geeignete Kompensationskonzepte im Rahmen eines methodischen Konstruktionsprozesses identifiziert. Mithilfe von Machbarkeitsstudien konnten durch Funktions- und Fertigungsversuche umsetzungsgerechte Gesamtkonzepte validiert und bewertet werden. Die gefertigten Prototypen weisen jedoch noch Verbesserungspotenzial auf, sodass im weiteren Projektverlauf eine Optimierung und eine stärkere Fokussierung der eingesetzten Fertigungsverfahren erfolgt. Zusätzlich wurden Systeme zur Nachbildung der Zelldickenänderung entworfen, die in der weiteren Projektbearbeitung zur tieferen Prüfung der Kompensationsmechanismen genutzt werden können.

<https://www.tu-braunschweig.de/iwf/fup/mofa/forschungsprojekte/kodi>



Umformung von Pouch-Gehäusen im Trockenraum der BLB. Die Gehäusekontur wird in einem Tiefziehprozess aus einer Aluminium-Polymer-Mehrschichtfolie mit einer Stärke von etwa 150 µm gefertigt. Die Gas-Dichtheit des Gehäuses ist entscheidend für die Langlebigkeit der Batteriezellen.



## PROJEKT\_Fertigungstechnologien und Prozessautomatisierung

# DuLiPro

### Durchsatzsteigerung in der Lithium-Ionen-Batterieproduktion durch kontinuierliche Teilprozesse

#### Motivation und Zielsetzung

Durch den wachsenden Bedarf an elektrochemischen Speichern für die Elektromobilität und stationären Energiespeichern werden hohe Anforderungen an die Leistungsfähigkeit und die Wirtschaftlichkeit elektrochemischer Speicher gestellt. Das zentrale Element dieser Speicher ist die Lithium-Ionen-Batteriezelle, weshalb eine effiziente Batteriezellfertigung im Fokus der Industrie und Forschung steht. Aktuell ist die Prozesskette gekennzeichnet durch diskrete, unverkettete Prozesse, was mit hohen Taktzeiten einhergeht. Vor dem Hintergrund des Ziels einer effizienten Batteriefertigung wird daher die Absicht verfolgt, die Prozesse kontinuierlich und verkettet umzusetzen.

#### Projektergebnisse

Im Projekt DuLiPro werden die bislang diskreten Prozessschritte Einhausung, Elektrolytbefüllung und Zellverschluss als kontinuierliche und bahngedundene Prozesse gestaltet sowie zu einer durchgehenden Teilprozesskette verknüpft. Die Prozesse werden zusätzlich um hochdurchsatzfähige Qualitätssicherungsmethoden ergänzt, sodass eine effiziente Fertigung unter Hochgeschwindigkeit bei gleichzeitiger Reduzierung von Ausschuss erreicht wird. Hierzu wird vom IWF zunächst die Entwicklung eines kontinuierlichen Siegelprozesses vorgenommen. Weiterhin wird für den Befüllprozess ein Schleusenkonzept in eine Vakuumkammer sowie ein Mechanismus, mit dem kontinuierlich befüllt werden kann, erarbeitet. Für die Qualitätssicherung werden Algorithmen entwickelt, die automatisiert Fehlerbilder in der 2-D-Röntgenprüfung erkennen. Zur Verknüpfung der Teilprozesse werden Prozessparameter für die Aufrechterhaltung der Bahnspannung ermittelt sowie ein übergreifendes Steuerungskonzept ausgearbeitet. Somit kann abschließend aufgezeigt werden, wie die Zellfertigung von der eingelegten bis zur final verschlossenen Zelle kontinuierlich umgesetzt werden kann.

<https://www.tu-braunschweig.de/iwf/fup/mofa/forschungsprojekte-1/dulipro>



Timon Scharmann

t.scharmann@tu-braunschweig.de  
Telefon +49 531 391-8758

Förderung: BMBF  
Laufzeit: 10/2022 - 09/2025

Projektpartner:  
BST GmbH,  
Waygate Technologies,  
ViscoTec Pumpen- und Dosiertechnik GmbH



Tiefgezogene Pouchfolie, die im Rahmen des Projekts DuLiPro die Grundlage für die bahngedundene Prozessführung darstellt und für die Einhausung der Zellstapel genutzt wird



Arne Wagner

ar.wagner@tu-braunschweig.de  
Telefon + 49 531 391-7631

Förderung: Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK)  
Laufzeit: 01/2022 - 12/2024

Projektpartner:  
DORST Technologies GmbH & Co. KG.,  
Ensinger GmbH,  
J. Schmalz GmbH,  
Wirth Werkzeugbau GmbH,  
Zentrum für BrennstoffzellenTechnik GmbH

## PROJEKT\_Fertigungstechnologien und Prozessautomatisierung

# essPresso

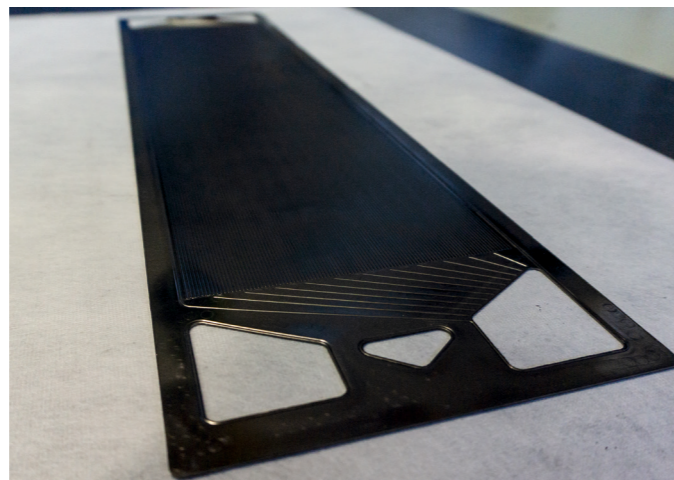
## Material-, Prozess- und Werkzeugentwicklung zum Hochdurchsatz-Niedertemperatur-Pressen von Graphit-Polymer-BPP für Heavy-Duty-Anwendungen

### Ausgangssituation und Zielsetzung

Bei der Umstellung von fossilen auf erneuerbare Energieträger gilt grüner Wasserstoff insbesondere aufgrund der großen Bandbreite an Einsatzmöglichkeiten als einer der zentralen Hoffnungsträger bei der Energiewende. Neben der Verwendung bei der Herstellung von klimaneutralem Stahl bietet sich der Einsatz von Brennstoffzellen für Heavy-Duty-Anwendungen im Bau (z. B. Generatoren, Pumpen) und im Verkehrswesen (z. B. Bus, LKW, Schiffe, Traktoren) an. Hohe benötigte Stückzahlen der Einzelkomponenten zeigen den Bedarf für Produktionsprozesse mit hoher Produktivität sowie hoher Prozesszuverlässigkeit.

Im Forschungsprojekt essPresso wird für eine Teilkomponente der Brennstoffzelle, die Bipolarplatte (BPP), ein hochproduktiver und innovativer Prozess untersucht. Diese BPP können entweder auf Basis von Graphit oder aus metallischen Materialien hergestellt werden. Aufgrund der besonders korrosiven Atmosphäre innerhalb der Brennstoffzelle bieten BPP auf Basis von Graphit eine deutlich höhere Nutzungsdauer als metallische BPP. Im Rahmen des Forschungsvorhabens werden die BPP aus einem Graphit-Polymer-Compound (GPC) in einem innovativen Pulverpressprozess hergestellt. Neben der geometrischen Gestaltung beeinflusst insbesondere die elektrische sowie die thermische Leitfähigkeit die Zellperformance. Um diese zu maximieren, werden besonders hohe Anteile von Graphit und weiteren Leitadditiven im GPC eingesetzt. Im Gegensatz dazu stehen die Anforderungen an die Zelldichtigkeit, welche durch einen höheren Anteil an Polymer verbessert wird.

Ziel des Projekts ist es, in dem untersuchten Prozess vorerst eine Zykluszeit von 10 s pro BPP zu erreichen. Einer der zentralen Ansätze ist hierbei die Temperatur während der Formgebung im Pulverpressprozess zu minimieren. Dies soll ermöglichen, die Festigkeit der BPP möglichst hoch zu halten, sodass diese direkt nach dem Pressen schädigungsfrei entformt werden kann. Der dadurch entstehende isotherme Pressprozess ermöglicht eine Reduzierung des Energiebedarfs bei gleichzeitig höherer Produktivität im Vergleich zu einem variathermen Prozess. Besonders herausfordernd ist hierbei, das Material so zu modifizieren, dass sowohl die Anforderungen an die elektrische und thermische Leitfähigkeit als auch an die Gasdichtigkeit erfüllt werden. Darüber hinaus müssen die Prozessparameter hinsichtlich der Produktivität optimiert und neue Lösungsansätze für nachgelagerte Prozessschritte entwickelt werden um den Gesamtprozess weiter zu verbessern.



→  
Bipolarhalbplatte aus Graphit Polymer Compound aus Pressversuchen mit dem prototypischen Werkzeugsystem mit dem Design des IWF für Heavy-Duty-Anwendungen

→ →  
Prototypisches Werkzeugsystem zum parallelen Pressen von zwei Bipolarhalbplatten aus Graphit Polymer Compound in einem Niedertemperatur-Pressprozess an der Open Hybrid LabFactory in Wolfsburg

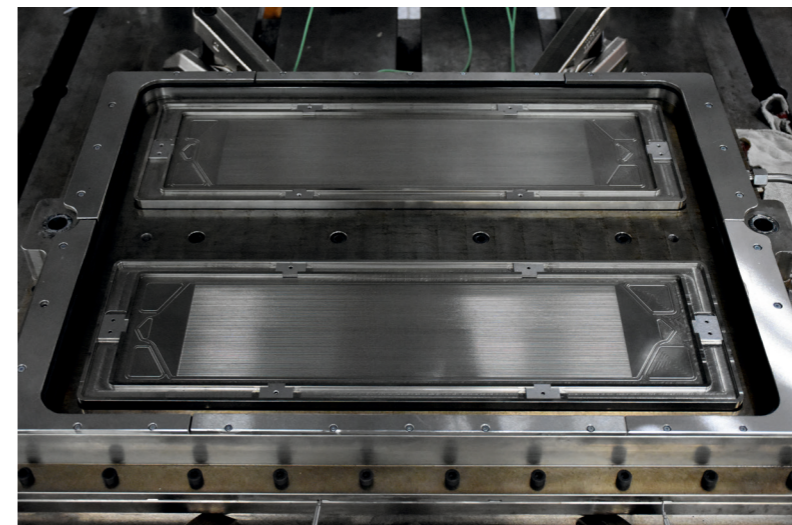
### Vorgehen und methodischer Ansatz

Das Projekt wurde im Zuge von Ergebnissen aus ausgedehnten Vorversuchen beantragt und gliedert sich in vier Arbeitspakete. Den ersten Arbeitsschwerpunkt bildet dabei eine Anforderungsanalyse für das Material, den Prozess und das Werkzeugsystem. Hier kann ebenfalls auf Ergebnisse aus den Vorversuchen zurückgegriffen werden, sodass bereits mit Projektstart ein umfangreiches Prozesswissen vorlag. Auf Basis der ermittelten Anforderungen wird eine Versuchsplanung sowohl für die Material- als auch für die Prozessentwicklung erarbeitet. Im zweiten Arbeitspaket wird die Materialentwicklung fokussiert. Hier werden zunächst geeignete Compounds aus Graphit und Polymer sowie verschiedener Additive analysiert und hinsichtlich ihrer industriellen Großserienfertigkeit untersucht. Neben den thermoplastischen Rezepturen werden auch duroplastische Materialkombinationen betrachtet. In enger Abstimmung mit der Materialentwicklung und auf Basis der Ergebnisse aus den Vorversuchen wird der Gesamtprozess zur Herstellung der BPP erarbeitet. In diesem Kontext werden das Werkzeugsystem, das Füllsystem sowie Greif- und Handhabungssysteme entwickelt. Diese Einzelsysteme werden im Arbeitspaket 3 betrachtet und führen in einem zweiphasigen Ablauf von einem Demosystem zu einem optimierten Gesamtsystem.

Im Arbeitspaket 4 wird aufbauend auf den Erkenntnissen aus der Materialentwicklung und in enger Zusammenarbeit mit der Entwicklung des Befüll-, Greif- und Handhabungs- sowie Werkzeugsystems der Gesamtprozess mit den notwendigen nachgelagerten Prozessschritten ausgearbeitet und hinsichtlich der Parameter optimiert. Durch den schrittweisen Aufbau und die enge Abstimmung der Projektarbeitspakete mit übergreifenden Schnittpunkten wird eine ganzheitliche Betrachtung von Material- und Prozessentwicklung auf prototypischer Ebene gewährleistet.

### Projektfortschritt

Mit dem im Rahmen der Vorversuche entwickelten Werkzeugsystem konnte bereits zu Projektstart ein Workshop mit Pressversuchen an der Open Hybrid LabFactory durchgeführt werden. Über das erste Projektjahr wurden parallel zu den ersten Arbeitspaketen bereits weitere Versuche mit dem prototypischen Werkzeugsystem durchgeführt. In diesem Zusammenhang wurde Prozessverständnis, insbesondere hinsichtlich der Prozessgrenzen, weiter verbessert. Die entwickelten Materialrezepturen wurden neben den Untersuchungen im Prüfkörperwerkzeug auch in dem vorhandenen Werkzeugsystem aus den Vorversuchen verarbeitet, um neue Erkenntnisse für die nachgelagerten Prozessschritte zu generieren.



Jan Middelhoff

j.middelhoff@tu-braunschweig.de  
Telefon + 49 531 391-7626

### Ausblick und Potenziale

Mit den erhaltenen Ergebnissen aus dem Forschungsprojekt werden Unternehmen befähigt, Bipolarplatten prozesssicher fertigen zu können. Damit liefert das Vorhaben einen entscheidenden Beitrag zur Skalierung der Produktionstechnik von Brennstoffzellen.

Neben den Bipolarplatten bildet die Membran-Elektroden-Assembly (MEA) das Kernelement der Brennstoffzelle, für die wie bei der BPP großserienfähige Konzepte benötigt werden. Weiterhin gibt es für die verschiedenen Anwendungsfälle unterschiedliche Leistungsbedarfe, sodass sich nach erfolgreichem Projektabschluss eine Untersuchung zur Flexibilisierung des Gesamtprozesses auf unterschiedliche Leistungsklassen anbietet.

<https://www.tu-braunschweig.de/iwf/fup/fhb/forschungsprojekte/esspresso>

esspresso





Maschal Hakimiy

maschal.hakimiy@tu-braunschweig.de  
Telefon + 49 531 391-7663

Förderung: BMWK / Arbeitsgemeinschaft industrieller Forschungsvereinigungen (AiF), Zentrales Innovationsprogramm Mittelstand (ZIM)  
Laufzeit: 02/2022 - 07/2024

Projektpartner:  
Hans Weber Maschinenfabrik GmbH

PROJEKT\_Fertigungstechnologien und Prozessautomatisierung

## Selbstparametrierung Extruder

Machine-Learning-Verfahren zur selbstparametrisierenden Steuerung beim ein- und dreidimensionalen Druck

### Motivation und Zielsetzung

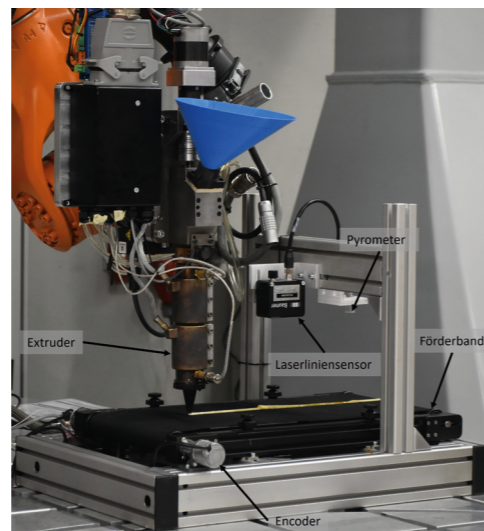
Zunehmende Produktanforderungen hin zu einer steigenden Individualisierung erfordern vorab umfangreiche Tests und Analysen von Bauteilen und Komponenten. Dabei bieten additive Fertigungsverfahren kostengünstig und schnell die Möglichkeit, erste Prototypen herstellen zu können. Das Fused-Granular-Fabrication (FGF)-Verfahren bietet potenziell höhere Extrusionsraten bei gleichzeitig niedrigeren Materialkosten, da das Granulat nicht zu Filament weiterverarbeitet werden muss. Einhergehend mit einer höheren Extrusionsrate treten beim FGF-Verfahren derzeit noch hohe Bauteilverzüge auf, was auf eine ungleichmäßige Abkühlung zurückzuführen ist.

Um die Defizite des Prozesses zu untersuchen und zu verbessern, wird in Kooperation mit dem Industriepartner Hans Weber Maschinenfabrik GmbH im Rahmen des Projektes ein selbstparametrierender Extruder als Systemlösung unter Einbindung von Machine-Learning-Verfahren entwickelt. Ziel ist es, dass der Extrusionsprozess bauteilspezifisch und adaptiv in Echtzeit überwacht und gesteuert wird. Auf diese Weise werden Arbeits- und Maschinenzeit sowie Ausschuss reduziert.

### Projektergebnisse

In Zusammenarbeit mit dem Industriepartner wurde jeweils an beiden Standorten (Hans Weber und IWF) ein Prüfstand zur Parametrierung eines Extruders entwickelt und aufgebaut, mit denen prozessrelevante Parameter und geometrische Abmaße des Extrudats erfasst werden können. Anhand dieser Daten wird ein Ansatz mittels Maschinellen Lernens (ML) am IWF entwickelt, welches eine automatisierte Parametrierung von Extrudern ermöglicht und somit die Zeit zum Einrichten eines Extruders erheblich verringert. Zusätzlich wurden unterschiedliche Konzepte zur Erkennung von Druckfehlern entwickelt, welche im weiteren Verlauf des Projekts in den Anlagen der Hans Weber Maschinenfabrik getestet werden.

<https://www.tu-braunschweig.de/iwf/fup/mofa/forschungsprojekte/selbstparametrierungextruder>



1-D-Direktextruderteststand am IWF zur Erfassung aller prozessrelevanten Parameter, welche für eine automatisierte Parametrierung eines Extruders notwendig sind. Mit Hilfe der Parametrierung werden die Prozessparameter für eine gewünschte Extrudatgeometrie im Prozess bestimmt.

PROJEKT\_Fertigungstechnologien und Prozessautomatisierung

## Reinforced Shotcrete 3D Printing

Elements with Precise Surface Quality

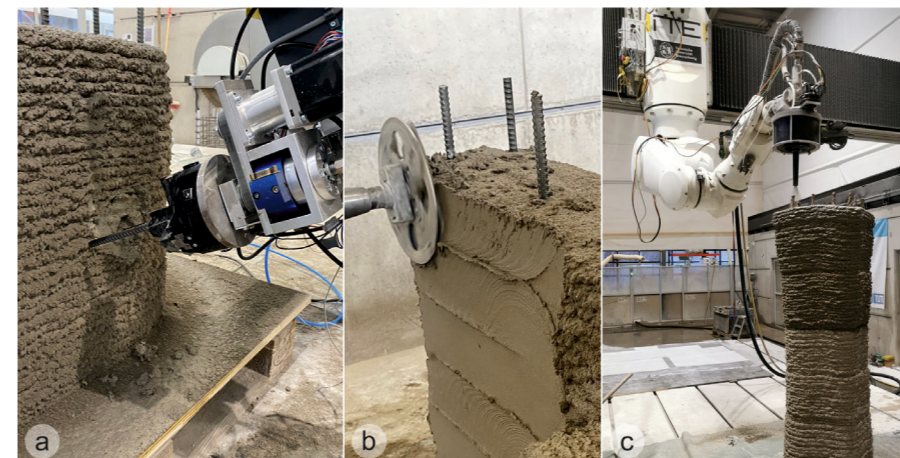
### Motivation und Zielsetzung

Gemeinsam mit der TU München und der LUH (Hannover) leitet die TU Braunschweig den Sonderforschungsbereich 277 „AMC – Additive Manufacturing in Construction“, in welchem 3-D-Drucktechnologien mit dem Fokus auf den Einsatz im Bauwesen untersucht werden. Dabei werden additive Prozesse für Beton, Stahl und Holz betrachtet. Im Teilprojekt Ao4 wird das Shotcrete 3D Printing (SC3DP) zur Herstellung von materialeffizienten, kraftoptimierten, bewehrten und tragenden Betonbauteilen mit hochwertiger Oberflächenqualität und geometrischer Präzision erforscht. Untersucht werden robotergeführte Werkzeuge in einer flexiblen und automatisierten Prozesskette, um großformatige Beton-elemente mit geringeren Mengen an Bewehrung und Beton im Vergleich zu klassischen Verfahren herzustellen.

### Projektergebnisse

Im Rahmen der ersten Förderperiode wurden grundlagenorientierte Untersuchungen zum SC3DP-Prozess durchgeführt. Dabei wurden Parameter identifiziert, welche den Prozess stark beeinflussen, etwa der Düsenabstand zum Druckobjekt, der Auslassdurchmesser oder die Bewegungsgeschwindigkeit der Düse. Außerdem wurden robotergeführte Werkzeuge und Strategien zur Integration von Bewehrung und zur Oberflächenbearbeitung entwickelt und die jeweiligen Prozesse untersucht. Hierbei wurde eine Bewehrungsintegration mithilfe eines automatisierten Eindrehens von Kurzbewehrungen als besonders vielversprechend identifiziert. Die Rotation bewirkt einen besseren Verbund zwischen Betonmatrix und Bewehrung. Zur Glättung von frisch aufgetragenem Beton eignen sich vor allem Flügelglätter oder gekrümmte Scheiben aus Stahl oder Teflon. Die gesamte Prozesskette wurde an mehreren Demonstratoren validiert. Dabei wurde beispielsweise eine Säule mit einem Durchmesser von 40 cm und einer Höhe von 2 m gefertigt. In der zweiten Förderphase erweitert sich der Fokus des Sonderforschungsbereichs auf Themen wie einer gesteigerten Nachhaltigkeit und der Integration von Digitalisierung im Bauwesen.

<https://www.tu-braunschweig.de/iwf/fup/mofa/forschungsprojekte-2/sfb/transregio-277-teilprojekt-ao4>



Martin David

m.david@tu-braunschweig.de  
Telefon + 49 531 391-7678

Förderung: Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG), SFB TRR277  
Laufzeit: 01/2020 - 12/2023,  
2. Förderphase bis 2027 geplant

Projektpartner:  
Institut für Tragwerksentwurf – TU Braunschweig,  
Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz – TU Braunschweig

**AMC** TRR 277  
ADDITIVE MANUFACTURING IN CONSTRUCTION



a) Endeffektor zur Integration von Kurzbewehrungen in beliebigen Winkeln; b) Bearbeitung einer gedruckten Oberfläche mittels Flügelglätter; c) großformatiger, bewehrter Demonstrator mit einer Höhe von 2 m



Georg Mahlfeld

g.mahlfeld@tu-braunschweig.de  
Telefon + 49 531 391-7699

Förderung: AiF, Forschungsgemeinschaft Werkzeuge und Werkstoffe e.V. (FGW)

Laufzeit: 07/2022 - 06/2024

Projektpartner:  
Institut für Werkzeugforschung und Werkstoffe – IFW der FGW,  
Forschungsgemeinschaft Werkzeuge und Werkstoffe e. V.

## PROJEKT\_Fertigungstechnologien und Prozessautomatisierung

# AquaDrill

Aufbau eines Bohrwerkzeugs zur Herstellung kleiner, qualitätsgerechter Funktionsbohrungen in Hybridwerkstoffen

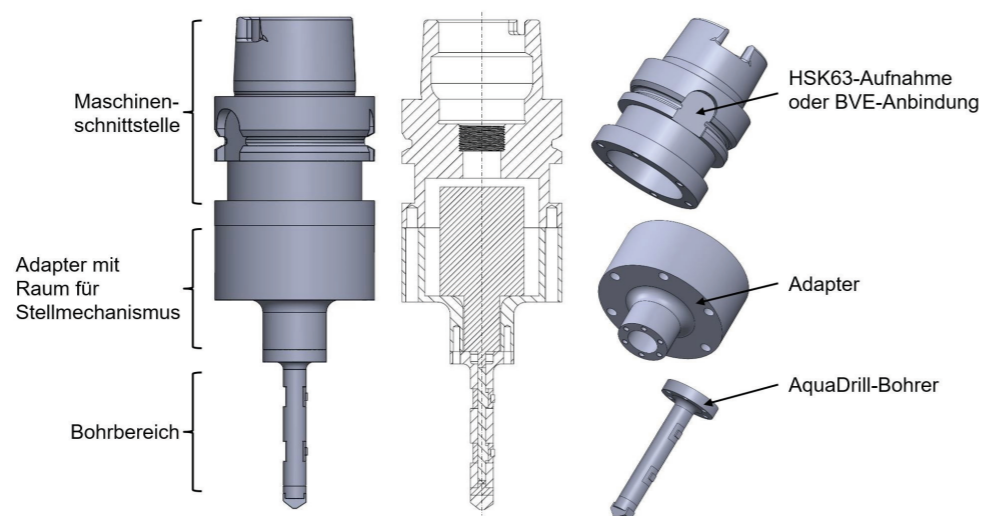
### Motivation

Der Einsatz von Hybridwerkstoffen aus Metall- und Faserkunststoffkomponenten nimmt im industriellen Leichtbau aus ökonomischen und ökologischen Gründen stetig zu. Eine mechanische Bearbeitung von Bauteilen dieser Werkstoffkombination erfolgt häufig für das Einbringen von Bohrungen, die für Verbindungselemente benötigt werden. In der Baugruppe erfolgt die Kräfteinleitung in das Werkstück über diese Verbindungselemente, woraus sich hohe Anforderungen an die Bohrungsqualität sowie die zulässige Werkstoffschädigung ergeben. Gegenwärtig am Markt erhältliche einstufige Bohrwerkzeuge sind nur bedingt in der Lage, diesen Anforderungen zu begegnen. Es treten häufig Schädigungen (Grat, Ausfransen, Absplitterungen und Delamination) durch den Bohrprozess auf, die in einem zusätzlichen Bearbeitungsschritt aufwendig entfernt werden müssen, um die erforderliche Qualität zu erreichen. Außerdem werden vorwiegend Werkzeuge mit Diamanten als Schneidstoff eingesetzt, welche für die im Automobilbau relevante Werkstoffkombination aus Stahl und Faserkunststoffverbunden (FKV) nicht geeignet sind.

### Zielsetzung

Ausgehend von diesen Qualitätsanforderungen ist das Ziel des Forschungsprojekts für die untersuchte Werkstoffkombination aus glasfaserverstärktem Kunststoff (GFK) und Dualphasenstahl ein mehrstufig arbeitendes Bohrwerkzeug mit einem Bohrungsdurchmesser von  $d = 6$  mm zu entwickeln, welches in einem Hub qualitätsgerechte Funktionsbohrungen erzeugt (siehe Bild). Unter dem Aspekt der flexiblen Fertigung ist weiterhin das Ziel, das Bohrwerkzeug sowohl auf Roboterzellen, Bearbeitungszentren und mit Bohrvorschubeinheiten anwenden zu können. Mit dem neuen flexibel einsetzbaren Bohrwerkzeug könnte das Leichtbaupotenzial von Hybridwerkstoffen aus einer Metall- und Faserkunststoffkomponente in höherer Stückzahl und neuen Anwendungsgebieten erschlossen werden.

<https://www.tu-braunschweig.de/iwf/fup/ft/forschung/aquadrill>



Geplanter Aufbau des neuen Bohrwerkzeugs zur Erzeugung qualitätsgerechter Funktionsbohrungen in Hybridwerkstoffen. Die verwendete Aktorik ist zentral im Werkzeug positioniert und im Sinne der flexiblen Fertigung unabhängig vom verwendeten Maschinensystem.

## PROJEKT\_Fertigungstechnologien und Prozessautomatisierung

# ModPro

Modellbasierte Auslegung granulatbasierter Greifer für die formvariable Handhabung in der automatisierten Produktion

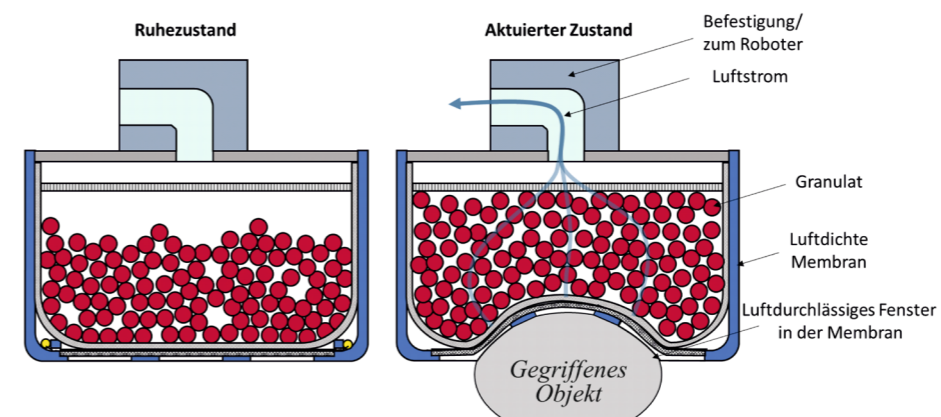
### Motivation und Zielsetzung

Um im „Bin-Picking“ eine hohe Anzahl an Bauteilen mit einer hohen Form- und Gestaltvielfalt zu handhaben, werden diverse Varianten von Vakuum- und Fingergreifern kombiniert mit Kameratechnik und Bildverarbeitung eingesetzt. Eine alternative Lösungsmöglichkeit, um insbesondere die Greifervielfalt zu reduzieren, bieten granulatbasierte Universalgreifer. Diese sind je nach Wahl von Parametern wie Granulat- und Membranmaterial in der Lage, eine Vielzahl an Objektgeometrien sicher zu handhaben. Die bisherige empirische Herangehensweise für die Greiferauslegung soll im Projekt ModPro durch geeignete mathematisch darstellbare Methodiken ergänzt werden.

### Projektergebnisse

Das Forschungsprojekt wird gemeinsam mit dem Institut für Partikeltechnik (iPAT) durchgeführt, welches die DEM-(CFD-)Modellierung der Greifer fokussiert. Das IWF untersucht die Greiferauslegung auf Basis von kombinierten empirischen Modellierungen mit mathematischen Methoden. Hierfür wurde ein grundsätzlicher Zusammenhang des Greiferhaltens vom anliegenden Luftstrom und gegriffener Objektgeometrie aufgestellt. Der Einfluss der Objektgeometrie auf die Greifkraft ist dabei aufgrund der Vielfältigkeit der Einflüsse vom typischen „Jamming“ über diverse, für den untersuchten Greifer spezifische Einflüsse wie der Abdichtung oder „Slip-Off“-Effekten nur bedingt charakterisierbar. Um dennoch in Echtzeit eine Voreinschätzung erreichbarer Greifkräfte und somit eine Vorhersage für einen Greiferfolg zu ermöglichen, wurden mehrere punktwolkenbasierte Ansätze für empirische Modellierungen entwickelt und verglichen. Mithilfe dieser Greifkraftvorhersagemodelle ist es möglich, für spezifische Anwendungsspektren eine ideale Greiferkonfiguration (z.B. Granulat- und Membranmaterial) zur Optimierung der Greifkraft und Minimierung des Energieeinsatzes während des Greifprozesses zu erhalten. Daraus resultiert ein robustes und energieeffizientes Handhabungs- und Greifsystem für Bin-Picking-Prozesse.

<https://www.tu-braunschweig.de/iwf/fup/mofa/forschungsprojekte/modpro>



Christian Wacker

c.wacker@tu-braunschweig.de  
Telefon + 49 531 391-7667

Förderung: DFG  
Laufzeit: 04/2021 - 12/2023

Projektpartner:  
Institut für Partikeltechnik –  
TU Braunschweig

# ModPro



Schematische Darstellung des untersuchten formflexiblen granulatbasierten Greifers für die Handhabung unterschiedlicher Objektgeometrien, im Ruhezustand und im aktuierten Zustand mit angelegtem Luftstrom



Marcel Droß

m.dross@tu-braunschweig.de  
Telefon + 49 531 391-65054

Förderung: BMBF  
Laufzeit: 10/2021 - 09/2024

Projektpartner:  
Institut für Partikeltechnik –  
TU Braunschweig,  
Fraunhofer-Institut für Schicht- und  
Oberflächentechnik IST,  
Fraunhofer-Institut für Werkzeugma-  
schinen und Umformtechnik IWU,  
DECKEL MAHO Pfronten GmbH,  
Synergeticon GmbH,  
ASCon Systems Holding GmbH,  
Arxum GmbH,  
Liebherr-Verzahntechnik GmbH,  
Volkswagen AG

## PROJEKT\_Fertigungstechnologien und Prozessautomatisierung

# ZIRKEL

## Zirkuläre Produktion für hochintegrierte Komponenten der Elektromobilität

### Ausgangssituation und Zielsetzung

Vor dem Hintergrund einer klimaneutralen Mobilität unterzieht sich der Automobilsektor aktuell einer umfangreichen Transformation. Dabei wird das klassische Automobil, ein mit fossilen Brennstoffen betriebenes mechatronisches Hardware-Produkt, durch die disruptive Technologie eines elektrifizierten und datenbasierten Dienstleistungsprodukts abgelöst. Bereits hieraus ergeben sich für die Automobilhersteller, die Zulieferindustrie sowie den Maschinen- und Anlagenbau hohe Anforderungen an eine nachhaltige und ressourceneffiziente Produktion. Darüber hinaus stellen ökologische und ökonomische Wiederverwertungsstrategien der hochwertigen Elektrokompenten zur Schließung von Materialkreisläufen die Industrie vor große Herausforderungen. Bisherige Strategien werden dabei mit einer Fülle an Fragestellungen konfrontiert, wobei insbesondere die Variantenvielfalt der wiederzuverwertenden Produkte sowie der hohe Kosten- und Zeitaufwand der Prozessketten im Fokus stehen.

An dieser Stelle setzt das Verbundprojekt ZIRKEL an. Die Ziele bestehen darin, am Beispiel von Traktionsbatteriesystemen und Elektromotoren die Produktivität und die Wirtschaftlichkeit der Demontage-, Trenn- und Zerteilungsprozesse nachhaltig zu steigern, produktspezifisch die ökologisch-ökonomisch optimale Verwertungsrouten aufzuzeigen sowie als Folge Wege zu untersuchen, wie die Materialkreisläufe vollständig geschlossen werden können. Mit diesen Zielen geht die Entwicklung von resilienten Anlagen einher, die mittels künstlicher Intelligenz (KI), Bilderkennung und intelligenter Steuerung in der Lage sind, flexibel auf unterschiedliche Produkte und Zustände reagieren zu können. Um darüber hinaus die Nachverfolgung der wiederverwerteten Komponenten zu gewährleisten, bedarf es digitaler Methoden, welche im Rahmen des Projekts durch Nutzung der Blockchain-Technologie über Smart Contracts eindeutig, fälschungs- sowie datensicher erfolgen soll.

### Vorgehen und methodischer Ansatz

Basierend auf einer KI-gestützten Bewertung der Eingangsprodukte der Recyclingprozesskette wird über die Möglichkeit des Wiedereinsatzes im Fahrzeug (Reuse), der Umnutzung (Repurpose), der Instandsetzung (Refurbishment), der Refabrikation (Remanufacturing) und der Wiederverwertung (Recycling) entschieden (siehe Abbildung unten links). Abhängig von der gewählten Verwertungsrouten sind unterschiedliche Prozesse für die De-

montage und materialelektive Zerteilung zur effektiven Demontage zu evaluieren und in einer ganzheitlichen Prozesskette zusammenzuführen. Dazu werden unterschiedliche Demontageetiefen und Zerlegungsstufen analysiert und die dazugehörigen Prozessschritte entwickelt, angepasst und automatisiert sowie mittels künstlicher Intelligenz und Methoden des maschinellen Lernens trainiert und optimiert. Ziel ist dabei, die entsprechenden Anlagen schnell und flexibel auf die Eingangsprodukte anzupassen und eine möglichst effiziente Verwertung zu gewährleisten. Als Verfahren werden dabei zerstörungsfreie Demontageverfahren eingesetzt, um z. B. das automatisierte Erkennen und Lösen von Schraubverbindungen zu ermöglichen. Darüber hinaus werden intelligente, minimalinvasive Trennverfahren entwickelt und zerstörende Verfahren zur materialelektiven Zerteilung von irreversiblen Verbindungen untersucht. Zusätzlich werden im Verbundprojekt Konzepte für digitale Zwillinge in der Kreislaufproduktion erarbeitet und mit diesen ein digitaler Produktpass entwickelt, der eine fälschungssichere Nachweiskette für das Recycling ermöglicht. Für die praktische Erprobung an konkreten Anwendungsfällen besteht ein zentrales Projektziel darin, eine prototypische Anlage zur automatisierten Demontage und informationellen Nachverfolgung im Technikum der Open Hybrid LabFactory in Wolfsburg aufzubauen.

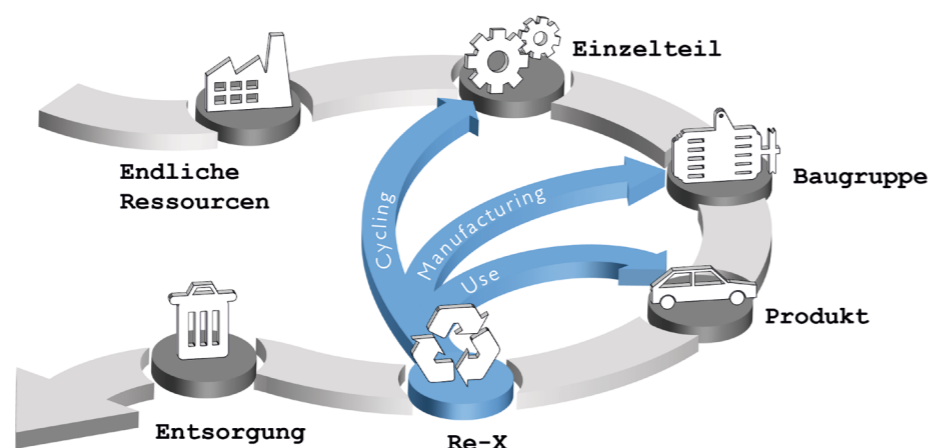
### Projektfortschritt

Mit dem Anspruch, eine Forschungsanlage am Puls der Zeit aufzubauen, wurde zu Beginn des Projekts das Batteriesystem des modularen Elektrobaukastens (MEB) der Volkswagen AG als beispielhaftes Anwendungsprodukt für die prototypische Demontageanlage ausgewählt. Anhand dieses konkreten Beispiels ließen sich dann zunächst Anforderungen ableiten, anschließend Prozessschritte erarbeiten und letztlich die konstruktive Entwicklung der Pilotanlage abschließen (siehe Abbildung unten rechts). Aktuell befindet sich die prototypische Anlage im Erstaufbau beim Projektpartner Liebherr Verzahntechnik GmbH am Standort Kempten. Der Transfer der Anlage an die Open Hybrid LabFactory ist für das dritte Quartal 2023 vorgesehen. Im Zuge dessen werden die bereits parallel entwickelten Lösungen zur KI-unterstützten Bauteilbewertung und der physischen sowie virtuellen Bauteilnachverfolgung in die Pilotanlage etabliert und sukzessive eine vollständige Prozesskette zur Wiederverwertung des MEB-Batteriesystems getestet.

### Ausblick und Potenziale

Die Untersuchungen im Projekt ZIRKEL werden die Potenziale und Chancen für neuartige Lösungen der Mobilität im Bereich der zirkulären Produktion aufdecken. Für eine erfolgreiche Transformation sind dabei die Prinzipien der Kreislaufwirtschaft grundlegend: Es müssen innovative Datenräume etwa für die Kreislaufwirtschaft, die Mobilität sowie deren dynamische Vernetzung erforscht und entwickelt werden. Denn eine geschlossene Kreislaufwirtschaft basiert insbesondere auf einer möglichst flächendeckenden Nachverfolgbarkeit von Materialien, Komponenten und Produkten über das gesamte Wertschöpfungsnetzwerk sowie über den kompletten Lebenszyklus hinweg. Darüber hinaus wird das Projekt ZIRKEL dazu beitragen, Empfehlungen für kreislaufgerechte Produktdesigns auszusprechen sowie hocheffiziente und ressourcenschonende Demontage- und Recyclingtechnologien zu erforschen, mit dem Ziel einen Beitrag zur vollständigen Schließung von Materialkreisläufen zu leisten.

<https://www.tu-braunschweig.de/iwf/fup/fhb/forschungsprojekte/zirkel>



Vereinfachtes Systemdiagramm der Kreislaufwirtschaft für industrielle Technologien mit den Wiederverwertungsszenarien Reuse, Remanufacturing sowie Recycling, in Anlehnung an Ellen MacArthur Foundation.



Prototypische Anlage zur automatisierten Demontage von MEB-Batteriesystemen mit einem Demontagetisch zwischen den Industrierobotern, einem Ablagetisch für demontierte Batteriemodule sowie verschiedenen Aufbewahrungsbehältern für eine systematische Sortierung demontierter Bauteile.



Werner Berlin

w.berlin@tu-braunschweig.de  
Telefon + 49 531 391-65016

Förderung: AiF, ZIM  
Laufzeit: 09/2020 - 03/2023

Projektpartner:  
Werner Schmid GmbH

## PROJEKT\_Fertigungstechnologien und Prozessautomatisierung

# WPPro

## One-Shot-Spritzgießprozess für Holz-Kunststoff-Bauteile

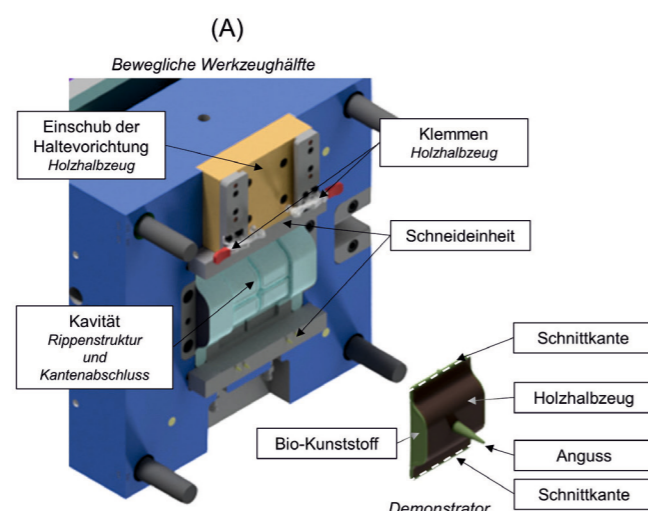
### Motivation und Zielsetzung

Der Einsatz von Holzwerkstoffen in großvolumigen Fertigungsszenarien steht der Herausforderung der Schaffung materialgerechter, wirtschaftlicher Verarbeitungsprozesse gegenüber. Das Projekt WPPro soll dazu den Spritzgießprozess qualifizieren und Holzwerkstoffe mit biobasierten Kunststoffen zu nachhaltigen, hybriden Bauteilen verarbeiten. Im Rahmen des Projekts wurde ein Werkzeug entwickelt, das die Prozessschritte des Umformens sowie des endkonturturen Beschnitts von Holzfurnieren und der Applikation von Kunststoff in Form von Rippen und einem umlaufenden Kantenabschluss in einem Arbeitsschritt abbildet.

### Projektergebnisse

Initiale Untersuchungen zum Anbindungsverhalten zwischen Kunst- und Holzwerkstoffen lieferten Aufschluss über die Anbindungsfestigkeit in Abhängigkeit spritzgießtechnisch relevanter Verarbeitungstemperaturen. Die höchsten Anbindungsfestigkeiten erzielen dabei polare Kunststoffe bei ca. 80°C Werkzeugtemperatur und 12% Holzfeuchtegehalt. Die Nachhaltigkeit in der Materialauswahl des Endbauteils konnte durch den Einsatz von mit Cellulosefasern gefüllten Kunststoffen verbessert werden. Die adressierten Holzfurnierlagenaufbauten wurden hinsichtlich der Umformbarkeit und der Möglichkeit des Beschnitts im Scherschneidprozess charakterisiert. Wesentliche Bemessungsgrößen waren die nötige Prozesszeit und Pressdruck für das Fügen der Einzellagen sowie die auftretenden Schnittkräfte mit dem Ziel, die Kompatibilität mit der Verarbeitung im Spritzgießprozess nachzuweisen. Die Ergebnisse mündeten in der Entwicklung eines Demonstratorwerkzeuges (Abbildung unten links). Die Abmusterung der finalen Holz-Kunststoff-Hybridbauteile, hergestellt in einem kombinierten Spritzgießprozess aus Konfektionierung, Umformung und Funktionalisierung, konnte die Eignung von holzbasierten Werkstoffen für großvolumige Fertigungsprozesse nachweisen. Zudem wurde der Prozess auf die Nutzung von naturfaserverstärkten Kunststoffhalbzeugen übertragen (Abbildung unten rechts).

<https://www.tu-braunschweig.de/iwf/fup/fhb/forschungsprojekte/wppro>



(A) Bewegliche Hälfte des Demonstratorwerkzeuges mit dargestellten Funktionseinheiten; (B) Probekörper gefertigt aus unterschiedlichen Materialien bzw. Materialkombinationen: Reinstoff, Buchenfurnier, NFK-Organoblech (von oben nach unten)

## PROJEKT\_Fertigungstechnologien und Prozessautomatisierung

# HyFiVe

## Großserienfähige Variantenfertigung von Kunststoff-Metall-Hybridbauteilen

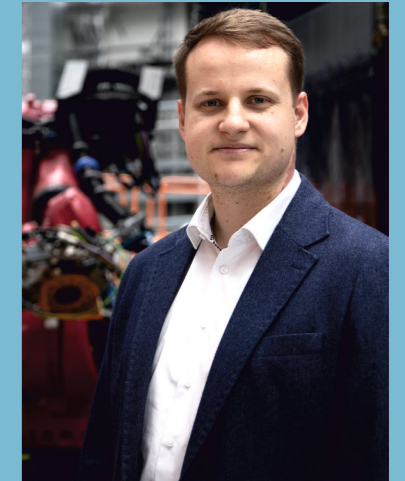
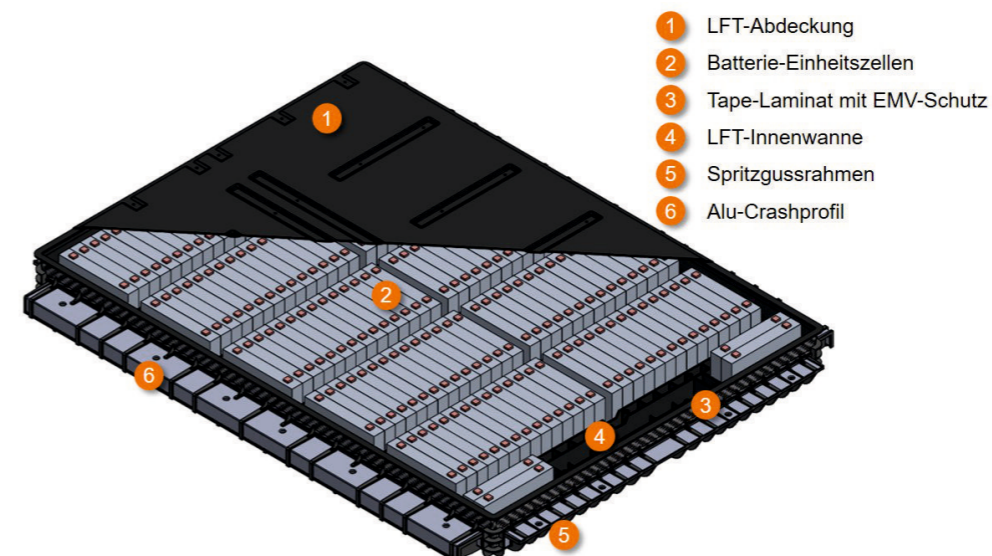
### Motivation und Zielsetzung

In aktuellen Elektrofahrzeugen wird der sichere und optimale Betrieb der Batterien durch die einhausende Peripherie sichergestellt. Das Batteriegehäuse muss dabei höchsten Anforderungen an Crashesicherheit, Kühlfunktionen und Montagefähigkeit genügen. Im Vergleich zu CO<sub>2</sub>-intensivem Aluminium, welches in aktuellen Systemen eingesetzt wird, bietet die Kombination aus Kunststoffen, Faserverbunden und Metallen den Vorteil eines effizienteren Materialeinsatzes bei geringerem Gewicht und gleicher Leistungsfähigkeit. Die Herausforderung liegt hierbei in der effizienten und ökonomisch konkurrenzfähigen Produktion. Das Projekt HyFiVe adressiert daher die Entwicklung flexibler und skalierbarer Fertigungstechnologien, wie dem High Volume Tape Placement (HVTP), in Kombination mit hochproduktiven Kunststoffspritzgieß- bzw. Pressverfahren.

### Projektergebnisse

Im Rahmen des Projekts wurden zunächst innovative, funktionsintegrierende Werkstoffe auf Basis von thermoplastischen Faser-Tapes und Kunststoffgranulaten entwickelt und dienen zur Erfüllung der EMV-Schutzeigenschaften des Batteriegehäuses. Die funktionalisierten Tapes werden anschließend im HVTP-Verfahren in die Basis-Gehäusegeometrie gelegt. Der Vorteil dieses Verfahrens ist die optimale Materialausnutzung ohne Verschnitt und insbesondere die Skalierbarkeit auf verschiedene Gehäusevarianten. Der so hergestellte dreidimensionale Preform wird anschließend in einem kombinierten Press-Spritzprozess in einer Taktzeit von 2-3 min zum Wannenteil des Batteriesystemgehäuses mit integrierten Crash- und Funktionselementen gefertigt. Die potenzielle Gewichtseinsparung gegenüber einem konventionellen am Markt eingesetzten Aluminiumgehäuse liegt bei 30 % bei gleicher Crashperformance. Darüber hinaus kann der CO<sub>2</sub>-Fußabdruck um etwa 60 % reduziert werden.

<https://www.tu-braunschweig.de/ifs/institut/abteilungen/werkstoffverbunde-und-grenzschichten/forschung-projekte/hyfive>



Tim Ossowski

t.ossowski@tu-braunschweig.de  
Telefon + 49 531 391-65040

Förderung: BMBF  
Laufzeit: 01/2020 - 12/2024

Projektpartner:  
Christian Karl Siebenwurst GmbH & Co. KG, DECKEL MAHO Pfronten GmbH, DMG MORI Academy GmbH, FH Bielefeld - Fachbereich Ingenieurwissenschaften & Mathematik, FORMHAND Automation GmbH, Fricke und Mallah Microwave, Technology GmbH, Institut für Füge- und Schweißtechnik – TU Braunschweig, Institut für Umformtechnik und Umformmaschinen – Leibniz Universität Hannover, INVENT GmbH, J. Schmalz GmbH



Funktionsintegriertes Batteriesystemgehäuse in Multi-Material-Bauweise, bestehend aus einem Tape-Laminat mit EMV-Schutzfunktion, einer gepressten LFT-Innenwanne und über Spritzguss angebundene Aluminium-Crashprofile.



**Philipp Kabala**

p.kabala@tu-braunschweig.de  
Telefon + 49 531 391-65056

Förderung: BMWK  
Laufzeit: 07/2022 - 12/2024

Projektpartner:  
Jürgen Kleine GmbH,  
Müller-BBM

PROJEKT\_Fertigungstechnologien und Prozessautomatisierung

# AtiLMeS

Entwicklung akustisch und thermisch isolierender hybrider Leichtbau-Strukturkomponenten auf Basis von Melaminharzschaum-Faser-Kunststoff-Verbund-Sandwich-Strukturen

**Motivation und Zielsetzung**

Sandwichverbunde bieten durch ihr großes gewichtsbezogenes Flächenträgheitsmoment ein erhebliches Gewichtseinsparpotenzial. Neben der Verwendung von Leichtbauwerkstoffen wie Faser-Kunststoff-Laminaten (FKL) als Deckschichten können durch offenporige weich-elastische Schaumkerne thermisch und akustisch isolierende Eigenschaften in die Sandwichstruktur integriert werden. Aufgrund der geringen Druck- und Biegesteifigkeit des weich-elastischen Schaums können Schub- und Querkräfte über die Kernschicht jedoch nur unzureichend übertragen werden. Bei der Herstellung von Sandwichbauteilen in einem einstufigen Umformprozess führen diese Eigenschaften zu einem geringen Verformungswiderstand, wodurch eine maßhaltige Drapierung des FKLs nicht möglich ist. Im Rahmen des Forschungsvorhabens AtiLMeS werden hierzu medienunterstützte Prozessrouten zur maßhaltigen Umformung betrachtet.

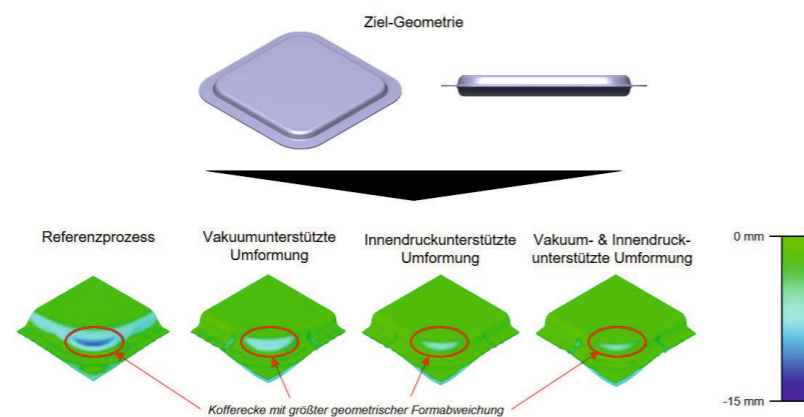
**Projektergebnisse**

Zur Umformung von Sandwichstrukturen mit einem weich-elastischen Schaumkern wurden vier Prozessrouten definiert:

- 1) Umformung ohne Medienunterstützung (Referenzprozess)
- 2) Vakuumunterstützte Umformung
- 3) Forminnendruckunterstützte Umformung
- 4) Vakuum- und forminnendruckunterstützte Umformung

Mittels Vakuum bzw. Forminnendruck legt sich die Sandwichstruktur an die Werkzeugwand an, um eine verbesserte Maßhaltigkeit zu erzeugen und den geringen Verformungswiderstand des Schaums zu kompensieren. Diese Prozessrouten wurden anschließend in einer Umformsimulation modelliert und die Maßhaltigkeit der umgeformten Sandwichstruktur zur Ziel-Geometrie verglichen. Die Gegenüberstellung zeigt, dass eine Umformung ohne Medienunterstützung zu signifikanten geometrischen Abweichungen führt. Die gekoppelte vakuum- und forminnendruckunterstützte Umformung führt zu den geringsten Abweichungen. Es zeigen sich jedoch im Bereich der Kofferecken nach wie vor die größten Formabweichungen, die beispielsweise durch die Integration lokaler Stützstrukturen kompensiert werden können.

<https://www.tu-braunschweig.de/iwf/fup/fhb/forschungsprojekte/atilmes>



Vergleich der geometrischen Abweichung der umgeformten Sandwichverbunde auf Basis von Umformsimulationen zu der Ziel-Geometrie nach den vier definierten Prozessrouten. Die gekoppelte Vakuum- und innendruckunterstützte Umformung weist die geringsten Formabweichungen auf.

PROJEKT\_Fertigungstechnologien und Prozessautomatisierung

# HyFunk

Experimentelle und numerische Untersuchungen zu lokal aufschäumbaren Strangpressprofilen für die additive Fertigung von hybriden Funktionsstrukturen

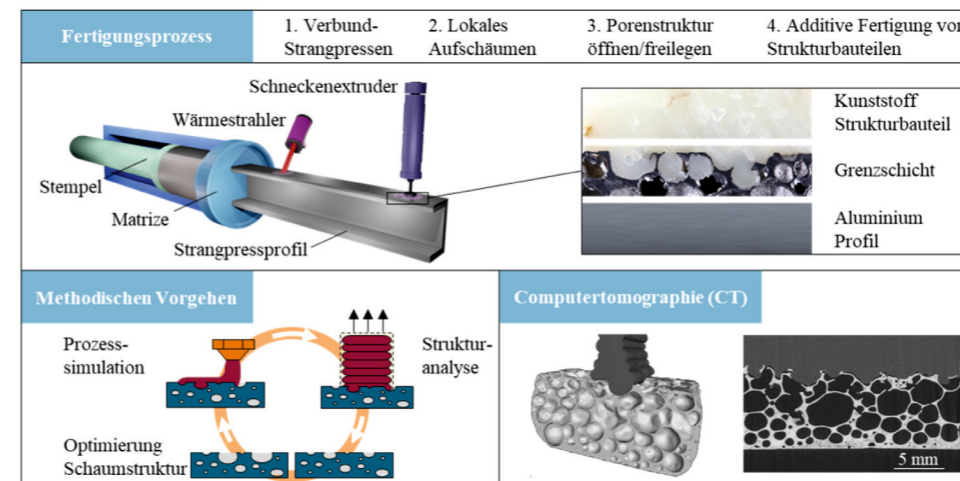
**Motivation und Zielsetzung**

Bei der Herstellung hybrider Funktionsstrukturen aus Metall und Kunststoff liegt die Herausforderung vor allem im Fügen dieser artfremden Materialien. Die Untersuchungen im Rahmen des Projekts zielen auf die Optimierung einer Metall-Kunststoff-Verbindung ab. Dazu wird an einem Prozess geforscht, welcher kontinuierliche und additive Fertigungsverfahren kombiniert. Dieser beinhaltet ein lokales, oberflächennahes Aufschäumen von Aluminium-Strangpressprofilen zur Erzeugung von anbindungsfähigen Hinterschnitten. Der additiv aufgetragene Kunststoff füllt dabei die offenliegenden Poren des Aluminiumschaums und es entsteht eine formschlüssige Verbindung. Die Herausforderungen liegen hierbei in der vollständigen Füllung der Hinterschnitte und der Vermeidung von Lufteinschlüssen im Polymerwerkstoff. Durch die Variation der Einflussparameter bei der Herstellung der Aluminiumschaum-Struktur und der Prozessparameter beim additiven Materialauftrag soll die Verbundfestigkeit signifikant gesteigert werden. Hierzu werden experimentelle und numerische Untersuchungen des additiven Fertigungsverfahrens und des Materialverbundes durchgeführt.

**Projektergebnisse**

Durch röntgenspektroskopische Aufnahmen der experimentell hergestellten Aluminiumschäume wurden Parameter wie die Porengrößenverteilung sowie die Wandstärken analysiert und auf ein virtuelles Aluminiumschaum-Modell übertragen. Dieses wurde in einer strukturmechanischen Simulation zur Ermittlung der Struktursteifigkeit des Materialverbundes mit unterschiedlichen Porengrößen und Wandstärken verwendet. Kleinere Poren erhöhen hierbei die Anzahl der Hinterschnitte und somit den Beitrag zur Verbundfestigkeit. Durch ein fluidmechanisches Modell der Kunststoffschmelze wird untersucht, bei welchen Porengrößen eine optimale Füllung gewährleistet werden kann.

<https://www.tu-braunschweig.de/iwf/fup/fhb/forschungsprojekte/hybride-funktionsstrukturen>



**Frederic Timmann**

f.timmann@tu-braunschweig.de  
Telefon + 49 531 391-7665

Förderung: DFG  
Laufzeit: 06/2020 - 04/2024

Projektpartner:  
Institut für Werkstoffe –  
Leibniz Universität Hannover

Schematische Darstellung des Verfahrens zur Herstellung hybrider Funktionsstrukturen mittels additiver und kontinuierlicher Fertigung | Methodik zur Auslegung der Aluminiumschaumstrukturen | Computertomographie einer experimentell hergestellten Hybridprobe



**Sandro Süß**

s.suess@tu-braunschweig.de  
Telefon + 49 531 391-7159

Förderung: BMBF  
Laufzeit: 03/2021 - 02/2024

Projektpartner:  
Institut für Partikeltechnik –  
TU Braunschweig,  
Fraunhofer-Institut für Keramische Techno-  
logien und Systeme IKTS,  
Institut für Metallurgische Prozesstechnik  
und Metallrecycling – RWTH Aachen

**PROJEKT\_Nachhaltige Produktion und Life Cycle Engineering**

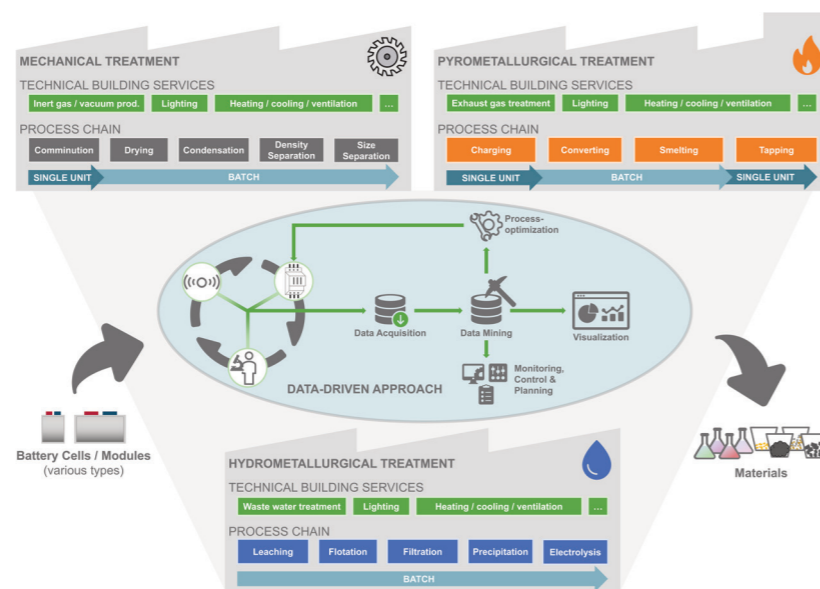
# DiRectION

## Data Mining im Recycling von Lithium-Ionen-Batteriezellen

**Motivation und Zielsetzung**

Der weltweit prognostizierte Bedarf nach Lithium-Ionen-Batterien wird von 550 GWh in 2022 auf etwa 3000-4700 GWh in 2030 ansteigen, insbesondere getrieben durch den Mobilitätssektor. Daraus folgt, dass abhängig von der Lebensdauer der Batterien mittelfristig Möglichkeiten zur Verwertung geschaffen werden müssen. Daher muss eine Alternative zur Deponierung und damit der potenziellen Freisetzung von Schadstoffen in unsere Umwelt gefunden werden. In einer vernetzten Batterie-Kreislaufwirtschaft bildet das stoffliche Recycling, als Ergänzung zu Strategien der Nachnutzung und Wiederaufbereitung, die Grundlage für den Erhalt bzw. die Rückgewinnung wertvoller Rohstoffe aus Batterien. Für das stoffliche Recycling existieren einige etablierte Verfahren wie die mechanische Aufbereitung (Zerkleinerung und mechanische Auftrennung), die Pyrometallurgie (thermische Behandlung und Aufschmelzen) und die Hydrometallurgie (Aufbereitung in wässriger Lösung), die unterschiedliche Batterie-Recyclingprozessketten ermöglichen. So kann beispielsweise das in der mechanischen Aufbereitung gewonnene Batterie-Aktivmaterial-Gemisch (auch Schwarzmasse genannt) an die Hydrometallurgie übergeben und dort zu konzentrierten Metalllösungen aufbereitet werden. Diese können teilweise wieder für die Herstellung neuer Batteriematerialien eingesetzt werden. An der TU Braunschweig wird die mechanische Aufbereitung an einer Pilotanlage durchgeführt, in der Batteriemodule und -zellen unter Vakuum zerkleinert werden. Das Material der geschredderten Batterien wird im Anschluss in mehreren Trenn- und Zerkleinerungsschritten in verwertbare Fraktionen getrennt.

Ziel des Projekts DiRectION ist die datenbasierte Optimierung des Recyclings von Lithium-Ionen-Batterien für eine hohe Qualität und Quantität der Endprodukte sowie eine hohe Energie- und Ressourceneffizienz der Recyclingprozessroute. Aufgrund der zahlreichen möglichen und größtenteils unbekanntem Wechselwirkungen zwischen Gestaltungs- und Kontrollparametern, Zustandsgrößen, Erfolgskriterien sowie weiteren internen und externen Einflussfaktoren ergibt sich eine erhöhte Komplexität entlang der Recyclingprozessroute. Der Einsatz von Data Mining zur Mustererkennung in Datensätzen soll diese Komplexität auflösen und zu einem verbesserten Verständnis des Recyclings von Lithium-Ionen-Batterien beitragen.



Überblick über das Projekt DiRectION: Datenbasierter Ansatz zur Optimierung des Recyclings von Lithium-Ionen-Batterien hinsichtlich Qualität und Quantität der Endprodukte sowie Energie- und Ressourceneffizienz in der mechanischen Aufbereitung, Hydrometallurgie und Pyrometallurgie

**Vorgehen und methodischer Ansatz**

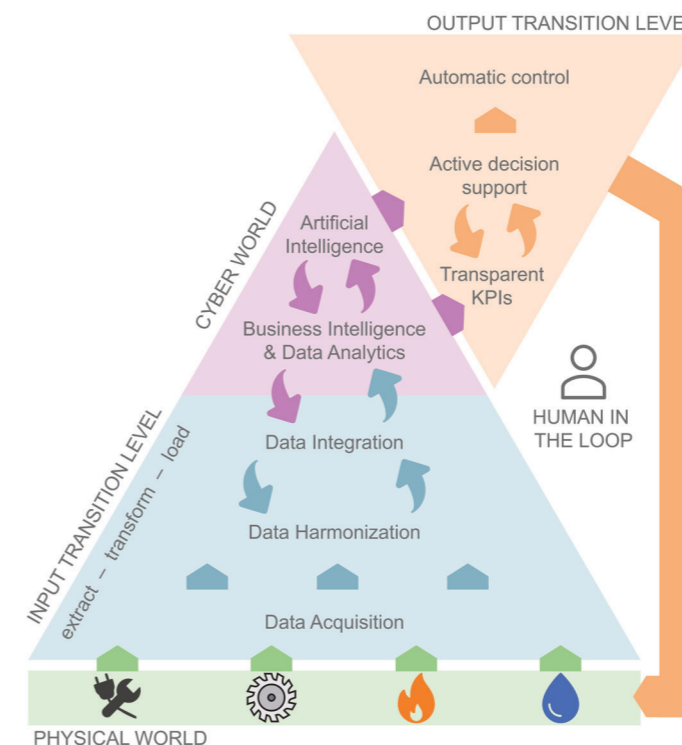
Zur Anwendung von Data Mining im Kontext des Recyclings wird im Projekt DiRectION das Prozessmodell "Cross Industry Standard Process for Data Mining" (CRISP-DM) mit dem Strukturmodell cyber-physischer Recyclingsysteme kombiniert. Cyber-physische Recyclingsysteme bestehen aus der physischen Welt, der Cyber-Welt und dem Menschen als Anwender und Entscheider im Zentrum.

Die physische Welt wird durch den realen Recyclingprozess repräsentiert, dessen Ist-Zustand im ersten Schritt detailliert untersucht wird, um das Data-Mining-Problem zu definieren. Als Übergang von der physischen Welt in die Cyber-Welt erfolgt die Aufnahme, Transformation und Aufbereitung von Daten aus der Recyclinganlage, Materialanalytik (Partikelgrößenverteilung, Materialzusammensetzung) sowie zusätzlich angebundener Messgeräte (Gasanalytik, Massenbestimmung) und Sensorik (Luftqualität, Wetter). In der Cyber-Welt erfolgt darauf aufbauend die Auswahl, Anwendung und Validierung verschiedener Modellierungstechniken. Die Evaluierung und der letztendliche Einsatz der Modelle zur Planung und Steuerung des Recyclings erfolgt am Übergang von der Cyber-Welt in die physische Welt.

**Projektfortschritt**

Die wesentlichen Fortschritte des Projekts wurden in der Entwicklung und Umsetzung von individuellen Mess- und Dateninfrastrukturkonzepten für die mechanische Aufbereitung, Hydrometallurgie und Pyrometallurgie erreicht. Hierfür wurde geeignete Messtechnik zur Aufzeichnung der Gestaltungs- und Kontrollparameter sowie Zustandsgrößen basierend auf den Anforderungen der einzelnen Recyclingprozesse ausgewählt und beschafft. Für die erfassten Rohdaten wurden Datenbanken eingerichtet. Auf diese Weise lassen sich die Vorgänge an den Anlagen datenbasiert abbilden und erste Datensätze aufnehmen. Diese Datensätze wurden sondiert und für erste Modellierungen eingesetzt. Zur Visualisierung der aufgenommenen Daten wurde ein Hardwarekonzept für die transparente, mobile und ortsunabhängige Messdatenvisualisierung entwickelt. Aufgrund von Verzögerungen in der Bereitstellung der Recyclinganlage in Braunschweig wird die IT-Infrastruktur aktuell über eine virtuelle Inbetriebnahme der Anlage weiterentwickelt und ausgelegt.

<https://www.greenbatt-cluster.de/de/projekte/direction/>



**Ausblick und Potenziale**

Mit der vollständigen Inbetriebnahme der messtechnisch ausgestatteten Recyclinganlagen bei allen Partnern werden umfassende Parameterstudien möglich sein. In Kombination mit der schrittweisen Einbindung von Daten aus externer Materialanalytik entsteht die Basis für eine vollständige, modellbasierte Abbildung des Recyclings von Lithium-Ionen-Batterien. Insbesondere die Rückverfolgbarkeit der Zwischenprodukte und recycelten Materialien entlang der Prozessketten gestaltet sich herausfordernd, unter anderem da die Anforderungen an die Qualität wichtiger Zwischenprodukte wie der Schwarzmasse noch nicht final definiert sind.

Sobald diese Herausforderungen aufgelöst sind, haben cyber-physische Recyclingsysteme mit ihrer Mess- und Dateninfrastruktur, der modellbasierten Abbildung des Recyclings und transparenter Entscheidungsunterstützung das Potenzial, übergreifende Zusammenhänge in Recyclingprozessketten offenzulegen. Diese können zur Optimierung von Parametern in Einzelprozessen und Recyclingprozessketten für eine erhöhte Qualität und Ausbeute sowie Energie- und Ressourceneffizienz und damit ein nachhaltiges Recycling von Lithium-Ionen-Batterien genutzt werden.



Vorgehensmodell im Projekt DiRectION zur strukturierten und zielgerichteten Digitalisierung von Batterierecyclinganlagen und -prozessen basierend auf cyber-physischen Produktionssystemen und CRISP-DM



**Chao Zhang**

chao.zhang@tu-braunschweig.de  
Telefon + 49 531 391-7159

Förderung: Europäische Kommission  
Laufzeit: 04/2020 - 03/2023

Projektpartner:  
Austrian Institute of Technology GmbH  
Centro Ricerche Fiat,  
EURICE – European Research and Project Office GmbH,  
Federal Institute of Metrology METAS,  
IMDEA Energy Institute,  
Johannes Kepler Universität Linz,  
Keysight Technologies GmbH,  
Kreisel Electric GmbH & Co KG,  
Pleione Energy S. A.,  
QWED,  
Ruhr-Universität Bochum

**PROJEKT\_Nachhaltige Produktion und Life Cycle Engineering**

# NanoBat

GHz nanoscale electrical and dielectric measurements of the solid-electrolyte interphase and applications in the battery manufacturing line

**Motivation und Zielsetzung**

Da etwa ein Drittel der Produktionskosten von Batteriezellen mit der Bildung von „Solid Electrolyte Interphase“ (SEI) an den Elektroden zusammenhängt, ist das Hauptziel von NanoBat die Entwicklung neuer „Radio-Frequency“ (RF)-Methoden im Nanomaßstab zur Charakterisierung der elektrischen und dielektrischen Eigenschaften der Zellen. Die entwickelten Messtechniken sollen diese nanoskalige Schicht wesentlich schneller und präziser kalibrieren als bisherige Methoden. Durch die Kombination von KI-Ansätzen soll es möglich sein, eine prädiktive Analyse der Zellqualität durchzuführen, d.h. die Qualität von Batteriezellen kann bereits in einer frühen Phase der Produktion erkannt werden, damit die Produktionsausschüsse reduziert und die Ressourceneffizienz erhöht werden können.

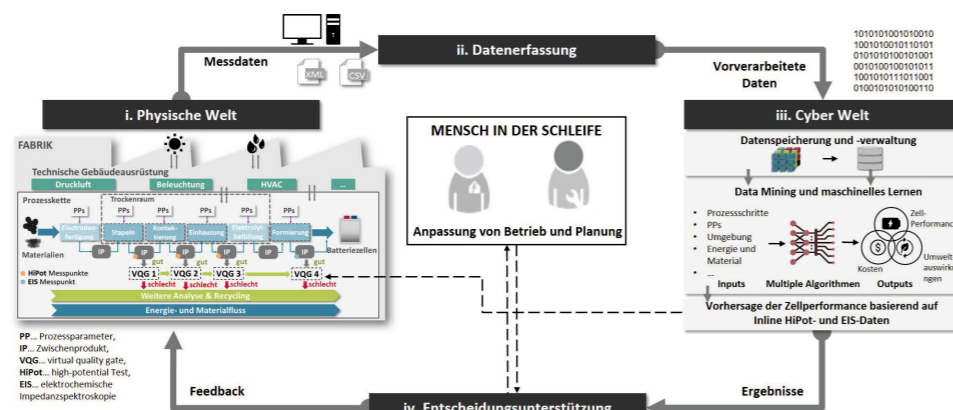
**Projektergebnisse**

In NanoBat unterstützt das IWF die Entwicklung verschiedener Messgeräte für Echtzeitmessungen. Als Proof-of-Concept wurden der High-Potential-Test (HiPot) und die elektrochemische Impedanzspektroskopie (EIS) als erste Messverfahren betrachtet. Die Durchführung des HiPot-Tests ermöglicht die Identifizierung von Defekten in Separatoren, die während der Zellassemblierung eingebracht wurden. Die Impedanzen der Zellen wurden mit einem EIS-Messgerät nach der Formation mit Frequenzen von 5 mHz bis 100 kHz getestet. Basierend auf den gesammelten Messdaten und KI-Ansätzen wurde eine datenbasierte Modellierung für die Vorhersage der Zellqualität durchgeführt und schließlich validiert, die als Grundlage für den Aufbau der Virtual Quality Gates (VQG) entlang der Produktionskette dient. Auf dieser Grundlage konnten eine frühzeitige Inline-Fehlererkennung und eine bessere Entscheidungsunterstützung in der Batteriezellenproduktion erreicht werden, wodurch die Effizienz sowohl aus wirtschaftlicher als auch aus ökologischer Sicht gesteigert wurde.

<https://www.nanobat.eu/>



Bezugsrahmen des cyber-physischen Produktionssystems zur Inline-Klassifizierung der Zellqualität



**PROJEKT\_Nachhaltige Produktion und Life Cycle Engineering**

# SmARt PlaS

Intelligente, Augmented-Reality-gestützte Produktionsprozesse in der Galvanotechnik

**Motivation und Zielsetzung**

Die deutsche Galvanobranche, die überwiegend aus KMU besteht, hat aktuell einen starken produktorientierten Fokus (Beschichtung, Vertrieb von Anlagen, technischer Gebäudeausrüstung (TGA) oder Chemikalien). Marktbedingt erhöht sich der Druck, nicht nur Anlagen und Prozesse zu digitalisieren, sondern mithilfe erhobener Daten Prozesse zu optimieren, Ressourcen zu schonen und weitere digitale Leistungen anzubieten. Infolgedessen wird im Projekt ein digitaler Zwilling als intelligentes Dienstleistungskonzept entwickelt, der die Anlagenbedienung datenbasiert optimiert, die Wartung der Chemikalien sowie Anlagenperipherie vorausschauend unterstützt und mithilfe der Mixed-Reality-Technologie visualisiert.

**Projektergebnisse**

Zur vorausschauenden Wartung der Anlagenperipherie sowie der Chemikalien wurden modell- und datenbasierte Ansätze entwickelt und eingesetzt. Im Rahmen des datenbasierten Ansatzes wurde eine Belüftungsanlage mit Vibrations- und Körperschallsensoren erweitert und mit dem Einsatz eines gestapelten künstlichen neuronalen Netzwerks (Stack-Autoencoder) auf Anomalien überwacht. Das Modell wurde anhand von Daten eingesetzt und validiert, die über einen Zeitraum von fünf Monaten an einer industriellen Anlage aufgenommen wurden. Wenn bei der Datenrekonstruktion (s. Abbildung) der mittlere quadratische Fehler hoch ausfällt, weist das auf eine Anomalie hin. Weiterhin wurde die galvanische Prozesskette modellbasiert in Anylogic abgebildet, um für Planungszwecke Dosierungsmengen der Chemikalien in verschiedenen Szenarien zu simulieren. Die Simulation ist in der Lage, prozessbedingt verschleppte Fluide aus einem Bad in das nächste zu berechnen und dadurch dynamische Konzentrationen verschiedener Additive abzubilden. Somit wird eine hohe Ressourceneffizienz ermöglicht, da der Chemikalieneinsatz in einem schmaleren Korridor erfolgen kann.

[https://www.tu-brauschweig.de/iwf/nplce/forschungsprojekte/smart-plas](https://www.tu-braunschweig.de/iwf/nplce/forschungsprojekte/smart-plas)



**Marija Rosic**

m.rosic@tu-braunschweig.de  
Telefon + 49 531 391-7644

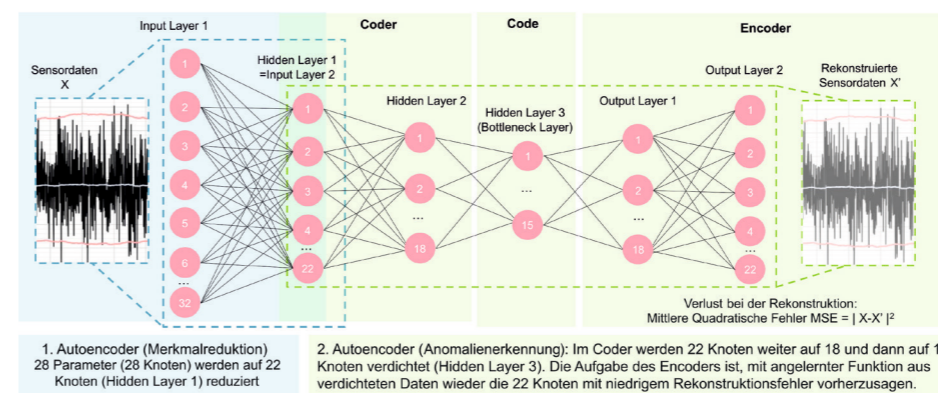
Förderung: BMBF  
Laufzeit: 10/2019 - 03/2023

Projektpartner:  
B+T Oberflächentechnik GmbH,  
AIRTEC MUEKU GmbH,  
DITEC GmbH,  
Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik und Automatisierung IPA,  
Softec AG,  
Universität Stuttgart,  
ancosys GmbH,  
eiffo eG



Die Struktur des Autoencoder-Modells: Für jeden Inputparameter (bspw. Temperatur, Beschleunigung, Druck etc.) wird ein Knoten erstellt. Die Parameter werden in mehreren Stufen verdichtet und zum Schluss wieder rekonstruiert. Der Stack-Autoencoder besteht aus zwei nacheinander folgenden Algorithmen. Der erste führt eine Merkmalreduktion zur Entfernung von redundanten Daten durch, während der zweite Algorithmus Anomalien im Datensatz detektiert.

Struktur des künstlichen neuronalen Netzwerks (Stack Autoencoder)





Lennart Kuhr

l.kuhr@tu-braunschweig.de  
Telefon + 49 531 391-7696

Förderung: BMBF  
Laufzeit: 10/2020 - 09/2023

Projektpartner:  
Institut für Füge- und Schweißtechnik – TU Braunschweig,  
Institut für Partikeltechnik – TU Braunschweig,  
Institut für Werkzeugmaschinen und Betriebswissenschaften – TU München,  
Zentrum für Sonnenenergie- und Wasserstoff-Forschung Baden-Württemberg

PROJEKT\_Nachhaltige Produktion und Life Cycle Engineering

# TrackBatt

## Tracking und Tracing in der Batteriezellproduktion

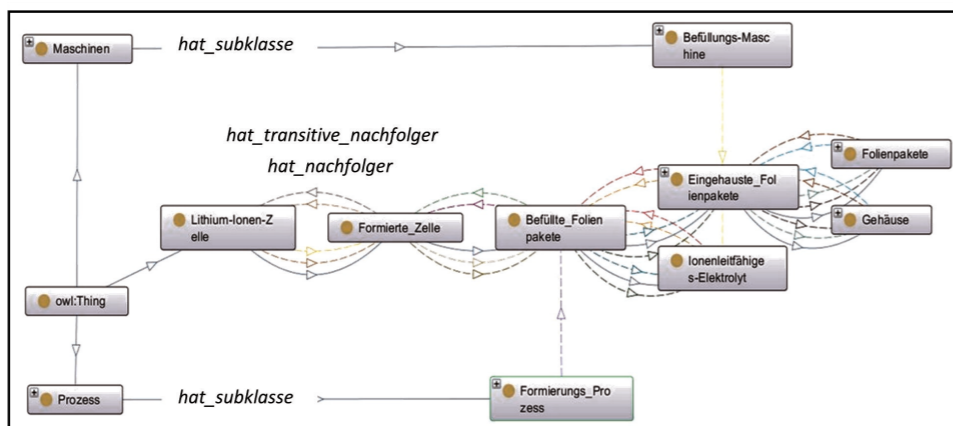
### Motivation und Zielsetzung

Die Produktion von Lithium-Ionen-Batterien (LIB) basiert auf einem komplexen Zusammenspiel unterschiedlicher technischer Bereiche mit einer Vielzahl von Prozesswechselwirkungen. Hieraus resultieren hohe Produktionsausschüsse (bis zu 40%), welche die Kosten, aber auch den ökologischen Fußabdruck beeinflussen. Datengetriebene Qualitätsmanagementansätze sollen die Reduktion von Fehlern entlang der Produktionskette von LIB unterstützen. Die Projektvision von TrackBatt ist es, die erzielte Leistungsfähigkeit sowie zugrundeliegende Schadensmechanismen hergestellter Batteriezellen einzelnen Zellkomponenten, wie z.B. einzelnen Elektrodenblättern und Produktionsprozessen, eindeutig zuordnen zu können. Hierfür wird das notwendige Datenmanagement inklusive der Datenarchitektur zur lückenlosen Rückverfolgung („Tracking und Tracing“) für die Batterieproduktion entwickelt und evaluiert.

### Projektergebnisse

Im Projekt wurde zunächst eine allgemeingültige Systematik aller erfassten Daten sowie eine für das Tracking und Tracing geeignete Datenarchitektur für die LIB-Produktion erstellt. Die Datenarchitektur zeigt die schematischen Zusammenhänge der analytischen Sensordaten, der planerischen Produktdaten sowie der prozesszugehörigen Maschinendaten und entspricht dem grundlegenden Aufbau der eingesetzten Datenbanken. Um diese Daten aus der LIB-Produktion prozessschrittübergreifend und automatisiert zu verknüpfen, muss entsprechendes Expertenwissen in dem Tracking-und-Tracing-System abgebildet werden. Hierfür wurde eine Ontologie formalisiert, welche einem digitalen Abbild der Beziehungen zwischen den Produkten, Zwischenprodukten, Maschinen und Prozessen entspricht. Ein Ausschnitt aus der Ontologie ist im Bild dargestellt. Erste prototypische Anwendungen wurden anhand von Produktionskampagnen getestet. Es konnte gezeigt werden, dass das entwickelte Tracking-und-Tracing-System vereinfachten Zugriff auf prozessschrittübergreifende Zusammenhänge ermöglicht.

<https://www.tu-braunschweig.de/iwf/nplce/forschungsprojekte/trackbatt>



Auszug aus der Ontologie der LIB-Produktion

PROJEKT\_Nachhaltige Produktion und Life Cycle Engineering

# ToolING

## Digitaler Zwilling für den KI-unterstützten Werkzeugentstehungsprozess (WEP)

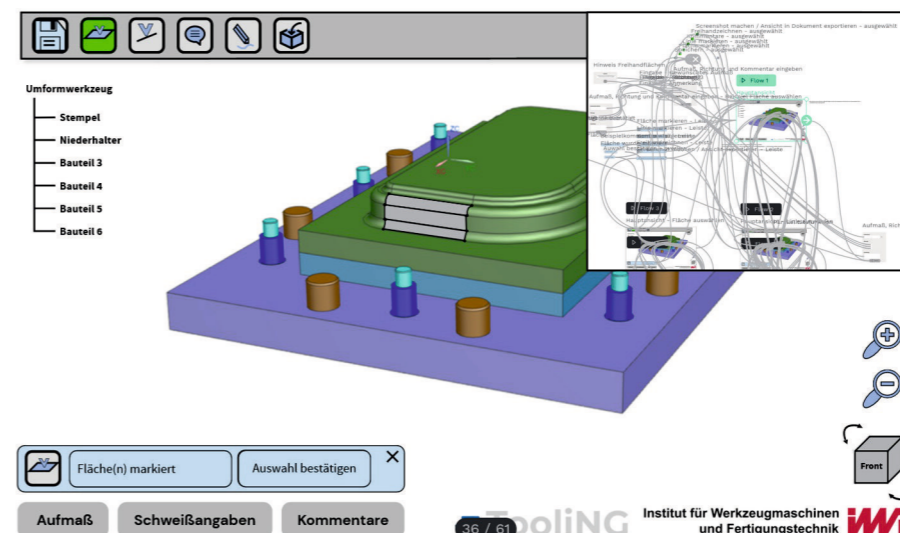
### Motivation und Zielsetzung

Ein Großteil des Zeit- und Ressourcenaufwands im Fahrzeugentstehungsprozess geht in die Entwicklung von Presswerkzeugen für die Serienproduktion von Bauteilen. Der Werkzeugbau ist daher oft ein Engpass bei der Umsetzung neuer Produkte. Um die Entwicklungszeit bis zur Marktreife weiter zu reduzieren, sollen in ToolING deshalb die bei der Werkzeugentstehung anfallenden Datenmengen für die Entwicklung von computergestützten Assistenzsystemen verwendet werden. Neben den anfallenden Maschinen- und Sensordaten sollen diese auch um Expertenwissen erweitert werden, da die Effizienz des WEP sehr vom Wissen und den Fertigkeiten einzelner Fachkräfte abhängig ist. Dieses Expertenwissen soll durch geeignete Konzepte digital erfassbar gemacht und als weitere Datenquelle integriert werden. Der resultierende digitale Zwilling bildet dann die Grundlage für das ganzheitliche Datenmanagement unter anderem von Umformsimulationen, Fräsoperationen, optischen Messungen aus dem Tryout und dem anschließenden Training der für die KI-Assistenzsysteme benötigten Surrogatmodelle.

### Projektergebnisse

Die Arbeiten des IWF adressieren unter anderem die Erfassung und Beschreibung von expertenbasierten Entscheidungen im WEP sowie der Erarbeitung geeigneter Konzepte, um das Wissen dieser Entscheidungen erfassbar zu machen. Dabei wurden die Einsatzmöglichkeiten neuartiger Technologien, aber auch weitere Faktoren wie die Nutzungsakzeptanz der späteren Anwender dieser Konzepte und der technischen Umsetzbarkeit diskutiert. Hieraus ist unter der Leitung des IWF dann eine konzeptionelle Benutzeroberfläche entstanden (siehe Abbildung), die für mehrere definierte Arbeitsabläufe zeigt, wie ein Anwender Annotationen an 3-D-Daten vornehmen kann. In der Abbildung ist beispielhaft gezeigt, wie mehrere Flächen auf einem CAD-Modell mithilfe der Benutzeroberfläche ausgewählt wurden. Neben der konzeptionellen Benutzeroberfläche wird zusätzlich eine Anforderungsliste für eine spätere Softwareentwicklung verfasst, in der die identifizierten benötigten Funktionalitäten einer solchen Benutzeroberfläche dokumentiert sind.

<https://www.tu-braunschweig.de/iwf/nplce/forschungsprojekte/tooling>



Henning Hupfeld

h.hupfeld@tu-braunschweig.de  
Telefon + 49 531 391-8751

Förderung: BMWK  
Laufzeit: 01/2022 - 12/2024

Projektpartner:  
Synergeticon GmbH,  
EKS InTec GmbH,  
Volkswagen AG,  
AutoForm Engineering Deutschland GmbH,  
Tebis Technische Informationssysteme AG,  
Hochschule für angewandte Wissenschaften Kempten



Konzeptionelle Benutzeroberfläche zur Annotation an 3-D-Daten. In grau sind aktuell ausgewählte Flächen auf einem Beispielwerkzeug zu sehen. Im eingblendeten Ausschnitt oben rechts sind die im Hintergrund implementierten Elementbeziehungen zu sehen.





**Philipp Grimmel**

p.grimmel@tu-braunschweig.de  
Telefon + 49 531 391-7634

Förderung: BMBF  
Laufzeit: 06/2017 - 01/2024

Projektpartner:  
Institute for Sustainable Urbanism –  
TU Braunschweig,  
Singapore Institute for Manufacturing  
Technology



**ISUrF Hub**  
Singapore-Germany

## PROJEKT\_Nachhaltige Produktion und Life Cycle Engineering

# ISUrF-Hub

Aufbau und Etablierung einer gemeinsamen Forschungspräsenz im innovativen Forschungsfeld urbane Produktion und industrielle Symbiose in Singapur mit dem Singapore Institute of Manufacturing

### Ausgangssituation und Zielsetzung

Mehr als die Hälfte der Weltbevölkerung lebt in Städten und aufgrund der fortschreitenden Urbanisierung in vielen Teilen der Welt wird diese Zahl voraussichtlich weiter steigen. Die fortschreitende Stadterweiterung wird mit einem Anstieg der Treibhausgasemissionen, einer wachsenden Ressourcennachfrage und Herausforderungen für die städtische Abfallwirtschaft einhergehen. Zur Bewältigung dieser Herausforderungen müssen neue Technologien erforscht werden.

In dieser Hinsicht haben Deutschland und Singapur ähnliche Voraussetzungen in Bezug auf geringe Rohstoffvorkommen, hohe Bevölkerungsdichte, einem hohen Anteil industrieller Fertigung in ihrer Wertschöpfung und der Bestrebung zu einer nachhaltigen Produktion. Aufbauend auf den gemeinsamen Herausforderungen besteht eine 20-jährige Kooperation mit dem Singapore Institute for Manufacturing Technology (SIMTech).

Das SIMTech ist ein führendes Forschungsinstitut in Singapur, das sich auf die Entwicklung von fortschrittlichen Fertigungstechnologien konzentriert. An gemeinsamen Schnittstellen wie den Lernfabriken, Life Cycle Engineering und der industrielleren Symbiose werden bereits seit 20 Jahren gemeinsame Schulungen entwickelt, Projekte durchgeführt und studentische Arbeiten betreut.

In einem interdisziplinären Ansatz aus nachhaltiger Produktionstechnik und Stadtplanung erforscht das IWF gemeinsam mit dem Institute for Sustainable Urbanism unter Leitung von Prof. Vanessa Carlow urbane Produktion und industrielle Symbiose. Zur Stärkung der internationalen Zusammenarbeit und der Förderung gemeinsamer Aktivitäten strebt das Projekt die Gründung einer Forschungspräsenz in Singapur an.

### Vorgehen und methodischer Ansatz

Die Forschungspräsenz wird über die vier Ebenen: 1. Austausch von WissenschaftlerInnen, 2. Verknüpfung von Projekten, 3. Durchführung gemeinsamer Forschungsprojekte und 4. dem Aufbau gemeinsamer Infrastruktur aufgebaut.

**1. Austausch von WissenschaftlerInnen:** Hierbei geht es um den Austausch von Wissen, Erfahrungen und Ideen zwischen Wissenschaftlern und Forschern aus beiden Ländern. Dies erfolgt insbesondere durch die Betreuung von Masterarbeiten in Singapur, Forschungsaufenthalten von Wissenschaftlichen MitarbeiterInnen in Singapur und die gemeinsame Teilnahme an Konferenzen und Workshops.

**2. Verknüpfung von Projekten:** Hierbei handelt es sich um Projekte, die unabhängig in Deutschland und Singapur bei den jeweiligen Instituten eingeworben und durchgeführt werden. Aufgrund der inhaltlichen Nähe vieler Projekte wird der Austausch zwischen den Projekten gefördert.

**3. Durchführung gemeinsamer Forschungsprojekte:** Hierbei geht es um Projekte, die gemeinsam beantragt und durchgeführt werden. Projekte bauen in der Regel auf den bisherigen Aktivitäten auf und werden sowohl durch deutsche als auch singapurische Mittel gefördert.

**4. Aufbau gemeinsamer Infrastruktur:** Hierbei geht es um den Aufbau von gemeinsamen Forschungs- und Entwicklungsinfrastrukturen, die von beiden Instituten gemeinsam genutzt werden können sowie der Vernetzung bestehender Infrastrukturen, um gemeinsam zu profitieren.

### Projektfortschritt

Im Jahr 2022 konnte der wissenschaftliche Austausch mit dem SIMTech nach dem Ende der Corona-Pandemie deutlich verstärkt werden. Die Reisebeschränkungen der TU Braunschweig und die Einreisebestimmungen von Singapur haben sich deutlich verbessert, sodass Dienstreisen nach Singapur wieder möglich waren.

Während der 12. CIRP Conference on Learning Factories, welche vom SIMTech in Singapur organisiert wurde, konnte der Austausch mit den Partnern vor Ort wieder intensiviert werden. Darüber hinaus fand im November 2022 eine wissenschaftliche Reise unter Teilnahme von Prof. Herrmann und Prof. Vanessa Carlow (ISU) statt. Im Rahmen einer Public Lecture unter Anwesenheit von ca. 100 Gästen wurde das 20-jährige Jubiläum gewürdigt.

Im Zuge der Reise wurde ein intensiver wissenschaftlicher und fachlicher Dialog zwischen verschiedensten AkteurInnen der TU Braunschweig, SIMTech und darüber hinaus initiiert. Im Ergebnis stehen die Planungen gemeinsamer Veröffentlichungen und gemeinsamer Ansätze für die digitale Unterstützung zur Förderung industrieller Symbiose und damit einhergehender ingenieurwissenschaftlicher und stadtplanerischer Fragestellungen.

Verknüpfungen von Projekten haben aus dem Projekt Urban Factory II der TU Braunschweig und den Aktivitäten zu Micro-Circulation Factories vom SIMTech stattgefunden und einen sechswöchigen Forschungsaufenthalt zur Untersuchung der Integration von Produktion im urbanen Umfeld in Singapur ermöglicht. Weiterhin wurden Aktivitäten im Bereich zirkuläre Batteriezellproduktion, Lernfabriken, Nachhaltigkeits-Selbstbewertungen, resiliente Lieferketten und urbane industrielle Symbiose aus Singapur und Deutschland miteinander verknüpft.

Das gemeinsame Projekt „Cyber-Physical Production System - Towards Contextual and Intelligent Response“ wurde im November 2022 erfolgreich abgeschlossen und in einen Demonstrator überführt. Aus den gemeinsamen Forschungsaktivitäten sollen im nächsten Jahr neue gemeinsame Projekte initiiert werden. Zur Förderung steht ein breites Team (Bild rechte Seite) zur Verknüpfung der Forschung und Initiierung neuer gemeinsamer Projekte. Als wichtigen Grundstein für gemeinsame Projekte und die Förderfähigkeit in Singapur strebt die TU Braunschweig aus dem Projekt ISUrF-Hub getrieben die Ausgründung einer Forschungspräsenz an. Dazu wurden bereits die Formalien geprüft und ein Beschluss zur Unterstützung der Initiative im Präsidium getroffen. Die Möglichkeit zur Ausgründung über die Innovationsgesellschaft der TU Braunschweig, iTUBS, wird derzeit ausgestaltet.

### Ausblick und Potenziale

Eine langfristig angelegte Präsenz in Singapur soll die Rahmenbedingungen für gemeinsame Forschungsprojekte deutlich verbessern und die vier Handlungsfelder gemeinsame Forschungsprojekte, Schulungen und Lehre in Singapur, Forschung und Beratung sowie die Bereitstellung einer Forschungsplattform für deutsche Projekte fördern. Insbesondere im Bereich der zirkulären Batteriezellproduktion sollen die gemeinsamen Aktivitäten zwischen der TU Braunschweig und dem SIMTech ausgebaut werden und gemeinsame Projektaktivitäten imitiert werden. Des Weiteren wird der Austausch von WissenschaftlerInnen in den nächsten Jahren verfestigt, sodass regelmäßig Forschungsaufenthalte durchgeführt und Masterarbeiten in Singapur betreut werden.

<https://isurf-hub.org/>



Öffentliche Vortragsveranstaltung in Singapur zum 20-jährigen Jubiläum der Kooperation zwischen SIMTech und der TU Braunschweig mit Dr. Zhiqian Yeo (SIMTech), Prof. Dr. Vanessa Carlow (ISU), Prof. Dr.-Ing. Christoph Herrmann (IWF), Dr. Jonathan Low (SIMTech)



Wissenschaftlicher Austausch mit den PartnerInnen am SIMTech im Themenfeld urbane Produktion und industrielle Symbiose



Niels Martin

n.martin@tu-braunschweig.de  
Telefon + 49 531 391-7693

Förderung: BMBF  
Laufzeit: 01/2023 – 12/2025

Projektpartner:  
binder introbest GmbH & Co. KG,  
B. Braun SE,  
BeSu.Solutions GmbH,  
Metallux AG,  
PR-Tronik GmbH,  
Syslog GmbH,  
UNITRO-Fleischmann Störmelde-  
systeme,  
Lehrstuhl für Arbeits-, Organisa-  
tions- und Sozialpsychologie – TU  
Braunschweig

PROJEKT\_Nachhaltige Produktion und Life Cycle Engineering

# ROBUST

Transformationsfördernde Maßnahmen, Konzepte und Strukturen für wandlungsfähige und nachhaltige KMU-basierte Unternehmens- und Wertschöpfungsnetzwerke

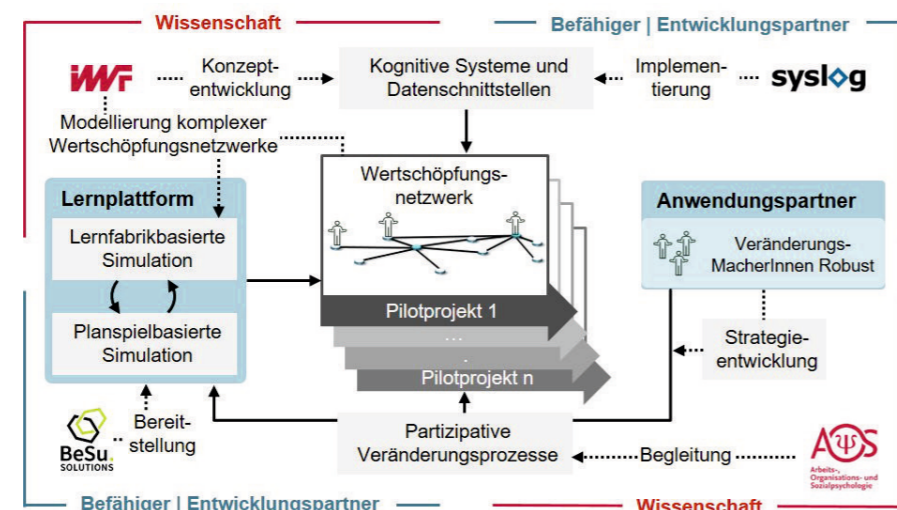
**Motivation**

Störungen in der Wertschöpfungskette und sich verändernde Marktbedingungen stellen kleine und mittelständische Unternehmen (KMU) vor teilweise existentielle Herausforderungen. Um diesen Herausforderungen erfolgreich zu begegnen, müssen Unternehmen resiliente Wertschöpfungsnetzwerke aufbauen. Denn nur so können sie auch in Krisenzeiten erfolgreich bestehen und auf Marktveränderungen reagieren. Dabei spielen vor allem KMU-basierte Wertschöpfungsnetzwerke eine wichtige Rolle. Sie sind in der Regel flexibler als Großunternehmen und können so schneller auf Marktveränderungen reagieren. Doch viele KMUs haben Schwierigkeiten, ihre Wertschöpfungsnetzwerke resilient zu gestalten.

**Zielsetzung**

Das Ziel des Projekts ROBUST besteht in der Schaffung und langfristigen Etablierung von transformationsfördernden Maßnahmen, Konzepten und Strukturen zur Realisierung langfristig erfolgreicher, resilienterer und nachhaltiger Unternehmens- und Wertschöpfungsnetzwerke. KMUs werden dadurch unterstützt, ihre Wertschöpfungsnetzwerke strategisch zu stärken, um so gemeinschaftlich und erfolgreich auf Störungen zu reagieren. Insbesondere sollen Mitarbeitende im Rahmen des Veränderungsmachers befähigt werden, Veränderungsprojekte zu gestalten und umzusetzen. Dadurch werden Unternehmen auch auf Mitarbeitenebene anpassungsfähiger, was auch die Resilienz in Wertschöpfungsnetzwerken verbessert. Zudem sollen Maßnahmenpotenziale für resiliente und nachhaltige Wertschöpfungsnetzwerke identifiziert werden. Dafür soll ein Simulationsrahmen entwickelt werden, der die Analyse von Wertschöpfungsnetzwerken zulässt und es erlaubt Maßnahmenbündel zu identifizieren, welche gezielt an den relevanten Stellschrauben ansetzen. Ein weiterer Schwerpunkt liegt auf dem Einsatz kognitiver Unterstützungssysteme, um Unternehmen und Wertschöpfungsnetzwerke dabei zu unterstützen, schneller auf Marktveränderungen zu reagieren.

<https://www.tu-braunschweig.de/iwf/nplce/forschungsprojekte/robust>



Rollenverständnis  
ROBUST

PROJEKT\_Nachhaltige Produktion und Life Cycle Engineering

# PV-Kreis

Integrative Produkt-, Prozess- und Arbeitssystemgestaltung für die Schließung von Stoffkreisläufen für PV-Paneele

**Motivation**

Grundlegende Transformationsprozesse wie die Dekarbonisierung des Energiesektors und die Digitalisierung der Arbeitswelt schaffen bei parallel stattfindendem demographischen Wandel neue Gestaltungsfelder im Hinblick auf die Realisierung menschengerechter Arbeit. Als wichtige Branche steht die Recyclingindustrie – vielleicht mehr noch als andere Branchen – vor der Herausforderung, neue technologische Ansätze, insbesondere Ansätze zur Digitalisierung und Automatisierung, in ihre rückwärts gerichteten Wertschöpfungsprozesse zu integrieren. Hierzu müssen qualifizierte Fachkräfte mit exzellenten Fach- und Methodenkompetenzen gewonnen und gehalten werden. Die Qualifizierung der Fachkräfte erfolgt parallel zur technologieinduzierten Transformation der Arbeitssysteme. Dies erfordert vielfältiges Fach- und Prozesswissen und ein Verständnis für komplexe Zusammenhänge sowie auch die nötige Zusammenarbeit über Unternehmensgrenzen hinweg.

**Zielsetzung**

Das Projekt PV-Kreis zielt als Teilprojekt im regionalen Kompetenzzentrum KREIS (siehe Bild) auf die explorative Analyse der Arbeitsbedingungen in Kreislaufwirtschaftssystemen. Am Beispiel des Recyclings von PV-Paneelen werden Anforderungen an die effiziente Arbeitssystemgestaltung und von nachhaltigen Strukturen für die zirkuläre Produktion erarbeitet. Dabei werden sowohl inner- als auch überbetriebliche Prozesse in zirkulären Wertschöpfungsnetzwerken betrachtet und bestehende Herausforderungen im Hinblick auf die Arbeitsabläufe und -prozesse sowie Chancen und Risiken durch Technologieinnovationen und deren Auswirkungen auf die Gestaltung von Arbeit strukturiert aufgearbeitet. Auf dieser Grundlage werden Handlungsempfehlungen für eine effiziente Arbeitssystemgestaltung unter integrativer Berücksichtigung von Produkt- und Prozess-Innovationen abgeleitet.

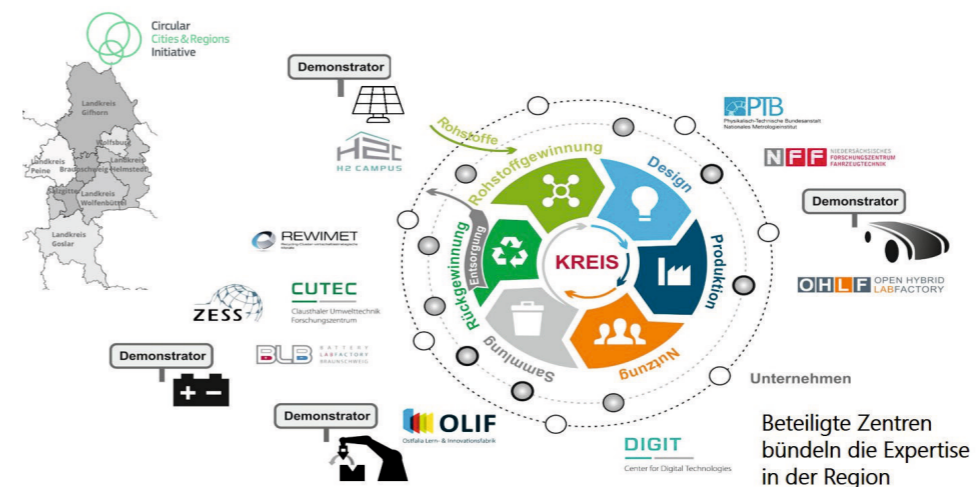


Mark Mennenga

m.mennenga@tu-braunschweig.de  
Telefon + 49 531 391-7150

Förderung: BMBF  
Laufzeit: 07/2023 - 06/2028

Projektpartner:  
JPM Silicon GmbH,  
Solar Materials PV,  
Fricke und Mallah Microwave Technology GmbH,  
Mahlfeld GbR (assoziiert),  
Ceconsoft,  
BeSu Solutions,  
Fraunhofer-Institut für Schicht- und Oberflächentechnik IST



Beteiligte Zentren im Projekt  
PV-Kreis



Jan Felix Niemeyer

jan-felix.niemeyer@tu-braunschweig.de  
Telefon + 49 531 391-7670

Förderung: BMWK  
Laufzeit: 06/2021 - 05/2024

Projektpartner:  
Leibniz Universität Hannover,  
IHK Niedersachsen (vertreten durch die  
IHKLW),  
Institut für Integrierte Produktion  
Hannover,  
Hochschule Hannover

PROJEKT\_Nachhaltige Produktion und Life Cycle Engineering

## Mittelstand-Digital Zentrum Hannover

Unterstützung von KMU im Bereich Nachhaltigkeit

### Motivation und Zielsetzung

Über 99 % aller Unternehmen in Deutschland sind kleine und mittlere Unternehmen (KMU), welche etwa 55 % der gesamtdeutschen Nettowertschöpfung generieren. Studien zeigen, dass KMU in den letzten Jahren Fortschritte im Bereich der Digitalisierung gemacht haben, aber insbesondere bei den kleinen Unternehmen noch großes Wertschöpfungspotenzial besteht. Mit Hinblick auf die Globalisierung und den damit einhergehenden Wettbewerbsdruck muss der Mittelstand gestärkt werden. Das Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK) unterstützt durch das Programm „Mittelstand-Digital“ seit 2012 die digitale, nachhaltige Transformation von KMU. Seit 06/2021 ist das Institut für Werkzeugmaschinen und Fertigungstechnik (IWF) aktiver Partner im Mittelstand-Digital Zentrum Hannover. Das IWF adressiert insbesondere die Themen rund um Energietransparenz, Material- und Ressourceneffizienz sowie ökologische Bewertung.

### Projektergebnisse

Neben breit geleisteter Öffentlichkeitsarbeit mittels Blogbeiträgen, Vorträgen und Magazinbeiträgen, konnte das IWF seit Projektstart bereits 55 Unternehmen in ganz Niedersachsen im Bereich der Nachhaltigkeit durch Firmengespräche unterstützen und individuell auf Herausforderungen eingehen. Zusätzlich begleiten wir seit letztem Jahr die IHK Stade für den Elbe-Weser-Raum und die IHK Lüneburg-Wolfsburg fachlich bei der Beratungstour „Lieferketten, Energieversorgung und Personalplanung nachhaltig gestalten“. Herauszustellen sind die im letzten Jahr abgeschlossenen drei Digitalisierungsprojekte mit Leuchtturmcharakter. Beispielsweise wurde mit dem europagrößten Treppenhersteller und Franchiseunternehmen „Treppenmeister GmbH“ mit über hundert Partnerunternehmen der Weg hin zu einem klimaneutralen Unternehmen bis 2023 eingeschlagen. Insgesamt konnte das IWF bereits über 150 Unternehmen mit fachlicher Expertise durch unterschiedlichste Formate, wie Workshops oder Planspiele, unterstützen und die Vernetzung mit der Wirtschaft (z.B. IGBCE, IG Metall, AGV Braunschweig, BVMW und einer Vielzahl an Wirtschaftsförderungen) sowie mit Unternehmen stark ausbauen.

<https://digitalzentrum-hannover.de/>



Mittelstand-Digital Zentrum Hannover  
auf der Hannover Messe

PROJEKT\_Nachhaltige Produktion und Life Cycle Engineering

## ReDesign

Entwicklung von Gestaltungsrichtlinien für die recyclinggerechte Konstruktion von Batteriesystemen im Kontext der Kreislaufwirtschaft

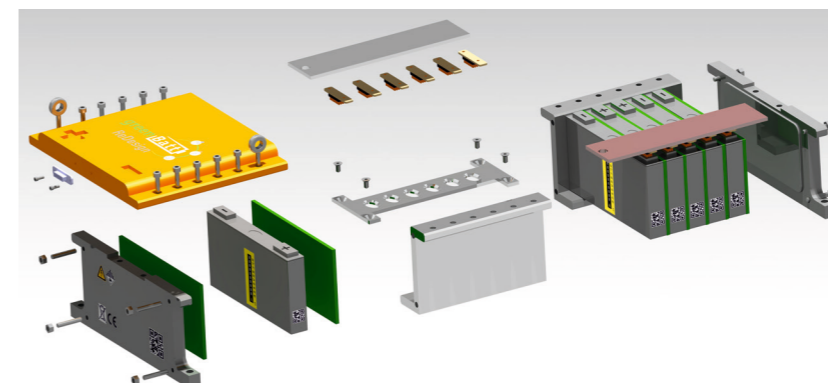
### Motivation und Zielsetzung

Batterien sind ein entscheidendes Element für den Übergang der EU zur Klimaneutralität, da sie besonders bei der angestrebten Umstellung auf eine umweltfreundlichere Mobilität eine herausragende Stellung einnehmen. In den nächsten Jahren wird somit ein starkes Marktwachstum erwartet, was zu einem entsprechend großen Aufkommen an End-of-Life (EoL)-Batterien nach Ende der jeweiligen Nutzungsdauer führt. Daher ist es immens wichtig, dass die für die Produktion benötigten Rohstoffe am Lebensende wieder zurückgewonnen werden. Aktuell verfügbare Materialrecyclingprozesse sind jedoch häufig aus ökonomischen Gründen nur auf bestimmte Materialien fokussiert, eine Nachnutzung von Batterien in Form von Second-Life-Konzepten kommt bisher nur in Ausnahmefällen vor. Durch Anwendung von Design-for-Recycling-Ansätzen können diese Probleme adressiert werden. Im Projekt ReDesign werden daher Gestaltungsrichtlinien für recyclingfreundliche Batteriedesigns entwickelt, deren Umsetzbarkeit anhand eines finalen Konzeptdemonstrators gezeigt wird. Darauf aufbauend werden tragfähige Geschäftsmodelle passend zum neuen Batteriedesign entwickelt.

### Projektergebnisse

Im Projekt wurden gängige Produkt- und Materialrecyclingprozesse analysiert, woraufhin innerhalb der entsprechenden Prozessketten Hotspots hinsichtlich des Aufwands identifiziert wurden, bei denen eine Entlastung durch das Batteriedesign möglich sein könnte. Ein entsprechendes Design wurde in erster Version als Konzeptdemonstrator (siehe Bild) zunächst digital, jedoch mittlerweile auch in physischer Form in enger Zusammenarbeit mit dem Institut für Konstruktionstechnik (IK) umgesetzt. Zudem wurde eine Bewertungsmethodik entwickelt und in Form eines Tools umgesetzt, mit Hilfe dessen eine Bewertung der Rezyklierbarkeit verschiedener Batterien möglich ist, wodurch sich quantifizierbare Rückschlüsse über den Mehrwert des neuen Designs ziehen lassen. In der laufenden Projektphase wird das entwickelte recyclingfreundliche System anhand neuer Erkenntnisse optimiert und in den nächsten Versionen umgesetzt. In der Folge werden bestehende Geschäftsmodelle analysiert und neue entwickelt, die es ermöglichen, den ökonomischen Mehraufwand bei Produktion und Entwicklung des neuen Designs durch einen entsprechenden Vorteil im End-of-Life wieder auszugleichen.

<https://www.tu-braunschweig.de/iwf/nplce/forschungsprojekte/redesign>



Sönke Hansen

s.hansen@tu-braunschweig.de  
Telefon + 49 531 391-2725

Förderung: BMBF  
Laufzeit: 12/2020 - 11/2023

Projektpartner:  
Institut für Konstruktionstechnik –  
TU Braunschweig,  
Fraunhofer-Institut für Keramische  
Technologien und Systeme IKTS,  
Lehrstuhl für Elektrische Energie-  
technik – Universität Bayreuth,  
Lehrstuhl für Umweltgerechte  
Produktion – Universität Bayreuth



Explosionszeichnung des in ReDesign  
entwickelten Konzeptdemonstrators,  
erste Version

(Quelle: Instiut für Konstruktionstechnik,  
TU Braunschweig)



Anna-Sophia Wilde

a.wilde@tu-braunschweig.de

Förderung: BMWK

Laufzeit: 01/2023 - 12/2025

Projektpartner:

Continental Automotive Technologies GmbH,

DUALIS GmbH IT Solution,

IFOX Systems GmbH,

plus 10 GmbH,

SUSE Software Solutions Germany GmbH,

HAW Landshut – Institute for Data

and Process Science,

NAiSE GmbH

## PROJEKT\_Nachhaltige Produktion und Life Cycle Engineering

## DIAZI

## Digitalisierung des Industrialisierungsprozesses in der Automobil- und Zuliefer-Industrie

## Motivation und Zielsetzung

Das DIAZI-Projektvorhaben verfolgt das Ziel, eine umfassende und durchgehende Digitalisierung des Industrialisierungsprozesses von Fertigungslinien in der Automobil- und Zulieferindustrie zu erreichen. Die hierzu notwendigen Systeme sind in der Industrie und Praxis jedoch noch nicht so weit entwickelt, als dass sie standardisiert und anwendungsunabhängig implementiert werden könnten. Vielmehr ist zunächst eine zeitaufwendige Auswahl der einzelnen Systemkomponenten und -integratoren notwendig, um anschließend diese Auswahl durch umfangreiche Anpassungen, Optimierungen und Pilotierung zu validieren. Dieser Vorgang stellt jedoch aufgrund der raschen Entwicklung und immer kürzer werdenden Produktionszyklen ein großes Risiko für Unternehmen dar. Ein „schlüsselfertiges System“ ist nicht existent und auch der Implementierungsprozess ist stark abhängig von der Fertigungscharakteristik und den Rahmenbedingungen der involvierten Unternehmen. Die Unternehmen und Partner des DIAZI-Projekts wollen sich diesem Umstand annehmen und ein Konzept entwickeln, welches größere Anpassungen und die jeweils für jeden Anwendungsfall detailliert-spezifische Auswahl von Architekturen und Tools überflüssig macht. Am Beispiel der Continental Automotive Technologies GmbH wird daher ein Prozess entwickelt, der die Anlagen- und Linienplanung mit Hilfe von (Echtzeit-)Datenmodellen, Simulationen, Routen und Transportoptimierung sowie der virtuellen Inbetriebnahme in das digitale Zeitalter transferiert. Hierbei gilt es möglichst offene Schnittstellen und herstellerunabhängige Standards zu entwickeln, die einen Transfer der Ergebnisse möglich machen. Vor diesem Hintergrund hat DIAZI das Ziel, den Planungsprozess robuster und gleichzeitig effizienter zu gestalten, Daten verfügbar zu machen und sich in Richtung eines gesamtheitlichen Prognosemodells zu bewegen – „From Reaction To Prediction“.

Zentrale Forschungsbedarfe, die im Projekt erarbeitet werden, sind dementsprechend:

- Die Entwicklung von digitalen Tools zur Erhöhung der Planungsgeschwindigkeit von Fertigungslinien und Produktionssystem
- Die Entwicklung von Methoden des Machine Learnings und die Entwicklung von Simulationen für eine reaktive Prozesssteuerung und -optimierung
- Die Standardisierung entwickelter Fertigungstechnologien und -konfigurationen, sodass diese mit geringem Aufwand in verschiedenen Fabriken implementiert werden können
- Die Entwicklung eines ganzheitlichen Planungstools, welches die verschiedenen Lebenszyklus-Phasen einer Fertigungslinie berücksichtigt und kombiniert

Die Integration von Logistikplanung und Materialversorgung in die Planung und Betrieb von Fertigungssystemen

Zentrales Arbeitsziel des Vorhabens ist daher zusammenfassend die Entwicklung einer digitalen und durchgängigen Toolchain, mit dem der Lebenszyklus einer Multi-Use-Fertigungslinie in einer dynamischen Umwelt aus Material- und Nachfrageschwankungen von der Konzeption, über die Inbetriebnahme bis hin zum Betrieb ganzheitlich geplant und betriebsbegleitend kontinuierlich verbessert werden kann (siehe Abbildung Arbeitsplan).

## Vorgehen und methodischer Ansatz

Ziel der Forschungsarbeiten des IWF ist die Entwicklung eines digitalen und ganzheitlichen Ansatzes zur Planung und zum Betrieb von Multi-Use-Fertigungssystemen. Hierbei soll der vollständige Lebenszyklus der produktionstechnischen Maschinen und Anlagen abgebildet und modelliert werden.

Das IWF fokussiert in einem Teilvorhaben zunächst auf die Datenakquise und Strukturierung, welche die Grundlage für die weiteren Analysen und Identifizierung von geeigneten Assistenzsystemen darstellt. Weiterhin werden geeignete Linien- und Produktionsplanungsstrategien mithilfe einer agentenbasierten Prozesskettensimulation abgeleitet. Darauf aufbauend findet eine datenbasierte Prozessoptimierung für verschiedene Prozessschritte an unterschiedlichen Standorten des Anwendungspartners Continental statt. Dabei liegt der Fokus u.a. auf dem Spritzgießen, wofür eine CAE-Prozesssimulation sowie ein KI-basiertes Surrogatmodell aufgebaut werden. Die Erkenntnisse aus den verschiedenen Modellen werden als zentrales Ergebnis in Dashboards aufbereitet, sodass die Erkenntnisse an relevante Stakeholder in der Produktion kommuniziert und von diesen bedarfsspezifisch genutzt werden können.

Bei der Umsetzung werden drei Teilziele verfolgt. Das erste Teilziel besteht darin, auf Basis von historischen Produktionsdaten mit Hilfe datenbasierter Ansätze eine Planung und Optimierung von Multi-Use-Fertigungslinien unter Verwendung von Transfer-Learning-Strategien für generalisierende und dateneffiziente Modelle umzusetzen. Ein zweites Teilziel erstreckt neben den historischen Daten ebenfalls Simulationsdaten aus der Planungsphase zu nutzen und in echtzeitfähige KI-Surrogate zu überführen. Das dritte Teilziel des IWF besteht darin, die entwickelten Methoden und Modelle in eine prototypische Dashboard-Anwendung zu überführen.

## Ausblick und Potenziale

Mit DIAZI soll der Stand der Technik und der Forschung zur ganzheitlichen Planung und Betrieb einer hochflexiblen Multi-Use-Fertigungslinie bzw. eines -systems ausgebaut werden. Durch konsequente Standardisierung der Module und die Ausrichtung der Tätigkeiten auf eine schnelle Übertragbarkeit auf weitere Fertigungslinien im Produktionsnetzwerk können die Ergebnisse zu einer deutlichen Zeit-, Kosten- und Ressourceneffizienz beitragen. Somit können die Anwendungspartner ihre Wettbewerbsfähigkeit und ökologische Nachhaltigkeit steigern und die weiteren beteiligten Projektpartner ihre Expertise und ihr Leistungsportfolio im Kontext von Digitalisierungslösungen in der Produktion ausbauen.

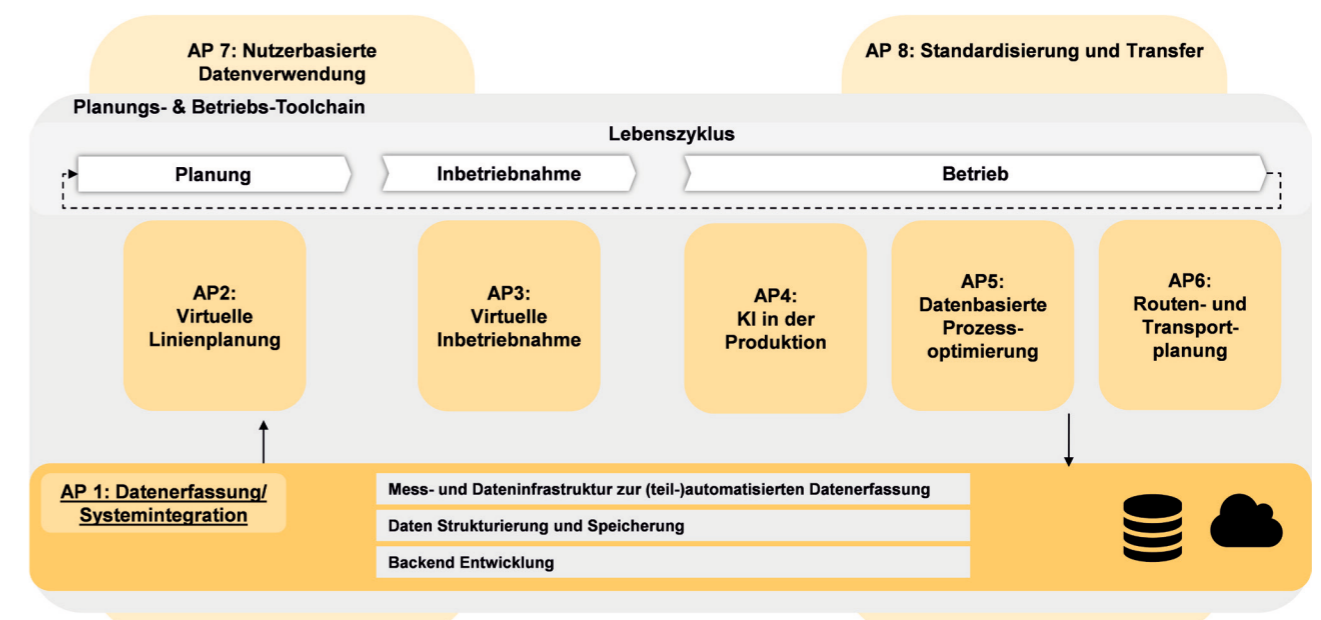
<https://www.tu-braunschweig.de/iwf/nplce/forschungsprojekte/diazi>

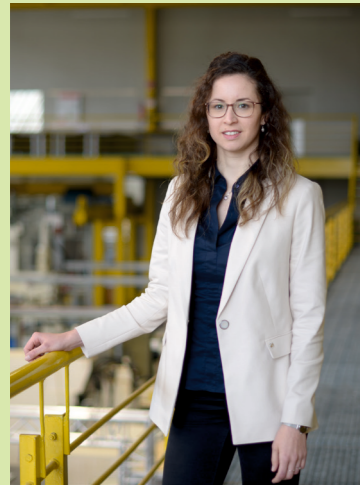


Ahmed Faraz Tariq

ahmed-faraz.tariq@tu-braunschweig.de

Arbeitsplan für das Projekt DIAZI mit der Entwicklung einer ganzheitlichen, digitalen und durchgängigen Toolchain für den gesamten Lebenszyklus einer Fertigungslinie.





**Nelli Kononova**

n.kononova@tu-braunschweig.de  
Telefon + 49 531 391-7157

Förderung: Europäische Kommission,  
Horizon Europe  
Laufzeit: 06/2022 - 05/2025

Projektpartner:  
Tekniker, Spanien,  
Silesia Automotive & Advanced  
Manufacturing (Cluster), Polen,  
MESAP Innovation Cluster, Italien,  
Advanced Manufacturing Technologies  
AFM Cluster, Spanien,  
Danish Board of Technology, Dänemark,  
Technische Universität Dortmund,  
CIM4.0, Italien,  
F6S, Irland

PROJEKT\_Nachhaltige Produktion und Life Cycle Engineering

# GreenSME

Driving manufacturing SMEs towards green, digital and social sustainability

**Motivation und Zielsetzung**

Kleine und mittlere Unternehmen (KMU) in der Europäischen Union stehen vor der Herausforderung zur Erreichung der Ziele des europäischen Green Deals (Klimaneutralität bis 2050) beizutragen und dabei weiterhin wettbewerbsfähig zu bleiben. Das Projekt greenSME unterstützt Unternehmen dabei, durch die Einführung von innovativen Technologien (Advanced Technologies) sowie sozialer Innovationen ihren Transformationsprozess zu gestalten. Auf dem entwickelten Transformationspfad gehen KMU durch ein Self-Assessment und definieren im Rahmen eines Beratungsprozesses einen Maßnahmenplan. Für die Umsetzung der identifizierten Maßnahmen können KMU eine EU-Förderung aus dem Projekt erhalten.

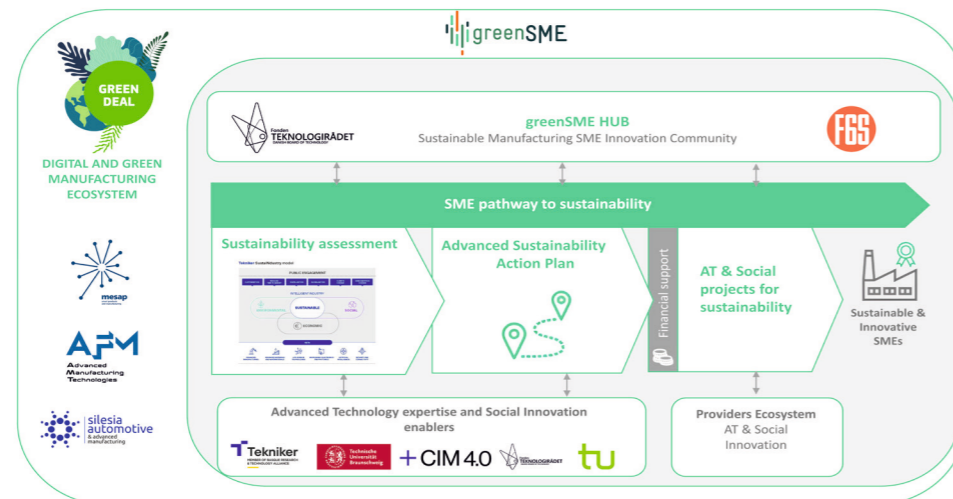
Für die Transformationsbegleitung von KMU setzt sich das greenSME-Konsortium folgende Ziele:

- Steigerung des Bewusstseins und der Kenntnisse der KMU über die Rolle der Nachhaltigkeit in ihrem Unternehmen
- Stärkung der Kapazitäten von KMU für technische und soziale Innovationen
- Bereitstellung einer Plattform zur individuellen Entwicklung von Strategien als Unterstützung insbesondere kleinerer Unternehmen

**Projektergebnisse**

Das IWF hat eine teilautomatisierte Methode zur Auswertung der Self-Assessment-Ergebnisse sowie Ableitung von Handlungsmaßnahmen von KMU entwickelt. Dabei werden eine Analyse und eine Bewertung des Ausgangszustands durchgeführt, die potenziell passende Maßnahmen strukturiert und individuell kuratiert. Zur effektiven Durchführung von begleitenden Interviews wurde eine interaktive Vorlage ausgearbeitet, welche für zahlreiche Online-Workshops eingesetzt und in einen Aktionsplan überführt wird. Des Weiteren wurde für die Qualifikation der teilnehmenden Unternehmen eine Reihe von kurzen Lernvideos entworfen. Diese zielen auf die Steigerung des Bewusstseins der KMU für die Rolle der Nachhaltigkeit in ihrem Unternehmen.

<https://greensmehub.eu/>



Bezugsrahmen von Arbeitsinhalten im  
Projekt greenSME

PROJEKT\_Nachhaltige Produktion und Life Cycle Engineering

# GEKKo

Experimentelle und modellbasierte Untersuchungen zum Einfluss von Kühlschmierstoffen auf Kontaktmechanik, Materialabtrag und Wärmetransport beim Schleifen

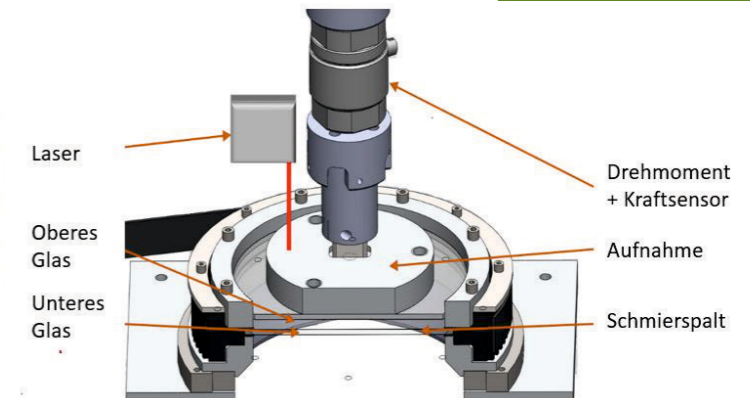
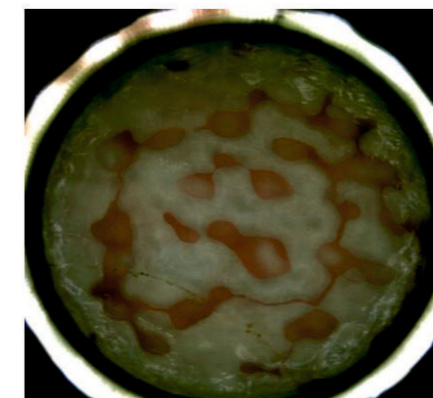
**Motivation**

Beim Schleifen entstehen hohe Temperaturen, die ohne geeignete Kühlung zu Beschädigungen an Werkstück und Werkzeug führen können. Aus diesem Grund finden die meisten Schleifprozesse unter einer Überflutungsschmierung mit Kühlschmierstoffen statt. Neben den positiven Wirkungen führt ein Übermaß an Schmierstoff jedoch auch zu einem reduzierten Schneideneingriff und damit verminderter Prozesseffektivität. Darüber hinaus können sich auch die Schleifergebnisse je nach verwendetem Kühlschmierstoff stark unterscheiden. Diese Variabilität macht es nötig, für jeden Anwendungsfall die Kühlung individuell abzustimmen, um ein Optimum aus Qualität, Effizienz und Effektivität zu erzielen. Bisher sind dafür Parameterstudien nach dem „Trial-and-Error“-Prinzip notwendig, deren Gültigkeitsbereich sich auf einen festen Satz an Werkstück und Prozessparametern begrenzen. Für eine allgemeingültigere und gezielte Optimierung des Prozesses fehlt es hingegen an einem Grundverständnis der genauen systemischen Wirkungen von Kühlschmierstoffen auf den Schleifprozess und die zugehörigen kontaktmechanischen Vorgänge im Schleifspalt.

**Zielsetzung**

Im Laufe des Projekts soll ein fundamentaler Erkenntnisgewinn über den Einfluss verschiedenster Eingangsfaktoren auf das Ergebnis geschmierter Schleifprozesse generiert werden. Dazu werden sowohl mikroskopische Vorgänge auf Rauheitsebene, wie etwa die Bewegung und Verteilung des Schmierstoffes im Kontakt rauer Oberflächen als auch makroskopische Effekte wie die dynamische Konturanpassung der Kontaktoberflächen untersucht. Ein besonderer Fokus liegt auf der hydrodynamischen Tragwirkung des Schmierstoffes und deren Einfluss auf das Schleifergebnis sowie auf Kühlwirkung und Materialabtrag während des Prozesses. Die Untersuchungen gliedern sich in modellbasierte Simulationsansätze sowie in experimentelle Versuche auf Labor- und Maschinen-ebene. Die Erkenntnisse aus den verschiedenen Messungen und Simulationen werden zusammengeführt, verglichen und daraus erste Rückschlüsse auf die Gesetzmäßigkeiten der Prozesse in der Grenzschicht von Nassschleifkontakten gezogen.

<https://www.tu-braunschweig.de/iwf/nplce/forschungsprojekte/gekko>



**Oliver Schömig**

oliver.schoemig@tu-braunschweig.de  
Telefon + 49 531 391-7658

Förderung: DFG  
Laufzeit: 01/2023 - 12/2025

Projektpartner:  
Institut für Dynamik und Schwingungen –  
TU Braunschweig

Rechts: Prüfstand zur Messung von Fluideffekten an skalierten Topographien. Links: Fluidverteilung zwischen zwei rauen Kontaktflächen.

(Quelle: Institut für Dynamik und Schwingungen, TU Braunschweig)





**Benjamin Effner**

b.effner@tu-braunschweig.de

Förderung: BMWK  
 Laufzeit: 01/2023 - 12/2025

Projektpartner:  
 Institut für Betriebssysteme und Rechnerverbund – TU Braunschweig,  
 Institut für Energie- und Umwelttechnik e. V.,  
 Fraunhofer-Institut für Schicht- und Oberflächentechnik IST,  
 Online IAT GmbH,  
 Domologic Home Automation GmbH,  
 MSA Technologies and Enterprise Service GmbH,  
 B + T Oberflächentechnik GmbH,  
 Invent GmbH,  
 Opel Automobile GmbH

PROJEKT\_Nachhaltige Produktion und Life Cycle Engineering

# 6DEMO

Modulare Plattformtechnologie zur Luftreinhaltung und Energieeffizienzsteigerung der technischen Gebäudeausrüstung im Produktionsumfeld

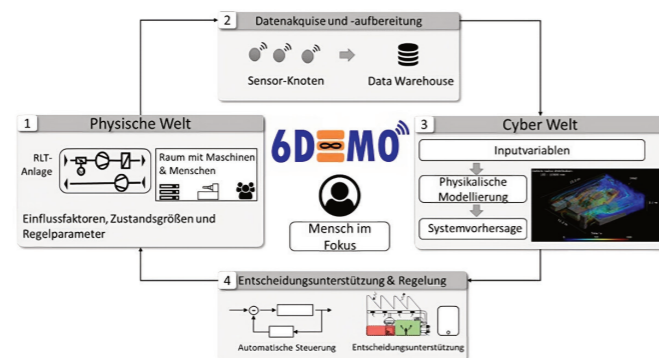
**Motivation**

Industrielle Produktionsbetriebe setzen sich aus verschiedenen Teilsystemen zusammen, wie der Produktion, der technischen Gebäudeausrüstung und der Gebäudehülle. Die technische Gebäudeausrüstung ist dabei für die Sicherstellung der benötigten Produktionsbedingungen verantwortlich. Hierzu zählen unter anderem die Temperatur, Feuchtigkeit, Luftbewegung und Reinheit der Luft, die durch raumlufttechnische Anlagen (RLT-Anlagen) kontrolliert werden. Der Betrieb von RLT-Anlagen kann bis zu 20 % des Endenergiebedarfs in der deutschen Industrie ausmachen, wobei Verbesserungen im Betrieb der Anlagen zu Einsparungen führen können. Eine Energieeffizienzsteigerung von RLT-Anlagen ist daher ein wichtiger Beitrag zum Erreichen der Klimaschutzziele. Das Verbundprojekt "3DEMO – Sichere und energieeffiziente Fabriken durch 3D Emission Monitoring" hatte bereits einen Ansatz zum Monitoring der Emissionen und Entscheidungsunterstützung zur Senkung des Energiebedarfs von RLT-Anlagen entwickelt.

**Zielsetzung**

6DEMO setzt auf den Erfahrungen des 3DEMO-Projekts auf und hat sich das Ziel gesetzt, ein ausgewogenes Verhältnis zwischen Luftreinhaltung und Energieeffizienzsteigerung von RLT-Anlagen im Produktionsumfeld zu erreichen. Dabei sollen insbesondere auch gasförmige Emissionen und Aerosole berücksichtigt werden, die in der jüngsten Vergangenheit auch durch potenzielle Belastungen mit Viren oder Bakterien in den Fokus gerückt sind. Hierfür wird ein cyber-physischer Systemansatz verfolgt, der durch die Kombination von Mess- und Simulationsdaten eine systematische Analyse ermöglicht. Die Plattform des 3DEMO-Projekts wird weiterentwickelt, um komplexe gasförmige Emissionen und Aerosole erfassen zu können und um einen ausgewogenen Betriebszustand bezüglich der Luftreinhaltung und der Energieeffizienzsteigerung der Anlagentechnik zu erreichen. Die Richtlinien und Vorschriften bezüglich des thermischen Klimas und der Emissionen in Produktionsumgebungen werden dabei berücksichtigt und die energetischen Ineffizienzen, die durch die Planung nach statischen Extremwerten entstehen können, sollen vermieden werden. Durch das Projekt 6DEMO wird somit ein wichtiger Beitrag zur Reduktion des Energiebedarfs von RLT-Anlagen geleistet und gleichzeitig die Luftreinhaltung im Produktionsumfeld durch gezielte Parametererfassung und Modellierungsmethoden verbessert.

<https://www.tu-braunschweig.de/iwf/nplce/forschungsprojekte/6demo>



Konzeptionelle Darstellung eines cyber-physischen Systems mit dessen Hilfe gesammelte Informationen direkt zur Effizienzoptimierung von Anlagen beitragen

PROJEKT\_Nachhaltige Produktion und Life Cycle Engineering

# ViPro

Entwicklung virtueller Produktionssysteme in der Batterie-zellfertigung zur prozessübergreifenden Produktionssteuerung

**Motivation und Zielsetzung**

Die kontinuierlich wachsende Nachfrage nach elektrischen Energiespeichern geht mit hohen Anforderungen an die Fertigungsprozesse selbiger einher. Insbesondere die hohe Komplexität entlang der Prozesskette stellt die Planung der Batteriezellfertigung vor Herausforderungen. Diese zeigen sich u.a. durch die Vielzahl von Prozessen sowie deren bestehende Wechselwirkungen, die sich unmittelbar auf Folgeprozesse und damit auf die Zelleigenschaften auswirken. Daher ist es zur gezielten Steuerung der Produktion, Verbesserung der Produktqualität sowie Verringerung des Ausschusses unerlässlich, die Prozesskette in ihrer Gesamtheit zu betrachten. Das Ziel im Projekt ViPro ist es, die Wechselwirkungen der Teilprozesse zu berücksichtigen und Folgeprozesse entsprechend zu beeinflussen, um die Prozesskette in ihrer Gesamtheit zu verbessern. Hierfür wird ein virtuelles Produktionssystem etabliert, das eine prozessübergreifende Produktionssteuerung nutzt. Dies ermöglicht die realitätsnahe und risikoarme Erprobung von Optimierungsansätzen im virtuellen Raum. Die Ergebnisse können anschließend auf die realen Prozesse übertragen werden.

**Projektergebnisse**

Um das virtuelle Produktionssystem aufzubauen wurden zunächst die Einzelkomponenten (siehe Abbildung) unter Berücksichtigung ihrer Schnittstellen zueinander prototypisch entwickelt. Der Fokus des IWF liegt auf dem Betriebsleitsystem und der prozessübergreifenden Produktionssteuerung. Hierbei werden Methoden des maschinellen Lernens angewendet, um Wechselwirkungen innerhalb der Prozesskette zu erfassen und die Qualität zu prognostizieren. Dies ermöglicht eine frühe Bewertung potenzieller Ausschussteile und eine Anpassung der Prozessparameter der Folgeprozesse bei Abweichungen. Eine Mensch-Maschine-Schnittstelle ermöglicht die einfache Visualisierung und Bedienung des Gesamtkonzepts.

<https://www.tu-braunschweig.de/iwf/nplce/forschungsprojekte/vipro>

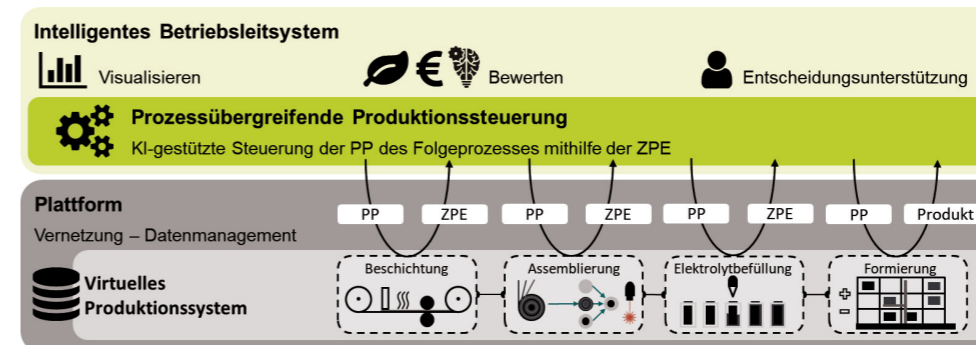


**Aleksandra Naumann**

al.naumann@tu-braunschweig.de  
 Telefon + 49 531 391-7642

Förderung: BMBF  
 Laufzeit: 10/2020 - 09/2023

Projektpartner:  
 Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik und Automatisierung IPA,  
 Institut für Produktionstechnik (wbk) –  
 Karlsruher Institut für Technologie,  
 Zentrum für Sonnenenergie und Wasserstoff-Forschung



Das ViPro-Gesamtkonzept beinhaltet neben dem Betriebsleitsystem und der prozessübergreifenden Steuerung auch Prozessmodelle, die die Anlagen abbilden, sowie eine Datenbank für reale Anlagendaten und virtuell erzeugte Daten.



**Abdur-Rahman Ali**

a.thamjigar-ali@tu-braunschweig.de  
Telefon + 49 531 391-7159

Förderung: BMBF  
Laufzeit: 11/2020 - 10/2023

Projektpartner:  
Institut für Partikeltechnik – TU Braunschweig,  
Institut für Energie- und Systemverfahrenstechnik – TU Braunschweig,  
Institut für Automobilwirtschaft und Industrielle Produktion – TU Braunschweig,  
Institut für Metallurgische Prozesstechnik und Metallrecycling – RWTH Aachen

**PROJEKT\_Nachhaltige Produktion und Life Cycle Engineering**

# SIMTEGRAL

## Integrierte Multi-Skale- Systemsimulation und Nachhaltigkeitsbewertung von primären und zirkulären Rohstoff-Supply-Chains für Lithium-Ionen-Batterien

**Motivation und Zielsetzung**

Die in Lithium-Ionen-Batterien eingesetzten Rohstoffe bestimmen nicht nur die technischen Eigenschaften. Ihr Einsatz trägt auch maßgeblich zu den Herstellkosten von Batterien bei und hat ökologische sowie soziale Auswirkungen. Eine ökonomisch und ökologisch effiziente sowie sozial verträgliche Bereitstellung von Batterierohstoffen ist daher für die Wettbewerbsfähigkeit der deutschen Industrie von großer strategischer Bedeutung. Durch die Berücksichtigung der verwendeten Rohstoffe, der Abbauregion und -technologie sowie einer effizienten Rohstoffrückgewinnung kann die Wertschöpfungskette der Batterie gestaltet und ihre ökologischen, sozialen und wirtschaftlichen Auswirkungen maßgeblich beeinflusst werden. Aktuell liegen jedoch nur unzureichend detaillierte Daten für die Bewertung der Wertschöpfungskette von der Mine über die Produktnutzung bis zum Recycling vor. Weiterhin fehlen belastbare Modelle, um die komplexen Wirkzusammenhänge abzubilden und Handlungsempfehlungen abzuleiten.

Das Ziel des Projekts ist es, aussagekräftige Kennzahlen zur Energie- und Ressourceneffizienz, Wirtschaftlichkeit, zu sozialen Risiken und zu Umweltauswirkungen von Batterierohstoffen zu ermitteln. So werden von den Projektpartnern Verbesserungspotenziale entlang der Wertschöpfungskette der Batterie aufgezeigt und entsprechende Handlungsempfehlungen für Forschung und Industrie formuliert.

**Vorgehen und methodischer Ansatz**

SIMTEGRAL zielt darauf ab, eine robuste, integrierte und rechnergestützte Methodik zur Unterstützung der Gestaltung ökologisch nachhaltiger zirkulärer Lieferketten für Batterien bereitzustellen. Es werden physikalisch basierte Modelle der Schlüsselprozesse für die Produktion von Primär- und die Rückgewinnung von Sekundärrohstoffen für Batterien entwickelt und experimentell validiert. Diese Modelle liefern Prozessdaten von höherer Qualität und Auflösung im Vergleich zur verfügbaren Literatur. Die Modelle werden miteinander verknüpft und in ein Gesamtbewertungskonzept (IC-LCE) integriert. Auf dieser Grundlage wird eine technisch-ökonomische, soziale und ökologische Bewertung durchgeführt, um Erkenntnisse über die Gestaltung nachhaltiger LIB-Wertschöpfungsketten zu gewinnen (siehe Bild unten links).

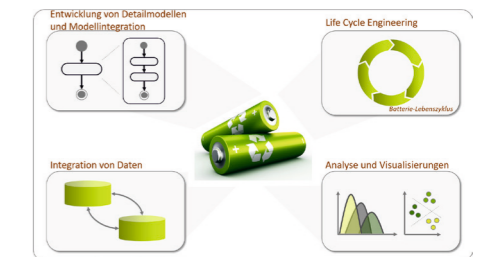
Die linke Seite der Abbildung veranschaulicht die Erstellung von Prozessmodellen auf der Grundlage einzelner Prozesseinheiten des Batterierecyclings. Die Prozessmodelle werden weiter in den IC-LCE-Ansatz integriert, um die Gestaltung der Lieferkette zu unterstützen.

**Projektfortschritt**

Einige Teilmodelle sind bereits erfolgreich erstellt worden, andere werden derzeit entwickelt. Die validierten Modelle liefern die notwendigen Daten für die Analyse und die Abgabe von Empfehlungen zur Verringerung der ökologischen und sozioökonomischen Auswirkungen der LIB-Wertschöpfungsketten. Die in diesem Projekt entwickelten Modelle werden verwendet, um die Rückgewinnungsraten der wichtigsten Batteriematerialien abzuschätzen und Hotspots in der Produktion von Batteriematerialien, wie z. B. die Oxide, zu identifizieren (siehe Bild unten rechts). Die erreichten Materialrückgewinnungsraten des Recyclingprozesses werden mit den Zielen der aktualisierten EU-Batterierichtlinie verglichen (links). Darüber hinaus werden die Umweltauswirkungen der NMC-622-Oxidproduktion dargestellt (rechts). Die materialbezogenen Verwertungsraten werden mit den in der EU-Batterierichtlinie geforderten Zielen für 2025 und 2030 verglichen. Materialien, die höhere Rückgewinnungsraten benötigen, um die Ziele zu erreichen, sind rot markiert. Die Auswirkungen der NMC-622-Oxidproduktion sind in kg CO<sub>2</sub>-Äquivalent pro kg Batteriepack und pro kWh Energiespeicherkapazität angegeben. Die Ergebnisse zeigen, dass die NMC-Hydroxid-Produktion ein Hotspot in der NMC-Oxid-Produktion ist. Dies geht aus den in der Abbildung dargestellten prozentualen Beiträgen der NMC-Hydroxid-Produktion hervor. Der Anteil an NMC<sub>111</sub>-Oxid und NMC<sub>811</sub>-Oxid beträgt 59,1 % bzw. 54,1 %. Die Auswirkungen der NMC-Hydroxidproduktion werden von den Metallsulfaten dominiert. Der Beitrag von Kobaltsulfat ist ebenfalls in der Abbildung dargestellt. Der Anteil an NMC<sub>111</sub>-Oxid und NMC<sub>811</sub>-Oxid beträgt 68,1 % bzw. 20,3 %.

zirkulärer Wertschöpfungsketten für Batterien unterstützen. In nächsten Schritten zielt das Projekt darauf ab, die Simulationsmodelle durch Experimente zu validieren und die bestehenden Simulationsmodelle zu optimieren, um die Materialrückgewinnung zu verbessern. Ein weiteres Ziel des Projekts ist die Entwicklung von Modifikationen der Referenzrecyclingroute mit dem Ziel einer verbesserten Lithiumrückgewinnung. Die optimierten Modelle müssen in den IC-LCE-Ansatz integriert und zur Entwicklung von Modellen zur Entscheidungsunterstützung verwendet werden.

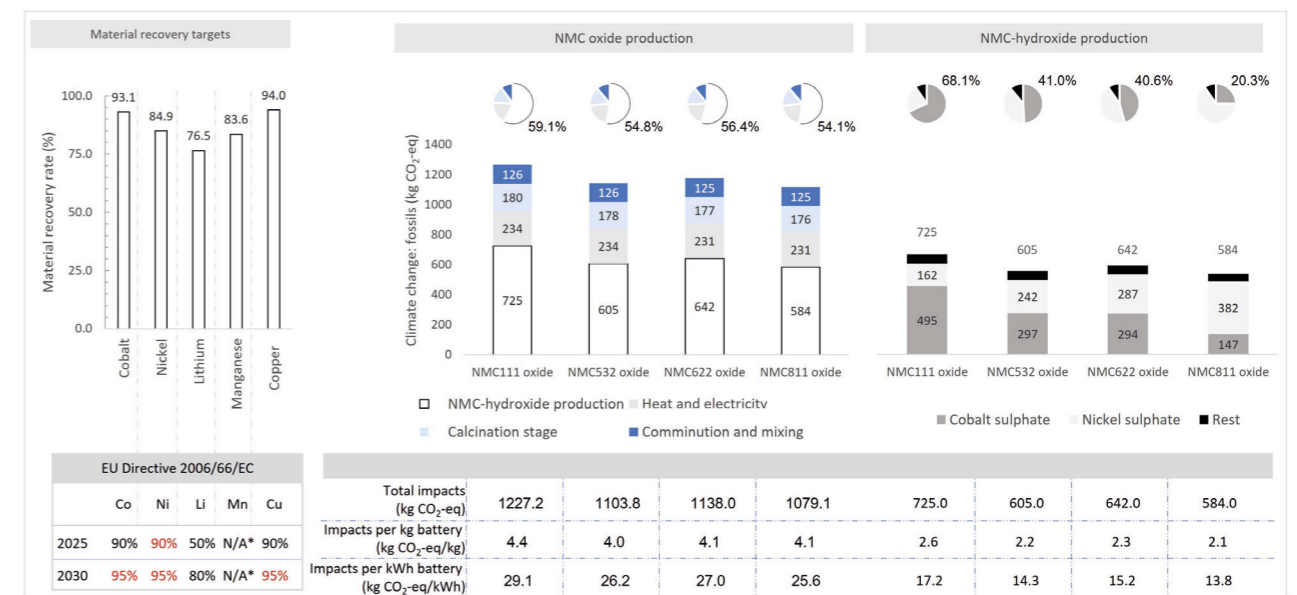
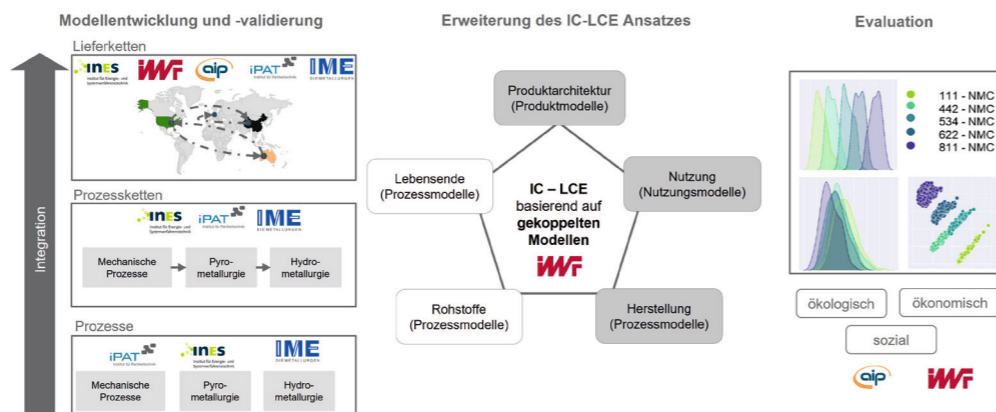
<https://www.greenbatt-cluster.de/de/projekte/simtegral/>



**Ausblick und Potenziale**

Das Projekt SIMTEGRAL trägt zur Weiterentwicklung von Batterierecyclingmodellen und zur Steigerung der Effizienz der Rohstoffrückgewinnung bei. Die im Projekt entwickelten Recyclingrouten sind auf dem neuesten Stand der Technik und die mithilfe der Simulationsmodelle durchgeführte ökologische, soziale und wirtschaftliche Bewertung wird die Gestaltung

→  
Bild links | Vorgehen und methodischer Ansatz von SIMTEGRAL  
Bild rechts | Bewertung der Materialrückgewinnungsraten des SIMTEGRAL-Recyclingprozesses (links) und Aufschlüsselung des Treibhausgaspotenzials der NMC-622-Oxidproduktion (rechts).





**Steffen Blömeke**

s.bloemeke@tu-braunschweig.de  
Telefon + 49 531 391-7682

Förderung: Niedersächsisches Ministerium für Wissenschaft und Kultur (MWK)  
Laufzeit: 10/2021 - 09/2024

Projektpartner:  
Technische Universität Clausthal,  
Leibniz Universität Hannover,  
Fraunhofer-Institut für Schicht und Oberflächentechnik IST



PROJEKT\_Nachhaltige Produktion und Life Cycle Engineering

# Graduiertenkolleg CircularLIB

Integration von Life Cycle Assessment (LCA) und physikalischen Modellen zur ressourcenminimalen Kreislaufführung von Li-Ionen-Batterien

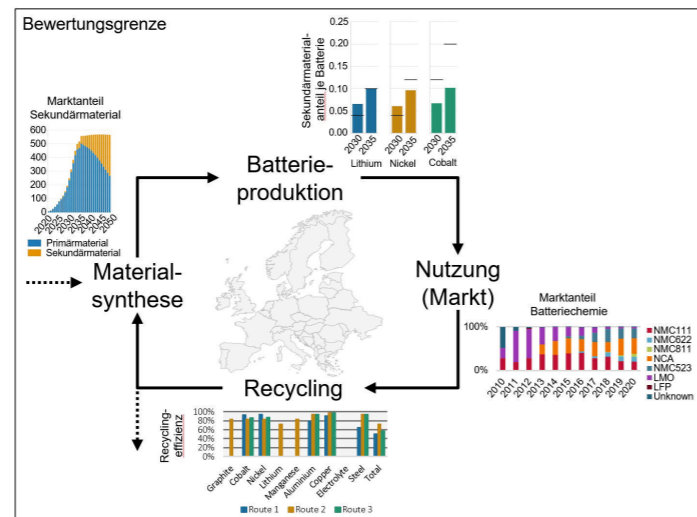
**Motivation und Zielsetzung**

Global steigt die Nachfrage nach Lithium-Ionen-Batterien, z.B. für die Elektromobilität. Ein effizientes Recycling ausgedienter Batterien ermöglicht die Rückgewinnung der teils kritischen Rohstoffe wie Lithium und Cobalt, deren Wiedereinsatz in der Batterieproduktion die materialbezogenen Umweltauswirkungen der Batterie reduziert. Die LCA-Methodik kann zur Unterstützung der Gestaltung und Entwicklung effizienter und nachhaltiger Recyclingprozesse eingesetzt werden. Durch die Kombination von LCA mit verschiedenen Modellierungsansätzen können auftretende Datenlücken transparent geschlossen und eine bessere Entscheidungshilfe bereitgestellt werden. Das Projekt zielt darauf ab, das ökologische Potenzial des Batterierecyclings sowie dessen Entwicklung zu quantifizieren.

**Projektergebnisse**

Zu Beginn des Projekts wurde eine Übersicht über existierende Recyclingrouten erstellt sowie für mehrere industrielle Routen Material- und Energieflussanalysen durchgeführt. Auf dieser Basis konnten die Umweltauswirkungen und das Einsparpotenzial im Vergleich zur primären Materialherstellung quantifiziert werden. Im nächsten Schritt wurden die einzelnen Prozessschritte hinsichtlich ihres Aufwands und Nutzen charakterisiert. Das Ziel des Recyclings ist die maximale Reduktion der Materialmischungscomplexität, indem das Materialgemisch in möglichst sortenreine Materialströme getrennt wird. Mit Hilfe der Methode konnten Prozesse wie z.B. das Sieben oder das Füllen als Prozesse identifiziert werden, die eine hohe Reduktion der Mischungscomplexität erreichen können. Darüber hinaus wurde der europäische Fahrzeugmarkt modelliert und die zukünftig zur Verfügung stehenden Sekundärmaterialmengen quantifiziert. Das Model ermöglicht u.a. die Evaluierung gesetzlicher Vorgaben und zeigt Handlungsoptionen.

<https://www.tu-braunschweig.de/iwf/nplce/forschungsprojekte/circularlib>



Bewertung des Batterierecyclings hinsichtlich des Potenzials zur Reduktion der Umweltauswirkungen in der Batterieproduktion

PROJEKT\_Nachhaltige Produktion und Life Cycle Engineering

# eKoZell

Umwelt- und Kostenbewertung, Modell- und Kommunikationsmanagement für das Kompetenzcluster Batteriezellproduktion

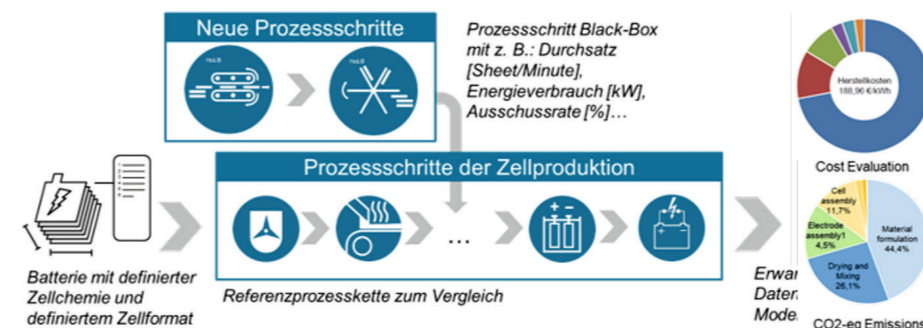
**Motivation und Zielsetzung**

Das ProZell-Cluster untersucht den Produktionsprozess von Batteriezellen und dessen Einfluss auf die Zelleigenschaften, Produktionskosten sowie Umweltwirkungen und entwickelt ihn für neue Batteriegenerationen weiter. Mit Beginn der zweiten Förderphase des Clusters legt das Begleitprojekt eKoZell mit der internen und externen Kommunikation, das Clustermanagement und Ergebniscontrolling die Grundlage für die erfolgreiche Zusammenarbeit der 16 Forschungsprojekte. Das IWF entwickelt zudem gemeinsam mit dem IPAT ein detailliertes Kosten- und Ökobilanzmodell zur Bewertung von Prozessinnovationen der Clusterprojekte hinsichtlich ihrer Kosten und Umweltwirkungen über den Lebenszyklus. Schließlich unterstützt das Begleitprojekt den Ergebnistransfer durch die Entwicklung eines Ergebnisdatenrepositoriums.

**Projektergebnisse**

Das IWF entwickelte in eKoZell ein modulares Material- und Energieflussmodell als Basis für die Umweltbewertung von Produkt- und Prozessinnovationen. In Zusammenarbeit mit den Cluster-Projekten wurden ein Referenz-Produktionsszenario sowie sechs verschiedene Innovationsszenarien erarbeitet. Die Ergebnisse der Bewertung des Referenzprozesses zeigen u.a. die besondere Auswirkung von Ausgangsmaterialien und ihren ökologischen Rucksack aus der Vorkette am Erderwärmungspotenzial (GWP). In der Zellproduktion haben die Formation sowie Beschichtung und Trocknung der Elektroden einen großen Anteil. Größtes Einsparpotenzial am GWP ließ sich durch das Trockenbeschichten (ca. 15% der CO<sub>2</sub>-Äquivalente) realisieren. Bis zum Ende der Projektlaufzeit wird ein Prototyp eines Ökobilanzwerkzeugs entwickelt, das Cluster-Mitgliedern die individuelle Eingabe von Parametern und eine schnelle Bewertung von Prozessinnovationen ermöglicht. Darüber hinaus wurde die Plattform KadiMat als Repositorium erfolgreich implementiert und auf die Bedürfnisse des Clusters angepasst.

<https://prozell-cluster.de/projekte/ekozell/>



**Maximilian Rolinck**

m.rolinck@tu-braunschweig.de  
Telefon + 49 531 391-7639

Förderung: BMBF  
Laufzeit: 10/2019 - 09/2023

Projektpartner:  
Institut für Partikeltechnik –  
TU Braunschweig,  
Münster Electrochemical Energy  
Technology – WWU Münster

eKOZell-Konzept





**Gabriela Ventura Silva**

g.ventura-silva@tu-braunschweig.de  
Telefon + 49 531 391-8755

Förderung: Research Council of Norway  
Laufzeit: 06/2020 - 12/2023

Projektpartner:  
Institute for Energy Technology, Norwegen,  
SINTEF Energy Research, Norwegen,  
Nordic Mining ASA, Norwegen,  
FREYR Battery, Norwegen,  
NORSIRK AS, Norwegen,  
Norsk Hydro ASA, Norwegen

**PROJEKT\_Nachhaltige Produktion und Life Cycle Engineering**

# NorGiBatF

Norwegian Giga Battery Factories

**Motivation und Zielsetzung**

Lithium-Ionen-Batterien sind derzeit eine Schlüsseltechnologie für Elektrofahrzeuge und leisten damit einen wichtigen Beitrag zur Reduzierung der CO<sub>2</sub>-Emissionen des Mobilitätssektors. Batterien werden jedoch in energieintensiven Prozessen hergestellt, die einen großen Teil der mit der Produktionsphase verbundenen CO<sub>2</sub>-Emissionen ausmachen. Das Projekt NorGiBatF ist eine gemeinsame Aktivität von norwegischen Forschungseinrichtungen und der Industrie sowie dem IWF, um die produktionsbedingten Emissionen zu reduzieren. Dabei zielt das Projekt darauf ab, Know-how und Kompetenz im Bereich der Energieeffizienz für die Produktion von Batteriezellen im Giga-Maßstab in Norwegen aufzubauen.

**Projektergebnisse**

Im Rahmen des Projekts entwickelte das IWF eine Plattform zur Simulation unterschiedlicher Produktionsmaßstäbe sowie alternativer Prozesse und Materialien. Darüber hinaus wurden bereits Lebenszyklusanalysen durchgeführt, um die Auswirkungen verschiedener Strategien zur Reduzierung des Energieverbrauchs in der Produktion zu untersuchen. Dieses Modell ist Teil des am IWF entwickelten Integrated Computational LCE (IC-LCE) Framework. Durch die Kopplung weiterer Modelle (z. B. für die Trockenraumplanung) konnten die Wechselwirkungen zwischen Produktspezifikationen, Produktionsprozessen, und Fabrikinfrastruktur berücksichtigt werden. Die derzeitigen Aktivitäten fokussieren sich auf skalierbare und flexiblere Energiemodelle, um die Wechselwirkungen zwischen Struktur- und Prozessparametern sowie den Energiebedarf für verschiedene Szenarien zu untersuchen. Die Simulationsplattform unterstützt somit die Forschungsaktivitäten der Projektpartner, indem sie die im Projekt entwickelten Verbesserungsmaßnahmen hinsichtlich technologischer, wirtschaftlicher und ökologischer Ziele vom Labor- bis zum Giga-Maßstab evaluiert.

<https://www.tu-braunschweig.de/iwf/nplce/forschungsprojekte/norgibatf>

**PROJEKT\_Nachhaltige Produktion und Life Cycle Engineering**

# TranSensus LCA

Towards a European-wide harmonised transport-specific LCA approach

**Motivation**

Als Reaktion auf den Klimawandel und die daraus resultierende Forderung nach hoher Nachhaltigkeit über die gesamte Wertschöpfungskette und den gesamten Lebenszyklus wandelt sich unser Straßenverkehrssystem rasch. Neue Antriebssysteme erreichen stetig wachsende Marktanteile. Gleichzeitig werden Nachhaltigkeitsziele in immer mehr Gesetzesinitiativen und -direktiven etabliert. Um diese Nachhaltigkeitsziele realistisch zu definieren und anschließend ihre Umsetzung nachzuverfolgen, ist ein einheitlicher und ganzheitlicher Ansatz zur Bewertung der ökologischen, wirtschaftlichen und sozialen Auswirkungen von Technologien und Mobilitätskonzepten notwendig. Aktuell fehlt es an einer standardisierten Methode für die Nachhaltigkeitsbewertung im Mobilitätssektor, die von allen Akteuren einheitlich verwendet wird.

**Zielsetzung**

TranSensus LCA zielt darauf ab, eine Grundlage für einen europaweit harmonisierten, allgemein akzeptierten und angewandten Ökobilanzansatz für ein emissionsfreies Straßenverkehrssystem zu entwickeln. Ein solcher einheitlicher europäischer Ökobilanzansatz wird als Schlüsselement für die Erreichung der Ziele des Green Deal angesehen, der Europa zur ersten digital ermöglichten zirkulären, klimaneutralen und nachhaltigen Wirtschaft macht. Durch die Zusammenführung der relevanten Akteure aus Industrie und Forschung wird Transparenz in der Durchführung von Ökobilanzen geschaffen und ein evidenz- und datenbasierter Ökobilanzansatz konzipiert und harmonisiert, der ökologische, wirtschaftliche sowie soziale Aspekte bewertet.

<https://www.tu-braunschweig.de/iwf/nplce/forschungsprojekte/transensus-lca>



**Jana Husmann**

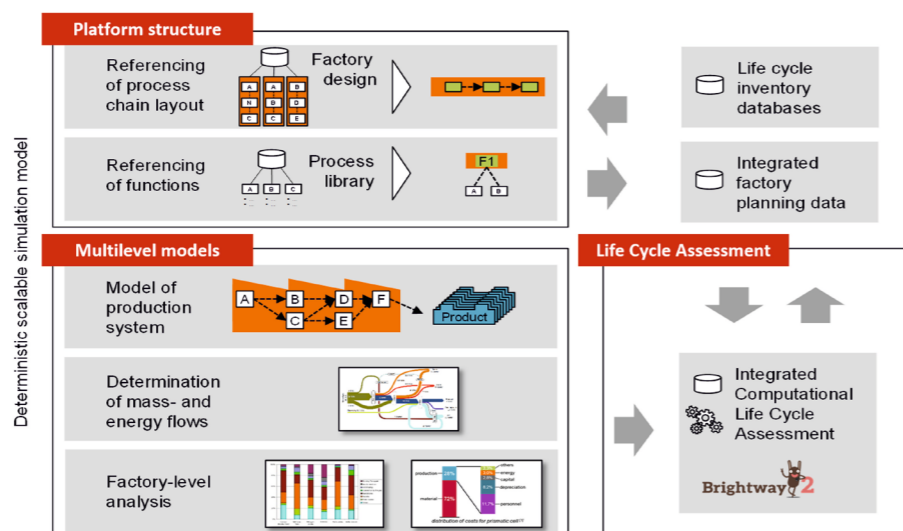
j.husmann@tu-braunschweig.de  
Telefon + 49 531 391-2716

Förderung: Europäische Kommission - Horizon Europe, Horizon CL5-2021-D5-01-04  
Laufzeit: 01/2023 - 06/2025

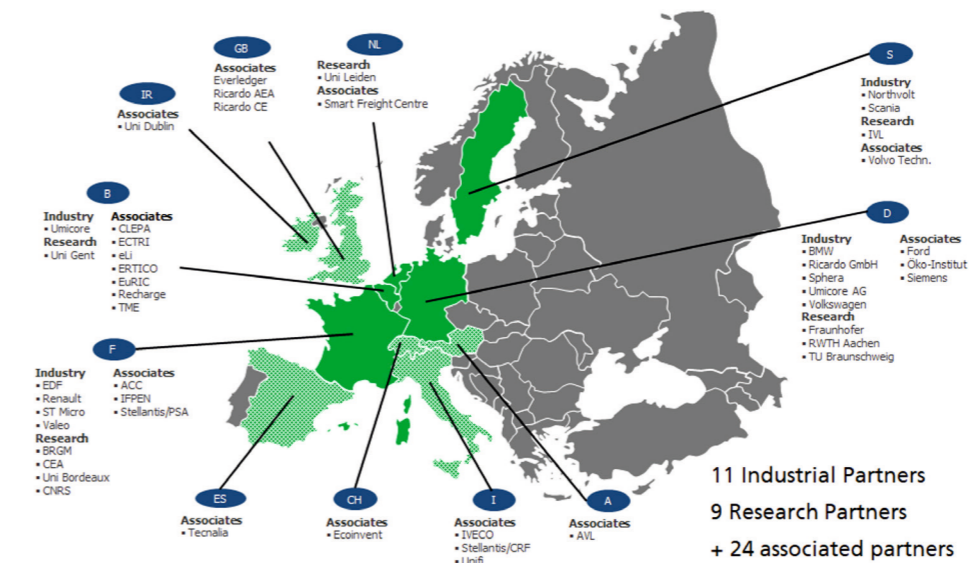
Projektpartner:  
Fraunhofer-Gesellschaft,  
BMW AG,  
BRGM,  
CEA,  
Ecoinvent Association,  
Electricité de France,  
Universität Gent,  
Universität Leiden,  
Northvolt AB,  
Renault,  
Ricardo-AEA Limited,  
RWTH Aachen,  
Scania,  
Sphera,  
IVL Svenska Miljöinstitutet AB,  
Umicore,  
Université Bordeaux,  
Volkswagen AG,  
Valeo,  
STMicroelectronics SA



Überblick über die IWF-Aktivitäten, die im Rahmen des Projekts entwickelt wurden. Diese umfassen die Definition der Struktur der Simulationsplattform, die Entwicklung von Modellen auf mehreren Ebenen sowie die Lebenszyklusanalyse.



Supporting data and models  
Impact Assessment



Übersicht der Projekt- sowie assoziierten Partner aus TranSensus LCA. Das Konsortium setzt sich aus Akteuren aus Industrie und Forschung zusammen.

# Projektträger und Förderhinweise

Für die finanzielle Förderung der Projekte und die organisatorische Betreuung durch die Forschungsvereinigung sei folgenden Fördergebern gedankt:

## BMWK über AiF / ZIM / FGW

Selbstparametrierung Extruder, WPPro, AquaDrill

Die Vorhaben der Forschungsvereinigung FGW e.V. werden über die AiF im Rahmen des Programms zur Förderung der industriellen Gemeinschaftsforschung (IGF) vom Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK) aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages gefördert. Die ZIM-Projekte werden durch das Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK) durch die Arbeitsgemeinschaft industrieller Forschungsvereinigungen (AiF) aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages gefördert.



## DFG

Reinforced Shotcrete 3D Printing, ModPro, HyFunk, GEKKo

Gefördert durch die Deutsche Forschungsgemeinschaft



## BMWK

essPresso, AtILMeS, TooliNG, Mittelstand-Digital Zentrum Hannover, DIAZI, 6DEMO

Die Vorhaben werden vom Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK) aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages gefördert.



## BMBF

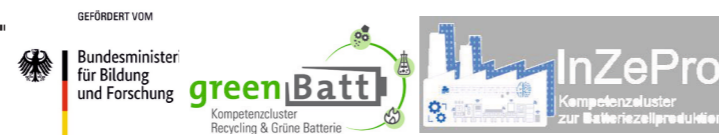
FestBatt, PolySafe, KoDI, DuLiPro, ZIRKEL, HyFiVe, DiRectiON, SmART Plas, TrackBatt, ISUrF-Hub, ROBUST, PV-Kreis, ReDesign, ViPro, SIMTEGRAL, eKoZell

Die Forschungsprojekte werden in Verbundprojekten und Forschungsprogrammen mit Mitteln vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) gefördert.

TrackBatt & ViPro: im Rahmen des Kompetenzclusters "InZePro"

DiRectiON, ReDesign & SIMTEGRAL: im Rahmen des

Kompetenzclusters "greenBatt"



## Europäische Kommission

NanoBat: im Rahmen des Forschungs- und Innovationsprogramms „Horizon 2020“

GreenSME & TranSensus LCA: im Rahmen des Forschungs- und Innovationsprogramms „Horizon Europe“



## Research Council of Norway

NorGiBatF



## Niedersächsisches Ministerium für Wissenschaft und Kultur

Graduiertenkolleg CircularLIB



Niedersächsisches Ministerium für Wissenschaft und Kultur

Weiterer Dank gilt allen kooperierenden Industriepartnern für die gute Zusammenarbeit und Unterstützung im Rahmen aller Projekte.

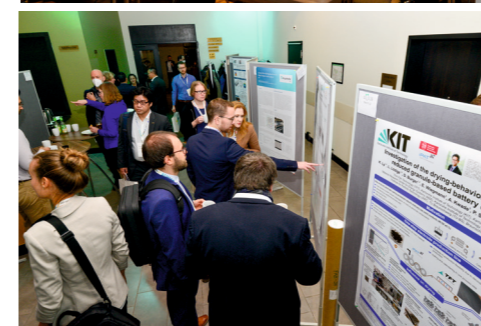
# Konferenzen 2022/2023



NOVEMBER 2022

## International Battery Production Conference in Braunschweig

Batterien sind ein wesentlicher Treiber der globalen Mobilitätsrevolution und das Herzstück der Energiewende. In den letzten Jahren sind die Nachfrage, die Produktionskapazitäten und der technologische Fortschritt in Bezug auf Energiekapazität, Schnellladefähigkeit und Kostensenkung enorm gestiegen. Das Ende des Innovationsprozesses ist noch nicht in Sicht. Wir erleben zum Beispiel eine hohe Innovationsrate bei neuen Materialien sowie Zell- und Packungsdesigns, die vom Labormaßstab in die industrielle Massenproduktion übertragen werden müssen. Hier leistet die Battery LabFactory Braunschweig (BLB) seit Jahren einen wesentlichen Beitrag. Die BLB steht für eine offene Forschungsinfrastruktur zur Erforschung und Entwicklung elektrochemischer Speicher vom Labor- bis zum Technikumsmaßstab.



Einen wesentlichen Beitrag für den Transfer von Forschung in die Industrie leistet die BLB durch die jährliche International Battery Production Conference (IBPC), die sie seit 2018 organisiert. Auch im Jahr 2022 kamen von 7.-9. November 280 batteriebegeisterte Personen zusammen, um über die jüngsten Fortschritte in der Batterieproduktion zu diskutieren. Mit fünf hochwertigen Plenarvorträgen aus der Politik, Industrie und Forschung, 49 Präsentationen und 109 Posterbeiträgen wurde eine große Vielfalt von Themengebieten rund um Sicherheit, Simulation und Nachhaltigkeit und auch die Digitalisierung der Batterieproduktion diskutiert. Wir freuen uns auch über Beiträge aus den deutschen Kompetenzclustern ProZell und greenBattNutzung sowie europäischen Konsortien LiPLANET. Ein besonderer Dank geht an die Sponsoren der Veranstaltung; VW, Coperion, Custom Cells, Bio-Logic, EIRICH, Netzsch, Bühler, Zeppelin und Keysight. Ihre Unterstützung ermöglichte es uns, die hohe Qualität der Konferenz aufrechtzuerhalten.



Teilnehmer der IBPC im Steigenberger Parkhotel (ganz oben), Postersession (oben) und Prof. Christoph Herrmann (unten) bei der Konferenzöffnung.

Auch für 2023 sind die Planungen für die IBPC schon in vollem Gange. Vom 7. bis 9. November 2023 wird die IBPC wieder im Steigenberger Parkhotel in Braunschweig stattfinden.

<https://battery-production-conference.de/>



Fotos: Frank Bierstedt

# Promotionen 2022/2023

## Mechanische Verklammerung zur formschlüssigen Verbindung von Metall-Faser-Kunststoff Verbundstrukturen

### Michael Brand

Hybride Materialkombinationen ermöglichen die synergetische Nutzung unterschiedlicher Werkstoffeigenschaften in einem Bauteil. Je nach Anwendungsfall kann eine signifikante Reduzierung der Bauteilmasse, die Steigerung der strukturmechanischen Bauteileigenschaften und/oder die Erhöhung der Bauteilfunktionalität erreicht werden. Die Gewährleistung der Kräfteüberleitung im Kopplungsbereich bei Metall-Faser-Kunststoff Verbundstrukturen stellt jedoch eine große Herausforderung dar. Die Arbeit befasst sich mit einem Verfahren zur Herstellung einer mechanischen Verklammerung zur formschlüssigen Verbindung von Metall-Faser-Kunststoff Verbundstrukturen. Hierdurch wird eine Möglichkeit geschaffen, hybride Bauteile nach dem Prinzip des In-Mould Assembly (IMA) bei gleichzeitigem Verzicht auf zusätzliche Hilfsstoffe oder -elemente herzustellen. Der Schwerpunkt der Arbeit liegt in der Erzeugung einer räumlichen Verklammerungsstruktur auf der metallischen Seite, die eine Materialverklammerung mit der Kunststoffmatrix und/oder dem Fasermaterial ermöglicht. Das hier entwickelte Verfahren zur Strukturzeugung wurde aus der Theorie zur Fließspannbildung abgeleitet. Es beruht auf der Entstehung einer Spannwurzel, welche nicht vom Grundwerkstoff abgetrennt wird. Für diesen Prozess galt es entsprechende Werkzeuge und die relevanten Prozessparameter zu identifizieren. Die durchgeführten experimentellen Untersuchungen sind von numerischen Methoden gestützt worden. Als Ergebnis liegen für unterschiedliche Werkstoffe und Prozessparameter Strukturkataloge vor, die anhand von geometrischen Merkmalen hinsichtlich ihrer Eigenschaften zur Materialverklammerung charakterisiert wurden. Aufbauend auf den gewonnenen Erkenntnissen zur Strukturzeugung folgte die Bewertung der Materialverklammerung im hybriden Verbund. Die Probenherstellung fand im Hybrid-Spritzguss statt, die Analyse der Verbundfestigkeit durch unterschiedliche Kopf- und Scherzugproben. Im Fokus stand die Bewertung der Strukturausprägung, der Einfluss unterschiedlicher Lastrichtungen auf den Verklammerungseffekt und die Analyse verschiedenster Strukturfelder. Zudem wurde die Auswirkung der Strukturdichte auf die maximal übertragbaren Kräfte im Grenzflächenbereich der beiden Materialien betrachtet. Wie bereits bei der Strukturzeugung wurden die experimentellen Untersuchungen durch numerische Berechnungsmodelle ergänzt. Hierdurch konnten ebenfalls die Versagensmechanismen diskutiert und eine Beurteilung der bauteilinneren Spannungsverteilung vorgenommen werden.

Die Arbeit leistet einen Beitrag zur Erweiterung der Fertigungsmöglichkeiten hybrider Bauteile aus Metall-Faser-Kunststoff Verbundstrukturen. Es werden die unterschiedlichen Prozessschritte bei der Entwicklung aufgezeigt und die grundlegende Verbundfestigkeit analysiert. Mit der Arbeit stehen zudem validierte Modelle zur Verfügung, die als Grundlage für zukünftige Anwendungsgebiete dienen können.

## Methodenentwicklung zur Energieeffizienzsteigerung in der vakuumbasierten Handhabung

### Felix Gabriel

Vakuumbasierte Handhabung wird in einer Vielzahl unterschiedlicher Anwendungsbereiche eingesetzt, beispielsweise zur roboterbasierten Handhabung von Karosserieblechen in Presswerken oder zur Handhabung von Versandkartons in der Intralogistik. Aufgrund der verlustbehafteten Energiewandlungskette in der vakuumbasierten Handhabung ist der wirtschaftliche Umgang mit Druckluft von hoher Priorität. Eine Herausforderung liegt hierbei in der Vielzahl von Unsicherheiten und äußeren Störeinflüssen. Industriell etablierte Auslegungsansätze begegnen diesen Einflüssen mit der Überdimensionierung mittels Sicherheitsfaktoren, beispielsweise durch die Bereitstellung einer erhöhten Haltekraft. Dies steht einer wirtschaftlichen Druckluftnutzung für die vakuumbasierte Handhabung jedoch entgegen.

Eine zentrale Herausforderung besteht darin, die Haltekraft des Greifsystems mit dem Ziel einer hohen Prozesssicherheit und eines geringen Druckluftverbrauchs angemessen zu dimensionieren. Der methodische Kern der vorliegenden Dissertation liegt daher in der modellbasierten Greifsystemauslegung mit Fokus auf der Blechhandhabung. Im Einzelnen wurden Methoden zur Greifpunktoptimierung und Greifsystemdimensionierung erarbeitet. Das Ziel der Greifpunktoptimierung ist, die an den einzelnen Greifpunkten erreichbare Haltekraft zu maximieren. Auf Basis einer vorgegebenen Robotertrajektorie wird anschließend überprüft, ob die Haltekraft ausreichend für einen stabilen Handhabungsprozess (ohne Bauteilverlust) ist. Im Rahmen der Greifsystemdimensionierung werden abschließend Saugeranzahl und -baugröße sowie die Regelparameter des Vakuumejektors dimensioniert, um den Energieaufwand zur Bereitstellung der erforderlichen Haltekraft zu minimieren. Als Kern dieser Auslegungsmethoden wurden im Rahmen dieser Dissertation drei Vorhersagemodelle erarbeitet. Das methodische Vorgehen für die Modellbildung basiert auf der Abstraktion von konkreten industriellen Bauteilen zu repräsentativen Prüfobjekten mit primitiven Oberflächengeometrien, sowie der Abstraktion industrieller Pick-and-Place-Bewegungen auf die wesentlichen Lastfälle am Greifer-Objekt-Interface (Normal- und Querbelastung, wobei in dieser Arbeit ausschließlich die Normalbelastung betrachtet wurde). Auf Grundlage dieser Abstraktionsschritte wurde eine experimentelle Prüfmethode entwickelt, mit der die Versuchsdaten zur Parametrierung der Vorhersagemodelle aufgenommen wurden. Das methodische Vorgehen der Modellbildung lässt sich auf beliebige weitere Sauger-Objekt-Paarungen übertragen und somit eine breite Anwendbarkeit ermöglichen. Als Gegenentwurf zur Modellierung physikalischer Wirkzusammenhänge an der Sauger-Objekt-Grenzfläche für die Greifsystemauslegung wurde im Rahmen der vorliegenden Arbeit eine Prozessauslegungsmethode basierend auf maschinellem Lernen erarbeitet und anhand des Beispiels der Kartonhandhabung experimentell untersucht. Unter Nutzung von Deep Q Learning, einer modellfreien Methode des Reinforcement Learning, wurde ein selbstständig lernendes Software-Agentensystem implementiert. Es wurde gezeigt, dass dieses System nach wenigen hundert Versuchsiterationen in der Lage ist, den Versorgungsdruck des Vakuumejektors so einzustellen, dass der Druckluftverbrauch um bis zu 70% reduziert werden konnte. Die Effizienzsteigerung in der vakuumbasierten Handhabung erfordert allgemein anwendbare und effiziente Auslegungsmethoden mit dem Ziel der Minimierung des Druckluftbedarfs. Die erarbeiteten modellbasierten und modellfreien Methoden liefern für die informierte Auslegung von vakuumbasierten Greifsystemen und den zugehörigen Prozessparametern einen wesentlichen Beitrag.

Brand, Michael: Mechanische Verklammerung zur formschlüssigen Verbindung von Metall-Faser-Kunststoff Verbundstrukturen  
Essen: Vulkan Verlag, 2022, ISBN 978-3-8027-8372-2, [https://leopard.tu-braunschweig.de/receive/dbbs\\_mods\\_00073095](https://leopard.tu-braunschweig.de/receive/dbbs_mods_00073095)  
(Schriftenreihe des Instituts für Werkzeugmaschinen und Fertigungstechnik)

Gabriel, Felix: Methodenentwicklung zur Energieeffizienzsteigerung in der vakuumbasierten Handhabung  
Essen: Vulkan Verlag, 2022, ISBN 978-3-8027-8370-8, [https://leopard.tu-braunschweig.de/receive/dbbs\\_mods\\_00071233](https://leopard.tu-braunschweig.de/receive/dbbs_mods_00071233)  
(Schriftenreihe des Instituts für Werkzeugmaschinen und Fertigungstechnik)

# Promotionen 2022/2023

## Empirisches Prognosemodell für die Federsteifigkeit von FVK-Metall-Hybridlaminaten

### Felix Rothe

Hybridlaminat aus faserverstärktem Kunststoff (FVK) und Metall bieten aufgrund der unterschiedlichen Steifigkeiten der Werkstoffe, in Kombination mit dem lageweisen Aufbau eines Laminats ein großes Potenzial für die Variation der Federsteifigkeit von Blattfedern. Die Herausforderung bei der Entwicklung einer Blattfeder, basierend auf einem Hybridlaminat, liegt in der Vorauslegung des variierenden Lagenaufbaus aus FVK und Metall.

Das Ziel dieser Arbeit ist die Entwicklung eines empirischen Prognosemodells zur gezielten Variation der Federsteifigkeit von Hybridlaminaten durch den Lagenaufbau. Der Lösungsweg zu diesem Ziel zeigt die systematische Herleitung des empirischen Prognosemodells auf. Für die Herleitung dieses Prognosemodells werden die signifikanten Einflussparameter und Wechselwirkungseffekte zwischen dem Lagenaufbau und den fertigungsbedingten Einflussgrößen aus dem Herstellungsverfahren bestimmt. Weitere Teilschritte zur Zielerreichung dieser Arbeit behandeln die Ausarbeitung einer angepassten Fertigungsstrategie zur Herstellung von Hybridlaminaten im Vakuuminfusionsverfahren und die Reduzierung des Versuchsumfangs für die Ermittlung der Messdaten für das empirische Prognosemodell. Im letzten Schritt wird die Validierung des Prognosemodells an einem praxisnahen Fallbeispiel durchgeführt. Für die Validierung werden numerische Modelle auf Grundlage eines dreidimensionalen Modellierungsansatzes aufgebaut und hinsichtlich ihrer Prognosegüte mit dem empirischen Prognosemodell verglichen.

Die Ergebnisse dieser Arbeit zeigen die erfolgreiche Prognose der Federsteifigkeit von hybriden Blattfedern durch das empirische Modell. Die resultierenden Abweichungen zwischen der prognostizierten und der gemessenen Federsteifigkeit der Hybridlaminat liegt dabei unter 10 %. Weiterhin ist ein neues methodisches Vorgehen zur Kodierung von Versuchsplänen für Hybridlaminat aufgezeigt und eine neue Methode zur Reduzierung des Versuchsumfangs um 65 % erarbeitet worden.

Rothe, Felix: Empirisches Prognosemodell für die Federsteifigkeit von FVK-Metall-Hybridlaminaten  
Essen: Vulkan Verlag, 2022, ISBN 978-3-8027-8371-5, [https://leopard.tu-braunschweig.de/receive/dbbs\\_mods\\_00071706](https://leopard.tu-braunschweig.de/receive/dbbs_mods_00071706)  
(Schriftenreihe des Instituts für Werkzeugmaschinen und Fertigungstechnik)

## Modeling Process-Product Interdependencies in Battery Cell Production

### Matthias Thomitzek

Der Einsatz von Batterien in Elektrofahrzeugen und stationären Energiespeichersystemen wird weithin als vielversprechender Wegbereiter für eine nachhaltige Mobilität und Energiewirtschaft angesehen. Obwohl in den letzten zehn Jahren erhebliche Fortschritte bei der Steigerung der Batterieleistung und der Senkung der Produktionskosten erzielt wurden, gibt es nach wie vor ein erhebliches Potenzial, insbesondere entlang der Prozesskette der Batteriezellenproduktion. Die vorliegende Arbeit bietet einen innovativen Ansatz zum Verständnis, zur quantitativen Beschreibung und zur Verbesserung der komplexen Batteriezellproduktion durch Modellierung der Prozess-Produkt-Wirkbeziehungen entlang der Prozesskette.

Zunächst werden das Funktionsprinzip, die verschiedenen Komponenten von Batteriezellen sowie die Prozesskette mit ihren heterogenen Prozessschritten und vielfältigen Prozess-Produkt-Mechanismen erläutert und entsprechende Herausforderungen für Batteriezellen aufgezeigt. Viele Ursache-Wirkungs-Beziehungen entlang der Prozesskette sind noch nicht vollständig verstanden und beherrscht, was eine effiziente Produktion mit geringeren Ausschussraten verhindert. Des Weiteren werden die Qualität in Produktionssystemen und mathematische Modellierung vorgestellt, um das aktuelle Verständnis bzw. die vorhandenen quantitativen Werkzeuge zur Produktionsverbesserung aufzuzeigen.

Darüber hinaus werden Bewertungskriterien definiert, anhand derer aktuelle Veröffentlichungen im Kernbereich der Forschung analysiert werden. Die Erfüllung von sechzehn Publikationen für jedes Bewertungskriterium wird in einer Heatmap zusammengefasst, um den offenen Forschungsbedarf im gesamten Forschungsbereich zu identifizieren.

In der Folge wird das Konzept zur Modellierung von Prozess-Produkt-Wirkbeziehungen in der Batteriezellenproduktion detailliert erläutert. Der Modellrahmen, der auf der zugrunde liegenden Prozess-Struktur-Eigenschafts-Beziehung basiert, wird vorgestellt. Der Modellrahmen besteht aus drei miteinander verbundenen Modulen. Erstens verbindet das Modul Prozesskettenmodell verschiedene mechanistische (algebraische und numerische) Prozessmodelle in einer generischen Containerplattform über die Strukturparameter des jeweiligen Prozessschrittes, um eine digitale Darstellung der Batteriezellprozesskette zu ermöglichen. Zweitens übernimmt das Modul Batteriezellmodell die endgültigen Strukturparameter aus dem Prozesskettenmodell und berechnet die Leistungseigenschaften der Batteriezellen über ein Modell vom Typ Doyle-Fuller-Newman. Drittens bietet das Modul Analysemethoden eine detaillierte Beschreibung, wie eine Unsicherheits- und Sensitivitätsanalyse für das Prozesskettenmodell durchgeführt werden kann. Darüber hinaus wird eine Methode zur Ermittlung modellbasierter Produktionstoleranzen vorgestellt, die Produktionskosten und -erlöse in Abhängigkeit von der Produktionsgenauigkeit berücksichtigt.

Abschließend wird das entwickelte Konzept prototypisch implementiert und eine beispielhafte Anwendung des entwickelten Frameworks zur Modellierung von Prozess-Produkt-Interdependenzen in der Batteriezellproduktion vorgestellt. Zwei ausführliche Anwendungsfälle zeigen die potenziellen Einsatzgebiete des Frameworks. Der erste Anwendungsfall umfasst eine Unsicherheits- und Sensitivitätsanalyse für die Kathodenproduktion, um die Auswirkungen der Prozessparameterunsicherheit auf die strukturelle Parameterunsicherheit und in der Folge die Unsicherheit der endgültigen Leistungseigenschaften zu identifizieren und zu quantifizieren. Die Ergebnisse zeigen unter anderem, dass die Unsicherheit in der volumetrischen Energiedichte beeinflusst wird, aber konstant niedrig ist, während die Unsicherheit in der Entladekapazität stark mit der Unsicherheit der Trockenmassebeladung korreliert. Der zweite Anwendungsfall befasst sich mit der Ermittlung von Produktionstoleranzen für den Beschichtungs- und Kalandrierprozess. Die Kombination von Produktionskosten und Zellerträgen führt zu idealen Produktionstoleranzen für ein Szenario, das einen präziseren Betrieb während des Streichprozesses als beim Kalandrieren sowie hochqualifiziertes Personal für den Streichprozess und einen regelmäßigen Wartungsplan erfordert.

Thomitzek, Matthias.: Modeling Process-Product Interdependencies in Battery Cell Production  
Essen: Vulkan Verlag, 2022, ISBN 978-3-8027-8373-9, [https://leopard.tu-braunschweig.de/receive/dbbs\\_mods\\_00072293](https://leopard.tu-braunschweig.de/receive/dbbs_mods_00072293)  
(Schriftenreihe des Instituts für Werkzeugmaschinen und Fertigungstechnik)

# Promotionen 2022/2023

## Planning and operation of HVAC systems in production environments

### Marcus Vogt

Industrielle Prozesse sind weltweit für den größten Anteil an Treibhausgasemissionen verantwortlich. Daher ist die Verbesserung der Energieeffizienz von industriellen Prozessen sowohl aus umwelt- als auch ökonomischen Gesichtspunkten notwendig. Im Produktionsumfeld müssen die Produktionsbedingungen insbesondere in Bezug auf Temperatur, Feuchtigkeit und Luftqualität gewährleistet werden. Diese Aufgaben werden durch raumlufttechnische Anlagen (RLT-Anlagen) übernommen. RLT-Anlagen werden üblicherweise basierend auf statischen Extremwerten geplant, um Unsicherheiten während der sehr dynamischen Betriebsphase zu begegnen. Dies führt oftmals zu einer Überdimensionierung von RLT-Anlagen. Es gibt daher im Produktionsumfeld noch erhebliche Potenziale die Energieeffizienz von RLT-Anlagen in der Planungs- und Betriebsphase zu verbessern.

Das Hauptforschungsziel dieser Arbeit besteht darin, die Planung und den Betrieb von RLT-Anlagen in Produktionsumgebungen zu verbessern, indem geeignete Kompromisslösungen zwischen den Produktionsbedingungen und dem Energiebedarf sowie den Umweltauswirkungen gefunden werden. Hierzu wird zunächst der technische Hintergrund zur Planung und zum Betrieb von RLT-Anlagen dargestellt. Dies umfasst eine allgemeine Einordnung von RLT-Anlagen in die Produktionsumgebung, die Erläuterung von Systemelementen und der ökonomischen, sozialen und umweltbezogenen Auswirkungen von RLT-Anlagen. In diesem Zusammenhang werden die drei wesentlichen Zieldimensionen der Luftqualität, des thermischen Komforts und des Energiebedarfs identifiziert. Der Einfluss von Industrie 4.0 und die Relevanz eines cyber-physischen Systemansatzes wird ebenfalls dargestellt. Anschließend wird das Forschungsfeld weiter eingegrenzt. Hierbei wird zwischen allgemeinen Forschungsbeiträgen für den Gebäudebereich und Beiträgen spezifisch für Produktionsumgebungen unterschieden. Insgesamt werden neunzehn Forschungsbeiträge, zehn allgemeine und neun spezifische, anhand von fünf übergeordneten Evaluationskriterien im Detail anhand einer Evaluationsmatrix ausgewertet. Aus der Evaluation geht hervor, dass es weiteren Forschungsbedarf für einen Ansatz gibt, der Kompromisslösungen der drei genannten Zieldimensionen während der Planungs- und Betriebsphase von RLT-Anlagen im Produktionsumfeld adressiert.

Im Konzeptteil der Arbeit werden zunächst relevante Akteure identifiziert sowie Ziele und Anforderungen abgeleitet. Im Kern des Konzepts steht ein cyber-physischer Systemansatz, der die Datenakquise aus dem Produktionsumfeld, die Datenverarbeitung, Modellierung sowie Simulation und die Entscheidungsunterstützung sowie automatische Regelung abdeckt. Als wesentliche Systemelemente und Einflussfaktoren werden RLT-Anlagen, Produktionsprozesse, Nutzer, Gebäudezonen sowie Gebäudehülle und das Wetter herausgestellt. Diese Systemelemente und Einflussfaktoren müssen zur Planungs- und Betriebsverbesserung berücksichtigt werden und werden detailliert erläutert. Abschließend werden vier Lösungsbausteine zur Entscheidungsunterstützung sowie zur automatischen Regelung dargelegt. Im Anschluss wird das entwickelte Konzept prototypisch implementiert und in drei beispielhaften Anwendungsfällen angewendet. Im ersten Anwendungsfall wird die Betriebs- bzw. Energieeffizienzsteigerung einer RLT-Anlage zum Betrieb eines Trockenraums in der Batteriezellproduktion betrachtet, wobei theoretisch bis zu 37 % Energie eingespart werden kann. Im zweiten Anwendungsfall wird ein Monitoring und eine Betriebsverbesserung am Beispiel einer inkrementellen Fertigung betrachtet. Das Monitoring erfolgt mittels einer zonenaufgelösten, dashboardbasierten Visualisierung. Anhand der Feinstaubkonzentration wird bestimmt, inwiefern der Luftvolumenstrom durch RLT-Anlagen erhöht werden muss, um die Feinstaubkonzentration zu senken und die Luftqualität zu verbessern. Im dritten Anwendungsfall wird die Planung von Trockenräumen zur Batteriezellproduktion betrachtet. Es werden insgesamt bis zu 60 Orte auf der Welt betrachtet und nötige Energiebedarfe sowie Umweltauswirkungen des Trockenraumbetriebs bestimmt. Es zeigt sich, dass Trockenräume in besonders warmen und feuchten Regionen, insbesondere um den Äquator, vermieden werden sollten. Zudem sollte bei mehreren Trockenräumen die Luftversorgung durch eine dezentrale RLT-Anlagen je Raum erfolgen. Die Kälteerzeugung sowie Versorgung der RLT-Anlagen sollte jedoch möglichst zentral erfolgen.

Vogt, Marcus: Planning and operation of HVAC systems in production environments  
Essen: Vulkan Verlag, 2023, ISBN 978-3-8027-8374-6, [https://leopard.tu-braunschweig.de/receive/dbbs\\_mods\\_00072308](https://leopard.tu-braunschweig.de/receive/dbbs_mods_00072308)  
(Schriftenreihe des Instituts für Werkzeugmaschinen und Fertigungstechnik)

## Multi-dimensional Evaluation of Additive Manufacturing for Vehicle Series Part Production

### Mathias Wiese

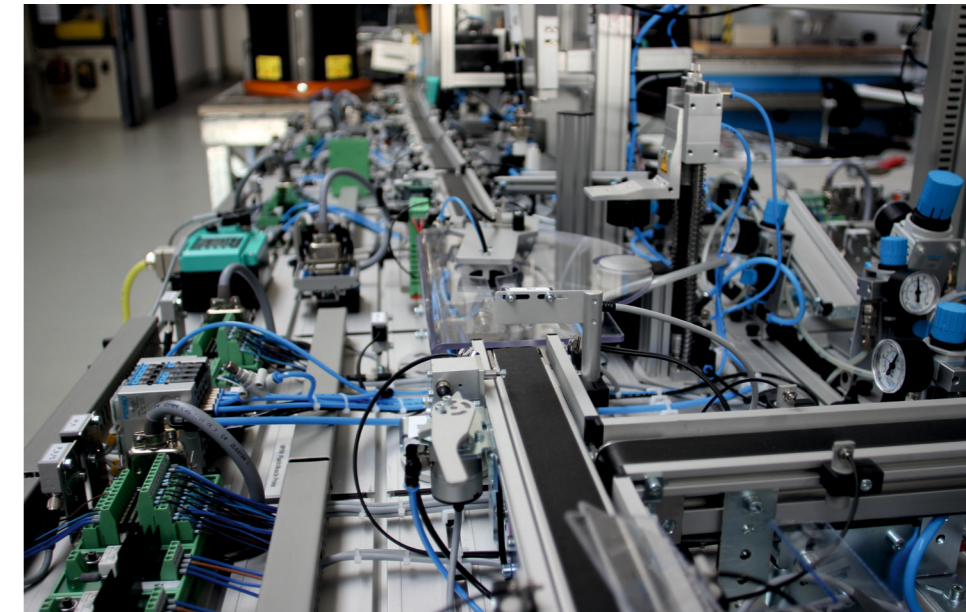
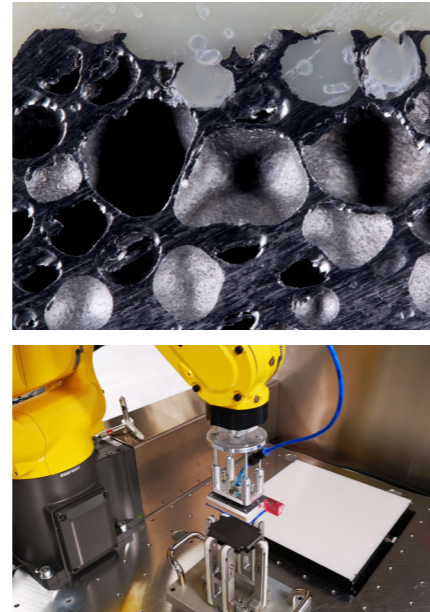
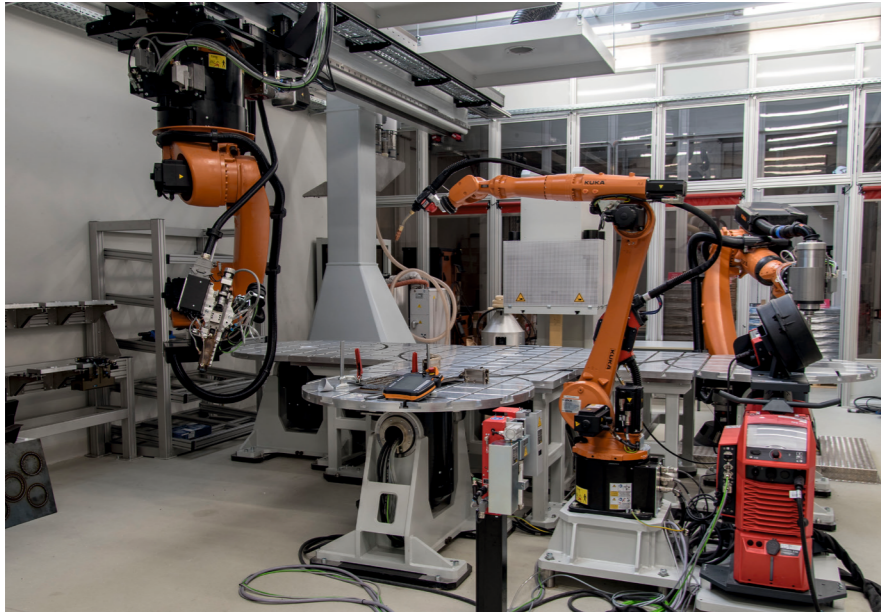
Inmitten der fortschreitenden Digitalisierung in der Industrie positioniert sich die additive Fertigung als digitales Produktionsverfahren, welches anhaltenden Trends wie der Individualisierung von Produkten durch hohe intrinsische Flexibilität begegnen kann. Gestützt durch immer leistungsfähigere Prozesse, neue Materialien und diverse Programme in Wirtschaft und Politik hält die additive Fertigung zunehmend Einzug in die Fertigung von Endprodukten, unter anderem in der Automobilindustrie. Einhergehend mit dem hohen Wachstum des Marktes um diese Art der Fertigung steigt die Komplexität für Anwender, um passende Verfahren, Materialien und Prozessketten für potenzielle Anwendungen zu identifizieren und eine mögliche Serienproduktion von Bauteilen nach den Dimensionen der technischen Leistungsfähigkeit und Machbarkeit sowie ihrer Auswirkungen auf Umwelt und Wirtschaftlichkeit gesamtheitlich zu bewerten. Diese Komplexität, eine in der Wissenschaft und Praxis oft isolierte und nicht gesamtheitliche Bewertung der möglichen Prozessketten und daraus hervorgehende, unklare oder unrealistische Kennzahlen in den genannten Dimensionen bewirken einen verhältnismäßig zögerlichen Umgang potenzieller Anwender bei der Implementierung dieser Technologie.

Die vorliegende Arbeit leistet mehrere Beiträge zu den genannten Problemen in der Wissenschaft und industrieller Praxis mithilfe eines modularen Konzepts zur strukturierten Ableitung und anschließender simulationsbasierter Bewertung von Prozessketten der additiven Fertigung in der frühen Phase des Produktentwicklungsprozesses. Beginnend mit der Erfassung möglicher Verfahrens- und Materialkombinationen mithilfe von s.g. Ashby-Diagrammen und anschließender Ableitung passender Technologieketten zur Erfüllung der Anforderungen eines Produktionsauftrags werden im Folgeschritt physische Produktionsmittel zugeordnet. Unter Berücksichtigung der verfügbaren Skalierungsstrategien und Daten aus dem softwarebasierten Prozess der Produktionsvorbereitung werden so eine oder mehrere mögliche Prozessketten zur Abbildung des Produktionsauftrags entwickelt. Die darauffolgenden Module sind an den Methoden der Energiewertstrom- und Materialflussanalyse (EVSM und MFA) ausgerichtet und ermöglichen so die strukturierte Erfassung relevanter Daten auf Maschinen- und Prozessebene. Mittels darauffolgender Prozesskettensimulation in einem hybriden Simulationsansatz werden dynamische Effekte innerhalb der Prozessketten unter gegebenen Produktionsbedingungen abgebildet und so eine iterative Auslegung der Prozessketten entsprechend den Erfordernissen des Produktionsauftrags ermöglicht. Im nachgelagerten Modul werden daraufhin technische Leistungsfähigkeit mittels EVSM und MFA, ökonomische Auswirkungen mittels Prozesskostenrechnung (ABC) sowie Umweltauswirkungen durch Wirkungsabschätzungsmethoden (LCIA) ermittelt und visualisiert. Eine anschließende Konsolidierung der Ergebnisse und ein Konzept für die strukturierte Ablage von erlangtem Prozesswissen ermöglichen eine gesamtheitliche Auswertung und spätere Wiederverwendung in folgenden Bewertungsprozessen.

Die Methode ist als Prototyp in Form von Material- und Verfahrensdatenbanken, verknüpft mit einem interaktiven Evaluationstool für die prototypisch implementierte Prozesskettensimulation umgesetzt. Anhand einer Fallstudie zur Produktion eines Exterieurbauteils wird die Leistungsfähigkeit der Methode demonstriert und die multidimensionale Bewertung für die Umsetzung des Produktionsauftrags durch eine Prozesskette um das Druckverfahren Multi-Jet Fusion (MJF) vorgenommen.

Wiese, Mathias: Multi-dimensional Evaluation of Additive Manufacturing for Vehicle Series Part Production  
Essen: Vulkan Verlag, 2023, ISBN 978-3-8027-8375-3, [https://leopard.tu-braunschweig.de/receive/dbbs\\_mods\\_00073090](https://leopard.tu-braunschweig.de/receive/dbbs_mods_00073090)  
(Schriftenreihe des Instituts für Werkzeugmaschinen und Fertigungstechnik)

# Vorlesungen & Dozenten



## Vorlesungen der Professur Fertigungstechnologien & Prozessautomatisierung

- Automatisierte Montage
- Automatisierung von industriellen Fertigungsprozessen
- Elektroden- und Zellfertigung
- Fertigungstechnik
- Getriebetechnik/Mechanismen
- Industrie 4.0 im Ingenieurwesen
- Industrieroboter
- Mikro- und Präzisionsmontage
- Produktionstechnik für die Elektromobilität
- Produktionstechnik für die Kraftfahrzeugtechnik
- Produktionstechnik für die Luft- und Raumfahrttechnik
- Service Robotik
- Umformtechnik
- Verfahrenstechnik der Holzwerkstoffe
- Verpackungstechnik in der pharmazeutischen Industrie
- Virtuelle Prozessketten im Automobilbau
- Werkzeugmaschinen

## Vorlesungen der Professur Nachhaltige Produktion & Life Cycle Engineering

- Arbeitswissenschaft
- Betriebsorganisation
- Digitalisierung im Automobilbau
- Energy Efficiency in Production Engineering
- Environmental and Social Sustainability in Engineering
- Environmental and Sustainability Management in Industrial Application
- Fabrikplanung
- Forschungs- und Innovationsmanagement
- Future Production Systems
- Ganzheitliches Life Cycle Management
- Life Cycle Assessment for Sustainable Engineering
- Material Resources Efficiency in Engineering
- Methods and Tools for Life Cycle Oriented Vehicle Engineering
- Produktionsplanung und -steuerung
- Sustainable Cyber Physical Production Systems
- Indo-German Challenge for Sustainable Production (Seminar)
- makerAcademy (verschiedene Seminare für Studierende der Fakultät für Maschinenbau)

## Dozenten und Lehrbeauftragte

- Prof. Dr.-Ing. Klaus Dröder
- Prof. Dr.-Ing. Christoph Herrmann
- Prof. Dr.-Ing. Bernd-Arno Behrens
- Dr.-Ing. Felipe Cerdas
- Dr.-Ing. Thomas Große
- Prof. Dr. Manfred Helm
- Dr.-Ing. André Hürkamp
- Dr.-Ing. Max Juraschek
- Alexander Karl, M. Sc.
- Hon.-Prof. Dr. Raoul Klingner
- Hon.-Prof. Dr. Stefan Krinke
- Dr.-Ing. Mark Mennenga
- Dr.-Ing. Daniel Schütz
- Prof. Dr.-Ing. Volker Thole
- Dr.-Ing. Alexander Tornow
- Hon.-Prof. Dr.-Ing. Uwe Winkelhake
- Dr.-Ing. Jan Wrege

# Das Team des IWF

- Wissenschaftliche Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter: 86
- Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter in Technik und Verwaltung: 20
- Professoren und Lehrbeauftragte: 17

## Institutsleitung

### Prof. Dr.-Ing. Klaus Dröder

(Fertigungstechnologien & Prozessautomatisierung)

### Prof. Dr.-Ing. Christoph Herrmann

(Nachhaltige Produktion & Life Cycle Engineering)

### M. Sc. Christian Wacker & Dipl.-Ing. Tim Ossowski

(Stellvertretung FuP)

**Dr.-Ing. Mark Mennenga** (Stellvertretung NPLCE)

**Ingke Wiese** (Strategisches Qualitäts- und Prozessmanagement)

## Sekretariat

Elke Knackstedt, Charlyn Rudolf

## Technikum

### Alexander Süllau (Leiter Technikum)

Hans Engel, Gordon Geffers, Marco Hintze, Uwe Knapek, Jens-Uwe Könnecker, Kai Purwing, Oliver Schäfer, Armin Schulz, Sebastian Steuer, Olaf Wojahn, Manfred Ziemer

## Buchhaltung , Controlling & Personal

Manuela Fischer, Jule Thiede, Benjamin Wermuth

## IT

Matthias Bruhn, Maik Hansemann

## Fertigungstechnologien & Prozessautomatisierung

### Montage und Fertigungsautomatisierung

#### Fynn Dierksen, Arne Wagner (Leitung)

Paul Bobka, Martin David, Severin Görgens, Rudolf Griemert, Maschal Hakimiy, Anna Maria Opolka, Martin Römer, Thekla Rörmann, Martin Ruhnke, Ugnius Survila

### Automatisierte Batterieproduktion

**Timon Scharmann, Do Minh Nguyen** (Leitung)

Christina von Boeselager, Philip Gümbel, Timo Hölter, Nicolaj Kaden, Benjamin Schumann, Jonas Schwieger, Shubiao Wu

## Hybrider Leichtbau und integrierte Formgebung

### Werner Berlin, Christoph Persch (Leitung)

Marcel Droß, Kevin Hain, Philipp Kabala, Georg Mahlfeld, Vicky Reichel, Benjamin Winter

## Numerische Methoden

### Dr.-Ing. André Hürkamp (Leitung)

Virama Ekanayaka, Jan Middelhoff, Frederic Timmann

## Nachhaltige Produktion & Life Cycle Engineering

### Cyber-physische Produktionssysteme

#### Prof. Dr.-Ing. Christoph Herrmann/Dr.-Ing. Mark Mennenga (komm.) (Leitung)

## Nachhaltige Produktion & Fabrikssysteme

### Dr.-Ing. Max Juraschek (Leitung)

## Life Cycle Engineering

### Dr.-Ing. Felipe Cerdas (Leitung)

## System of Systems Engineering

### Dr.-Ing. Mark Mennenga (Leitung)

Ali Abdur-Rahman, Robar Arafat, Steffen Blömeke, Britta Buchholz, Yasin Bulut, Kilian Dickel, Benjamin Effner, Zahra Ghazanfarpour Khoulenjani, Philipp Grimmel, Johanna Sophie Hagen, Sönke Hansen, Johanna Haupt, Henning Hupfeld, Jana Husmann, Pavan Krishna Jois, Sophia Kohn, Nelli Kononova, Lennart Kuhr, Adrian Langer, Niels Martin, Dr.-Ing. Kolja Meyer, Nadja Mindt, Aleksandra Naumann, Jan Felix Niemeyer, Jennifer Olearczyk, Sofia Pinheiro Melo, Christopher Rogall, Maximilian Rolinck, Marija Rosic, Sina Marie Rudolf, Malte Schäfer, Anne-Marie Schlake, Oliver Schömig, Anna Schott, Lukas Siemon, Sandro Süß, Ahmed Faraz Tariq, Benjamin Uhlig, Edith Uhlig, Gabriela Ventura Silva, Felix Wanielik, Sebastian Weise, Jacob Wessel, Anne Wetzels, Anna-Sophia Wilde, Chao Zhang

## Impressum

### Herausgeber

Technische Universität Braunschweig

Institut für Werkzeugmaschinen und Fertigungstechnik

Prof. Dr.-Ing. Klaus Dröder

Prof. Dr.-Ing. Christoph Herrmann

Langer Kamp 19b

38106 Braunschweig

Telefon +49 531 391 7601

Telefax +49 531 391 5842

E-Mail iwf-braunschweig@tu-braunschweig.de

Web www.tu-braunschweig.de/iwf

### Redaktion

Anne-Marie Schlake, Christian Wacker &

die wissenschaftlichen Mitarbeiterinnen und

Mitarbeiter des IWF

### Gestaltung

Anne-Marie Schlake &

Christina Schütz (schützenswert., Schwester-Ella-Weg 31, 38165 Essenrode)

### Druck

Beyrich DigitalServices GmbH & Co KG

Bültenweg 73

38106 Braunschweig

Tel.: 0531 / 38 006-0

Fax: 0531 / 38 006-91

service@beyrichbusiness.de

www.beyrichbusiness.de

Weitere Informationen unter [www.tu-braunschweig.de/iwf](http://www.tu-braunschweig.de/iwf)

© Texte und Bilder (außer separat gekennzeichnete) IWF Braunschweig, 2023

