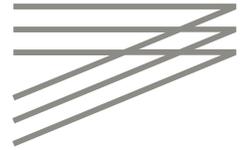


HS PF



• IAF •  
INSTITUT FÜR  
ANGEWANDTE FORSCHUNG

---

JAHRESBERICHT 2023



## **IMPRESSUM**

### **Herausgeber**

• IAF • Institut für Angewandte Forschung  
Prof. Dr. Thomas Greiner

Hochschule Pforzheim – Gestaltung, Technik, Wirtschaft und Recht  
Tiefenbronner Straße 65  
75175 Pforzheim

[iaf@hs-pforzheim.de](mailto:iaf@hs-pforzheim.de)  
[www.hs-pforzheim.de/iaf](http://www.hs-pforzheim.de/iaf)

### **Redaktion**

Iuliana Ancuța Ilie  
E-Mail: [iuliana.ilie@hs-pforzheim.de](mailto:iuliana.ilie@hs-pforzheim.de)  
T: 07231 28-6156

### **Stand**

Februar 2024  
© • IAF • Institut für Angewandte Forschung

## Übersichtsangaben zu den FuE-Leistungen der Hochschule Pforzheim

### Verantwortliche für den Bericht

Prof. Dr. Thomas Greiner

Wissenschaftlicher Direktor des IAF

E-Mail: [thomas.greiner@hs-pforzheim.de](mailto:thomas.greiner@hs-pforzheim.de)

T: 07231 28-6689

Prof. Dr. Rebecca Bulander

Stellv. wissenschaftliche Direktorin des IAF

E-Mail: [rebecca.bulander@hs-pforzheim.de](mailto:rebecca.bulander@hs-pforzheim.de)

T: 07231 28-6499

### Ansprechpartnerin für Rückfragen

Dr. Monika Roller

Forschungskordinatorin

E-Mail: [monika.roller@hs-pforzheim.de](mailto:monika.roller@hs-pforzheim.de)

T: 07231 28-6135

Pforzheim, den 15.02.2024

---

Prof. Dr. Ulrich Jautz

Rektor

---

Prof. Dr. Thomas Greiner

Wissenschaftlicher Direktor

## Vorwort

Das Jahr 2023 war geprägt von einem Hype um generative Künstliche Intelligenz (KI). Die Auswirkungen auf die Forschung zeichnen sich bereits ab, es eröffnen sich zahlreiche neue Möglichkeiten. Zukünftig können typische Aktivitäten wie Recherchieren, Zusammenfassen von Erkenntnissen und Vorbereitung wissenschaftlicher Publikationen mit KI-Unterstützung erfolgen. Allerdings müssen die nicht unerheblichen Fehlerquoten bedacht werden. Es bleibt spannend, diese Entwicklung zu beobachten und selbst zu erleben.

In Baden-Württemberg ist das Promotionszentrum BW-CAR auf der Zielgeraden angekommen. Mit der Registrierung der ersten Doktorandinnen und Doktoranden zum Ende des Jahres wurde ein wichtiger Meilenstein erreicht und die Heranbildung des wissenschaftlichen Nachwuchses kann im Rahmen des Promotionszentrum starten.

An der Hochschule Pforzheim gelang es, das Drittmittelvolumen oberhalb der Zielsetzung von 5 Mio. Euro zu etablieren. Damit hat sich das Drittmittelvolumen in den letzten 8 Jahren mehr als verdoppelt. Dies unterstreicht die Attraktivität der strategischen Forschungsschwerpunkte der Hochschule. Die Anzahl der begutachteten Publikationen liegt auf Vorjahresniveau. Mit insgesamt sieben abgeschlossenen Promotionen wurde ein Höchstwert erreicht. Bedauerlicherweise ist die Anzahl der wissenschaftlichen Publikationen weiter zurückgegangen. Die Gründe hierfür müssen noch genauer analysiert werden.

Abschließend möchten wir uns bei allen forschungsaktiven Professorinnen und Professoren sowie deren Arbeitsgruppen bedanken. Sie haben durch die erfolgreiche Durchführung von Forschungsprojekten und die Veröffentlichung von Publikationen maßgeblich zur Stärkung und Weiterentwicklung der anwendungsorientierten Forschung an unserer Hochschule beigetragen.

Prof. Dr. Thomas Greiner und Prof. Dr. Rebecca Bulander

Wissenschaftliche Leitung des IAF

# Inhalt

Übersichtsangaben zu den FuE-Leistungen der Hochschule Pforzheim .....	I
Vorwort .....	II
Inhalt.....	III
1 Forschungsarbeit im Überblick.....	1
1.1 Eckdaten und Forschungsaktivität .....	1
1.2 Berichte der Forschungsinstitute des IAF .....	3
1.2.1 Institut für Industrial Ecology – INEC .....	3
1.2.2 Institut für Smart Systems und Services – IoS <sup>3</sup> .....	21
1.2.3 Institut für Werkstoffe und Werkstofftechnologien – IWWT .....	34
1.2.4 Schmucktechnologisches Institut – STI .....	51
1.2.5 Institut für Personalforschung – IfP.....	67
1.2.6 Institute for Smart Bicycle Technology – ISBT .....	74
1.2.7 Institute for Human Engineering & Empathic Design – HEED.....	88
2 Personalia .....	91
2.1 Institut für Angewandte Forschung .....	91
2.2 Fachinstitute und ihre Mitglieder .....	91
2.3 Persönliche Mitglieder des IAF .....	93
2.4 Akademische Mitarbeiter/-innen in der Forschung .....	95
3 FuE-Drittmittelprojekte der Hochschule Pforzheim .....	99
3.1 Institut für Industrial Ecology – INEC .....	99
3.2 Institut für Smart Systems und Services – IoS <sup>3</sup> .....	132
3.3 Institut für Werkstoffe und Werkstofftechnologien – IWWT .....	154
3.4 Schmucktechnologisches Institut – STI .....	167
3.5 Institut für Personalforschung – IfP.....	176
3.6 Institut für Smart Bicycle Technology – ISBT.....	184
3.7 Diverse Projekte – DP.....	187
3.8 Institute for Human Engineering & Empathic Design – HEED.....	201
3.9 Mittelbauprogramm – MP.....	203
4 Publikationen.....	205
4.1 Peer-Review-Publikationen (=57) .....	205
4.1.1 Beiträge aus Journals in Master Journal List (Clarivate), Scopus, DOAJ und COPE (=37) .....	205
4.1.2 Beiträge aus Journals in AG-Liste (=7).....	207
4.1.3 Beiträge mit separatem Nachweis des Peer-Reviews (=13) .....	208
4.2 Dissertationen (=7) .....	209

4.3	Weitere wissenschaftliche Publikationen (=104).....	210
4.3.1	Beiträge in wissenschaftlichen Zeitschriften und Proceedings (=70).....	210
4.3.1.1	Beiträge in wissenschaftlichen Zeitschriften und Proceedings (ohne Nachweis) (=25) .....	210
4.3.1.2	Beiträge in wissenschaftlichen Zeitschriften und Proceedings (mit Nachweis) (=45) .....	212
4.3.2	Herausgeberschaft, Buchveröffentlichungen, Monographien und Beiträge in Fachbüchern (=34).....	216
4.4	Vormerkungen für 2024 .....	219
4.5	Patentoffenlegung.....	220
4.6	Vorträge .....	220
4.7	Messen .....	220
5	Deputatsumwidmungen im FuE-Bereich.....	220
6	Bonusmittelverteilung.....	220
7	Drittmittelbilanz 2023.....	221
7.1	Drittmittel der Kategorie 1 .....	221
7.2	Drittmittel der Kategorie 2 .....	253
7.3	Anrechenbare Drittmiteleinnahmen aus FuE-Projekten 2023.....	255
8	Anlagen.....	256
8.1	Anlagen zu 4.1.1 – Beiträge aus Journals in Master Journal List (Clarivate), Scopus, DOAJ und COPE .....	256
8.2	Anlagen zu 4.1.2 – Beiträge aus Journals in AG IV-Liste .....	313
8.3	Anlagen zu 4.1.3 – Beiträge mit separatem Nachweis des Peer-Reviews .....	334
8.4	Anlagen zu 4.3.1.2 – Beiträge in wissenschaftlichen Zeitschriften und Proceedings (mit Nachweis).....	366
8.5	Anlagen zu 4.3.2 – Herausgeberschaft, Buchveröffentlichungen, Monographien und Beiträge in Fachbüchern (mit Nachweis).....	488
9	Pressespiegel.....	553

## 1.2 Berichte der Forschungsinstitute des IAF

### 1.2.1 Institut für Industrial Ecology – INEC

---



Abb. 1: In der neuen Institutsbroschüre werden Projekte aus Forschung und Lehre des INEC vorgestellt. Sie ist hier als PDF verfügbar: [https://www.hs-pforzheim.de/fileadmin/user\\_upload/uploads\\_redakteur/Forschung/INEC/Dokumente/Publikationen/INEC\\_Broschuere\\_2023.pdf](https://www.hs-pforzheim.de/fileadmin/user_upload/uploads_redakteur/Forschung/INEC/Dokumente/Publikationen/INEC_Broschuere_2023.pdf)

Im September 2023 trat Prof. Dr. Nikolaus Thißen in den Ruhestand, so dass der aktive Kreis an Mitgliedern nun aus 7 Professoren besteht. Dazu kommen rund 15 Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter. Neu hinzugekommen sind Alejandro Arias Castillo (M.Sc.), Dr. Juliano Bezerra de Araújo, Felix Bischoff (M.Sc.), Marina Haug (B.Sc.), Marlon Ferdinand Patt (B.Sc.) und Marco Pufal (M.Eng.). Florian Bodrogi (M.Sc.) verließ das Institut. Benjamin Fritz (M.Sc.) wurde Doktorand im kooperativen Promotionskolleg KLIREC.

Bei den Forschungsarbeiten sind folgende Projekte zu erwähnen:

#### **Projekt InPEQT**

Im von Prof. Dr. Ingela Tietze und Prof. Dr. Tobias Viere geleiteten Projekt InPEQT „Weiterentwicklung und Erprobung des Modells LAEND zur ganzheitlichen Planung und Optimierung dezentraler Energieversorgungssysteme für Quartiere“ werden Energiesystemmodellierung und Ökobilanzierung gekoppelt. Ziel ist es, die Planung von erneuerbaren Energiesystemen so zu unterstützen, dass Zielkonflikte verringert werden können, so dass Umwelt- und Klimabelastungen sowie Kosten möglichst gering sind. Dazu wird das Energiesystemmodell LAEND im Rahmen des Vorhabens weiterentwickelt und zur Sicherstellung der Praxistauglichkeit auf 3 Fallbeispiele angewendet.

Im Jahr 2023 wurde LAEND insbesondere im Wärmebereich weiterentwickelt und auf das Fallbeispiel Wiernsheim angewendet. Mit dem LAEND zugrunde liegenden mathematischen Optimierungsmodell wurden für verschiedene Szenarien Energiesystemkonfigurationen für den Ort Wiernsheim bestimmt. Hierbei zeigte sich, dass es bei einer reinen Kostenoptimierung bzw. bei einer reinen Treibhauspotenzialoptimierung zur Verlagerung von einem Umweltbereich in andere Bereiche kommt. Erst bei einer multikriteriellen Optimierung, die sowohl Kosten als auch Klima- und Umweltwirkungen als Ganzes berücksichtigt, erhält man eine Kompromisslösung, bei der keine gravierenden Verlagerungen stattfinden. Im Oktober wurden die Ergebnisse den Bürgerinnen und Bürgern sowie der Kommunalpolitik im Rahmen eines Stakeholderdialogs vorgestellt und intensiv diskutiert.



Abb. 2: Prof. Dr. Ingela Tietze (rechts) und wissenschaftliche Mitarbeiterin Heidi Hottenroth (Mitte) stellen moderiert von Luis Meyer von der Regionalen Kompetenzstelle Ressourceneffizienz Nordschwarzwald KEFF+ (links) die Projektergebnisse von InPEQt in Wiernsheim vor. Foto: Achim Stuble

## Projekt DfC-Industry

Das Forschungsvorhaben „Design for Circularity – Operationalisierung in der industriellen Produktentwicklung“ (DfC-Industry) konzipiert und erprobt digitale Lösungen für den Entwurf ressourceneffizienter industrieller Produkte für eine Kreislaufwirtschaft und die Energiewende. Für eine erfolgreiche Umsetzung der Kreislaufwirtschaft auf industrieller Ebene müssen bereits in frühen Phasen der Produktentwicklung, neben dem kreislaforientierten und zirkulären Design von Produkten und Dienstleistungen, auch passende Geschäftsmodelle mitgedacht werden. Heute geschieht dies, aufgrund mangelnder anwendernaher Lösungen in der Praxis, für viele grundsätzliche Festlegungen unzureichend. Um diese Forschungslücke zu schließen, wurde eine Vorgehensweise zur Entscheidungsunterstützung konzipiert, mit der auf Basis von Produkt- und Geschäftsmodellcharakteristika passende Design- und Gestaltungsgrundsätze für das Produktdesign früh identifiziert und sicher zugewiesen werden können.

Die Entwicklungsschritte dieser methodischen Anwendung wurden in wissenschaftlichen Beiträgen z.B. im Journal „Resources, Conservation and Recycling“ systematisch aufbereitet und im wissenschaftlichen Diskurs bei diversen Veranstaltungen wie dem Stuttgarter Symposium für Produktentwicklung 2023 oder auf der International Conference on Life Cycle Management in Lille vorgestellt. Die Entscheidungsmethodik wurde schrittweise für eine praxistaugliche und entwicklungsbegleitende Anwendung in ein digitales Werkzeug überführt, den Circularity Navigator. Dieser konnte auf dem 12. Ressourceneffizienz- und Kreislaufwirtschaftskongress BW

im Rahmen eines interaktiven Workshops erstmalig öffentlich getestet werden und den Anwendern zeigen, wie zukünftig in Unternehmen kreislauffähige und zirkuläre Produkte einfach und zielsicher entwickelt werden können.



Abb. 3: Betrachtung einer Bohrmaschine im Workshop auf dem 12. Ressourceneffizienz- und Kreislaufwirtschaftskongress. Foto: Martin Stollberg

### **Projekt IRMa**

Im Forschungsvorhaben IRMa „Integratives Ressourceneffizienz-Management für mittelständische Unternehmen der chemischen Industrie. Teilvorhaben: Integratives Ressourceneffizienz-Management durch Bewertungs- und Methodenansätze“ wird betrachtet, wie kreislaufwirtschaftliche und damit verbundene Energie- und Ressourceneffizienzpotenziale besser erschlossen werden können. Im Vorhaben werden praxisnahe Ansätze entwickelt, die mithilfe der mittelständischen Unternehmenspartner Buzil-Werk Wagner GmbH & Co. KG und Münzing Chemie GmbH erprobt und umgesetzt werden.

Im zweiten Projektjahr lag der Fokus auf der Entwicklung des sog. IRMa-Ansatzes, der das schematische Vorgehen zur inner- und überbetrieblichen Erfassung von Ressourceneffizienz und Circular-Economy-Potenzialen, Maßnahmen sowie Technologien beschreibt. Der IRMa-Ansatz beinhaltet einen PDCAC-Zyklus (Plan-Do-Check-Act-Control) und ein Technologiescreening. Im PDCAC-Zyklus werden systematisch Potenziale und Maßnahmen identifiziert und hinsichtlich des Beitrags zur Ressourceneffizienz und Circular Economy bewertet. Für die Bewertung kommt der entwickelte IRMa-Indikatorenansatz zum Einsatz. Zusätzlich können die Ergebnisse in das Monitoring und bei der Berichterstattung eingebunden werden. Der zweite Teil des IRMa-Ansatzes beinhaltet das Technologiescreening. Das Ziel ist es, Technologien zu suchen, die einen Beitrag zu Circular Economy und Ressourceneffizienz innerhalb der Produktion von kleinen und mittelständischen Unternehmen (KMU) der chemischen Industrie leisten können. Dabei werden sowohl Technologien gesucht, die für die beiden Unternehmenspartner relevant sind, als auch für KMU der chemischen Industrie allgemein. Die Technologiesuche erfolgt durch ein Künstliche-Intelligenz (KI)-gestütztes Technologiescreening.

ning, welches um Experteninterviews ergänzt wird. Es wird ein Technologiekatalog veröffentlicht, der geeignete Technologien aus den Bereichen Abwasserrückführung, Destillation, Energieeffizienz Heiztechnologien, Energieeffizienz Kühltechnologien, Energieeffizienz Wärmepumpen, neue Rohstoffquellen/Sekundärrohstoffe, Apparate Reaktoren und Mischer und Reinigungstechnologie abdeckt.



Abb. 4: Projekttreffen am 24. Januar 2023 in Pforzheim mit Projektpartnern und externen Experten des Projektbegeleitkreises. Foto: Cornelia Kamper

### **Ambitioniertes Forschungsprojekt des Landes zum Wasserstoffeinsatz**

Wie die Transformation der Chemischen Industrie hin zu einer hundertprozentigen Bedarfsdeckung mit treibhausgasarmem Wasserstoff gelingen kann, wird im vom Umweltministerium Baden-Württemberg geförderten Forschungsprojekt H<sub>2</sub>-Chemie 2050 untersucht. Dabei betrachten die Forschenden des INEC und des Chemiekonzerns Evonik die Modellregion Rheinfelden am südlichen Oberrhein. Von Evonik wird Wasserstoff bereits seit Jahrzehnten in großen Mengen aus Erdgas gewonnen und für die Herstellung verschiedener Produkte verwendet. Um kostspielige Irrwege auf dem Weg der Wasserstofftransformation zu vermeiden, entwickelt das INEC ein Energie- und Stoffstrommodell für die Projektregion, bei dem zukünftige Technologieentwicklungen sowie techno-ökonomische wie auch ökobilanzielle Parameter der Wasserstoffherstellung und des Transports und der Speicherung in das Modell einfließen. Aufgabe ist dabei, die Angebots- und Nachfrageseite des Wasserstoffeinsatzes mit einer Weiterentwicklung des institutseigenen Energiesystemmodells LAEND zu optimieren.



Abb. 5: Systemanalyse und Weiterentwicklung des Energiesystemmodells LAEND im Rahmen des Projektes H2-Chemie 2050

### Erfolgreich abgeschlossen: Material Flow Based Improvement Assessment (MAFIMA)

Mit einer Abschlussveranstaltung im März im Haus der Wirtschaft in Stuttgart wurde das vom Umweltministerium Baden-Württemberg geförderte Forschungsprojekt MAFIMA 2023 abgeschlossen. Ausgangspunkt war dabei das ISO-14051-Verfahren der Materialflusskostenrechnung. Das Verfahren wurde in wesentlichen Punkten methodisch erweitert. Die Berechnungsalgorithmen wurden so weit verändert und ergänzt, dass nun auch Materialkreisläufe gerechnet werden können, Maßnahmen in unterschiedlichen Stärken bewertet werden und sich die damit eingesparten CO<sub>2</sub>-Emissionen errechnen lassen. Wesentlicher Ansatz ist dabei ein Szenariovergleich zwischen dem Ist-Zustand eines Produktionssystems und einem technisch oder organisatorisch verbesserten Zustand. Die Differenzen können in Mengen (kg oder kWh), in Emissionen (kg CO<sub>2</sub>-Äquivalent) oder in Wertangaben (Euro) dargestellt werden. Der Projektpartner ipoint systems aus Reutlingen plant, die Methode in einer professionellen Software einzusetzen. Für baden-württembergische Unternehmen ist eine kostenlose „Light-Version“ geplant, die über die Landesagentur Umwelttechnik BW zugänglich sein wird.

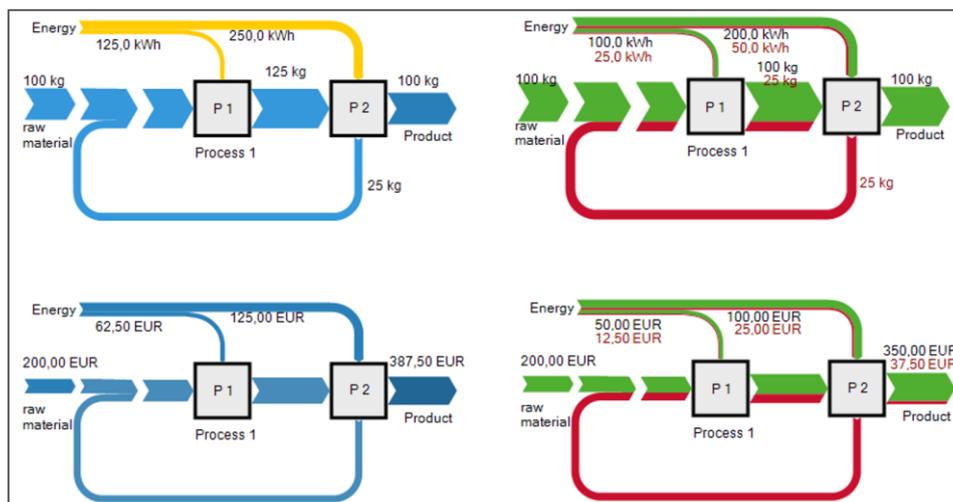


Abb. 6: Berücksichtigung interner Materialkreisläufe bei der MFCM-Methode. Links: Mengen- und Kostengerüst der Energie- und Materialströme eines Produktsystems, rechts Ausweisung der Einsparpotenziale (in Rot) mittels Sankey-Diagrammen

## Materialrecycling für die Energiewende: Kreislauf E-Wende



Bei dem BMBF-geförderten Projekt Kreislauf-E-Wende geht es um die Frage, welche Potenziale zur Minderung von Treibhausgasen in Materialkreisläufen von energietechnischen Anlagen stecken. Zusammen mit den Projektpartnern der TU Darmstadt, der Forschungsstelle für Energie (FfE) und Siemens Energy aus Erlangen werden Analysen durchgeführt und die erforderlichen Methoden dafür entwickelt. Insbesondere muss der Faktor Zeit mitberücksichtigt werden, was eine große Herausforderung bezüglich der Daten und der Algorithmen darstellt. In dem gemeinsamen Projektkonsortium wird an den notwendigen Bilanzierungstools gearbeitet, um diese Fragestellungen beantworten zu können. Denn eine zentrale Herausforderung für verfügbare ökobilanzielle Instrumente ist die Abbildung zukünftiger Materialkreisläufe und der zeitlichen Dynamik, die sich über die vergleichsweise lange Nutzungsdauer der Anlagen und Komponenten ergibt. Das trifft einerseits auf methodische Fragen zu, wie z.B. die der Zuordnung von Treibhausgas-Einsparungen aus dem Recycling auf die unterschiedlichen Akteure, andererseits auf die zugrunde liegenden Daten, die sich üblicherweise nur auf heutige Produktionssysteme beziehen. Beide Aspekte müssen zudem in ökobilanziellen Software-Tools implementiert werden, um eine Anwendung in der Praxis zu gewährleisten. Das Projekt läuft noch bis Ende 2024.

### ReDiBlock-Projekt erfolgreich abgeschlossen

Um physische Stoff- und Güterströme über den gesamten Produktkreislauf hinweg zu qualifizieren, zu quantifizieren, zu analysieren und zu bewerten, um eine effiziente Steuerung zu ermöglichen, fehlt es in der Praxis oft an einer effektiven Datengrundlage für alle Akteure in Wertschöpfungs- und Kreislaufwirtschaftsnetzwerken. Genau hier setzte das Forschungsprojekt ReDiBlock (Ressourcenschonung durch Distributed-Ledger- und Blockchain-Technologie für die industrielle Produktion und Kreislaufwirtschaft) an, an dem neben dem INEC der Thinktank Industrielle Ressourcenstrategien und das Institut für Angewandte Informatik und Formale Beschreibungsverfahren am Karlsruher Institut für Technologie (KIT AIFB) sowie das Software-Unternehmen ipoint systems GmbH in Reutlingen beteiligt waren. Das Ziel war die Entwicklung einer transparenten und manipulationssicheren Informationsaustauschplattform entlang von Wertschöpfungsketten, basierend auf der Distributed-Ledger- bzw. Blockchain-Technologie. Im Rahmen des Projekts wurde ein allgemeines Systemkonzept entwickelt, aus welchem ein anwendungsspezifisches Konzept abgeleitet wurde. Letzteres wurde mit der Scheideanstalt C.Hafner GmbH + Co. KG aus Pforzheim entwickelt, getestet und evaluiert. Beide Konzepte basieren auf der DLT (Distributed Ledger Technology), da sich diese für eine effektive Datengrundlage in der Wertschöpfungskette eignet. Das Projekt wurde im Frühjahr 2023 erfolgreich abgeschlossen.

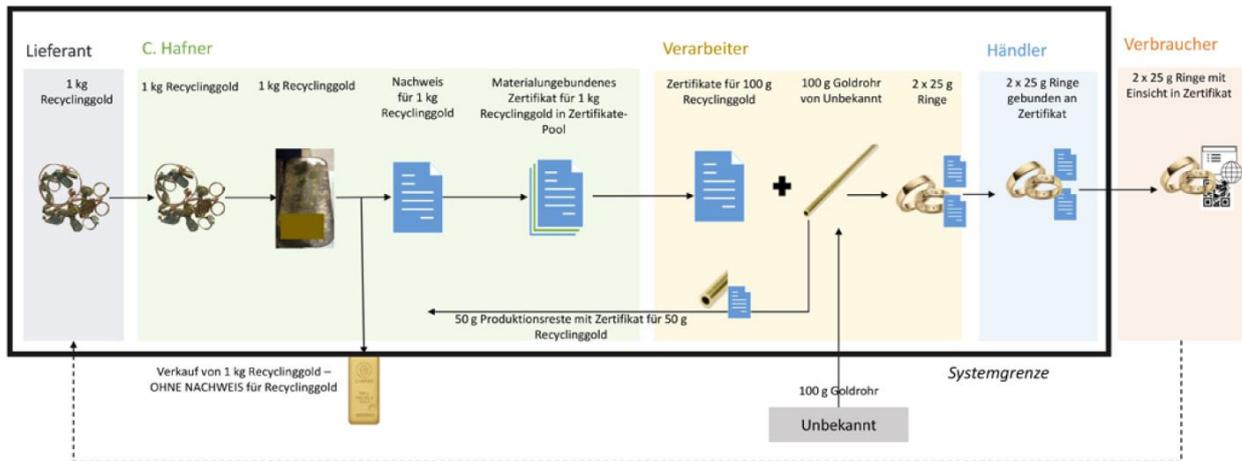


Abb. 7: Fallbeispiel für den Einsatz einer Blockchain-Lösung zum Nachweis der Herkunft von Goldschmuck

### Neues Projekt: DACE – Datenkompetenzzentrum für Circular-Economy (CE)-Daten

Die Circular Economy hängt in hohem Maße von Informationen über die Herstellung, Fertigung und Verwendung von Produkten, ihren Materialien und ihren Bestandteilen ab. Aufgrund der Komplexität vieler Produkte und der zugrundeliegenden Produktionsprozesse gestaltet sich die Erfassung, Zusammenführung und Auswertung dieser Daten – der Circular-Economy (CE)-Daten – jedoch als äußerst schwierig und erfordert einen hohen Kenntnis- und Analyseaufwand. Die zugrunde liegenden CE-Daten müssen aufgrund der vielfältigen Prozesse und Akteurinnen und Akteure zwangsläufig von unterschiedlichen Institutionen erfasst werden, wobei eine Vielzahl notwendiger CE-Daten heute noch nicht erfasst wird. Dies hat verschiedene Gründe. Zum einen, weil sie noch nicht erfassbar oder messbar sind. Zum anderen, weil bisher nicht bekannt ist, dass diese Daten im Kontext von CE überhaupt benötigt werden. Dies bedeutet auch, dass viele Bereiche der CE derzeit nicht oder kaum zuverlässig daten- und informationstechnisch abgebildet werden können. Der tatsächliche Fortschritt der CE-Entwicklung, z.B. durch die Wirkung von Politikmaßnahmen, ist daher nur bedingt oder gar nicht nachvollziehbar. CE-Daten bedürfen daher sowohl des Kompetenzaufbaus sowie der weiteren Erforschung, damit sie sinnvoll anwendbar sind. Hierfür wiederum sind bei verschiedenen Zielgruppen, insbesondere aber in der Wissenschaft, die Fähigkeiten zur Erhebung, zur Analyse und auch zur Ableitung von Maßnahmen aus CE-Daten zu entwickeln, auszubauen und zu stärken. Genau hier setzt das Datenkompetenzzentrum für Circular-Economy-Daten (DACE) an.

Das DACE – Datenkompetenzzentrum für Circular-Economy (CE)-Daten

- erforscht die notwendigen Kompetenzen zur Erhebung, Auswertung und Nutzung von CE-Daten,
- befähigt zum Umgang mit CE-Daten,
- und vernetzt die Akteurinnen/Akteure der datengetriebenen CE.

Damit soll die Erforschung und Umsetzung der energie- und ressourceneffizienten Circular-Economy ermöglicht werden. Gleichzeitig soll die Basis für ein besseres Messen und Bewerten von CE und CE-Strategien (10R) durch den systematischen Umgang (Kompetenzen) mit CE-Daten in Wissenschaft, Forschung, Lehre und Anwendung geschaffen werden. Damit wird DACE eine wichtige Lücke in der Forschungs- und Lernlandschaft für nachhaltiges Wirtschaften schließen.

Zentrale Kompetenzen müssen hierbei insbesondere in der Identifikation und Bedarfserkennung von benötigten und relevanten CE-Daten, deren Gewinnung und Aufnahme, ihrer Bereitstellung über unterschiedliche Stakeholder hinweg, der Zusammenführung und Verdichtung der Daten sowie ihrer ganzheitlichen Analyse vermittelt werden. Zur Vermittlung der benötigten Kompetenzen setzt DACE auf drei tragende Säulen: i) die DACE Academy zum Lehren der Kompetenzen, ii) den DACE Space zum Erforschen der Kompetenzen und iii) den DACE Hub zur Verbreitung der Kompetenzen.

Unter Federführung des Wuppertal Instituts und in Kooperation mit der RWTH Aachen, dem Deutschen Forschungszentrum für Künstliche Intelligenz und vielen weiteren Partnern forscht das INEC in allen drei Säulen.

### **Neues Projekt: greenProd – Energieoptimierte Produktion mit grünen Digitalen Zwillingen**

Das Mitte 2023 gestartete Forschungsprojekt greenProd hat das Ziel, die Transformation der produzierenden Industrie im Hinblick auf die Nutzung regenerativer Energie zu optimieren und gleichzeitig deren Wettbewerbsfähigkeit zu steigern. Dies soll mithilfe von grünen Digitalen Energiezwillingen (gDEZ) erfolgen. Dabei handelt es sich um digitale Stellvertreter, die den Energieverbrauch von Fertigungsschritten beschreiben und zusätzlich mit Emissionsdaten ergänzt werden. Die gDEZ ermöglichen somit eine Zuordnung der auftretenden CO<sub>2</sub>-Emissionen zu den Fertigungsschritten. Das Projekt wird vom Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK) im Rahmen des Förderprogramms „Entwicklung digitaler Technologien“ gefördert. Projektleiterin am INEC ist Frau Prof. Dr. Ingela Tietze.



Abb. 8: Projektteam beim Kickoff-Meeting bei Krumedia in Karlsruhe. Foto: M. Krutwig

### **Neues Projekt: KliReGeM – Klimaresilientes Gebäudemanagement**

Das Projekt KliReGeM widmet sich der Untersuchung der Ressourcenverbräuche verschiedener Klimaanpassungsmaßnahmen, darunter verbesserte Isolierung, intelligente Belüftungssysteme und Klimaanlage. Ziel ist es, Reboundeffekte aufgrund eines absehbar steigenden Anpassungsbedarfs infolge des Klimawandels zu vermeiden. Im Jahr 2023 startete das Projekt in sein erstes volles Jahr. Während des DAS-Vernetzungstreffens im Juli wurden erste Ergebnisse der ökobilanziellen Betrachtung vorgestellt und intensiv diskutiert.

Im Oktober fand ein Workshop mit Vertretern aus Kommunen, Architekten und Wissenschaftlern statt. Dabei konnte die erarbeitete Systematik für Klimaanpassungsmaßnahmen, Anwendungsfälle und Bewertungskriterien erfolgreich validiert und erweitert werden. Die dabei gewonnenen Erkenntnisse werden in den weiteren Verlauf des Projekts einfließen.

Die Ergebnisse der ökologischen Betrachtung werden derzeit vervollständigt. Um künftige Auswertungen von Ökobilanzen zu erleichtern, werden auf dieser Grundlage innovative Methoden zur Reduzierung der Komplexität ökobilanzieller Ergebnisse entwickelt. Die Vielfalt der unterschiedlichen Maßnahmen stellt hierbei eine zusätzliche Herausforderung dar. Ebenso spielen die potenziellen Auswirkungen eines möglichen Upscalings von Best-Practice-Maßnahmen auf nationaler Ebene eine entscheidende Rolle in den Überlegungen. Aus dem Forschungsprojekt werden wichtige Erkenntnisse für die Fortentwicklung von State-of-the-Art-Methoden, und zwar (*attributional*) Methoden im Life Cycle Assessment, insbesondere in Richtung *konsequenzorientierter* und *prospektiver* Ansätze, erwartet.



Abb. 9: KliReGeM-Projektworkshop an der Hochschule Pforzheim. Foto: privat

### **CIRCUMOD – Circular Economy Modelling for Climate Change Mitigation**

Das INEC ist Teil eines sehr renommierten Konsortiums beim Projekt „CIRCUMOD“, das die Circular Economy (CE) in den wichtigsten ökonomischen und ökologischen Modellen abbilden wird. Das Ziel ist hierbei, mithilfe der Verknüpfung der verschiedenen Modellansätze den Beitrag der CE zum Klimaschutz bestimmen zu können. CIRCUMOD wird politische Entscheidungsträger auf nationaler, EU- und internationaler Ebene mit wichtigen Erkenntnissen ausstatten, indem es (i) die erste wissenschaftliche Modellierung des Potenzials von CE-Strategien für Umwelt, Klima und Wirtschaft und (ii) angereicherte CE-Datensätze bereitstellt, die für politische Erkenntnisse, die Überwachung von CE-Interventionen und Wechselwirkungen mit dem Klima notwendig sind. CIRCUMOD wird Szenario-Ergebnisse unter Berücksichtigung von CE-Strategien liefern, die die derzeit in Betracht gezogenen Strategien zur Erreichung der Klimaziele erweitern werden, und dabei helfen, eine der größten Herausforderungen der kommenden Jahrzehnte anzugehen.

Der Beitrag des INEC umfasste dieses Jahr die Sammlung und Koordinierung von Daten zur Kupferherstellung und Datensammlung im Bereich der End-of-Life-Prozesse. Zudem wurde die Entwicklung sogenannter CE-Profile begonnen. Diese Profile werden später dazu dienen, die Projektergebnisse zusammenzufassen und zu kommunizieren. Dabei werden sie die Material- und Treibhausgas-Einsparungspotenziale der verschiedenen CE-Strategien von spezifischen Materialien, Produkten bzw. Sektoren und Regionen beschreiben.



Abb. 10: Teilnehmende des CIRCOMOD-Projekttreffens in Venedig. Foto: privat

### **Neues Projekt: präziSort – Entwicklung und Errichtung einer Pilotanlage mit integraler Detektion zur präzisen Einzelstreckensortierung von Kunststoffabfall**

Im vom Land Baden-Württemberg geförderten Projekt präziSort wird das Ziel verfolgt, eine Pilotanlage zu dem neuen Sortierverfahren von Polysecure zu entwickeln und zu errichten, das die bei Kunststoffen niedrige Recyclingquote wesentlich erhöhen kann.

Der Projektteil der Hochschule Pforzheim wird von Prof. Woidasky und Prof. Lang-Koetz geleitet. Dort werden Begleitforschungsaktivitäten zur Anlagenentwicklung des Projektpartners Polysecure durchgeführt. Forschungsziele sind (1) die Bereitstellung von wirtschaftlichen, technischen und ökologischen Werkstoff-, Planungs- und Marktdaten für die Kreislaufführung der im Fokus des Vorhabens stehenden Objektströme und (2) die Optimierung und Bewertung der Pilotsortieranlage über Sortierversuche, Integration von Stakeholdern und deren Anforderungen sowie Berücksichtigung von Werkstoff-, Planungs- und Marktdaten. So ist insbesondere eine umfangreiche Erfassungs- und Sortierstudie zu Qualität und Quantität des Anfalls von Leichtverpackungen geplant. Es werden zudem Innovationsmethoden bei der Verfahrensentwicklung und Markteinführung des Verfahrens angewendet. Weiterhin werden umweltrelevante Prozessdaten erfasst und eine entwicklungsbegleitende Ökobilanz für das Verfahren erstellt.

### **Neues Projekt: PFAS: Anwendung, technische Funktionen und Substitutionsmöglichkeiten in der Industrie**

Per- und Polyfluoralkylsubstanzen (PFAS) sind organische Verbindungen aus Kohlenstoffketten, bei denen die Wasserstoffatome vollständig oder teilweise durch Fluoratome ersetzt sind. Sie werden in vielen Anwendungsfeldern in der Industrie und in Endprodukten eingesetzt, wie

z.B. in der industriellen Produktion, in Dichtungen, Schmierstoffen, Verpackungen, Metallbeschichtung, in Medizintechnik-Produkten, elektronischen Geräten, Solarzellen, Brennstoffzellen, Batterien, im Baubereich und auch in Consumer-Produkten. Aufgrund ihrer Wirkungen auf Umwelt und Menschen und ihrer Persistenz werden PFAS aktuell stark diskutiert und auf EU-Ebene wurde eine Initiative hin zu möglichen Stoffverboten angestoßen. Daher wurden im Auftrag des Thinktank Industrielle Ressourcenstrategien in einer Metastudie unter Leitung von Prof. Lang-Koetz Stoffe in Zusammenarbeit mit der Firma TIM Consulting Stoffgruppen ermittelt, die das Potenzial besitzen, die technischen Funktionen von PFAS zu ersetzen. Unter Nutzung von Softwaretools auf Basis von Künstlicher Intelligenz (KI) wurden in einem umfangreichen Datenpool von Materialforschungsveröffentlichungen mögliche Substitute identifiziert und strukturiert ausgewertet. Die Ergebnisse werden in einer Studie Anfang 2024 veröffentlicht.

### **GrüNetz: Markteintritt grüner Gründungen durch zielgerichtete Vernetzung mit dem Mittelstand stärken**

Das von der Deutschen Bundesstiftung Umwelt geförderte Projekt GrüNetz (Bearbeitung am INEC durch Prof. Lang-Koetz und Anina Kusch) wurde zusammen mit Umwelttechnik BW GmbH und Grünhof GmbH durchgeführt. Dabei wurde das Thema Matchmaking und Kooperation zwischen GreenTech Startups und dem Mittelstand in Baden-Württemberg wissenschaftlich untersucht, analysiert und erste Erkenntnisse wurden in der Praxis erprobt. Die Ergebnisse des Projekts wurden in einem Leitfaden zur strategischen Vernetzung von GreenTech Start-ups und dem Mittelstand („Handbuch grünNetz“) veröffentlicht. Es bietet Unterstützung bei der systematischen Förderung von regionalen Kooperationen zwischen Startups und Unternehmen sowie dem Auf- und Ausbau regionaler Startup-Ökosysteme und deren Vernetzung. Das Projekt wurde 2023 abgeschlossen.

### **Projektcluster Nachhaltige Gemeinschaftsverpflegung**

Das Themenfeld der nachhaltigkeitsorientierten Gemeinschaftsverpflegung wird am INEC mit den beiden neu bewilligten Vorhaben: „**KlimaFreizeit**“ und „**Reallabor Außer-Haus-Verpflegung**“ abgedeckt:

Das durch die deutsche Bundesstiftung Umwelt geförderte Vorhaben „**Klimasensible Gemeinschaftsverpflegung auf Freizeiten: Entwicklung einer Online-Lösung für Ehrenamtliche zur praktischen deutschlandweiten Umsetzung**“ (Akronym: KlimaFreizeit) ermöglicht die Weiterentwicklung einer Online-Planungslösung für durch Ehrenamtliche zubereitete Gemeinschaftsverpflegung. Freizeit- und Bildungsmaßnahmen für Kinder und Jugendliche finden oft aus Kostengründen in Selbstversorger-Häusern statt. Neben der inhaltlichen Gestaltung sind die Ehrenamtlichen hier auch für die Planung und Zubereitung der Verpflegung zuständig. Dazu hat die Hochschule Pforzheim gemeinsam mit Partnern in den vergangenen Jahren das Online-Tool „DEATER.info“ entwickelt, das die einfache Planung und Hochrechnung von Mengen für große Gruppen mit praxistauglichen und bewährten Rezepten ermöglicht. Durch eine Förderung der Deutschen Bundesstiftung Umwelt für das Vorhaben wird nun eine Weiterentwicklung von DEATER.info möglich, die auch die Klimawirkung verschiedener Rezepte bestimmen und als Auswahlkriterium bei der Essensplanung bereitstellen kann. Darüber hinaus werden in diesem Projekt mehrere Modellregionen untersucht, um den Ehrenamtlichen auch den einfachen Einkauf regionaler Lebensmittel zu ermöglichen. Eine zentrale Forschungsfrage des Vorhabens ist dabei, welche Gesamt-Klimawirkungen die Reiseform „Freizeit- und Bildungsmaßnahmen“ hervorruft. Dies wird durch eine zweistufige Befragungswelle von Ehrenamtlichen umgesetzt.

Die Einbeziehung der Ehrenamtlichen wird durch eine Projektpartnerschaft mit der Evangelischen Jugend auf dem Lande Baden-Württemberg (ejl) sichergestellt. Der ejl-Jugendreferent Micha Schradi war ebenso wie der Projektpartner Johannes Häfele, der Unternehmen im Bereich des Lebensmittelhandels berät, an gemeinsamen Vorlaufervorhaben beteiligt, so dass eine bewährte Partnerschaft fortgesetzt wird. Unterstützt wird das Vorhaben durch Malina Bachert, Absolventin des Pforzheimer Master-Studienganges „Life Cycle & Sustainability“. Sie hat sich bereits im Rahmen ihrer Masterarbeit mit der Umweltbewertung regionaler und saisonaler Lebensmittel beschäftigt. Das KlimaFreizeit-Vorhaben unter Leitung von Dr. Jörg Woidasky, Professor für nachhaltige Produktentwicklung an der Hochschule Pforzheim, kooperiert darüber hinaus mit dem Landesjugendring Baden-Württemberg und sichert so eine breite Anwendbarkeit für Ehrenamtliche.

Die Außer-Haus-Verpflegung im professionellen Bereich ist Forschungsgegenstand im „**Real-labor Außer-Haus-Verpflegung**“, das als Teilprojekt im Rahmen des baden-württembergischen „Strategiedialogs Landwirtschaft“ unterstützt wird. Das Ziel des Vorhabens ist am Beispiel einer größeren Kantine zu untersuchen, wie die Zielmarke des Landes „30 Gew.-% Bio in Kantinen des Landes“ erreicht werden kann. Gemeinsam mit einem Betriebsrestaurant eines großen Industriebetriebes in Stuttgart werden Verbrauchsmuster und Kundenanforderungen erfasst, ausgewertet und als Unterstützung für die Landesregierung gemeinsam mit weiteren Stakeholdern aus dem Ernährungsbereich zu Handlungsempfehlungen verdichtet.



Abb. 11: Beim KlimaFreizeit-Projektteam steht die Ernährung im Mittelpunkt (v.r.n.l.: Johannes Häfele/Financial Coaching; Malina Bachert/Hochschule Pforzheim, Micha Schradi/Ev. Jugend auf dem Lande Baden-Württemberg, Julia Widmann/Landesjugendring Baden-Württemberg, Prof. Dr. Jörg Woidasky/Projektleiter, Hochschule Pforzheim)

### Projekte WELLE 4,5 und WELLE 67

Das Drittmittelprojekt „Weiterentwicklung Lean Logistics – WELLE 4,5“ mit dem Industriepartner LGI GmbH konnte im Jahr 2023 erfolgreich abgeschlossen werden. Die Konzeption einer Ideallogistik nach den Prinzipien der schlanken Logistik (Lean Logistic) wurde weiterentwickelt

und hierbei eine neue Form für einen logistischen Wertstrom entwickelt und angewendet. Gerade im Umfeld einer Logistik wird die Wertstrommethodik hierbei weiterentwickelt, da in einer Supply Chain andere Parameter und Bedingungen auftreten als in einer Produktion. Die Umsetzungen und Erfahrungen finden pilothaft in Umsetzungsprojekten an verschiedenen Standorten durch Lean-Expertinnen und -experten des Unternehmens statt. Die Ergebnisse werden zurückgeführt in die Weiterentwicklung der Analysemethoden und die weitere Verbesserung der Methodik.



Abb. 12: Projektteilnehmer/-innen der Lean-Logistic-Umsetzungen bei LGI mit Geschäftsleitung (links) sowie Bereichs- und Projektleitung mit Prof. Dr. Bertagnolli (rechts). Foto: LGI

Mit dem Anschlussprojekt „WELLE 67“ wurde im vierten Quartal des Jahres bereits das Anschlussprojekt gestartet. Hierbei steht die Weiterentwicklung einer effizienten Logistik inklusive der Verbindung von Digitalisierung im Mittelpunkt. Im Unterschied zur Lean-Einführungsreihenfolge einer Produktion ist diese in logistischen Prozessen nur bedingt anwendbar. Über die Praxisfallbeispiele werden sinnvolle Einführungsreihenfolgen experimentell mit verschiedenen Digitalisierungsstufen und unterschiedlichen Lagerstufen untersucht und durch Lean- und Logistik Kennzahlen evaluiert.

### **Projekte High-5 und Fuenf+1**

Bei der Witzenmann GmbH in Pforzheim fanden in 2023 zwei Projekte zum Thema Lean statt. Das Projekt „High-5“ konnte bereits Ende Januar 2023 erfolgreich abgeschlossen werden.

Aus bestehenden Erkenntnissen wurde eine Bewertungsmethodik zur Einschätzung von Lean-Reifegraden in unterschiedlichsten Produktionsbereichen erzeugt. Dabei wurden auch weitere Verschwendungsarten, die Kultur und unterschiedliche Produktionssysteme (Einzelstück bis Massenfertigung) berücksichtigt.

Aus der neuen Buchpublikation „Lean Empowerment“ (2023, Schäffer-Poeschel) von Frank Bertagnolli flossen Studienerkenntnisse zu den Themen „Mensch im Mittelpunkt“, Führung und Kultur im Kontext von Lean ein. Das Ergebnis ist ein neues Bewertungsmodell in Form eines Tools mit Analysemethodik und Fragenkatalog zur Lean-Reifegradmessung. Die neue Methodik ist universell einsetzbar und unabhängig von den Produktionsvariablen. Die Vorgehensweise wurde pilotiert und in unterschiedlichen Bereichen evaluiert.

Mit dem Folgeprojekt Fuenf+1 wird die Zusammenarbeit zum Thema „Forschende Untersuchung erfolgreicher und nachhaltiger Fertigungsoptimierung und Berücksichtigung der Kaizen-Kultur“ bis 2024 fortgesetzt. Die Fragestellung ist hierbei, welchen Stand und welche Einflüsse die Faktoren Mensch, Führung und Kultur auf das Themenfeld der betrieblichen Verbesserungsprozesse haben. Des Weiteren ist von Interesse, wie Optimierungsmaßnahmen in diesem Zusammenhang langfristig und erfolgreich umgesetzt werden können. Der Forschungsansatz basiert auf einer Analyse und Untersuchung von kulturellen Zusammenhängen bei der Umsetzung eines Lean-Leuchtturms durch eine Evaluierung der Bereiche im Rahmen von Shopfloor-Management-Runden und Befragungen. Berücksichtigt werden unterschiedliche Bereiche und unterschiedliche Firmenstandorte, welche sich auch im europäischen Ausland befinden.

### Publikationen

Der Raum der Fragen, für die wir im Zuge globaler und lokaler Umweltprobleme Antworten benötigen, erscheint grenzenlos und das Finden des „richtigen“ Pfades für den Wandel zunehmend utopisch. Wie behalten wir angesichts hochkomplexer Zusammenhänge und Wechselwirkungen den Überblick? Wie können wir Wesentliches vom Unwesentlichen unterscheiden? Welche grundlegenden Beziehungen in der Natur müssen wir in Rechnung stellen? Was ist gerecht? Und unter welchen Bedingungen sind Menschen veränderungsbereit?

Das im Springer-Verlag erschienene Buch „**Nachhaltiges Handeln in Wirtschaft und Gesellschaft. Orientierung für den Wandel**“, an dem INEC-Mitarbeiter Marco Rudolf als einer von fünf Autoren beteiligt war, bietet Orientierung zu obigen Fragen. Es behandelt Konzepte aus den Natur-, den Wirtschaftswissenschaften und der Philosophie – u.a. Zeit, Thermodynamik, Knappheit, Verantwortung und Gerechtigkeit –, die aus verschiedenen Blickwinkeln ein Verständnis der anstehenden Transformation zur Nachhaltigkeit ermöglichen. Idealerweise dienen sie als Leitlinien für wirksame Entscheidungen und zeigen auf, wie trotz immenser Herausforderungen Wandel möglich wird.

Wie können kleine und mittlere Unternehmen (KMU) bzw. ihre Mitarbeitenden Innovationen in ihrer Organisation voranbringen und umsetzen? Dazu wurde, aus dem am INEC durchgeführten Forschungsprojekt InnoDiZ heraus, das Open-Access-Buch „**Ambidextres Innovationsmanagement in KMU**“ im Springer Verlag veröffentlicht: Dort stellen Prof. Dr. Lang-Koetz und Ko-Autorinnen und -Autoren praxisnahes Wissen über Konzepte und Methoden für das Innovationsmanagement vor. Es werden Lösungsansätze für Herausforderungen im gesamten Innovationsprozess – von der strategischen Orientierung über Ideengewinnung, -bewertung und -auswahl bis zur Umsetzung – aufgezeigt. Ein Kapitel zeigt auf, wie KMU ihr Innovationsmanagement auf das Thema Nachhaltigkeit ausrichten können.

Eine besondere Publikation konnte das INEC im November verzeichnen: Ein Artikel in Kooperation mit der brasilianischen Bundesuniversität UFOPA in Santarem zu den Umweltbelastungen des Goldabbaus im Amazonas Regenwald wurde von der Zeitschrift Nature angenommen und in der Spezialausgabe Nature Sustainability veröffentlicht.

### Vorträge und Veranstaltungen

Das vom INEC am 16. Juni 2023 veranstaltete 2. Symposium für Nachhaltigkeit und Ressourceneffizienz an der Hochschule Pforzheim widmete sich der Circular Economy (CE) und zog etwa 200 Gäste an. Die Veranstaltung behandelte die Rolle der CE bei der klimafreundlichen Transformation der Wirtschaft. Referentinnen und Referenten wie Prof. Pauliuk und Dr. Wiprächtiger beleuchteten die wissenschaftliche Perspektive der CE. Praktische Beispiele zur Umsetzung wurden von Unternehmen wie Bosch und d&b audiotechnik präsentiert. BarCamps

ermöglichten Diskussionen zu Themen wie IT in der CE und CE in Entwicklungsländern. Das Symposium war ein Erfolg und unterstreicht die Relevanz der CE.

Am 12. Oktober 2023 fand die Veranstaltungsreihe „Industrie trifft Hochschule“ zum Thema „Energiemanagement und Klimaschutz im Unternehmen – Pflicht oder Chance?“ statt. In ihrem Beitrag „Klimaschutz und Energiemanagement in Forschung und Praxis an der Hochschule Pforzheim“ stellte Prof. Dr. Ingela Tietze gemeinsam mit Isabel Rittmann, Mitarbeiterin für das Thema Klimaschutz, die Aktivitäten der Hochschule Pforzheim im Bereich Energiemanagement und Klimaschutz vor. Darüber hinaus gab sie Einblicke in drei Forschungsprojekte, in denen mit Unternehmen innovative Ansätze für Energiemanagement und Klimaschutz erprobt werden. Andreas Kunkel von der Ensinger Mineral-Heilquellen GmbH nahm mit seinem Vortrag „Verbesserung der Ressourceneffizienz – Potenziale des Klimaschutzes“ das Plenum mit in die Praxis. Im Vortrag „Nachhaltige Innovationen: die SWP als Möglichmacher für Klimaschutz-Ziele in Pforzheim“ von Valentin Heyer und Bertil Kilian, von den SWP Stadtwerken Pforzheim GmbH & Co. KG, stand eine der sechs Kernkompetenzen der SWP im Vordergrund: „Klimaschutz“. In der anschließenden Fragerunde und beim Get-together wurde noch lange zu Best-Practice-Ansätzen für Unternehmen diskutiert.

Im September fand an der TU Darmstadt die Ökobilanz-Werkstatt mit Nachwuchswissenschaftlern aus ganz Deutschland statt. Prof. Dr. Mario Schmidt hielt eine Keynote Speech über die 10 Herausforderungen an Daten, Methoden und Tools bei Ökobilanzen (LCA) und Carbon Footprints.



Abb. 13: Ökobilanzwerkstatt an der TU Darmstadt. Foto: TU DA

Wie jedes Jahr im November fand der Ressourceneffizienzkongress des Landes Baden-Württemberg statt, diesmal wieder in Stuttgart mit über 1.000 Teilnehmern aus der Wirtschaft, Wissenschaft und Politik. Das INEC war mit zwei mehrstündigen Foren beteiligt, einmal zum Thema „Scope 3 im Zeichen von Emissionsminderung und Klimaneutralität“ und zu „Circularity Navigator – Entscheidungsunterstützung für die industrielle Produktentwicklung“.

Am 8. Dezember fand das 3. Symposium Nachhaltigkeit und Ressourceneffizienz statt, das sich mit den neuen Pflichten zur Nachhaltigkeitsberichterstattung ab Januar 2024 befasste. Trotz Bahnstreiks und Krankheitswelle nahmen rund 300 Teilnehmerinnen und Teilnehmer vor Ort und online teil. Expert/-innen aus Unternehmen, Wissenschaft und NGOs diskutierten die Herausforderungen und Potenziale der Berichterstattung. Die Veranstaltung verdeutlichte den erheblichen Aufwand für Unternehmen, zeigte jedoch auch das Potenzial, sämtliche Bereiche

auf Nachhaltigkeitsziele auszurichten. Die hohen Teilnehmereanzahlen signalisieren den dringenden Klärungsbedarf in der Nachhaltigkeitsberichterstattung.



Abb. 14: Das 3. Symposium „Nachhaltigkeit und Ressourceneffizienz“ an der Hochschule Pforzheim im Dezember 2023. Foto: INEC

### Mitgliedschaften

2023 wirkte Prof. Dr. Hendrik Lambrecht als Mitglied einer Arbeitsgruppe des Wissenschaftsrates (WR) an der Erarbeitung einer Stellungnahme zum fachrichtungsgebundenen Promotionsrecht für die Hochschule für Angewandte Wissenschaften (HAW) Hamburg mit. Sein fachlicher Schwerpunkt lag bei der Begutachtung des Promotionsprogramms „Sustainable Technologies and Systems“. Nach mehreren Beratungsterminen sowie einer eingehenden Ortsbegehung hat die Arbeitsgruppe eine Empfehlung für die Verleihung des Promotionsrechts durch die Freie und Hansestadt Hamburg ausgesprochen.



Abb. 15: Die Mitglieder des Richtlinienausschusses der VDI 4800 „Ressourceneffizienz“ Blatt 3 ESTEM. Foto: VDI

Im September 2023 wurde unter Leitung von Prof. Dr. Mario Schmidt die Arbeit des Richtlinien-Ausschusses des Vereins Deutscher Ingenieure zu der VDI 4800 Blatt 3 „Einfache Standardisierte Vorgehensweise zur Ermittlung der eingesparten THG-Emissionen von Projekten zur

Materialeffizienz (ESTEM)“ aufgenommen. Ziel ist die Entwicklung einer vereinfachten Methode zur Berechnung von THG-Emissionen für die Maßnahmenbewertung bei öffentlichen Förderprojekten.

Im Juni und im Dezember fanden die halbjährlichen Sitzungen der Jury Umweltzeichen Blauer Engel unter Co-Leitung von Prof. Dr. Mario Schmidt statt. Dort wird über die Vergaberichtlinien des weltweit ältesten Umweltzeichens für Produkte entschieden. Die Jury ist von der Bundes-Umweltministerin berufen. Das Zeichen wird vom Umweltbundesamt inhaltlich betreut.



Abb. 16: Die Jurymitglieder Blauer Engel bei ihrer Sitzung im Dez. 2023 in Berlin. Foto: UBA

Über zwei Jahre lief die vom Bundeswirtschaftsministerium initiierte Dialogplattform Recyclingrohstoffe unter Beteiligung von Wissenschaftlern und entsprechenden Unternehmen aus ganz Deutschland. Mit dabei war Prof. Dr. Mario Schmidt. Im November war dann die Abschlussveranstaltung mit der Präsentation der Ergebnisse in Berlin.



Abb. 17: Abschlussveranstaltung beim Bundeswirtschaftsministerium in Berlin mit MdB Dr. Sandra Detzer (rechts) und Prof. Dr. Christoph Hilgers (links) vom KIT

## Gastwissenschaftler

Dr. Juliano Bezerra de Araújo forschte in der zweiten Hälfte des Jahres 2023 als Postdoktorand und Gastwissenschaftler am INEC. Seine Forschung konzentrierte sich auf Themen im Zusammenhang mit der Kreislaufwirtschaft und deren Auswirkungen auf Unternehmensprozesse, insbesondere in den Bereichen Produktentwicklung, Lebenszyklusanalyse und praktische technische Anwendungen. Ein weiteres Thema, das während des Forschungszeitraums behandelt wurde, war eine kritische Analyse der Trends in ESG- und Nachhaltigkeitsberichten von Unternehmen.

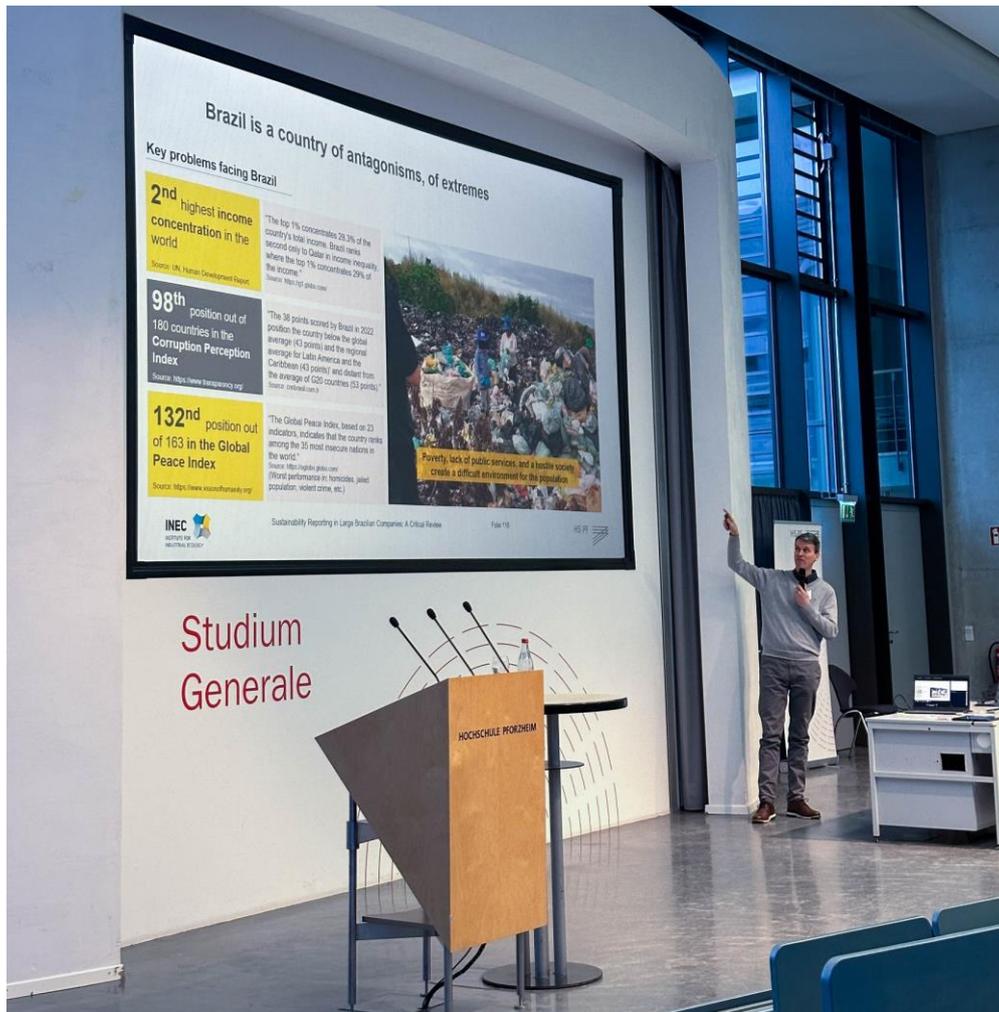


Abb. 18: Vortrag Dr. Juliano Bezerra de Araújo auf dem 3. Symposium Nachhaltigkeit und Ressourceneffizienz.  
Foto: Tobias Viere

**Institutsleitung: Prof. Dr. Mario Schmidt, Prof. Dr. Claus Lang-Koetz (Stellvertreter)**

Weitere Informationen: <http://umwelt.hs-pforzheim.de>

## 1.2.2 Institut für Smart Systems und Services – IoS<sup>3</sup>

---

Das Jahr 2023 verlief für das Institut wiederum sehr erfolgreich. Es wurden sowohl laufende Forschungsprojekte weitergeführt bzw. abgeschlossen als auch eine Reihe neuer Projekte akquiriert.

### **Im Jahr 2023 sind die folgenden Forschungsprojekte neu hinzugekommen:**

- CareWarn – Vitalmonitoring – CareWarn / Wearable für die Sturzerkennung und -prophylaxe pflegebedürftiger Menschen (Prof. Dr. Benno Dömer)
- greenProd – Energieoptimierte Produktion mit grünen Digitalen Zwillingen (Prof. Dr. Thomas Greiner, Prof. Dr.-Ing. Rainer Drath, Prof. Dr. Ingela Tietze (INEC))
- NEOSPEK – Neue Sensorik für die multispektrale klinische Bildgebung (Prof. Dr. Stefan Kray, Prof. Dr. Thomas Greiner)
- LGD 2023 – Automotive Displays including Switchable Privacy Displays (Prof. Dr. Stefan Reichel, Prof. Dr. Karlheinz Blankenbach)

### **Die folgenden Projekte wurden im Jahr 2023 weitergeführt:**

- METHODS – Modular Engineering Techniques for Heterogeneous Discrete Systems (Prof. Dr.-Ing. Rainer Drath, Prof. Dr. Thomas Greiner)
- IDEAS – Integrated Data Models for the Engineering of Automation Security (Prof. Dr.-Ing. Rainer Drath)
- ASZ – Automatisierte Sensor-basierte Zugangssteuerung (Prof. Dr. Thomas Greiner, Prof. Dr. Stefan Kray)
- KISA – Hybride künstliche Intelligenz für intelligente Sensoren und Aktoren in der Produktion (Prof. Dr. Thomas Greiner, Prof. Dr.-Ing. Rainer Drath, Prof. Dr. Alexander Hetznecker, Prof. Dr. Norbert Schmitz)
- EcoAction – Action to Boost Ecosystem Impact through Cross-partner Learning (Prof. Dr. Bernhard Kölmel, Prof. Dr. Rebecca Bulander)
- TraFoNetz – Aufbau einer Wissensbasis zur Plattformökonomie (Prof. Dr. Bernhard Kölmel, Prof. Dr. Rebecca Bulander, Prof. Dr. Ansgar Kühn, Prof. Dr. Rainer Wunderlich, Prof. Dr. Claus Lang-Koetz, Prof. Dr. Frank Bertagnolli)
- TraFoNetz NSW – Transformationsnetzwerk Kollaborationsplattformen – Fahrzeug- und Zulieferindustrie Nordschwarzwald (Prof. Dr. Bernhard Kölmel, Prof. Dr. Rebecca Bulander)

Im Folgenden wird näher auf die einzelnen Projekte eingegangen:

### **CareWarn – Vitalmonitoring – CareWarn / Wearable für die Sturzerkennung und -prophylaxe pflegebedürftiger Menschen (Prof. Dr. Benno Dömer)**

Ziel des ZIM-Projekts „CareWarn“ ist es, dass geriatrische Personen länger autark in der eigenen Wohnung oder mit größerer Autarkie im Pflegeheim leben können. Dafür sollen Wearables entwickelt werden, die bei kritischen Situationen wie Stürzen und bei akuten Verschlechterungen des Gesundheitszustands Pflegende und/oder Angehörige sicher benachrichtigen, ohne dabei in zu hoher Zahl Fehlalarme zu produzieren.

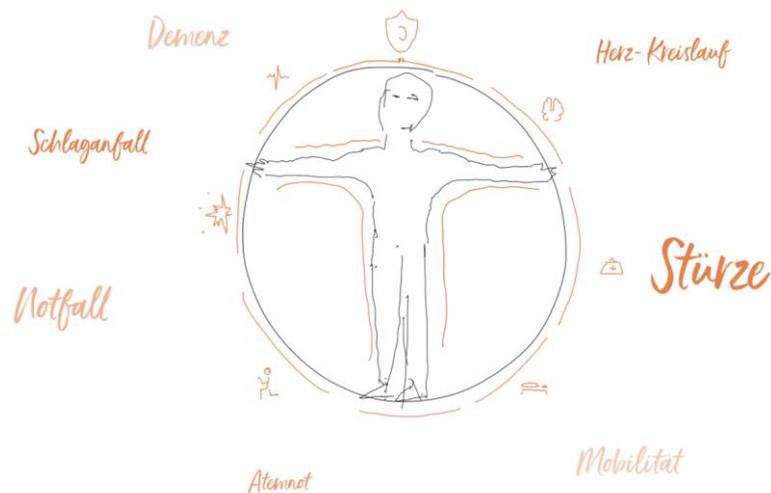


Abb. 1: Kontext des Projekts „CareWarn“

Funktionen wie Sturzerkennung oder Kreislaufüberwachung sind zwar bereits in Consumer-Wearables wie Smartwatches integriert. Deren Sensitivität und Spezifität für das Erkennen kritischer Situationen sind jedoch nicht hinreichend, und auch in Bezug auf Anwendung, Einbindung und Handhabung sind die Geräte nicht für geriatrische Träger/-innen und das pflegende Umfeld optimiert und geeignet. Hier setzt CareWarn an: In Zusammenarbeit mit der AG Pflegeforschung der Charité Berlin als Forschungspartner und mit der Firma Goldschnitt (Heidenheim) als Industriepartner mit Expertise für Benutzerschnittstellen werden die Systeme auf den Bedarf der Geriatrie optimiert. Die Hochschule Pforzheim übernimmt die Entwicklung der technischen Funktionsmuster, was die Sensorik, Energieversorgung und drahtlose Datenübermittlung beinhaltet. Der Konsortialführer wisoTech (Heidelberg) entwickelt die lernfähigen Klassifikationsalgorithmen, die ausgehend von der individuellen Baseline der jeweiligen Träger/-innen der Wearables Akutsituationen sicher erkennen können.

Im Projekt werden verschiedene Forschungsfragen adressiert. So ist zunächst zu klären, welche Situationen und Notfälle in der Geriatrie relevant und zu erkennen sind. Dann ist zu erforschen, an welchen Messorten und mit welchen Sensorgeometrien die Signale erfasst werden können, mit denen sich die entsprechenden Akutsituationen sicher erkennen lassen. Die dafür optimalen Klassifikationsverfahren sind ebenfalls im Projekt zu erforschen, wobei der Ansatz verfolgt wird, die Klassifikation durch selbstlernende Algorithmen individuell an jede Person, die das System trägt, anzupassen. Die besondere Herausforderung besteht darin, ein System zu entwickeln, das angenehm und unauffällig rund um die Uhr getragen werden kann sowie in den pflegerischen Alltag passt.

Die im Projekt entstehenden Funktionsmuster können bei der Charité direkt in der Pflegepraxis getestet werden. Nach Projektende soll das System als Medizinprodukt weiterentwickelt und auf den Markt gebracht werden.

### **greenProd – Energieoptimierte Produktion mit grünen Digitalen Zwillingen (Prof. Dr. Thomas Greiner, Prof. Dr.-Ing. Rainer Drath, Prof. Dr. Ingela Tietze (INEC))**

Die Energiewende soll den Ausbau der Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien voranbringen sowie eine sichere, bezahlbare und umweltschonende Energieversorgung ermöglichen. Da die Versorgung mit regenerativer Energie maßgeblich vom Wetter abhängig ist, ergeben sich im Tagesverlauf Überschüsse und Defizite. Hierzu bedarf es einer flexiblen Produktion, die dynamisch auf veränderliche Energieangebote reagiert.

Im Rahmen des Projektes wird den folgenden Forschungsfragen nachgegangen:

1. Wie können neue zu konzipierende grüne Digitale Energiezwillinge (gDEZ) basierend auf der Industrie-4.0-Verwaltungsschale als Stellvertreter für Produktionsschritte, Produkte und den Anlagen zur Erzeugung und Speicherung regenerativer Energien entworfen und realisiert werden?

Mittels der gDEZ soll der Energieverbrauch/die Energieerzeugung detailliert zugeordnet werden.

2. Wie können Prädiktionsmodelle für verlässliche Prognosen zur Nutzung von grünem Strom wie Windkraft oder Solarenergie schon in der Produktionsplanung berücksichtigt werden?

Energieintensive Arbeitsschritte können so vorrangig dann durchgeführt werden, wenn regenerativer Strom in ausreichendem Maße zur Verfügung steht.

3. Wie sieht ein Automatisierungssystem aus, das flexibel auf das Angebot regenerativer Energie reagieren kann?

Hierzu werden Informationsmodelle in Form der gDEZ für die verwendeten Energieverbraucher, -erzeuger und -speicher modelliert und in die eingesetzten Werkzeuge integriert. Dabei werden neue Datenmodelle auf Basis von AutomationML sowie Automatisierungssoftware auf der Basis einer neu zu konzipierenden domänenspezifischen Sprache (DSL) eingesetzt. Zur Automatisierung werden neue Schnittstellen definiert, die Softwarewerkzeuge befähigen, den gDEZ in ihre Aufgaben einzubeziehen. Da das Spektrum der Verbraucher relativ heterogen ist, werden zusätzlich passende Ontologien entworfen und integriert. Hinzu kommen Funktionen, die ökonomische und ökologische Größen wie den CO<sub>2</sub>-Fußabdruck und den Energieverbrauch visualisieren.

Als Ergebnis entsteht eine Lösung für Nachfrageflexibilisierung, Lastmanagement und Echtzeitkontrolle von Energieströmen und Emissionen. Diese macht es Entscheidungsträgern in Unternehmen einfacher, nachhaltige Produktionsentscheidungen zu treffen. Durch die Bereitstellung vorkonfigurierter gDEZ und den Einsatz der DSL sollen insbesondere KMU davon profitieren.

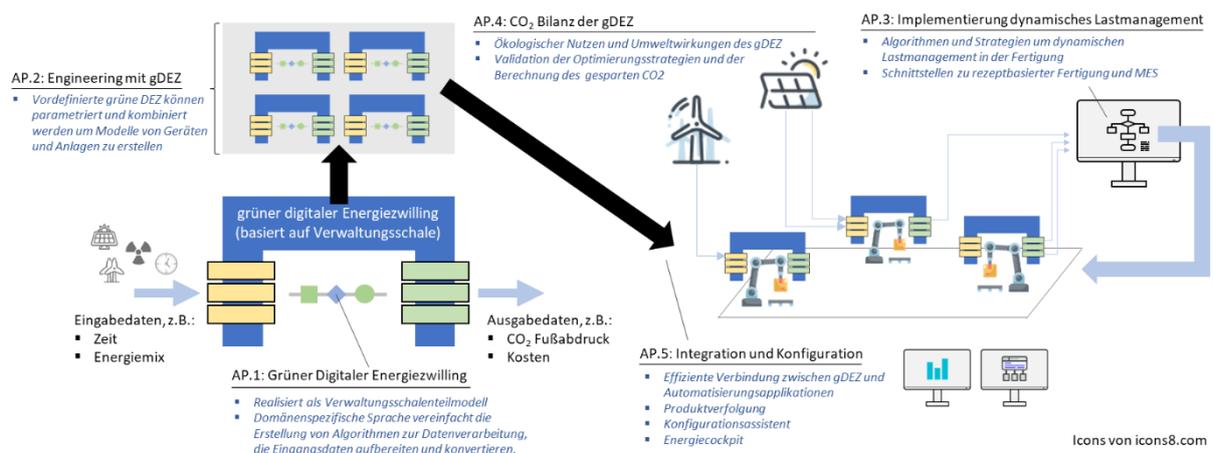


Abb. 2: Gesamtübersicht greenProd

## **NEOSPEK – Neue Sensorik für die multispektrale klinische Bildgebung (Prof. Dr. Stefan Kray, Prof. Dr. Thomas Greiner)**

Im Projekt „NEOSPEK“ soll die hyper- und multispektrale (HMS) Bildgebung als diagnostisches Tool für den klinischen Einsatz im Operationssaal etabliert werden. Bisher kommt diese Technologie nicht umfangreich zum Einsatz, da Randbedingungen wie z.B. fehlende Echtzeitfähigkeit, Unterbrechung des OP-Ablaufs sowie unzureichende Visualisierung eine Routineanwendung verhindern. Diese Einschränkungen werden durch die im Rahmen des Projektes beantragten Forschungsarbeiten aufgehoben. Folgende Forschungsfragen werden adressiert:

- Wie kann hyperspektrale- und multispektrale Bildgebung für einen klinischen Einsatz ohne Unterbrechung des OP-Ablaufs erschlossen werden?

Derzeitiger Stand der Technik beim Einsatz von HMS-Systemen ist die Unterbrechung der Operation, während das Messgerät herangefahren und minutenlang gemessen wird. Die damit einhergehende Verlängerung der OP- und Narkosezeit stellt ein Risiko für die Patienten dar und erhöht zudem die Kosten. Im Rahmen des Projekts werden lichtfeldbasierte Ansätze erforscht, um erstmals kontinuierlich spektrale Information während chirurgischer Eingriffe zu gewinnen (siehe Abbildung). Es wird untersucht, die hyperspektrale Information mit der strukturellen 3D-Information aus den Lichtfelddaten zu fusionieren und erstmalig klinisch anzuwenden. Es wird erforscht, inwieweit modulierte Beleuchtung eine Hintergrundunterdrückung im OP erlaubt und den nutzbaren Spektralbereich bis in den Infrarotbereich erweitern kann.

- Wie kann Echtzeitfähigkeit mit kompakten 3D-HMS-Systemen erreicht werden?

Bisherige publizierte Arbeiten verwenden PCs zur Akquise der Bilddaten. Solche Ansätze sind energieintensiv, platzintensiv und stehen einem Transfer in die Praxis entgegen. In diesem Projekt werden neue Ansätze erforscht, diese Einschränkungen mithilfe von eingebetteten Systemen bzw. energieeffizienten, kompakten autonomen Geräten zu überwinden. Dazu werden Hardwarelösungen erschlossen sowie neue algorithmische Ansätze zur schnellen Analyse von hyperspektralen Bilddaten erforscht. Die Systemleistung wird unter Berücksichtigung von Platzbedarf und Energieeffizienz bewertet. Dabei werden auch die Integration in bestehende klinische Systeme wie das PACS (Picture Archiving and Communication System) und die Anbindung an die vorhandene Infrastruktur berücksichtigt.

- Wie kann die Information als zusätzlicher Bildkontrast ansprechend und ohne Benutzer-eingriff dargestellt werden?

Die in der Literatur und dem Stand der Technik demonstrierten Systeme verwenden vorgefertigte und starre Darstellungsmethoden. Für einen allgemeinen Einsatz der Technologie sind Forschungsarbeiten nötig, um die multi- und hyperspektrale Bildinformation automatisch zu kontrastieren und darzustellen. Zur Adressierung dieses Rückstandes setzen wir auf den Einsatz von Künstlicher Intelligenz (KI) und erweiterter / virtueller Realität (AR/VR). Die Methodik umfasst die Erforschung neuer KI-Algorithmen, die die spektralen und räumlichen Informationen analysieren und autonom den Bildkontrast anpassen können. Gleichzeitig wird der Einsatz von AR/VR-Systemen erforscht, um eine benutzerfreundliche und ansprechende Visualisierung der HMS-Daten zu ermöglichen. Verschiedene Formen der Darstellungen werden evaluiert und durch das ärztliche Personal bewertet.



Abb. 3: Aufbau zur hyperspektralen klinischen Bildgebung unter Einsatz von echtzeitfähiger Hardware

Das Projekt wird von der Carl-Zeiss-Stiftung über einen Zeitraum von drei Jahren gefördert und erfolgt in Zusammenarbeit mit dem Fraunhofer Heinrich-Hertz-Institut und dem Klinikum Darmstadt.

### **LGD – Automotive Displays including Switchable Privacy Displays (Prof. Dr.-Ing. Steffen Reichel, Prof. Dr. Karlheinz Blankenbach)**

In diesem Forschungsprojekt werden multidimensionale photonisch-elektrisch-softwaretechnische Displaysysteme hinsichtlich verschiedener Optimierungsaspekte erforscht. Hierzu werden neue Ansätze mit besonderer Berücksichtigung der Supply-Chain-Aspekte und zukünftiger Innovationen untersucht. Insbesondere fokussiert sich das Projekt auf die Entwicklung neuartiger und effizienter optischer Messmethoden. Als Beispiele seien hier Switchable Privacy Displays (SPD) und exterior Human-Machine Interfaces (eHMI) genannt. Die Forschungsfragen und Ergebnisse werden durch Untersuchungen mit Versuchspersonen (sogenannten user-studies) parametrisiert und validiert. Exemplarisch hierfür sind Switchable Privacy Displays (SPD): die Forschungsfrage gliedert sich in blickwinkelabhängige Leuchtdichte und Uniformity. Diese Messergebnisse werden bewertet und analysiert und sollen in einem neuartigen und effizienten Messablauf resultieren. Die Ergebnisse werden auf Konferenzen und Fachtagungen präsentiert, diskutiert und publiziert.

Das Projekt gliedert sich in vier Teilprojekte, die nachfolgend detaillierter vorgestellt werden.

**Teilprojekt 1:** Es werden die Trends für Automotive Displays im Standardisierungsumfeld herausgearbeitet. Dazu erfolgt eine Erforschung des gegenwärtigen Standes der optischen Messtechnik wie beispielsweise ICDM oder DFF (für den Bereich Automotive Displays). Dies geschieht durch Diskussionen und Treffen mit Mitgliedern der entsprechenden Standardisierungs-Gremien bzw. durch aktive Teilnahme in den Gremien. Neue Messmethoden, welche als signifikant und fehlend bewertet werden, werden in die Gremien eingebracht.

**Teilprojekt 2:** Im zweiten Teilprojekt werden die zukünftigen Automotive-Display-Technologien erforscht. Zukünftige Automotive-Display-Technologien sind beispielsweise Transparent oder Switchable Privacy Displays oder aber auch exterior Human-Machine Interfaces. Dazu

werden die technischen Anforderungen sowie Herausforderungen für zukünftige Automotive-Display-Technologien auch mittels Benutzer-Studien (user scenarios) erforscht. Ebenso wird das Marktumfeld in diesem Bereich analysiert. Experten-Interviews begleiten diese Forschung mittels strukturierter Fragen und „freie Kommentare“. Neue Themen, Messtechniken oder Standardisierungen werden analysiert.

**Teilprojekt 3:** Hier werden optische Messungen (z.B. Uniformity, Luminance, Contrast, Bildqualität, etc.) für Switchable Privacy Displays mittels Benutzer-Studien (user scenarios) durchgeführt. Diese Messungen beinhalten beispielsweise Blickrichtungsabhängigkeiten des Fahrers und/oder Beifahrers in Abhängigkeit des Automotive Displays. Die Messergebnisse werden analysiert und eine Messprozedur-Empfehlung entwickelt.

**Teilprojekt 4:** Im vierten Teilprojekt werden die Ergebnisse in wissenschaftlichen Artikeln, Konferenzen und Seminaren oder aber auch in Standardisierungsgremien vorgestellt.

### **ASZ – Automatisierte Sensor-basierte Zugangssteuerung (Prof. Dr. Thomas Greiner, Prof. Dr. Stefan Kray)**

Bedingt durch die starke globale Ausbreitung des Covid-19-Virus gab es einen erhöhten Bedarf an Kontrollstellen mittels derer die Körpertemperatur von Personen im öffentlichen Raum beziehungsweise von Besuchern von öffentlichen oder privaten Gebäuden ermittelt werden kann.

Ziel des Vorhabens war die Entwicklung eines intelligenten Zugangssteuerungssystems, das die Körpertemperatur einer Person mittels eines kombinierten Sensor-/Kamerasystems bestimmt und abhängig von dem ermittelten Wert szenenbezogen universelle Schaltausgänge betätigt, so dass unterschiedliche Zugangssysteme angesteuert werden können.

Wärmebildkameras und Infrarot(IR)-Temperaturmessgeräte stellen den Stand der Technik bei der berührungslosen Temperaturbestimmung der Hautoberfläche dar. Erstere sind in vielen Fällen für eine breite Anwendung kostenintensiv, letztere erfordern eine manuelle Ausrichtung auf die Messstelle. Vor diesem Hintergrund wurde in diesem Projekt eine neue Methode zur automatisierten, berührungslosen und flächenspezifischen Temperaturmessung der Gesichtshautoberfläche erforscht und realisiert. Diese basiert auf einem neuen hybriden Sensor bestehend aus einer kostengünstigen Thermopile-Sensormatrix und einem 2D-Bildsensor. Hierzu wurde eine Ansteuerung der Thermopilen-Sensormatrix in Verbindung mit einer angepassten Signalauswertung konzipiert. Die Gesichtsf lächen werden mittels Verfahren der digitalen Signalverarbeitung detektiert. Anschließend werden die berechneten Temperaturwerte und die 2D-Bilddaten durch eine parametrische affine Transformation fusioniert. Auf Basis der Gesichtserkennung lassen sich so Temperaturwerte ausgewählten Gesichtsregionen zuordnen und gezielt zur Bestimmung der Hautoberflächentemperatur nutzen.

Anhand einer Probandenstudie wurde gezeigt, dass die Temperatur-Absolutwerte, die ohne manuellen Abgleich automatisiert erreicht werden, mit einem kommerziell erhältlichen IR-basierten Stirnthermometer vergleichbar sind.

Durch die kombinierte Lösung von Messung und aktiver Ansteuerung von Zugangskontrollen sind die Anwendbarkeit und der Nutzen des Produktes deutlich höher als bei bereits existierenden Insellösungen und Geräten mit einfacher Funktionalität.

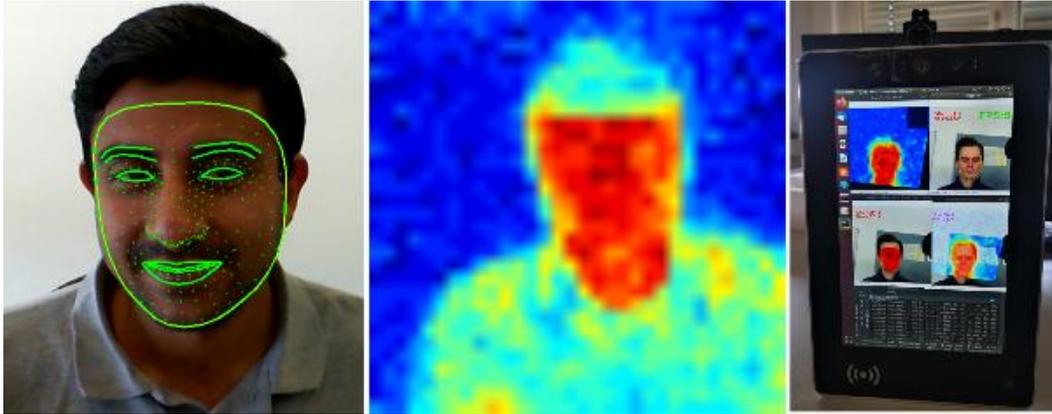


Abb. 4: Automatisierte Zugangssteuerung mit Temperaturüberwachung. Links: Automatisierte Gesichtserkennung; Mitte: Bild eines hybriden Thermopilen-Sensors; rechts: integriertes System zur Zugangssteuerung

**IDEAS – Integrated Data Models for the Engineering of Automation Security (Prof. Dr.-Ing. Rainer Drath)**

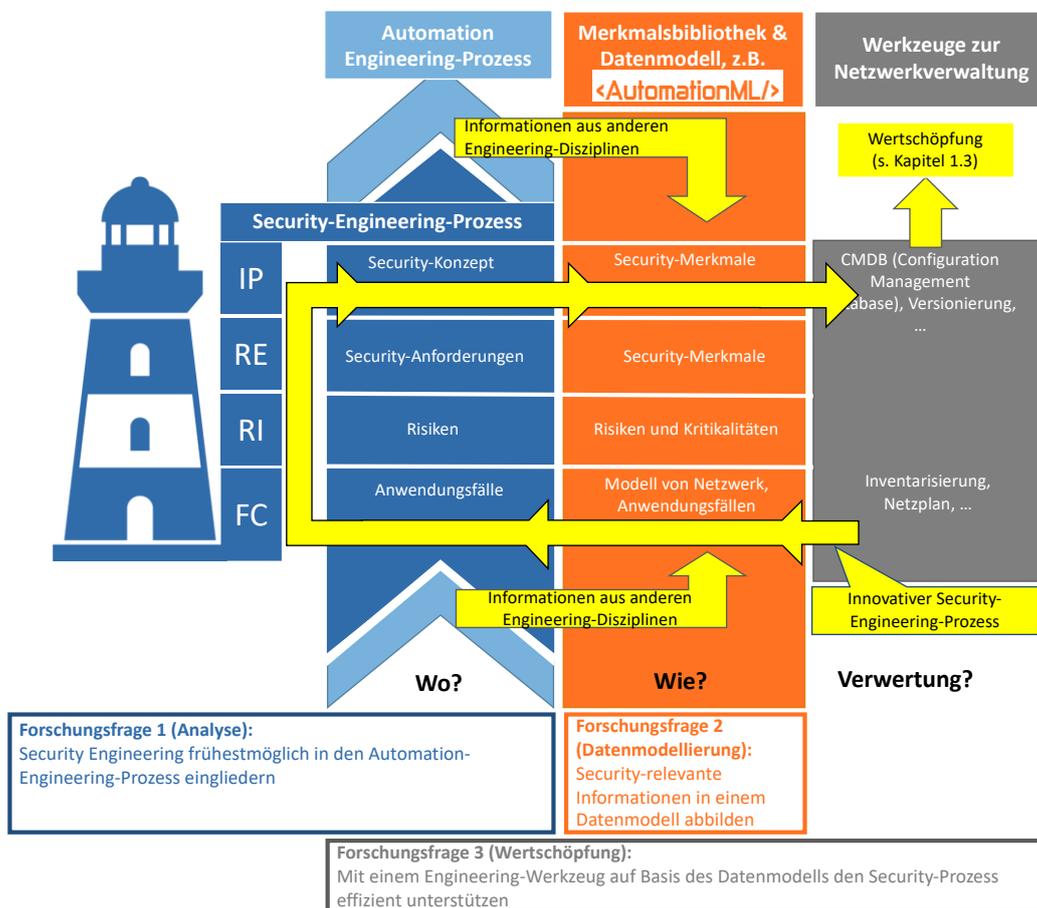


Abb. 5: Zielbild und Forschungsfragen

Gegenstand des Vorhabens ist es, den Security-Engineering-Prozess für Automatisierungssysteme erstmals effizient in den bestehenden Automation-Engineering-Prozess zu integrieren und dafür Datenmodelle und Software-Werkzeuge zu entwickeln. Zielgruppe für das Engineering-Tool sind Automatisierungs- bzw. Leittechnikingenieure, die somit Security bei der Entwicklung und Pflege ihrer Systeme im Sinne von „Security by Design“ direkt berücksichtigen können.

Dazu soll zunächst ein Phasenmodell des Engineeringprozesses für Automatisierungssysteme um Security Engineering ergänzt werden, wobei auch die relevanten Ein- und Ausgangsgrößen für das Security Engineering definiert werden. Basierend darauf wird eine Merkmalsbibliothek für die Security-Domäne erstellt, die sowohl Security-Anforderungen als auch deren Umsetzung abdeckt. Im zweiten Schritt soll durch die Entwicklung eines AutomationML-Datenmodells die Übertragung der Security-Engineering-Ergebnisse in andere Ingenieurdomänen ermöglicht werden. Schließlich wird auf Basis des Engineering-Prozesses, der Merkmalsbibliothek und des Datenmodells ein Demonstrator für ein Software-Werkzeug entwickelt, der die Anwendbarkeit des Datenmodells im Security-Engineering-Prozess nachweist. Konkret sollen die nachfolgend formulierten Forschungsfragen beantwortet werden (vgl. auch Abbildung 5).

**Forschungsfrage 1: Analyse:** Wie kann sich Security Engineering künftig frühestmöglich in den Engineering-Prozess einer automatisierten Anlage eingliedern?

**Forschungsfrage 2: Datenmodellierung:** Wie und in welchen Phasen des Automatisierungs-Engineerings können Security-relevante Informationen in einem elektronischen Datenmodell systematisch abgebildet werden?

**Forschungsfrage 3: Wertschöpfung:** Wie kann auf Basis des Datenmodells mittels eines Engineering-Werkzeugs der Security-Engineering-Prozess effizient unterstützt werden?

Das Projekt ermöglicht die Promotion von einem Doktoranden und wird in Zusammenarbeit mit dem Konsortialführer admeritia GmbH für 3 Jahre bearbeitet.

## **METHODS – Modular Engineering Techniques for Heterogeneous Discrete Systems (Prof. Dr.-Ing. Rainer Drath, Prof. Dr. Thomas Greiner)**

Das Ziel von METHODS ist die Erforschung und Entwicklung eines strukturierten und herstellernunabhängigen Engineering-Konzepts für Plug&Produce (PnP) in einer heterogenen sowie gemischt real-virtuellen Landschaft von Fertigungsmodulen. Mithilfe der damit abgezielten Wandelbarkeit, die ein Kernziel der Industrie 4.0 repräsentiert, soll zukünftig eine modulare Anlage unterschiedlicher Hersteller flexibel und adaptiv an veränderte Produktionsziele angepasst werden können.

Zum Erreichen dieser Wandelbarkeit und einer PnP-fähigen Anlage ist eine umfassende Selbstbeschreibung der Module erforderlich, d.h., es soll zuerst ein Meta-Informationsmodell für Fertigungsmodule auf Basis einer Anforderungs-, Anwendungsfall- und Literaturanalyse für heterogenes PnP entwickelt werden. Ein vielversprechender Ansatz ist die erfolgreiche Methodik des Module Type Packages der Prozessautomation, die im Rahmen dieses Projektes erstmalig auf die Domäne der diskreten Automatisierung angewandt werden soll. Die dabei entstehenden Informationsmodelle der Module sollen als Wissensbasis automatisiert in Industrie-4.0-Verwaltungsschalen (VWS) integriert werden. Anschließend sollen diese VWS in einer dafür geeigneten Industrie-4.0-Plattform automatisch vom übergeordneten Orchestrierungssystem erkannt, exploriert und zu einem geeigneten Anlagenlayout unter Berücksichtigung heterogener Semantiken orchestriert werden. Zur Erleichterung des Modul- und Anlagenengineering sollen zudem reale und virtuelle Fertigungsmodule durch ein neuartiges virtuelles Engineering verschmelzen, bei dem die VWS eines virtuellen und eines realen Moduls identisch und für das Orchestrierungssystem nicht unterscheidbar sein sollen. Ziel ist es daher, Fertigungsmodule in einer geeigneten Softwareumgebung von Anfang an virtuell zu entwickeln und zu simulieren. Daraus resultiert, dass der Entwurf, die Visualisierung, der Test und die Inbetriebnahme virtueller Module im Kontext der realen Anlage stattfinden können.

Das Projekt ermöglicht die Promotion von zwei Doktoranden und erfolgt in Zusammenarbeit mit Festo AG und Festo Didactic.



Abb. 6: Verschmelzung realer und virtueller Fertigungsmodule

### **KISA – Hybride künstliche Intelligenz für intelligente Sensoren und Aktoren in der Produktion (Prof. Dr. Thomas Greiner, Prof. Dr.-Ing. Rainer Drath, Prof. Dr. Alexander Hetzner, Prof. Dr. Norbert Schmitz)**

Im Kontext von Industrie 4.0 sind Zuverlässigkeit, Flexibilität und Anpassbarkeit wichtige Anforderungen an Sensoren und Aktoren. Self-X-Fähigkeiten erlauben es einem System, sich seines Zustands bewusst zu werden, eigenständig Handlungen abzuleiten und Anpassungen vorzunehmen. Im Rahmen des Vorhabens sollen die folgenden Forschungsfragen untersucht und geklärt werden:

1. Wie können Self-X-Fähigkeiten für intelligente Sensoren und Aktoren mit hybriden KI-Verfahren ermöglicht und genutzt werden?
2. Wie gestaltet sich ein Co-Design für hybride Verfahren der künstlichen Intelligenz für intelligente Sensoren und Aktoren?
3. Mit welchen systematischen Methoden können Daten gewonnen und Wissen aufgebaut werden?
4. Wie sieht eine hybride Embedded/Edge KI-Lösung für intelligente Sensoren und Aktoren aus?

Ziel des Vorhabens ist es, Self-X-Fähigkeiten für intelligente Sensoren und Aktoren zu erschließen und auszubauen. Hierzu werden in einem neuen hybriden Co-Design datengestützte subsymbolische Verfahren des Machine Learning mit einer symbolischen Wissensrepräsentation verbunden. Zusätzlich werden klassische, auf technischen/mathematischen Modellen basierende Ansätze ergänzt. Diese Kombination erlaubt es, die Vorteile der verschiedenen Verfahren miteinander zu verbinden und Schwächen auszugleichen. Die Umsetzung erfolgt als energieeffiziente, datensparsame Eingebettete/Edge KI-Lösung.

## **EcoAction – Action to Boost Ecosystem Impact through Cross-partner Learning (Prof. Dr. Bernhard Kölmel, Prof. Dr. Rebecca Bulander)**

Das Forschungsprojekt EcoAction basiert auf der gestaltungsorientierten Forschung (Design Science Research – DSR), bei der die Entwicklung und Evaluierung von wissenschaftlichen Artefakten (im Projekt ca. 15 Artefakte) im Mittelpunkt steht. Das übergeordnete Ziel besteht darin, ein tiefgehendes Verständnis für die Gestaltung von Rahmenbedingungen zur effektiven Multiplikation von Entrepreneurship zu gewinnen. Diese interdisziplinäre Forschung verknüpft Elemente aus empirischer Forschung, betriebswirtschaftlicher Forschung und Informatik, wobei das „Venture Clienting“ als exemplarische Illustration für die Forschungsergebnisse dient. Im speziellen Kontext des Venture Clientings als Kooperationsmodell zwischen Hochschulen, etablierten Unternehmen und Startups ergeben sich drei konkrete Forschungsfragen: Wie kann das Venture-Clienting-Programm von der Exploration in die Exploitation überführt werden? Wie kann sich das Venture-Clienting-Modell weiterentwickeln? Und wie lässt sich der Impact des Venture Clientings auf die Organisation zuverlässig ermitteln?

Als gewählte Forschungsmethodik dient das DSR, wobei ein Modell-Artefakt auf Basis einer umfangreichen Literaturrecherche und 27 Experteninterviews in einem Großkonzern entwickelt wird. Dieses Artefakt visualisiert den gesamten Prozess des Venture Clientings in einem Unternehmen, berücksichtigt sowohl die Geschäfts- als auch die Organisationsentwicklung. Schlüsselkomponenten des Artefakts umfassen das Lieferantenmanagement zur Unterstützung von Startups nach dem Pilotprojekt, die kontinuierliche Entwicklung der Kooperationsfähigkeit im Unternehmen, erfolgreiche Pilotprojekte als Treiber für Diffusion und Skalierung des Venture Clientings, sowie die Kombination finanzieller und organisatorischer Kennzahlen zur Erfolgsmessung.

## **TraFoNetz – Aufbau einer Wissensbasis zur Plattformökonomie (Prof. Dr. Bernhard Kölmel, Prof. Dr. Rebecca Bulander, Prof. Dr. Ansgar Kühn, Prof. Dr. Rainer Wunderlich, Prof. Dr. Claus Lang-Koetz, Prof. Dr. Frank Bertagnolli)**

Die Forschungsaufgaben der Hochschule Pforzheim im Rahmen des Projektes TraFoNetz umfassen die Analyse der globalen Plattformökonomie und Ableitung von Implikationen für die regionale Fahrzeug- und Zulieferindustrie, die Entwicklung wissenschaftlich fundierter Zukunftsartefakte wie Strategien und Handlungsempfehlungen auf Basis von Szenario-Analysen, die Erarbeitung eines Business-Design-Ansatzes sowie Markt- und Technologie-Trendanalysen. Ziel des Vorhabens ist die wettbewerbsfähige und nachhaltige Gestaltung der Zukunft der regionalen Automobilindustrie durch einen gestaltungsorientierten Forschungsansatz.

Der Forschungsansatz basiert auf dem Konzept des Design Science Research (DSR). Die zentralen Merkmale dieses Ansatzes sind:

- Praxisorientierung: Im Gegensatz zu rein theoretischen Ansätzen soll mit DSR wissenschaftliche Forschung betrieben werden, die konkret zur Lösung praktischer Probleme beiträgt.
- Gestaltungsorientierung: Es werden nicht nur bestehende Sachverhalte analysiert, sondern vor allem neue, innovative Artefakte wie Strategien, Frameworks oder Prototypen entworfen.
- Interdisziplinarität: DSR kombiniert Erkenntnisse aus Technik, Wirtschaft und Sozialwissenschaften. Es findet eine enge Verzahnung zwischen Wissenschaft und unternehmerischer Praxis statt.
- Iteratives Vorgehen: Die Erarbeitung und Evaluation der Lösungsartefakte erfolgen iterativ in mehreren Durchläufen und unter Einbezug von Nutzer-Feedback.

- Methodische Fundierung: Trotz des Fokus auf die praktische Anwendbarkeit erfolgt eine wissenschaftlich-methodische Fundierung des Vorgehens durch Literaturrecherchen, Analysen etc.

Im konkreten Fall werden durch diesen Ansatz die Herausforderungen der Automobilindustrie im Kontext der Plattformökonomie adressiert. Die Forschungsinhalte konzentrieren sich auf folgende Aspekte:

#### Analyse der Plattformökonomie

- Umfassende Analyse aktueller Entwicklungen und Trends
- Ableitung konkreter Auswirkungen auf Automobil- und Zulieferindustrie
- Entwicklung von Zukunftsszenarien und Transformationsstrategien

#### Entwicklung innovativer Lösungsansätze

- Frameworks, Leitlinien, Nachhaltigkeitsmodelle
- Toolboxen und Plattformen zur Unterstützung der Industry Transformation

#### Analyse zukunftsrelevanter Themen

- Markt- und Technologietrends in Bezug auf Digitalisierung, Plattformen etc.
- Identifikation relevanter Kompetenzen und Erstellung von Kompetenzprofilen

#### Regionale Verankerung

- Ableitung strategischer Implikationen für die Region Nordschwarzwald
- Entwicklung eines spezifischen Profils für die Region
- Intensive Zusammenarbeit mit regionalen Unternehmen

Der Fokus liegt auf einer gestaltungsorientierten, iterativen Herangehensweise, die eng mit der regionalen Automobilindustrie verzahnt ist. Die entwickelten Artefakte sollen einen konkreten Nutzen für die Praxis generieren und zur Zukunftsfähigkeit der Branche beitragen.

### **TraFoNetz NSW – Transformationsnetzwerk Kollaborationsplattformen – Fahrzeug- und Zulieferindustrie Nordschwarzwald (Prof. Dr. Bernhard Kölmel, Prof. Dr. Rebecca Bulander)**

Das Vorhaben TraFoNetzNSW, gefördert mit einem Volumen von 6,77 Mio € aus Bundesmitteln, vereint die Kräfte der Wirtschaftsförderung Nordschwarzwald, der Hochschule Pforzheim als Konsortialpartner und weiterer Partner. Ziel ist es, den Strukturwandel in der Fahrzeug- und Zulieferindustrie der Region Nordschwarzwald durch die Schaffung und Implementierung kollaborativer Entwicklungs- und Produktionsplattformen positiv zu gestalten. Hierfür sind Forschungsarbeiten als Grundlage erforderlich, welche durch die Hochschule Pforzheim übernommen werden. Im Folgenden wird nur auf die Arbeiten eingegangen, welche durch die Mitarbeiter durchgeführt werden, welche fachlich weisungsbefugt an der Hochschule Pforzheim sind.

Die Hochschule Pforzheim setzt auf einen gestaltungsorientierten Forschungsansatz, der durch die Entwicklung von Artefakten und Projektergebnissen eine solide Grundlage für die anderen Arbeitspakete und Maßnahmen des Transformationsnetzwerks schafft. Dieser Ansatz ermöglicht die Integration von wissenschaftlichem Know-how in die regionale Strategiegestaltung und fördert einen praxisorientierten Dialog zwischen Unternehmen, Mitarbeitern und der Gesellschaft. Der Forschungsansatz basiert auf dem Konzept des Design Science Research (DSR).

Erarbeitung der Forschungsgrundlage zur Plattformökonomie: Hier wird eine solide Forschungsgrundlage zur Plattformökonomie geschaffen. Dies umfasst nach dem DSR-Ansatz die Durchführung von umfangreichen Literaturanalysen, Anforderungsanalysen, empirische Studien und Evaluationen sowie Trendanalysen. Durch wissenschaftliche Methoden werden Daten, Wissen und Analysen über die Plattformökonomie gesammelt, aufbereitet und veröffentlicht. Die Ergebnisse bilden die Grundlage für die regionale Strategieentwicklung, Weiterbildungs- und Unterstützungsangebote durch die anderen Projektpartner.

Erarbeitung der Grundlagen zur Kompetenzentwicklung und Zukunftskompetenzen: Die Hochschule Pforzheim trägt wesentlich zur Identifikation, Analyse und Entwicklung von Kompetenzen bei, die für erfolgreiches Handeln auf Plattformen erforderlich sind. Hierfür werden nach dem DSR-Ansatz umfangreiche Literaturanalysen, Anforderungsanalysen, empirische Studien und Evaluationen sowie Trendanalysen durchgeführt und neue innovative Artefakte erarbeitet. Diese Erkenntnisse dienen als Basis für die Entwicklung von Weiterbildungs- und Qualifizierungsformaten durch die anderen Projektpartner.

Vorbereitung eines Plattform-Demonstrators nach dem gestaltungsorientierten Forschungsansatz: Hier werden die Grundlagen für einen Plattform-Demonstrators nach dem gestaltungsorientierten Forschungsansatz geschaffen, indem mit empirischen Studien und wissenschaftlichen Analysen die Herausforderungen der Plattformökonomie, die Identifikation strategischer Stoßrichtungen zum Einstieg, die Entwicklung einer Systematik (Vorgehensmodell) sowie ein Plattform-Demonstrator als gestaltungsorientierte Artefakte des DSR-Ansatzes erarbeitet werden.

#### **Weitere Aktivitäten im Institut:**

#### **INTEGRAL: InNovaTionsbeschleuniger rEGion noRdschwArzwaLd (Prof. Dr. Kölmel, Prof. Dr. Bulander)**

Das Projekt INTEGRAL wurde im Jahr 2023 erfolgreich abgeschlossen. INTEGRAL agierte als Brücke, die einen barrierefreien Zugang und niedrigschwellige Kontaktoptionen von der Forschung in die Anwendung ermöglichte. Ein zentraler Fokus lag dabei auf der Schaffung wissenschaftlich validierter und kontextspezifischer Innovationseinheiten, um mittelständische und handwerklich orientierte Unternehmen in der Region zu proaktiven Innovatoren zu entwickeln.

Die Umsetzung erfolgte durch die Einrichtung von Innovationseinheiten innerhalb der beteiligten Unternehmen. Die Hochschule Pforzheim spielte dabei eine aktive Rolle in der fachlichen Unterstützung, insbesondere durch konkrete Projekte (u.a. AI in Production, Smart City, generative KI, Process Mining). Durch diesen praxiszentrierten Ansatz wurde gewährleistet, dass Unternehmen nicht nur theoretisches Wissen erhielten, sondern dieses auch gezielt in ihre Geschäftspraktiken integrieren konnten.

Ein zentrales Instrument war die Anwendung von horizontalen Innovationseinheiten, die von Innovationsbeschleunigern unterstützt wurden. Dabei wurden verschiedene Typen, wie Innovation Hubs, Company Builder und Accelerators, je nach den Bedürfnissen und Kapazitäten der Unternehmen eingesetzt. Dieser Ansatz ermöglichte die schnelle und systematische Entwicklung von digitalen Geschäftsmodellen und Innovationen.

Die vertikale fachliche Unterstützung erfolgte durch interdisziplinäre Transferprojekte entlang der Masterstudiengänge der Hochschule Pforzheim. Themen wie Industrie 4.0, Blockchain, Künstliche Intelligenz, UX und Design-Methoden, Internet der Dinge sowie Smart City und

nachhaltige Produktion wurden behandelt, um konkrete Forschungsherausforderungen in Unternehmen anzugehen.

INTEGRAL verfolgte das Ziel, Unternehmen zu proaktiven Innovatoren zu entwickeln, die aktiv Strategien entwickeln, um Innovationen voranzutreiben, und dabei interne Regelwerke verändern, um den Innovationsprozess zu unterstützen. Die enge Zusammenarbeit zwischen Hochschule und Unternehmen stärkte die Innovationskraft in der Region nachhaltig.

Darüber hinaus bildete das INTEGRAL-Konzept einen neuartigen Ansatz für eine Transferstelle zwischen Hochschule und Wirtschaft, basierend auf einem Quintupel-Helix-Innovationsystem. Dieses System integrierte nicht nur die üblichen Akteure, sondern auch die Zivilgesellschaft und externe Nutzerorganisationen in den Innovationsprozess.

Das Projekt INTEGRAL orientierte sich an den strategischen Bedarfen der Region Nordschwarzwald, darunter Digitalisierung, ökologische Nachhaltigkeit, Innovationsdruck durch Disruptionen und Herausforderungen durch Urbanisierung. Die Erkenntnisse aus einem umfangreichen Bedarfsermittlungsprozess mit regionalen Stakeholdern flossen in die Konzeption des Projekts ein.

#### **NA 043-02-02 AA Arbeitsausschuss Kompetenzen in der IKT-Branche**

Prof. Dr. Peter Weiß hat im Berichtszeitraum als Mitglied und Experte im Arbeitsausschuss NA 043-02-02 AA „Kompetenzen in der IKT-Branche“ beim DIN-Normenausschuss Informationstechnik und Anwendungen (NIA) in Berlin mitgewirkt. Der NA 043-02-02 AA spiegelt in erster Linie das CEN/TC 428 „ICT Professionalism and Digital Competences“. Das CEN/TC 428 ist für die Standardisierung einer gemeinsamen Sprache von professionellen Digital- und IKT-Kompetenzen, -Fähigkeiten und -Wissen verantwortlich, die in allen Bereichen angewendet werden. Eine nicht abgeschlossene Liste von Bereichen, in denen das CEN/TC 428 seine Wirkung entfalten kann, ist die folgende: EN 16234:2016 (e-CF) Wartung und Weiterentwicklung – Interaktion mit verschiedenen Frameworks – Curricula-Leitlinien – Berufsprofile – Bereitstellung von Leitlinien für die Bewertung gegen EN 16234 (e-CF).

Der Normenausschuss Informationstechnik und Anwendungen (NIA) ist als Teil des Deutschen Instituts für Normung e.V. (DIN) das offizielle nationale Gremium für Normung und Standardisierung in der Informationstechnik und in ausgewählten Anwendungsbereichen der Informationstechnik (siehe mehr unter [www.din.de/go/nia](http://www.din.de/go/nia)).

Prof. Dr. Peter Weiß wurde vom DIN als nationaler Experte zur Mitarbeit in den Arbeitsgruppen WG2 „Competence, skills, knowledge and roles“ und WG3 „Education and Training“ innerhalb des CEN/TC 428 ausgewählt.

**Institutsleitung: Prof. Dr. Thomas Greiner, Prof. Dr. Bernhard Kölmel (Stellvertreter)**

Weitere Informationen: [www.hs-pforzheim.de/ios3](http://www.hs-pforzheim.de/ios3)

### 1.2.3 Institut für Werkstoffe und Werkstofftechnologien – IWWT

---

Im Jahre 2023 gab es in der Zusammensetzung der Arbeitsgruppen des IWWT eine Änderung: Prof. Dr. Gerhard Frey schied altersbedingt in den wohlverdienten Ruhestand aus. Sein Forschungsgebiet „Kunststoffe und Fertigungstechnologien“ wird zunächst, bis die Nachfolge geklärt ist, als unbesetzt mitgeführt. Gesamtheitlich setzt sich das IWWT damit wie folgt zusammen:

1. **Metallische Werkstoffe** (Prof. Dr. Norbert Jost)
2. **Kunststoffe und Fertigungstechnologien** (N.N.)
3. **Stanztechnik** (Prof. Dr. Matthias Golle)
4. **Werkstoffkreisläufe** (Prof. Dr. Jörg Woidasky)
5. **Abtragende Fertigungsverfahren** (Prof. Dr. Kai Oßwald)
6. **Materialwissenschaften in der medizinischen Anwendung** (Prof. Dr. Volker Biehl, Prof. Dr. Ulrich Heinen, Prof. Dr. Tobias Preckel)

Der nachfolgende Bericht fasst in bewährter Weise die wesentlichen Aktivitäten des IWWT in den Arbeitsgruppen zusammen.

#### 1. Metallische Werkstoffe (Prof. Dr. Norbert Jost)

##### a) Metallische Schäume

Wie bereits im letzten Bericht beschrieben, lief das große Forschungsprojekt InSeL im Vorjahr aus. Aus gegebenem Anlass und vor dem Hintergrund, dass bis dato kein Nachfolgeprojekt begonnen wurde, stellen wir Interessierten auf Nachfrage gern den kompletten wissenschaftlichen Abschlussbericht bestehend aus den folgenden Teilarbeitsgebieten gedruckt oder als PDF-Datei zur Verfügung (bitte per E-Mail oder telefonisch anfragen):

**Teilprojekt 1: Vom Flüssigschaum zum Polymertemplate für Metallschäume** bearbeitet von:

- Institut für Bio- und Lebensmitteltechnik, KIT, Arbeitsgruppe „Technische Biologie“ (TeBi), Prof. Dr. Ch. Syldatk
- Hochschule Reutlingen, Arbeitsgruppe „Intelligente Oberflächen“, Prof. Dr. R. Krastev
- Naturwissenschaftliches und Medizinisches Institut an der Universität Tübingen (NMI), Arbeitsgruppe „Biomaterialien“, Dr. X. Xiong

**Teilprojekt 2: Produktion und Charakterisierung von metallischen Schaumstrukturen** bearbeitet von:

- Institut für Werkstoffe u. Werkstofftechnologien (IWWT), Hochschule Pforzheim, Arbeitsgruppe „Metallische Werkstoffe“, Prof. Dr.-Ing. N. Jost
- Institut für Angewandte Materialien, KIT, Arbeitsgruppe „Computational Materials Science“ (IAM-CMS), Prof. Dr. B. Nestler

**Teilprojekt 3: Prototypenbau, Anwendung und Wissenstransfer** bearbeitet von:

- Institut Materials and Processes (IMP), Hochschule Karlsruhe, Arbeitsgruppe Prof. Dr.-Ing. F. Pöhler
- Institut für digitale Materialforschung (IDM), Hochschule Karlsruhe, Arbeitsgruppe Prof. Dr. B. Nestler und Dr. A. August
- Institut für Fahrzeugsystemtechnik, KIT, Arbeitsgruppe „Leichtbautechnologie“ (FAST), Prof. Dr.-Ing. F. Henning

- Institut für Werkstoffe u. Werkstofftechnologien (IWWT), Hochschule Pforzheim, Arbeitsgruppe „Metallische Werkstoffe“, Prof. Dr.-Ing. N. Jost

b) Projekt „Bühler-Stiftung“ – Aufbau verschleißfester Laserhartschichten nach bionischen Vorbildern – Fortführung der Forschung aus 2022

Mehrschichtauftrag mit Sperrschichten nach dem Vorbild von Perlmutter (Teil 2)

In einem ersten Schritt wurde, wie im letzten Jahr berichtet, eine horizontal verlaufende Sperrschicht einer Kupferlegierung aufgetragen, die, wie sich zeigt, die vertikale Rissausbreitung bei Druckbelastung beidseitig stoppte (siehe Abb. 1 und 2).



Abb. 1: Sperrschicht einer Kupferlegierung



Abb. 2: Sperrschicht einer Kupferlegierung

Eine Untersuchung der Perlmuttertschicht einer originalen natürlichen Muschel zeigt, dass die Muschel auch Sperrschichten aufbaut, die in vertikaler Richtung verlaufen und somit in der Lage sind, die Rissausbreitung längs und quer zu unterbinden (siehe Abb. 3 bis 5).

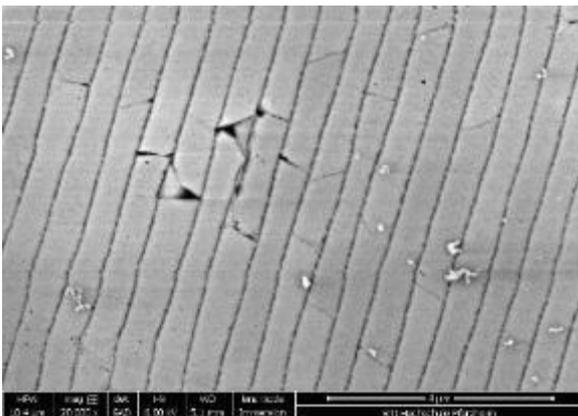


Abb. 3: Untersuchung einer Perlmuttertschicht

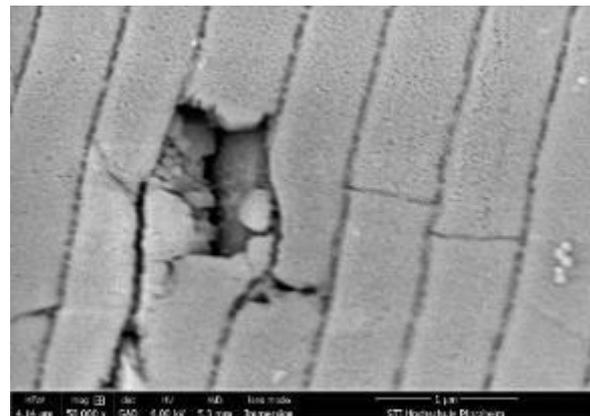


Abb. 4: Untersuchung einer Perlmuttertschicht

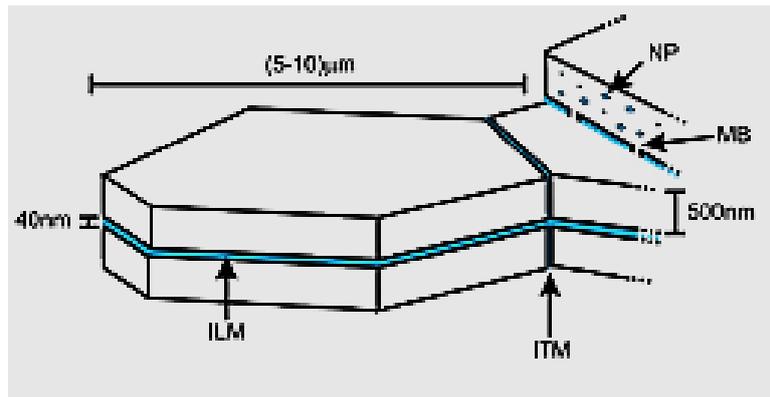


Abb. 5: Charakteristischer Aufbau plättchenförmiger Kristallite aus Aragonit und der dazwischenliegenden organischen Matrix, ILM: interlammellare Matrix

Die Übertragung des biologischen Beispiels auf technische Lösungen soll später die Generierung eines Mehrschichtsystems ermöglichen, das durch seinen strukturellen Aufbau den vielfältigsten tribologischen Anforderungen gerecht wird und zudem bruchunanfällig ist.

Versuchsablauf und Ergebnisse:

Lasertechnisch wurden nun Schichten nach diesem Vorbild erzeugt und im ersten Schritt sowohl rasterelektronenmikroskopisch wie auch lichtmikroskopisch untersucht. Abb. 6 dokumentiert die Vorgehensweise bei der Steggestaltung und Abb. 7 zeigt im lichtmikroskopisch untersuchten Mikroschliff das Ergebnis.

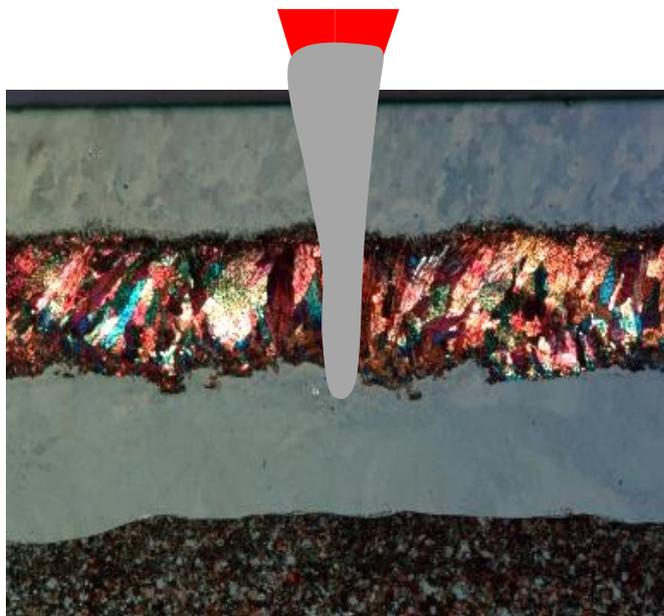


Abb. 6: Vorgehensweise bei der Steggestaltung



Abb. 7: Lichtmikroskopische Untersuchung

Die eingebrachten Stege wurden zusätzlich in Quer- und Längsrichtung rasterelektronenmikroskopisch analysiert (siehe Abb. 8 und 9).

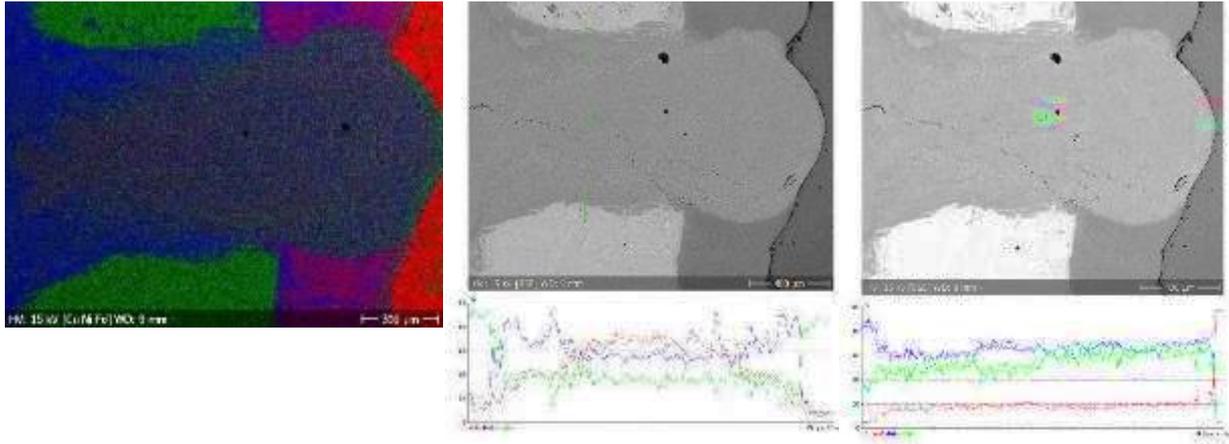


Abb. 8: Rasterelektronenmikroskopische Analyse der eingebrachten Stege. Dem Element Fe wurde die Farbe Rot, Cu Grün und Ni Blau zugeordnet

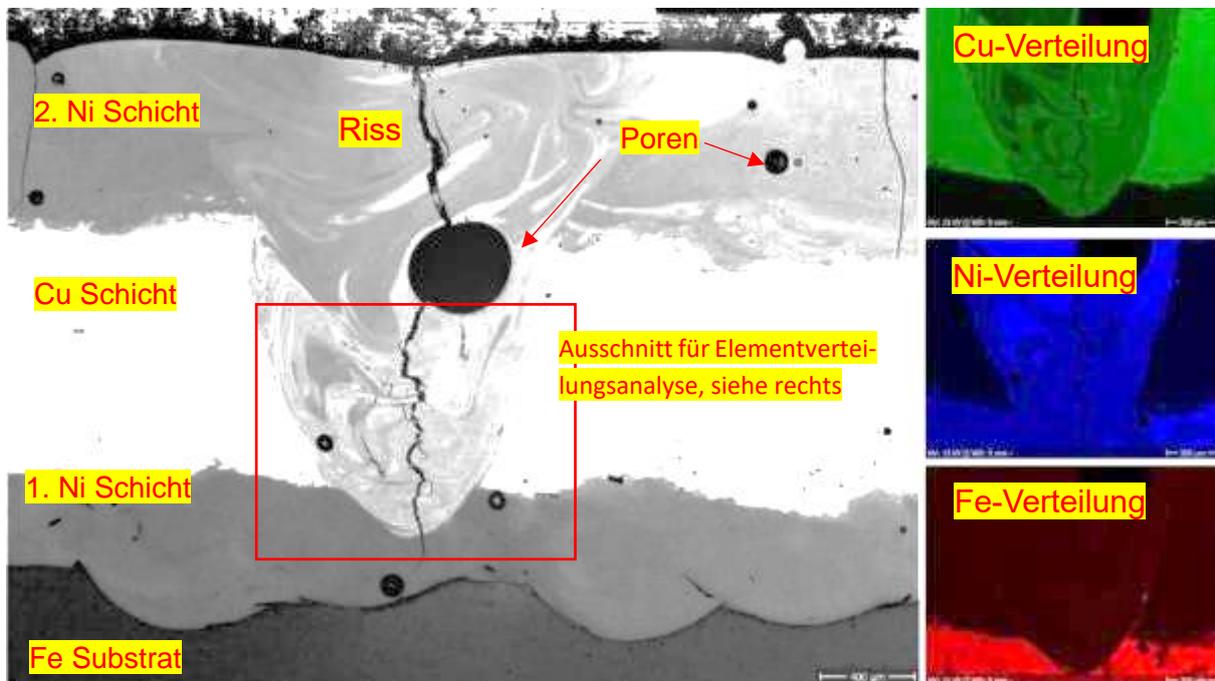


Abb. 9: Rasterelektronenmikroskopische Analyse der eingebrachten Stege

Es zeigt sich eine gute Homogenisierung bzw. Vermischung der Schichten.

Als Fortsetzung ist geplant, intensive Untersuchungen mit Proben dieses Schichtaufbaus durchzuführen. Dabei soll ein Schwerpunkt auf die mechanische Belastbarkeit der Schichten inkl. der tribologischen Eigenschaften gelegt werden sowie insbesondere auch die Korrosionsbeständigkeit überprüft werden.

## 2. Kunststoffe und Fertigungstechnologien (N.N.)

Keine berichtenswerten Ereignisse.

## 3. Stanztechnik (Prof. Dr. Matthias Golle)

Keine berichtenswerten Ereignisse.

#### 4. Werkstoffkreisläufe (Prof. Dr. Jörg Woidasky)

In der Arbeitsgruppe Werkstoffkreisläufe wurden im Jahr 2023 sowohl die Arbeiten zum Kunststoffrecycling durch Tracer-Based Sorting weitergeführt sowie ein Vorhaben zur Proteinerzeugung durch Insekten abgeschlossen. Darüber hinaus konnten mehrere Vorhaben zur Kreislaufführung von Metallen und Kunststoffen akquiriert bzw. begonnen werden.

Der Ansatz des **Tracer-Based Sorting** (TBS) wurde im Rahmen des vom BMBF im Zeitraum von 2021 bis 2023 geförderten Forschungsprojektes „Tracer-Based Sorting – ein effizientes und flexibles Sortier- und Recyclingsystem für Kunststoffe (**Tasteful**)“ von insgesamt fünf Partnern für den Einsatz in der Abfallwirtschaft weiterentwickelt. Das Projekt baut hierbei auf den Ergebnissen des im Jahr 2020 abgeschlossenen Verbundforschungsprojektes „Markerbasiertes Sortier- und Recyclingsystem für Kunststoffverpackungen“ (MaReK) auf. Ziel des Tasteful-Vorhabens ist eine Steigerung der Effizienz und Praktikabilität der TBS-Sortiertechnologie.

Im Laufe des Jahres 2023 wurde ein Folgevorhaben „Entwicklung und Errichtung einer Pilotanlage mit integraler Detektion zur präzisen Einzelstreckensortierung von Kunststoffabfall und anderen Materialien“ (präziSort) mit dem Projektpartner Polysecure erfolgreich beantragt und zum 01.11.2023 bewilligt. Das Ziel des Vorhabens ist die Entwicklung und Errichtung einer Pilotanlage mit integraler Detektion zur Einzelstreckensortierung. Nach Fertigstellung soll die Anlage im Demonstrations- und Evaluierungsbetrieb in Freiburg betrieben werden. Die Arbeitsgruppe Werkstoffkreisläufe wird hier bei der Input-Materialanalyse durch umfangreiche Leichtverpackungs-Abfallanalysen mitwirken und durch die Bereitstellung von Werkstoff-, Planungs- und Marktdaten zur Kreislaufführung der im Fokus des Vorhabens stehenden Objektströme die Verfahrens- und Geschäftsentwicklung unterstützen.

Das Forschungsprojekt „Innovationsprojekt zur industriellen Herstellung von Insektenprotein“ (**Insektenprotein 2**) verfolgte das Ziel, Reststoffe aus der Lebensmittelherstellung als Anzuchtsubstrat für die Produktion von Mehlwürmern einzusetzen. Die Arbeitsgruppe der Hochschule Pforzheim unterstützt das Startup Alpha-Protein bei der technischen Umsetzung und Skalierung der automatisierten Mehlwurm-Aufzucht. Dabei müssen nicht nur die optimalen Klima- und Fütterungsbedingungen für den Mehlkäfer in seinen verschiedenen Entwicklungsstadien, sondern auch eine schonende Handhabung und Abtrennung von Futter und Kot im technischen Maßstab entwickelt werden. Dafür sind neben der Puppenaufzucht auch Aspekte der Belüftung, des Temperaturmanagements sowie der Eignungsprüfung verschiedener Lebensmittelabfälle relevant. Parallel dazu wurde die Verfügbarkeit regionaler Lebensmittel-Reststoffe als Futter untersucht.

Für die Durchführung von Analysen konnte im Rahmen und aus Mitteln des Insektenprotein-2-Vorhabens das Infrarotmikroskop „BZ-X800E“ des Herstellers Keyence für die Fluoreszenzanalyse von Markermaterialien in biologischen Matrixmaterialien beschafft werden.

Das Projekt „PMMA in der Circular Economy“ (**PACE**) entwickelt beginnend Anfang 2023 innerhalb von zwei Jahren ein durchgängiges Konzept zur Wiederverwertung für gebrauchtes Acrylglas, von dem deutschlandweit derzeit erst 10% recycelt werden. Das Acrylglas-Recyclingunternehmen Pekutherm Kunststoffe GmbH entwickelt hierzu gemeinsam mit der Polysecure GmbH, der Hochschule Pforzheim und einem Acrylglas-Anbieter eine innovative Recyclinglösung, um hochwertige transparente Kunststoffe erkennen und sortenrein verwerten zu können. Der Ansatz wird von der Deutschen Bundesstiftung Umwelt (DBU) gefördert. Das Volumen des europäischen Halbzeug-Marktes für Acrylglas lag 2020 bei etwa 230.000 Tonnen. Acrylglas ermöglicht in zahlreichen Anwendungen, zum Teil mit sehr hohen Anforderun-

gen an die Optik, sehr lange Nutzungszeiten. Daher sind für eine funktionierende Kreislaufführung höchste Reinheitsanforderungen an die verwendeten Rezyklate einzuhalten. Im Rahmen des Projektes „PACE“ soll die Kreislaufwirtschaft von PMMA-Abfällen in Deutschland systematisch entwickelt werden. Ausgangspunkt sind folien- und plattenförmige PMMA-Halbzeuge sowohl aus Post-industrial- als auch aus Post-consumer-Quellen. Neben der systematischen Prüfung von Erkennungsverfahren sowie der sichtbaren Kennzeichnung von Halbzeugen wird in dem Vorhaben mit dem Einsatz von Fluoreszenzmarkern ein neuer Ansatz verfolgt. Die anorganischen Fluoreszenzmarker werden als Kennzeichnung in ppm-Konzentrationen den Acrylglas-Produkten zugegeben und ermöglichen in der Herstellungs-, Nutzungs- und Nachnutzungsphase die eindeutige Materialerkennung. Die Aufgabe der Arbeitsgruppe besteht hier in der Stoffstromanalyse und bei Untersuchungen zu den Markereigenschaften von PMMA-Abfällen.



Abb. 10: Vermahlung von PMMA-Abfällen zur Verwertung beim Recyclingunternehmen Pekutherm. Foto: Pekutherm

Das Vorhaben „Kreislaufsystem für funktionales Aluminium-Neuschrottreycling aus der Automobilproduktion mittels LIPS“ (**KANAL**) hat eine Laufzeit von drei Jahren ab dem 01.05.2023 und wird mit dem Förderkennzeichen 03LB4015 vom Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK) gefördert und von der Projektträgerschaft Jülich (PTJ), Außenstelle Berlin, betreut. Die Aufgaben der Arbeitsgruppe liegen in der Konzeption und Begleitung von Inbetriebnahme- und Betriebsversuchen einer LIPS-Anlage beim Industriepartner Lang Recycling, der Neuschrotte aus einem Kfz-Presswerk sortiert, und mit dem Anlagenbauer Tomra.

Für die Durchführung von Analysen konnte ergänzend zum bereits vorhandenen tragbaren Röntgenfluoreszenz-Analysator Niton XL2 ein tragbares LIPS-Gerät der Marke Hitachi Vulcan Expert beschafft werden. Hiermit wird die Vor-Ort-Analyse von Aluminiumlegierungen möglich.



Abb. 11: Kickoff-Treffen des Vorhabens „KANAL“. Foto: Lang Recycling

Im November 2023 ging bei der Arbeitsgruppe der Bewilligungsbescheid für das BMWK-Verbundvorhaben „Medizinische Einmalgebrauchsprodukte in der Kreislaufwirtschaft – Wege von der Beseitigung zur stofflichen Verwertung“ (**MEiK**) ein. Das Vorhaben wird von der Hochschule Pforzheim geleitet und gemeinsam von Prof. Woidasky und Prof. Viere vom INEC betreut. Es hat eine Laufzeit von drei Jahren ab dem 01.01.2024 und wird mit dem Förderkennzeichen 03EI5020A vom Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK) gefördert und von der Projektträgerschaft Jülich (PTJ), Außenstelle Berlin, betreut. Durch dieses Vorhaben entstehen zwei 100%-Promotionsstellen an der Hochschule.

Im Dezember 2023 erhielt die Arbeitsgruppe das Begutachtungsergebnisse für einen EU-Antrag „Efficient decommissioning, repurposing and recycling to increase the circularity of end-of-life wind energy systems“ (**REWIND**), der die Weiterverwendung und Verwertung von Rotorblättern aus Windenergieanlagen zum Gegenstand hat. Der Vorhabensantrag, der vom Forschungsinstitut AIMPLAS (Spanien) koordiniert wurde, erhielt in der Begutachtung 15 von 15 möglichen Punkten und wurde zur Förderung ausgewählt, die im Laufe des Jahres 2024 beginnen wird. Die Arbeitsgruppe Werkstoffkreisläufe wird in diesem Rahmen eine Stoffstromanalyse der Verbundwerkstoffe durchführen und praktische Untersuchungen zur Verbundauftrennung mittels Elektropulstechnik durchführen.



Abb. 12: Die werkstoffliche Verwertung von Verbundwerkstoffen aus Windenergieanlagen ist Gegenstand des EU-Vorhabens „REWIND“. Foto: J. Woidasky

Zum Wintersemester 2024/25 wird eine neue **Studienrichtung „Wirtschaftsingenieurwesen/Circular Economy Engineering“** eröffnet. Prof. Woidasky wirkte maßgeblich an der Gestaltung des Curriculums mit und ist designierter Studiengangleiter dieses Studienganges.

### **5. Abtragende Fertigungsverfahren (Prof. Dr. Kai Oßwald)**

Die Aktivitäten der Arbeitsgruppe Abtragende Fertigungsverfahren fokussierten sich im Jahr 2023 erneut auf die Themenfelder „Schaben von Metalloberflächen“ sowie „Funkenerosives Feinbohren“. Weitere Themen wie das „High Speed Wire EDM“ oder die „elektrochemische Metallbearbeitung“ (ECM) wurden über studentische Abschlussarbeiten behandelt oder befinden sich in der Phase der Projektvorbereitung.

#### **Schaben von Metalloberflächen**

Im Rahmen des Programms „Innovative Projekte / Kooperationsprojekte an den Hochschulen Baden-Württembergs“ war das Forschungsprojekt „Gezielte Erzeugung funktionaler Oberflächen mittels Metallschaben“ zum 01.10.2021 begonnen worden und konnte zum 30.09.2023 erfolgreich abgeschlossen werden. Inhalt des Projekts war die Erforschung des Zusammenhangs zwischen der Geometrie geschabter Oberflächen und deren tribologischer Eigenschaften sowie die Anwendung dieser Erkenntnisse für manuelle und automatisierte Schabprozesse.

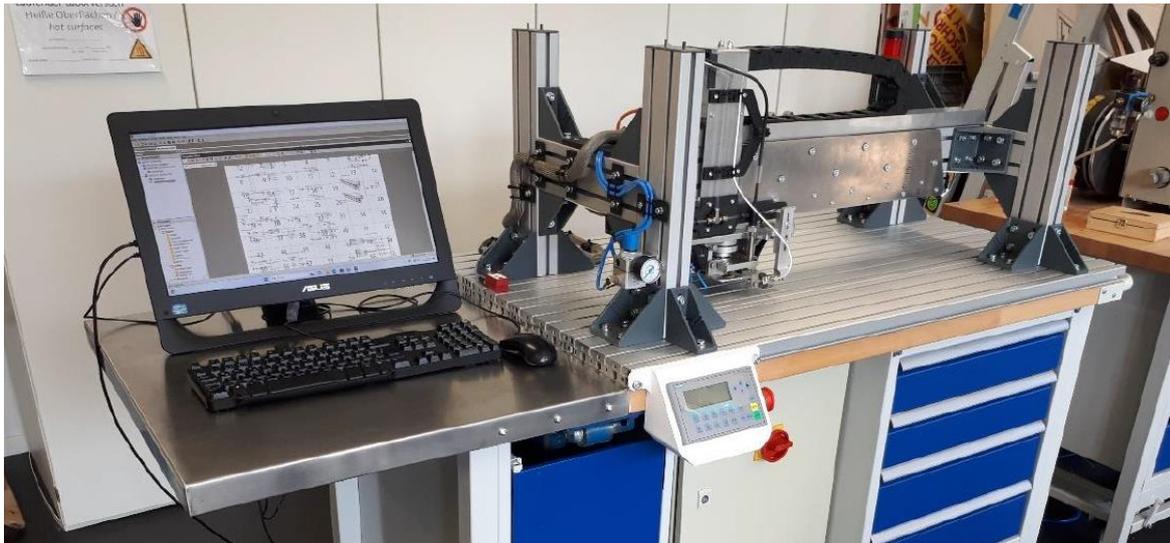


Abb. 13: Fertiggestellter und funktionstüchtiger Prüfstand zur Untersuchung der Reibeeigenschaften geschabter Oberflächen (hier ohne Schutzhaube)

Ein großer Meilenstein des Projekts war die Konzeption und Realisierung eines geeigneten Prüfstands, da konventionelle Tribologieprüfstände mit rotierenden Proben arbeiten und dies für die Messung von geschabten Proben nicht geeignet ist. Daher wurde ein Prüfstand mit linearer Bewegung entwickelt, wie er in Abb. 13 zu sehen ist. Die anfänglichen Einschränkungen durch die Corona-Pandemie wirkten weiter verzögernd auf die Fertigstellung des Prüfstands, da die nachfolgende „Chipkrise“ die Beschaffung bestimmter Messtechnik-Komponenten stark verzögerte. Schließlich konnte der Prüfstand aber seiner Bestimmung entsprechend eingesetzt werden.

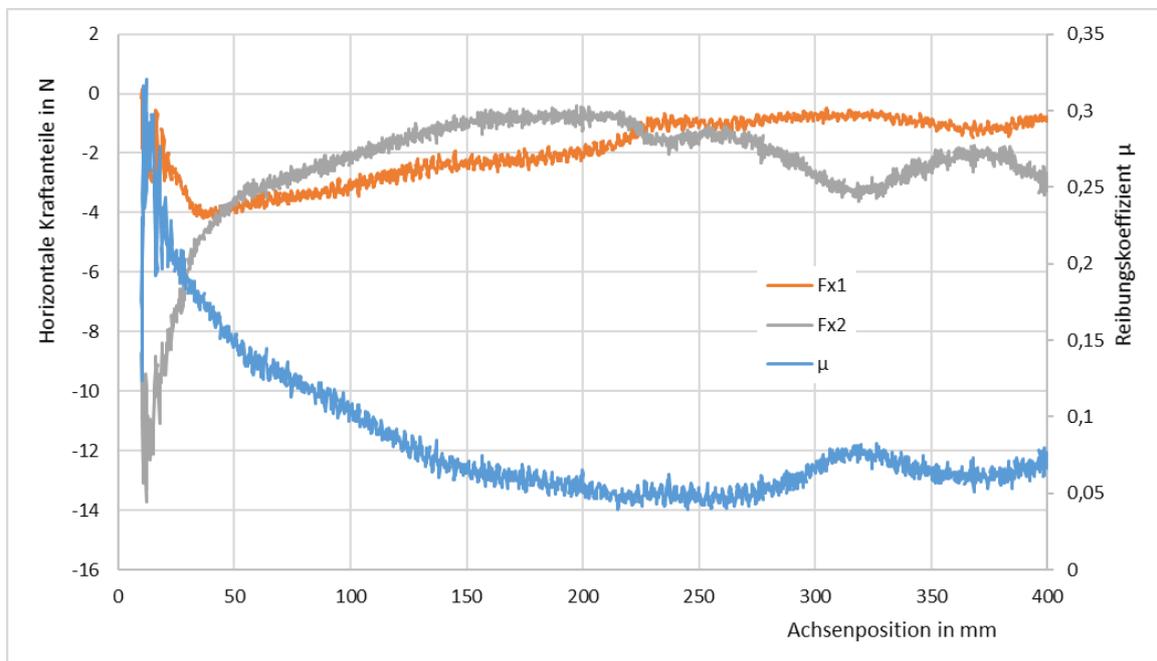


Abb. 14: Messung des Reibungskoeffizienten  $\mu$  bei einer (geringen) Normalkraft von 50 N. Die zugehörigen Kraftverläufe haben ein negatives Vorzeichen, da die Sensoren auf Druck belastet wurden.

In Abb. 14 ist eine Messung der Reibung einer geschabten Oberprobe auf einer geschliffenen Unterprobe gezeigt. Zu erkennen ist der anfängliche Übergang von der Haft- zur Gleitreibung und das anschließende Gleiten der Oberprobe. Der Prüfstand ist in der Lage, die Situation in

einer Flachführung, wie sie in vielen Werkzeugmaschinen zum Einsatz kommt, bezüglich Anpressdruck und Verfahrgeschwindigkeit realistisch nachzubilden. Die Beantragung weiterer Forschungsprojekte zum Weiterbetrieb des Prüfstands und zur vertieften Erforschung der Zusammenhänge ist in Vorbereitung.

### Funkerosives Feinbohren

Das Projekt „HSE – Hochqualitatives und schnelles erosives Feinbohren in höchster Materialdiversität“ (Beginn Oktober 2021), das im Rahmen des „Zentralen Investitionsprogramms Mittelstand“ (ZIM) gefördert wurde, lief ebenfalls Ende des Jahres 2023 aus. Ziel dieses Projekts (das gemeinsam mit und für Firma Agema Germany, einen Hersteller von hochwertigen Erodierbohrmaschinen und Teil der Firmengruppe Henniger in Straubenhardt-Conweiler, durchgeführt wurde) war die Weiterentwicklung von Erodierbohrmaschinen mit dem Ziel kleinerer fertiger Bohrungsdurchmesser und einer erhöhten Produktivität.

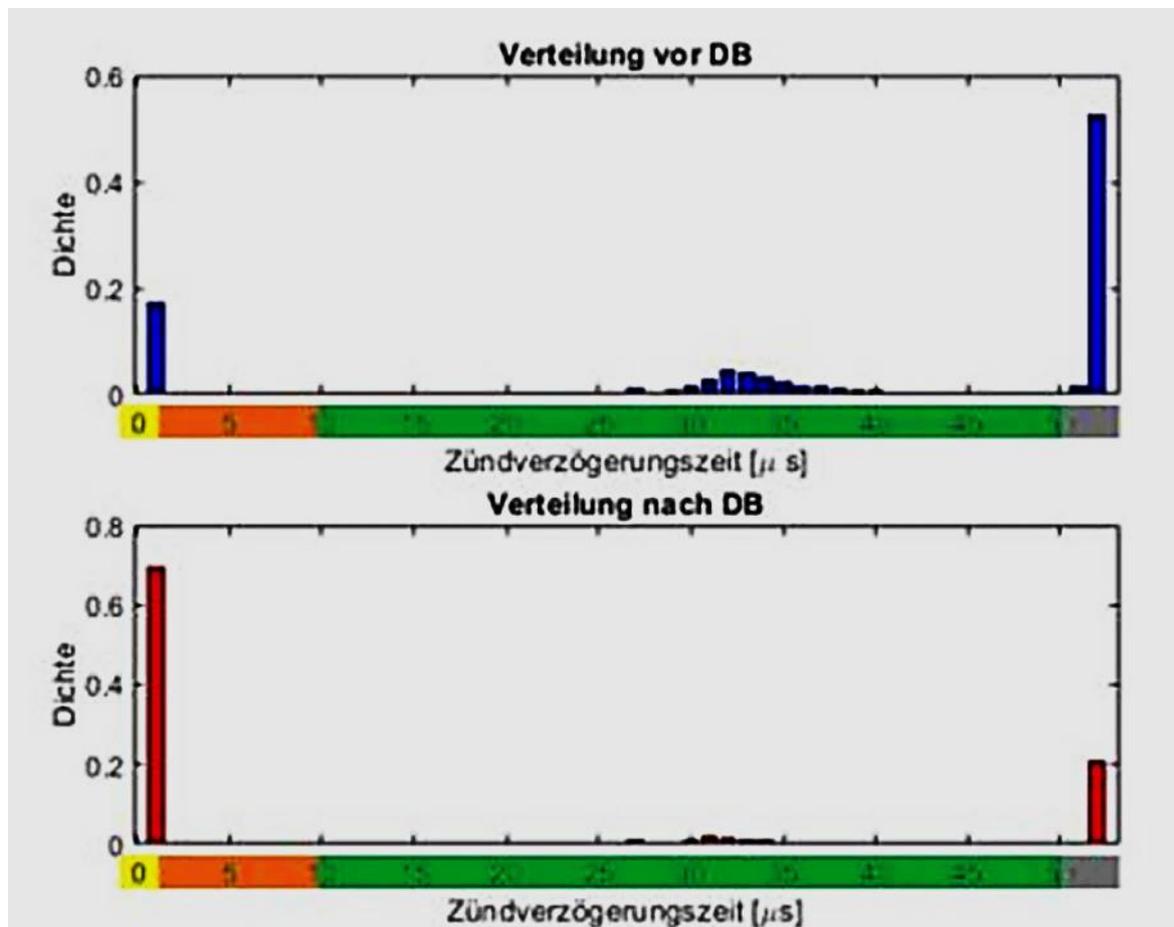


Abb. 15: Diagnosetool zur Visualisierung der Häufigkeitsverteilung der Zündverzögerungszeit  $t_d$  in den Prozessphasen vor und nach dem Durchbruch. Farblegende: gelb: Kurzschlüsse; orange: Lichtbögen; grün: Erodierentladungen; grau: Leerlaufpulse

Aufgabe der Arbeitsgruppe war hierbei die Erarbeitung eines Prozessverständnisses und die Entwicklung einer Prozessregelung. In Abb. 15 ist ein wichtiger Schritt dieser Arbeit abgebildet: Die gemessene Verteilung der Zündverzögerungszeiten  $t_d$  lässt sich als Qualitätskriterium für den momentanen Zustand des Erodierprozesses auswerten.

Ein weiteres Arbeitspaket des Projekts beschäftigte sich mit der Detektion der Entladungsorte innerhalb der Bohrung während des Erodierens. Für diese Messungen wurde eine eigene Vorrichtung realisiert, die auf einem Stromteiler basiert und in Abb. 16 gezeigt ist. Ziel ist, eine Korrelation zwischen dem Entladungsort und Merkmalen in Spannungs- oder Stromverlauf der

Entladung zu finden. Dies ist Forschungsgruppen im Bereich der Senkerosion in der Vergangenheit bereits gelungen. Für die Bohrerrosion würde eine solche Messung die Möglichkeit bieten, (erwünschte) frontale Entladungen von (unerwünschten) lateralen Entladungen zu unterscheiden. Auf diese Weise würde bspw. die Option zur Abschaltung von unerwünschten Entladungen entstehen.

Die begonnenen Arbeiten können in einem ZIM-Folgeprojekt fortgesetzt werden, das unter dem Titel „Neuartiges, miniaturisiertes, energieeffizientes Pulsgeneratormodul für Funkenerosionsmaschinen. Teilprojekt: Sensorik- und Prozess- und Regelungsentwicklung für ein Pulsgeneratormodul für die Funkenerosionsbearbeitung (Bohr- und Senkerodiermaschinen)“ (Pulsgenerator) zum 01.01.2024 gestartet werden konnte.

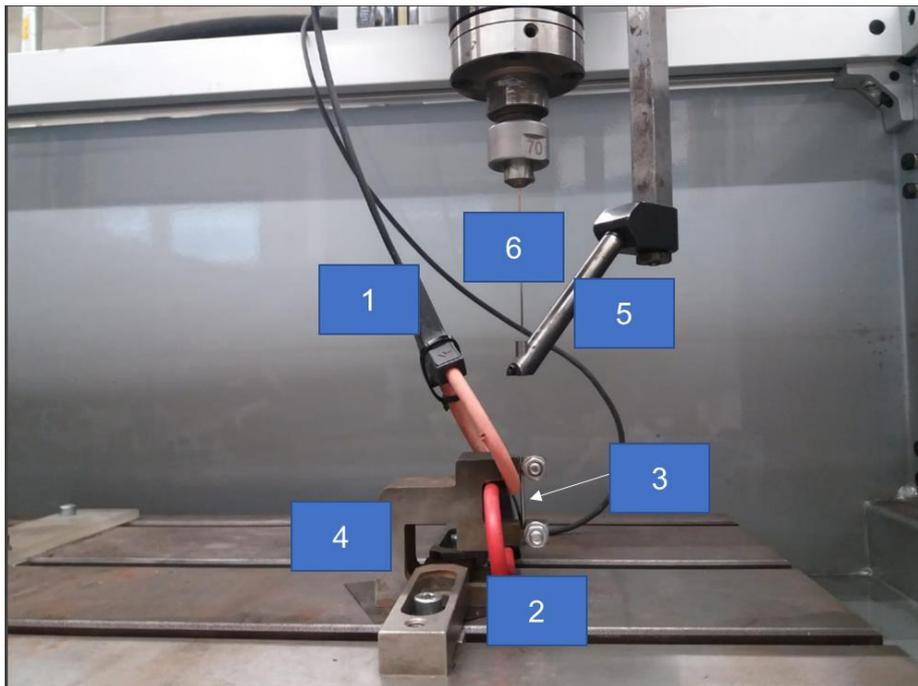


Abb. 16: Vorrichtung zur Detektion der Entladungsorte mittels eines Stromteilers. Legende: 1 und 2: Stromsensoren, 3: „Werkstück“ Zylinderstift, 4: Vorrichtung, 5: Elektrodenführung, 6: Werkzeugelektrode

## 6. Materialwissenschaften in der medizinischen Anwendung

### a) Bildgebungssysteme für Forschung und Lehre – (Prof. Dr. Ulrich Heinen)

Im Berichtszeitraum konnten im Rahmen von Bachelorarbeiten langersehnte Durchbrüche bei zwei Projekten erzielt werden, die beide im Kontext des neuen Bildgebungsverfahrens der Magnetpartikelbildgebung (*Magnetic Particle Imaging, MPI*) stehen.

#### **Synthese magnetischer Nanopartikel**

Bei der Magnetpartikelbildgebung werden superparamagnetische Eisenoxid-Nanopartikel (*Super-Paramagnetic Iron Oxid Nanoparticles, SPIONs*) gleichzeitig einem starken magnetischen Feldgradienten (Selektionsfeld) und einem oder mehr oszillierenden Magnetfeldern (Anregungsfelder) ausgesetzt. Die eingesetzten Nanopartikel bestehen typischerweise aus Magnetit ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ), das makroskopisch Ferrimagnetismus aufweist, der aus praktischer Sicht weitgehend identisch mit dem Ferromagnetismus ist. In Form von Nanopartikeln mit Durchmessern von 5–30 nm weist Magnetit stattdessen superparamagnetische Eigenschaften auf, d.h., es tritt keine makroskopische magnetische Remanenz auf. Ein Hüllmaterial aus Biopolymeren verhindert eine Aggregation der magnetischen Kerne und sorgt für eine gute Bioverträglichkeit des – im Übrigen ungiftigen – Materials. Derartige magnetische Nanopartikel (MNPs) werden

schon seit vielen Jahren als Kontrastmittel in der Magnetresonanztomographie (MRT) eingesetzt, lassen sich mit dem Verfahren der Magnetpartikelbildung aber auch direkt lokalisieren. Das Verfahren eignet sich für eine Vielzahl diagnostischer Fragestellungen; erste Gerätedesigns für einen klinischen Einsatz wurden in den vergangenen beiden Jahren von anderen Arbeitsgruppen vorgestellt.

Für optimale Bildgebungseigenschaften müssen die magnetischen Nanopartikel möglichst einheitliche Durchmesser in einem eng begrenzten Größenbereich aufweisen. Derartige monodisperse Partikel können mit großem Aufwand durch die thermische Zersetzung metallorganischer Precursor-Verbindungen gewonnen werden, während die wesentlich einfachere und praktischere basische Fällung von Eisenionen in wässrigem Milieu typischerweise sehr uneinheitliche Partikelgrößen mit schlechten magnetischen Eigenschaften liefert.

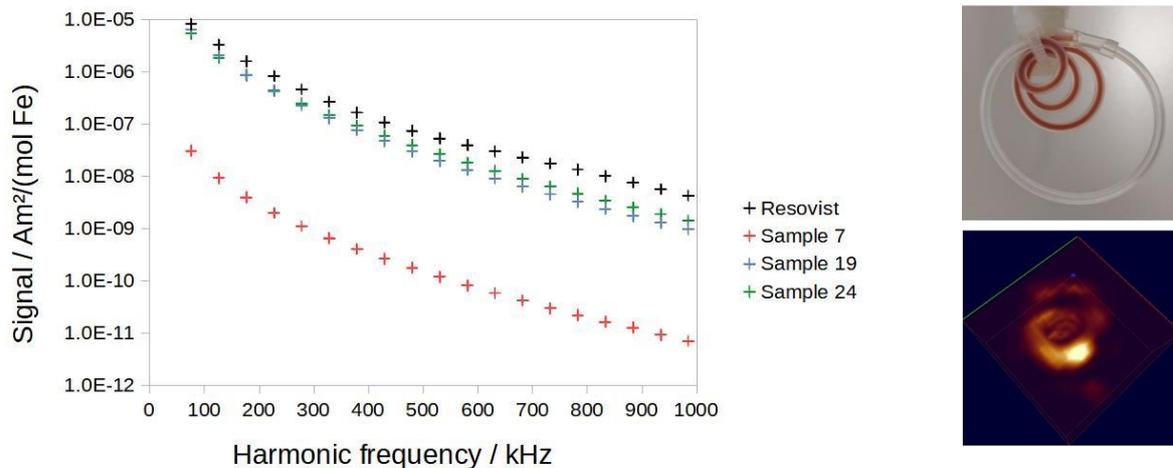


Abb. 17: Links: MPS-Spektren von drei verschiedenen Partikelformulierungen im Vergleich zum „Goldstandard“ Resovist®. Das Diagramm zeigt die auf den Eisengehalt normalisierten spektralen Intensitäten der ungeraden Harmonischen bei einer Anregungsfrequenz von 25 kHz und einer Anregungsamplitude von 25 mT. Probe 7 wurde mit 3M NaOH als Fällungsmittel für eine 0,26M-saure Eisenlösung mit Dextran im Verhältnis 1:522 gewonnen, Probe 19 mit 2M NaOH und einer 0,13M-Eisenlösung mit 1:2600 Dextran, und schließlich Probe 24 durch Fällung des Magnetits aus einer sauren 0,065M-Eisenlösung mit 1:522 Dextran durch eine 2,4M NH<sub>3</sub>-Lösung. Alle Lösungen wurden bei 80°C für 20 Minuten temperiert. Rechts: Probe 24 wurde in einen Schlauch mit ID=1mm eingefüllt, der zu einer Spirale gebunden wurde. Das Untersuchungsobjekt wurde in einem Bruker MPI FF25/20 bei einem Selektionsfeld von 2 T/m und Anregungsamplituden von 12 mT/12 mT/12 mT untersucht. 100 Scans mit einer Gesamtmesszeit von 2,2 Sekunden wurden gemittelt und mit eine 16x16x16-Systemfunktion rekonstruiert, die ein Volumen von 32x32x16 mm abdeckt. Ungeachtet der relativ geringen Auflösung der Systemfunktion ist die Spiralstruktur klar erkennbar, was die MPI-Eignung des synthetisierten Tracermaterials belegt.

Die wässrige Synthese lässt sich durch Einsatz mikrofluidischer Reaktoren deutlich besser kontrollieren. Im Rahmen ihrer Bachelorarbeit hat Frau Ezgi Döner die Synthese von dextran umhüllten magnetischen Nanopartikeln in einem tröpfchenbasierten Flussreaktor etabliert und als wesentliche Einflussfaktoren auf die Synthese das Fällungsmittel (Natronlauge oder Ammoniaklösung), die Fließgeschwindigkeiten, die Ausgangskonzentrationen sowie die Temperierzeit und –dauer systematisch untersucht. Die gewonnenen Tracerlösungen wurden bei der Bruker BioSpin GmbH in Ettlingen mithilfe eines Magnetpartikelspektrometers untersucht. Für die besten Proben reicht die spezifische spektrale Intensität der gewonnenen Tracermaterialien bereits an den MPI-Goldstandard“ Resovist® (Bayer-Schering AG) heran. Zudem konnte beim Partnerunternehmen bei niedriger Bildauflösung auch ein 3D-MPI-Bild einer tracergefüll-

ten Schlauchspirale erfolgreich aufgenommen werden. Elektronenmikroskopische Untersuchungen der Teilchendurchmesser, die in Zusammenarbeit mit dem KIT durchgeführt wurden, haben dagegen noch kein klares Bild geliefert; hier stehen Folgearbeiten an (siehe Abb. 17).

### **Nachweis des Partikelsignals bei Signalerzeugung durch mechanische Bewegung**

In einer zweiten Bachelorarbeit ist Herrn David Huschka die erstmalige Aufzeichnung von Signalen magnetischer Nanopartikel gelungen, die in wässriger Lösung auf unterschiedlichen Bahnen durch ein magnetisches Gradientenfeld bewegt werden. Mit diesem Versuchsaufbau ist eine Vorstufe zu einem neuartigen MPI-Bildgebungssystem realisiert und die Machbarkeit nachgewiesen. Beim realisierten Versuchsaufbau werden bis zu 16 Probengefäße in Aussparungen einer runden Kunststoffscheibe eingesteckt, wobei die Bohrungen zur Aufnahme der Gefäße in unterschiedlichen Höhen vorgenommen wurden (Abb. 18). Durch eine schnelle Rotation der Scheibe werden die Proben mit einer Tangentialgeschwindigkeit von bis zu 58 m/s durch ein magnetisches Gradientenfeld bewegt, was eine zeitliche Variation des Magnetfeldes in der Probe von bis zu 578 T/s erreicht – dies liegt noch deutlich unter der Kodiergeschwindigkeit von konventionellen elektromagnetischen MPI-Systemen, lässt sich mit höherer Drehzahl aber vergleichsweise einfach steigern. Bei der Passage des Nulldurchgangs (dem sogenannten Feldfreien Punkt FFP) des Gradientenfeldes werden die magnetischen Nanopartikel schlagartig ummagnetisiert, was durch eine kleine Aufnahmespule detektiert werden kann. Partikel, die in einer anderen Höhenposition kreisen, streichen am FFP vorbei und erfahren dabei nur eine langsame Rotation ihrer Magnetisierung, was ein schwächeres Signal induziert (siehe Abb. 19). Mit dem realisierten Versuchsaufbau ist erstmalig der Nachweis der Signalerzeugung gelungen und auch die Positionsabhängigkeit konnte nachgewiesen werden.

Diese Ergebnisse stellen die Arbeitsgrundlage für die Konzeption eines Bildgebungssystems mit rotierenden Magneten dar, das Schnittbilder einer ruhenden Probe mit hoher Ortsauflösung

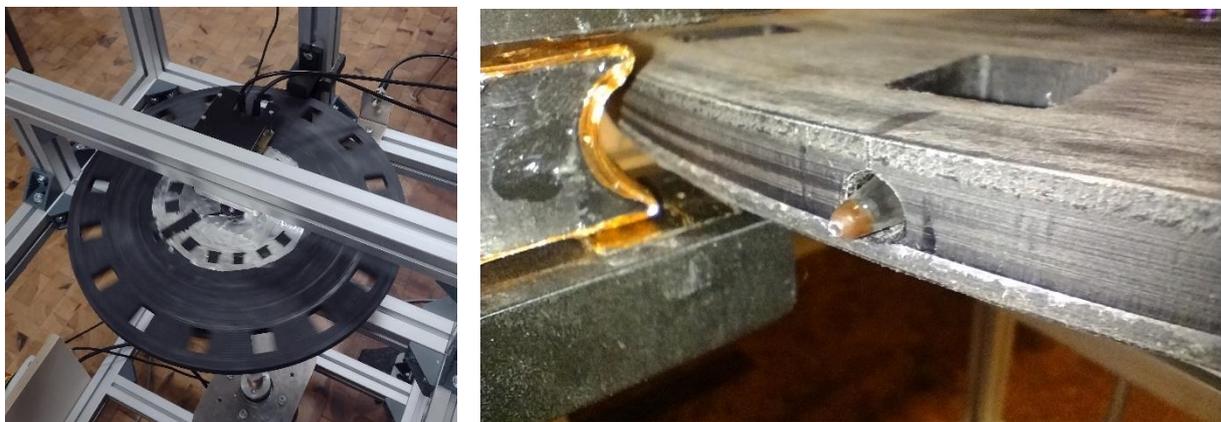


Abb. 18: Links: Der Versuchsaufbau zeigt die Kunststoffscheibe, die durch einen Elektromotor mit bis zu 50 Umdrehungen pro Sekunde rotiert werden kann. Rechts: In einer in den Rand der Scheibe eingelassenen Bohrung ist ein Probengefäß mit 20  $\mu$ l Synomag D70 (mikromod Partikeltechnologie GmbH, Rostock) montiert. Diese Probe wird bei der Rotation der Scheibe durch die am linken Bildrand erkennbare Detektionsspule bewegt, die zwischen zwei NdFeB-Permanentmagneten montiert ist, die ein magnetisches Gradientenfeld mit  $dB/dz=20$  T/m in vertikaler Richtung und  $dB/d\phi=-10$  T/m in tangentialer Richtung liefern.

aufzeichnen kann und damit beispielsweise zur Untersuchung von Gewebeproben mit magnetischen Nanopartikeln geeignet ist. Für diesen geplanten Versuchsaufbau wurden mit dem Testsystem wertvolle Erkenntnisse gewonnen.

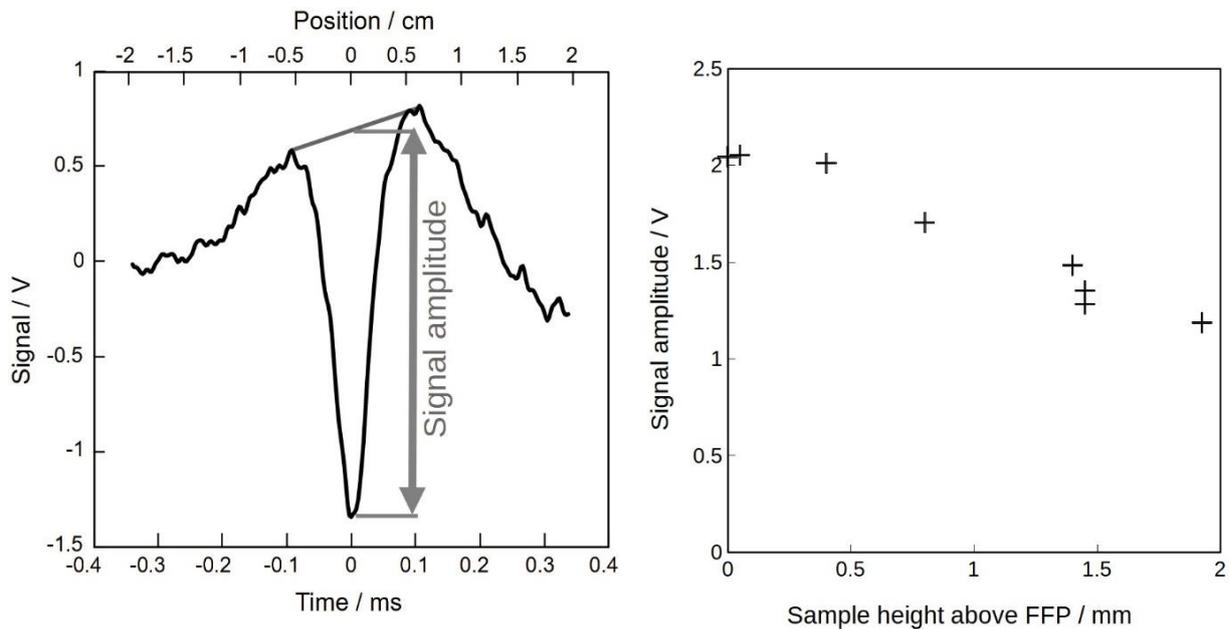


Abb. 19: Links: Exemplarisches Signal einer 20 $\mu$ L Nanopartikelprobe (Synomag D70, mikromod Partikeltechnologie, Rostock), die mit 57,8 m/s durch einen Feldgradienten mit  $G=-10$  T/m und eine Detektionsspule bewegt wird. Die Signalamplitude wird als Differenz zwischen dem Signalminimum und dem Mittelwert der angrenzenden Maxima ausgewertet. Die Asymmetrie des Signals resultiert aus nicht vollständig gedämpften relativen Schwingungen der Detektionsspule im Gradientenfeld. Rechts: Abhängigkeit der Signalamplitude von der Position der Partikelprobe oberhalb der FFP-Ebene. Die relativ große Probe ist durch die vergleichsweise niedrige Kodiergeschwindigkeit bedingt, da sonst kein ausreichend intensives Signal erzielt wird. Für kleinere Proben wird eine deutlich stärkere Ortsabhängigkeit des Signals erwartet.

### Steuersoftware für Laborgeräte

Die Steuersoftware für das geplante MRT-System an der Hochschule Pforzheim konnte im Berichtszeitraum erfolgreich weiterentwickelt werden. Realisiert wurde u.a. eine kompakte Möglichkeit zur Definition von Experimenten in einer C++-Schnittstelle, für die das Framework automatisch zur Laufzeit ein standardisiertes Speicherformat und eine passende Bedienoberfläche erzeugt (siehe Abb. 20).

Voraussichtlich 2024 werden im Labor Kühlwasser und Starkstrom bereitstehen, um die Inbetriebnahme des MRT-Systems schrittweise fortsetzen zu können.

```

PERSPECTIVE_DECLARE_STRUCT(SlicePackage,\
    double orientation[3];\
    double dimension[2];\
    double offset[3];\
    int numSlices;\
    double sliceThickness;\
    double sliceDistance;\
)

[...]

enum SliceProfile { Rectangular, Gaussian };
PARAMETER(int, Matrix,
    DIMS 2 MIN 2 MAX 4096 DEFAULT 256,
    i18n("Matrix"));
PARAMETER(double, EchoTime,
    CATEGORY Time/MRT Sequence Time MIN 1e-6 MAX 10 DEFAULT 50e-3
    i18n("Echo time"));
PARAMETER(double, RepetitionTime,
    CATEGORY Time/MRT Sequence Time MIN 1e-6 MAX 10 DEFAULT 1,
    i18n("Repetition time"));
PARAMETER(SlicePackage, SlicePackages,
    DIMS 1:3:10!,
    i18n("Slice packages"));
PARAMETER(SliceProfile, Profile,
    DEFAULT Rectangular WIDGET_HINT Radio,
    i18n("Slice profile"));
    
```

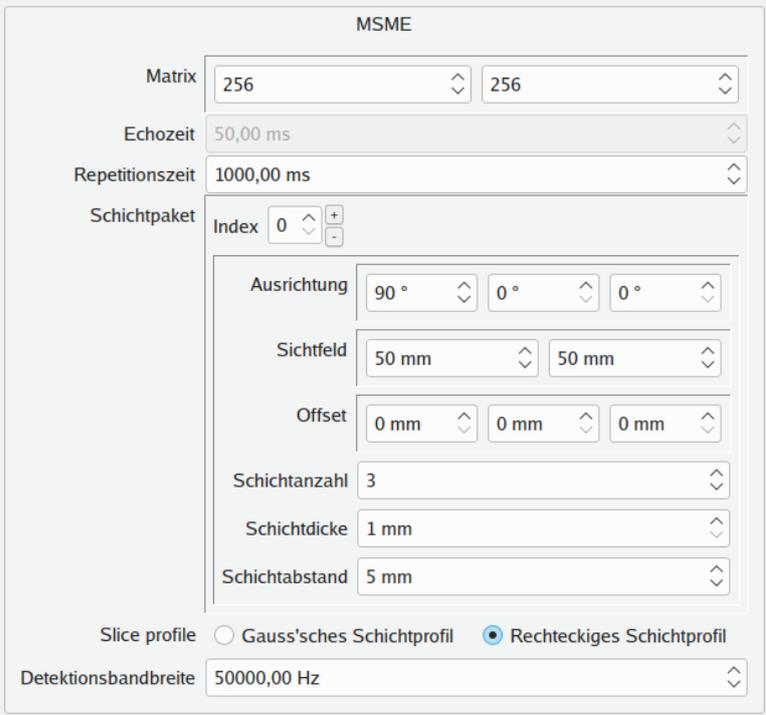


Abb.20: Oben: Parameterdefinition für ein Multischicht-Multiecho-MRT-Experiment (MSME). Unten: automatisch generierte interaktive Bedienoberfläche.

b) Materialeigenschaften von Implantaten: Material-Gewebe-Interaktion (Prof. Dr. Volker Biehl, Dr. Karina Kober, Emina Secovic, Prof. Dr. Tobias Preckel)

Im Zellkultur-Labor sollen u.a. Untersuchungen zur Biokompatibilität potenzieller Implantat-Werkstoffe mit Zellgewebe vorgenommen werden. Nach dem Aufbau der Zellkultur, Anschaffung zusätzlicher Geräte (Autoklav, Ultra-Tiefkühlschrank) und der Zulassung der Anlage für die entsprechenden Arbeiten der Sicherheitsstufe 1 wurden im Jahr 2023 erste Experimente zur Überprüfung der Biokompatibilität metallischer Materialien durchgeführt. Bei diesen Tests wird u.a. eine potentiell von den zu prüfenden Substanzen bzw. dem zu prüfenden Medizinprodukt verursachte Zytotoxizität (Einfluss der Materialien auf die Lebensfähigkeit von Zellen) überprüft. Die Verfahren sind in der DIN EN ISO 10993-5 (Prüfungen auf In-vitro-Zytotoxizität) beschrieben und müssen z.B. vor der Marktzulassung von Medizinprodukten durchgeführt werden.

Geeignete Zellen wurden zunächst ausgewählt (MRC-5: Humane Lungen-Fibroblasten, L-929: Murine Fibroblasten) und konnten erfolgreich von Frau Dr. Kober in Kultur genommen werden (siehe Abb. 21). Zur Überprüfung der Lagerfähigkeit der Zellen wurden eine Einlagerung der Zellen im Ultratiefkühlschrank und ein Wiederauftauen durchgeführt.

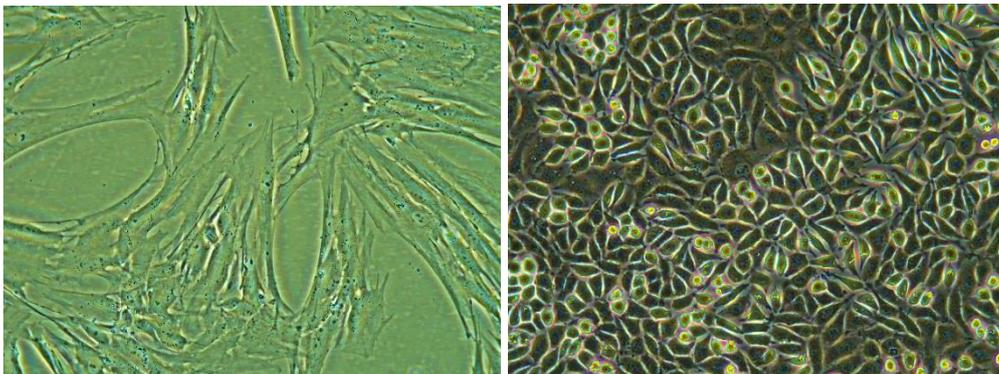


Abb. 21: Dunkelfeldmikroskopie von MRC-5 (links) und L-929-Zellen (rechts), jeweils 200-fache Vergrößerung

Zusätzlich konnte ein entsprechender Farbttest (XTT-Test) zur quantitativen photometrischen Messung der Zell-Viabilität etabliert werden. Hierbei dient das Tetrazoliumsalz XTT als Nachweis. Lebensfähige Zellen wandeln XTT in ein orangefarbenes Molekül (Formazan) um, während der Farbumschlag bei toten Zellen ausbleibt. Dabei ist die Menge an erzeugtem Formazan-Farbstoff direkt proportional zur Anzahl an lebensfähigen Zellen.

In Zusammenarbeit mit Frau Emina Secovic und der Firma MetShape wurde anschließend ein umfangreicher Testplan entwickelt. Verschiedene metallische Materialproben wurden gereinigt, autoklaviert und gemäß ISO 10993-12 mit Zellkulturmedium extrahiert. Die Extrakte wurden dann in unterschiedlichen Konzentrationen in der Zellkultur getestet. Hier konnten zytotoxische Effekte unter dem Mikroskop (siehe Abb. 22) und auch quantitativ (nicht gezeigt) bestimmt werden.

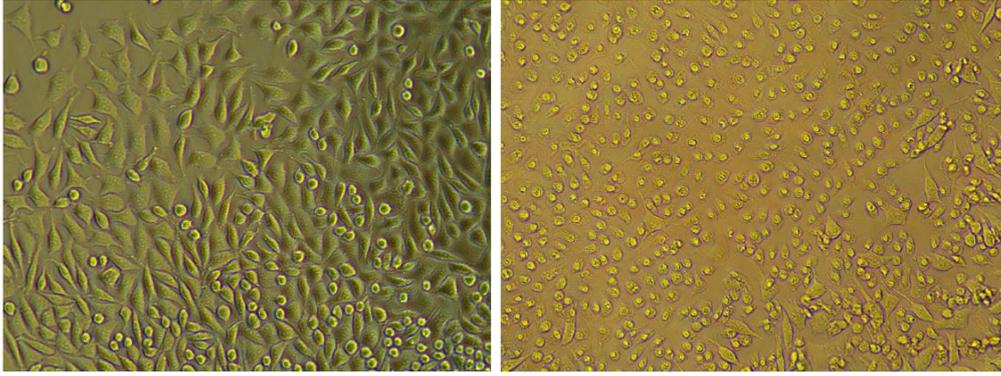


Abb. 22: L-929-Zellen im Zytotoxizitätstest (links: Negativkontrolle, rechts: Positivkontrolle)

Weiterführend ist die Etablierung eines weiteren quantitativen Testverfahrens und die Ausweitung der Experimente auf weitere metallische Materialien geplant.

**Institutsleitung: Prof. Dr.-Ing. Dipl.-Wirt.-Ing. (FH) Norbert Jost, (Stellvertretung: N. N.)**

Weitere Informationen: [www.hs-pforzheim.de/iwwt](http://www.hs-pforzheim.de/iwwt)

## 1.2.4 Schmucktechnologisches Institut – STI

---

Das Schmucktechnologisches Institut der Hochschule Pforzheim entwickelt feinwerktechnische Verfahren, Geräte und Vorrichtungen zur Automatisierung von Fertigungsschritten sowie schmuckrelevante Werkstoffe und wurde 1996 als „Antwort“ auf den Strukturwandel in der Schmuckbranche gegründet. Um diesem Strukturwandel entgegenzutreten, nahm sich das STI zum Ziel, eine eigene Wertigkeit zu definieren und neue Ideen in der Fertigung voranzutreiben. Die regionalen Schmuckunternehmen setzten sich zusammen mit der Landesregierung für die Gründung eines wissenschaftlichen Instituts ein, das diese Ansprüche fördern sollte. Von Beginn an beschäftigte sich das Institut mit der Übertragung neuer, moderner, serieller Fertigungstechnik auf die Schmuckbranche. Die Fortsetzung der erfolgreichen Zusammenarbeit mit der regionalen Schmuckindustrie, die Entwicklung neuer Verfahren in der Schmuckherstellung sowie innovative Werkstoffe für die Luxusgüterherstellung sind wichtige Bestandteile der tagtäglichen Arbeit am Schmucktechnologischen Institut. Das Institut wird von regionalen Unternehmen der Schmuckindustrie, Verbänden, der Stadt Pforzheim und der Sparkasse Pforzheim Calw sowie der baden-württembergischen Landesregierung getragen.

Seit der Übernahme der Leitung des Instituts durch Prof. Dr. Carlo Burkhardt hat das Institut, unter Beibehaltung seiner bisherigen Tätigkeitsschwerpunkte, seine Forschungsthemen um die Entwicklung von Werkstoffen und Technologien für die indirekte additive Fertigung und Methoden zum Recycling und zur Weiterverarbeitung von Permanentmagneten auf Nd-Fe-B-Basis erweitert.

Durch die vielseitige Geräteausstattung und Fachkunde bietet das STI eine breite Vielzahl unterschiedlicher Leistungen an:

- Unterstützung bei der Entwicklung neuer Produkte und Verfahren
- Untersuchung verschiedenartigster Schadensfälle, Erarbeitung von Verbesserungsmaßnahmen
- Fehlersuche und Analyse von Fremdpartikeln in der Oberfläche und im Material, die zu Kommas, Flecken und sonstigen Verarbeitungsproblemen führen
- Messungen der Festigkeit und der Härte an Bauteilen, elektrochemischen Komponenten und an Ringen, Verschlüssen und Ketten
- Untersuchung z.B. von Gefügen, Korngrößen und Ausscheidung an Werkstoffen aller Art
- Messung der Zusammensetzung von Metallen, Keramiken und Edelsteinen, galvanischen Schichten und deren Aufbau mittels REM-EDX, ICP-EOS, Infrarotspektroskopie und O/N/H bzw. C/S-Analyse
- Messung der Rautiefe an komplizierten Oberflächen mit einem 3D-Laserscan-Mikroskop
- Untersuchung der Ursachen von Gießfehlern wie Poren, Risse, Grobkorn, Blausilber
- Messung der Schmelztemperatur von Legierungen, Wachsen
- Messung der Gewichtsveränderung oder des Schmelzverhaltens von Stoffen bei Erwärmung
- Überprüfung von Temperaturen in Öfen, Gieß- und Sinteranlagen
- Korrosionstests, Salzsprühstests und Prüfung eines Anlaufschutzes oder des Einflusses von Verpackungsmaterialien auf Silber- und Goldlegierungen
- Beispiele für Geräteentwicklungen: Zuführeinrichtungen, Positionierhilfen, elektronischer Ringmessschieber, Induktionslötens, Messvorrichtungen

Folgende öffentlich geförderten Forschungsprojekte wurden bearbeitet:

### Projekt IMPrint

Im Forschungsschwerpunkt „indirekte additive Fertigung“ lief ein Förderprojekt im Rahmen des Invest BW Förderprogramms. Das Projekt „Innovativer Metalldruck von Präzisionsteilen aus Nickel-Titan-Werkstoffen“ (IMPriNT) startete am 01.10.21 und hatte eine Laufzeit von 2 Jahren. Durchgeführt wurde dieses Projekt in Zusammenarbeit mit der MetShape GmbH (einer Ausgründung des Instituts). Außerdem wurde im Rahmen des Projekts eine Promotion am Institut für Werkstoffwissenschaft durchgeführt.

Ziel des Projekts war es, die gesamte Prozesskette der Lithographie-basierten additiven Fertigung für Nickel-Titanlegierungen zu untersuchen. Dafür wurden zunächst legierte Pulver von mehreren Herstellern beschafft, die die Pulver mit unterschiedlichen Verfahren herstellen und anschließend untersucht. Dabei unterscheiden sich die angelieferten Pulver nicht nur in der Chemie, sondern insbesondere in der Partikelform und Teilchengrößenverteilung (Abb. 1).

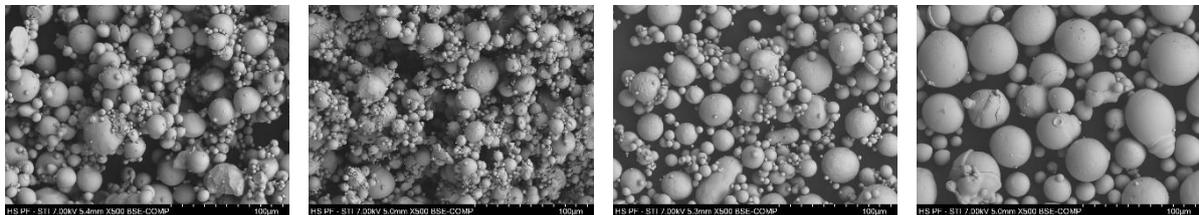


Abb. 1: REM-Aufnahmen der gelieferten Pulver

Für die Fertigung von Nickel-Titan-Legierungen ist die chemische Reinheit eine kritische Komponente, die in der sinterbasierten Fertigung maßgeblich durch die verwendeten Polymere beeinflusst wird. Daher wurde ein neues Bindersystem in Zusammenarbeit mit dem Anlagenhersteller Incus GmbH entwickelt, um das Zersetzungsverhalten zu optimieren. Mittels ausgiebiger Thermogravimetrie-Untersuchungen konnten so Komponenten identifiziert werden, die dem bestehenden Bindersystem deutlich überlegen sind. Die resultierenden Ergebnisse haben bereits zu einer Reduktion des kritischen Kohlenstoffgehalts auf ein Drittel des Ausgangssystems geführt.

Parallel wurde eine Druckparameterstudie durchgeführt, die mittels eines statistischen Versuchsplans Zusammenhänge zwischen Grünteileigenschaften und unterschiedlichen Parameterstufen untersucht. Dieses Experiment wurde im Rahmen der WorldPM22-Konferenz in Lyon unter dem Titel „Impact of Printing Parameters on Green Density Homogeneity in Lithography-based Metal Manufacturing“ vorgestellt. Daraus resultierte die Einladung zu einem Vortrag im Expertenkreis additive Fertigung im Ausschuss für Pulvermetallurgie im März 2023.

### Projekt aProMag

Das Projekt aProMag („Anisotropic fast **P**rototyping of **M**agnetic Materials“) wurde über EIT Manufacturing der Europäischen Kommission im Jahr 2023 erfolgreich durchgeführt. aProMag hat es sich zum Ziel gesetzt, eine Technologie für das schnelle Prototyping von Rotoren für bürstenlose Gleichstrommotoren und Aktuatoren zu entwickeln, zu validieren und auf den Markt zu bringen. Hierbei spielt vor allem der 3D-Druck bei gleichzeitigem Einsatz eines Magnetfeldes im Fokus eine Rolle, welcher die anisotrope Ausrichtung von hartmagnetischem Material bei freiem konstruktivem Design ermöglicht. Die Spitzentechnologie wird den Materialeinsatz durch die Nutzung der additiven Fertigung reduzieren, so dass eine sehr geringe Abfallmenge entsteht und das Material bis zu 5-mal wiederverwendet werden kann (~97% Materialausbeute). Das einzusetzende Rohmaterialpulver ist ein Rohstoff der aus EOL (**E**nd-of-

Life)-NdFeB-Magneten gewonnen werden soll, um eine Kreislaufwirtschaft zu ermöglichen. Die sechs beteiligten Partner auf europäischer Ebene (Schweden, Slowenien und Deutschland) decken alle Wertschöpfungsketten ab, haben starke Synergien und bieten ein komplementäres Fachwissen in den Bereichen Materialherstellung, Herstellungsverfahren für Filamente und 3D-Druck von magnetischen Prototypen.

Das STI stellte in diesem Projekt den Partner zur Untersuchung der Herstellung dieser Materialien durch das **Cold Metal Fusion (CMF)** mittels LPBF (**Laser Powder Bed Fusion**) dar. Die ursprünglich geplante Nutzung des EOL-NdFeB Pulvers konnte, aufgrund der hohen Reaktivität und Verfügbarkeit von Verarbeitern auf dem Markt, leider nicht umgesetzt werden. Aus diesem Grund wurde zu weniger reaktivem und am Markt verfügbarem SmFeN-Pulver gewechselt, welches ggü. NdFeB ein schlechteres Energieprodukt aufweist, aber für den ersten Proof-of-Concept dennoch geeignet ist. Das Material wurde seitens der headmade materials GmbH zu einem auf wachstartigem Polymer basierten druckbaren Feedstock verarbeitet und zur Verfügung gestellt. Der für die Versuche genutzte LPBF-3D-Drucker wurde von der Sintratec AG aus der Schweiz bezogen (siehe Abb. 2). Nach anfänglichen Liefer- und Materialschwierigkeiten, konnten durch mehrere Parameterstudien erste Erfolge in der Herstellung von polymergebundenen Permanentmagneten mittels CMF erzielt werden (siehe Abb. 3). Die Formhaltigkeit und das Gefüge (nur ca. 10 vol% SmFeN) gilt es durch weitere Parameterstudien und alternative Materialien zu optimieren und sie können auf dem erfolgreichen dargestellten Proof-of-Concept von additiv gefertigten polymergebundenen Permanentmagneten mittels CMF aufbauen. Das Material weist im Generellen eine Koerzitivität von 503,1 kA/m und eine Remanenz von 84,6 mT auf. Diese gewonnenen Erkenntnisse und Ergebnisse sollen in ein daran anschließendes Folgeprojekt einfließen und weiter untersucht werden.

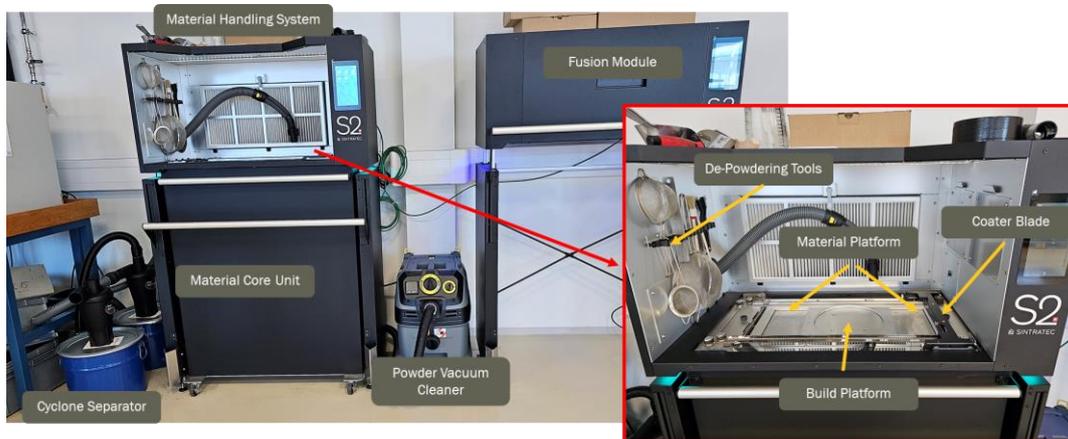


Abb. 2: Aufbau und wesentliche Bestandteile des LPBF-Druckers der Sintratec AG

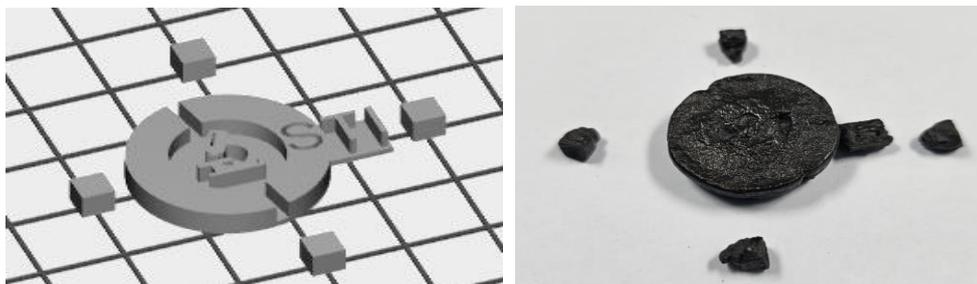


Abb.3: CAD-Modell der gedruckten Teile für das Projekt (links) und die mit dem SmFeN-Feedstock gedruckten Bauteile im Projekt (rechts)

## Projekt Aurum Nova

Im ZIM-Förderprogramm wurde erfolgreich das Projekt „Aurum Nova“ beantragt. Im Projekt (Laufzeit: 01.01.2023 – 31.12.2025) wird eine innovative Prozesskette entwickelt, um neuartige 18-Karat Goldwerkstoffe mit Farben außerhalb des bekannten Spektrums durch heiß-isostatisches Pressen (HIP) im TRL 3-4 herstellen zu können. Gold kann mit zahlreichen Metallen legiert werden, bevorzugt mit Silber, Kupfer, Nickel, Palladium und Platin, aber auch mit Elementen wie Cadmium, Indium, Zink oder Zinn. Hinzulegierung dieser Metalle sorgt dafür, dass das ursprünglich außerordentlich weiche Edelmetall eine größere Härte erhält. Aufgrund der Mischbarkeit von Gold (Au) mit farbverändernden metallischen Legierungselementen im schmelzflüssigen Zustand können verschiedene Goldfarben erzeugt werden, die von Kupferrot über Grüngelb bis „Weiß“ reichen. Sowohl seitens der Designer von Premium-Anwendungen als auch der Endkunden besteht jedoch großes Interesse, das Farbspektrum für Goldfarben zu erweitern und damit Diversifizierung, Individualisierung und Abgrenzung von Wettbewerbern zu erreichen. Trotz vielfältiger Anstrengungen ist es deshalb mittels konventioneller Schmelztechnologien bisher nicht gelungen, hochwertige Schmuckwerkstoffe mit einem Goldanteil von mindestens 75% außerhalb des beschriebenen Farbspektrums herzustellen.

Beim hier zu entwickelnden modifizierten Heiß-Isostatischen Pressen (HIP) hingegen wird in einem zweistufigen Prozess zunächst eine mechanische Pulvermischung (siehe Abb. 4) des Goldpulvers (>75 Gew%) mit geeigneten, farbverändernden Zusatzelementen hergestellt und in ein Trägerrohr gefüllt. Die Pulvermischung wird im zweiten Prozessschritt unter hohem Druck und geeigneter Temperatur zu einem hochdichten Festkörper verpresst, in dessen Goldmatrix die farbverändernden Zusatzstoffe gleichmäßig verteilt oder gezielt lokal agglomeriert eingebettet sind. Aufgrund der innovativen Prozessführung können farbverändernde Stoffe eingesetzt werden, die im konventionellen Schmelzverfahren nicht im Gold löslich sind. Ein Beispiel dafür zeigt das Gold-Glas Composite in Abbildung 4.

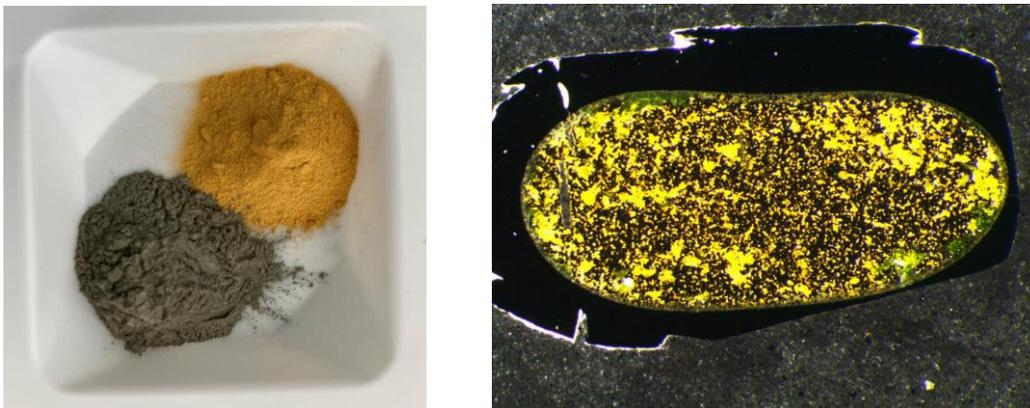


Abb. 4: Gold- und Zinn-Pulver (links) und Gold-Glas-Composite unter dem Stereomikroskop (rechts)

## Projekt REsolve

Ein Verbundvorhaben im Rahmen Forschung an Fachhochschulen in Kooperation mit Unternehmen (FH-Kooperativ) wurde in Zusammenarbeit mit der Hochschule Aalen, der Kolektor GmbH & Co. KG (Essen), der MIMplus GmbH & Co. KG (Ispringen) sowie der Clausing GmbH (Pforzheim) erfolgreich beantragt und gestartet. Das Projekt „Ultraeffizienzkonzept für die Wiederverwertung von Seltenerd-magneten für Hochleistungsanwendungen in Elektromobilität, erneuerbare Energie und Digitalisierung“ (REsolve) wurde am 01.02.2021 gestartet und soll bis

31.01.2025 bearbeitet werden. Im Projekt wird ein Ultraeffizienzkonzept für die Wiederverwertung von Seltenerd magneten für Hochleistungsanwendungen in Elektromobilität, erneuerbarer Energie und Digitalisierung entwickelt.

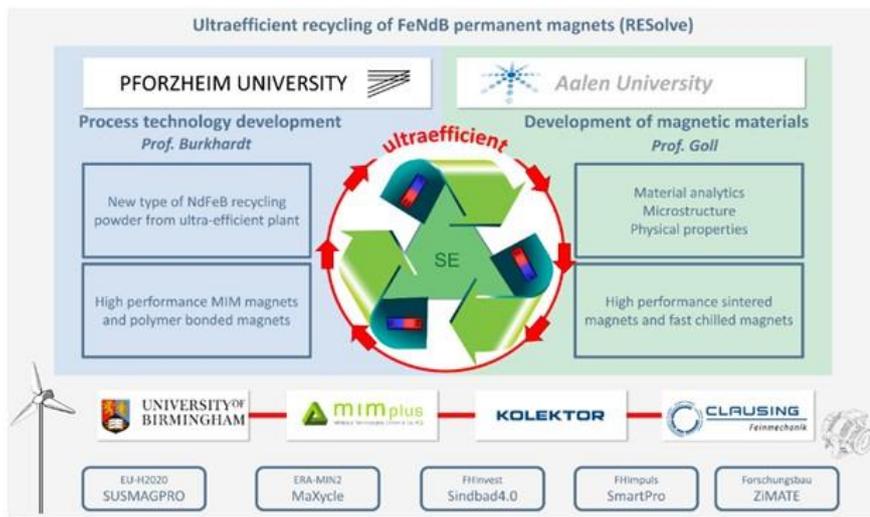


Abb. 5: Resolve-Projektstruktur

Im Rahmen des Projekts wurden ein Partikelmessgerät und diverse Pulverauffbereitungsanlagen angeschafft.

Es wurde ein nasschemischer Prozess entwickelt, wodurch die neodymreiche Phase von der hartmagnetischen Phase getrennt wird. Dies geschieht durch Auflösen der Nd-reichen Phase in einer organischen Säure. Da sich die Nd-reiche Phase bevorzugt auflösen lässt, konnte ein Optimum bei den Prozessparametern Behandlungszeit und Säurekonzentration ermittelt werden. In der Abbildung 6 sind REM-Aufnahmen des Magnetpulvers nach den verschiedenen Prozessschritten abgebildet. Die End-of-Life-Magnete werden im sogenannten HPMS-Prozess (Hydrogen Processing of Magnetic Scrap) mit Wasserstoff zu Pulver zersetzt. Das Grobpulver wird gemahlen, um die Agglomerate aufzubrechen. An dem gemahlene Pulver sind feine Partikel zu erkennen, bei diesen handelt es sich um die Nd-reiche Phase, welche im nächsten Prozessschritt aufgelöst wird.

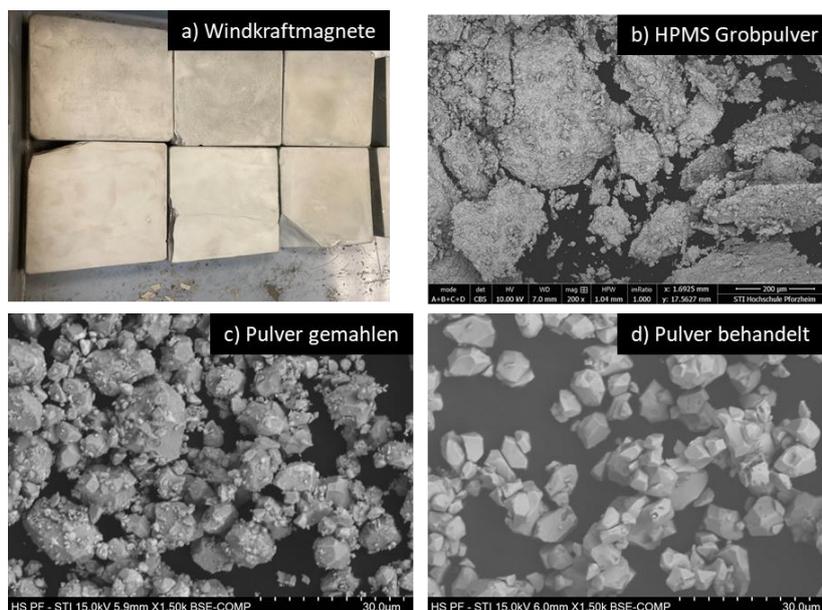


Abb. 6: Aufnahmen nach verschiedenen Prozessschritten: a) Foto sandgestrahlter Magnete, b) REM-Aufnahme Grobpulver nach HPMS, c) REM-Aufnahmen Pulver nach Kugelmahlen, d) REM-Aufnahme nach Säurebehandlung

Im weiteren Projektverlauf wurden aus diesem Pulver (Neoleach-Pulver) gesinterte Magnete produziert und untersucht. Hierzu wurden zwei verschiedene Nd-reiche Zusatzlegierungen in verschiedenen Mengen zugemischt und bei verschiedenen Temperaturen gesintert. Dabei wurden Magnete mit einer leicht erhöhten Remanenz hergestellt, jedoch wurde bei der Koerzitivität nur die Hälfte des Wertes des Ursprungsmagneten erreicht.

Parallel dazu wurde das Neoleach-Pulver detailliert charakterisiert, um diese Phänomene besser zu verstehen. Die Ergebnisse des Pulver-Aufbereitungsprozesses wurden in Form eines Posters an der REPM2023 in Birmingham vorgestellt.

In Zusammenarbeit mit dem Jožef Stefan Institute (Slowenien) als assoziiertem Partner wird eine Promotion durchgeführt.

### Projekt INSPIRES

Im Regional Innovation Scheme (RIS) des EIT-RawMaterial-Programms der EU wurde das Projekt „Intelligent and Sustainable Processing of Innovative Rare-Earth magnets“ (INSPIRES) bewilligt. Das Projekt zielt darauf ab, seltene Erden innerhalb der EU beim Recycling von Permanentmagneten aus Haushaltsgeräten zurückzugewinnen. Im Projekt sollen Methoden für die nachhaltige Gewinnung und das Recycling sowie die Verwendung von recycelten Magneten in neuen Motoren im industriellen Maßstab, am Beispiel des regionalen Industrieraums Slowenien, optimiert werden.



Abb. 7: Regionale Kreislaufwirtschaft im Regional Innovation Scheme (RIS) INSPIRES

Dafür werden umfangreiche Sammlungen an Haushaltsgeräten, E-Rollern und Elektrowerkzeugen demontiert und auf ihren Magnetgehalt untersucht. Die magnethaltigen Teile wie z.B. Rotoren werden daraufhin auf ihre Recyclingfähigkeit geprüft. Dabei werden Demontagemethoden mit verschiedenen (Motor-)Konstruktionen sowie Separationsmethoden mit verschiedenen Magnetbeschichtungen erprobt, um möglichst sauberes Magnetpulver herzustellen. Auch die Verarbeitung von minderwertigeren, stark kontaminierten Recyclingpulvern wird erprobt, um den Umfang der verarbeitbaren Magnetqualitäten zu steigern und den Bedarf an preiswerteren Magneten mit geringerer Leistung ebenfalls zu decken. Die Ergebnisse dieser

Analysen werden durch die im Projekt mitarbeitenden Hersteller aufgegriffen und zwecks besserer Recyclebarkeit wenn möglich umgesetzt. Recyclingunternehmen im Projekt nutzen die Erkenntnisse aus den Demontageversuchen, um Magnetschrottquellen zukünftig zuverlässig lokalisieren zu können und die Möglichkeiten zur ökonomischen und ökologischen Verarbeitung bestmöglich auszuschöpfen. Die Herstellung und Prüfung von recycelten Magnetpulvern und daraus hergestellten polymergebundenen Magneten erprobt die erarbeiteten Prozesse und bereitet die Projektpartner auf eine kommerziell skalierte Produktion in Zukunft vor. Slowenien ist als eine der führenden Nationen bei der Forschung und Verarbeitung von Magneten ein hervorragendes Zentrum für das „Regional Innovation Scheme“ und wird dabei von verschiedenen Forschungsinstituten aus Europa unterstützt.

Das Projekt hat eine Laufzeit vom 01.03.21 bis 28.02.2024. Projektpartner sind das Centre for European Policy Studies (CEPS) (Belgien), National Research Council (Italien), Domel, Elektromotorji in gospodinjiski aparati, d.o.o (Slowenien), Gorenje gospodinjiski aparati, d.o.o (Slowenien), Jožef Stefan Institute (Slowenien), KOLEKTOR KFH, Pogonski sistemi in komponente d.o.o (Slowenien), Hochschule Pforzheim (Deutschland), Surovina družba za predelavo odpadkov d.o.o (Slowenien), Technical University of Denmark (Dänemark), ZEOS, ravnanje z električno in elektronsko opremo, d.o.o.(Slowenien) und das Spanish National Research Council (Spanien) als Koordinator.

Im Rahmen des Projekts wurde ein Kohlenstoffanalysegerät angeschafft. In Zusammenarbeit mit der Universität Ljubljana wird ein Promotionsvorhaben durchgeführt.

### **Projekt SUSMAGPRO**

Im Forschungsförderungsprogramm Horizon2020 der Europäischen Union wurde das Projekt „Sustainable Recovery, Reprocessing and Reuse of Rare-Earth Magnets in a Circular Economy“ (SUSMAGPRO) fortgeführt, bei dem das STI die Projektkoordination innehat. Das Projekt hatte eine Laufzeit vom 01.06.2019 bis 31.05.2023. Zusammen mit den Partnern B&C Speakers s.p.a (Italien), Bunting Magnetics Europe Limited (Großbritannien), Fotec Forschungs- und Technologietransfer GmbH (Österreich), Grundfos Holding AS (Dänemark), Inserma Anoaia, S.L. (Spanien), Jožef Stefan Institute (Slowenien), Kolektor Magnet Technology GmbH (Slowenien), Less Common Metals Limited (Großbritannien), Magneti Ljubljana d.d. (Slowenien), MIMplus Technologies GmbH & Co. KG (Deutschland), Montanuniversität Leoben (Österreich), Rise Research Institutes of Sweden AB (Schweden), Steinbeis Innovation gGmbH (Deutschland), Stena Recycling International AB (Schweden), Universität Leiden (Niederlande), University of Birmingham (Großbritannien) und ZF Friedrichshafen AG (Deutschland) entwickelte das Projekt die Infrastruktur zur Rückgewinnung der vielen Tonnen Magnete, die bereits in Millionen von Geräten nach Europa eingeführt wurden, anstatt diese kritische Ressource am Ende des Produktlebenszyklus auf Deponien zu entsorgen oder in andere Teile der Welt zu exportieren. Die in 4 Pilotanlagen realisierten Aufbereitungswege decken die gesamte Wertschöpfungskette ab, von der robotergestützten Sortierung, Trennung und Magnet-/Legierungsherstellung bis hin zu neuen Permanentmagneten aus recyceltem Material.

Im Rahmen der Analyse wurden bisher über 160 verschiedene magnethaltige Anwendungen zerlegt und hinsichtlich Zerlegefreundlichkeit, Magnetqualität/chemischer Zusammensetzung, Recyclingattraktivität und vieler weiterer Parameter untersucht und klassifiziert (Abb. 8).

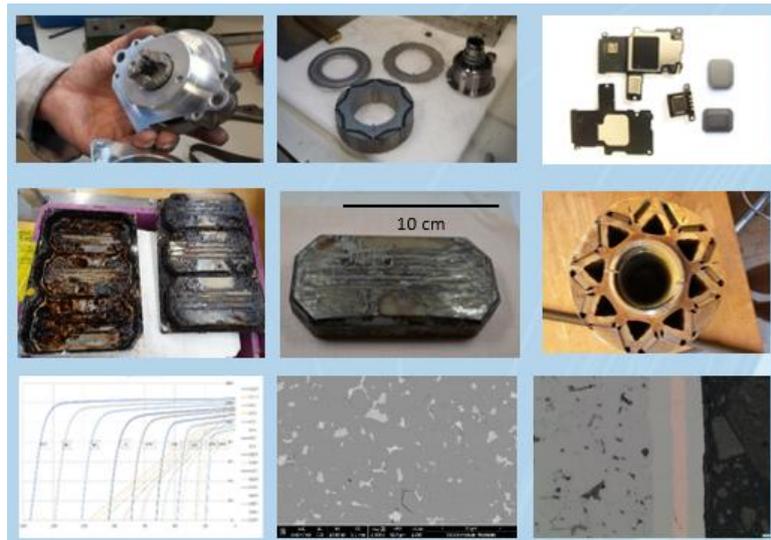


Abb. 8: Analyse von magnethaltigen Komponenten

Zur Auswertung wurde eine Datenbank entwickelt und mit den entsprechenden Daten gefüllt (Abb. 9). Die Ergebnisse bilden die Basis für die Magnetherstellung aus Recyclingmaterial und liefern wichtige Erkenntnisse für recyclinggerechtes Design. Hierfür wurde ein Katalog mit Konstruktionsmerkmalen entwickelt, deren Recyclingfreundlichkeit evaluiert wurde.



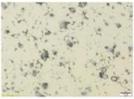



[Start](#)
[EOL Magnet List](#)
[Powder List](#)
[Reprocessed Magnet List](#)
[Advanced Search](#)
[Backend](#)
[Logout](#)

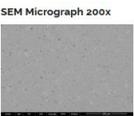
### EOL-Magnet Magnetic Characterisation (ID: 14) [Back to Magnet](#)

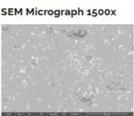
#### Microstructure

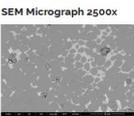
Optical Micrograph 500x  


Optical Micrograph 1000x  


Optical Micrograph Grainsize 500x  
  
Grainsize: 12.5

SEM Micrograph 200x  


SEM Micrograph 1500x  


SEM Micrograph 2500x  


#### Magnetic Values

Demagnetisation Graph  


Magnetic Field  
  
NO IMAGE FOUND

**Magnet Grade** N42

**Br** 1246.17 mT

**HcJ\*** 1351.094 kA/m

**BH Max** 300.933 kJ/m<sup>3</sup>

#### Chemical Analysis

ICP-OES [wt.%]											ONH/CS [ppm]		
Fe	Nd	B	Pr	Cu	Co	Ho	Al	Nb	Ga	Gd	Total	O	C
63.71	24.70	1.02	5.92	0.19	0.94	0.8	0.47	0.2	0.09	0.71	98.84	1664	1107

Abb. 9: Auszug aus der SUSMAGPRO-Datenbank

Im Rahmen eines Life-Cycle-Assessments wurde eine Stoffstromanalyse für die EU durchgeführt, um die für das Magnetrecycling interessanten Anwendungen und Warenströme zu identifizieren (Abb. 10).

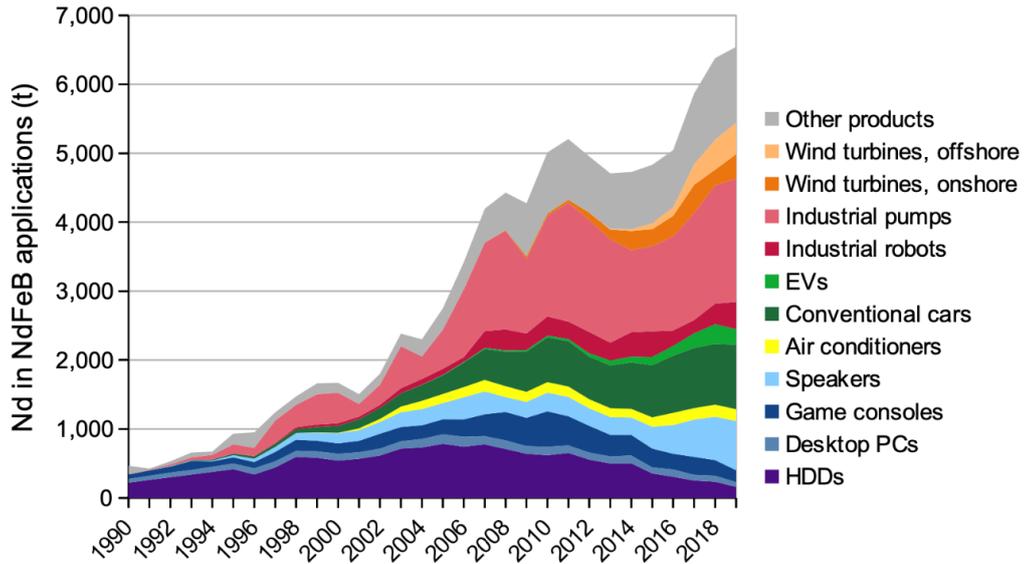


Abb. 10: Nd-Stoffströme in EU-28 (incl. Großbritannien)

Zur automatisierten Zerlegung von magnethaltigen Komponenten wurden anwendungsspezifische Pilotanlagen aufgebaut (Computerfestplatten aus Serverfarmen, Flachbildschirme, Rotoren von Elektromotoren und -generatoren). Zur Identifikation kommen im Projekt entwickelte Sensoren, Bilderkennungsprogramme und Automatisierungen zum Einsatz (Abb. 11 und 12).

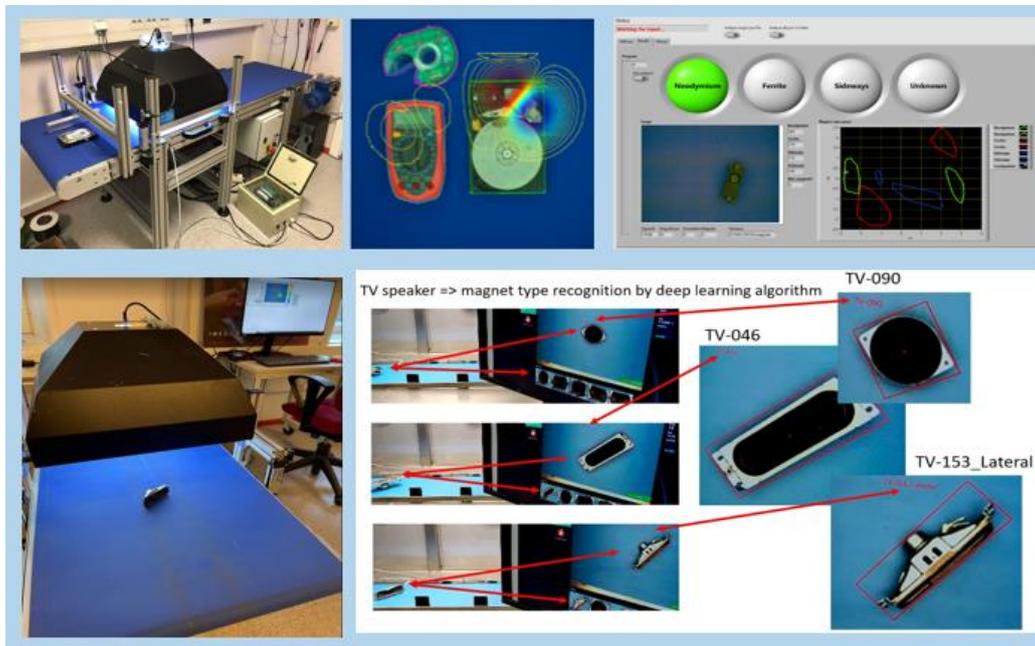


Abb. 11: Automatisierte Erkennung von magnethaltigen Lautsprechern in Flachbildschirmen



Abb. 12: Mobile Einheit zur automatisierten Extraktion von Magneten aus Computerfestplatten

Aus den extrahierten Magneten wurden gesinterte, polymergebundene und MIM-Magnete hergestellt. Hierbei konnten Recyclatmagnete mit vergleichbaren Eigenschaften zu Neumagneten hergestellt werden (siehe Abb. 13).

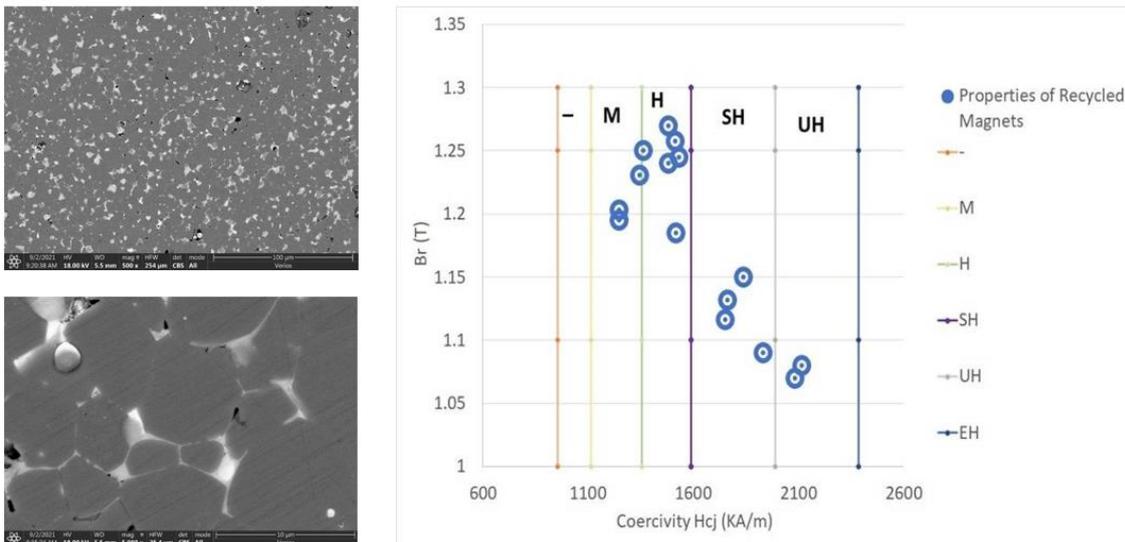


Abb. 13: Eigenschaften von gesinterten Recyclatmagneten

Die Magnete wurden in Lautsprecher-Demonstratoren eingebaut, in umfangreichen Audio- und Alterungsversuchen konnten keine Unterschiede zu Magneten aus Neumaterial festgestellt werden (siehe Abb. 14).

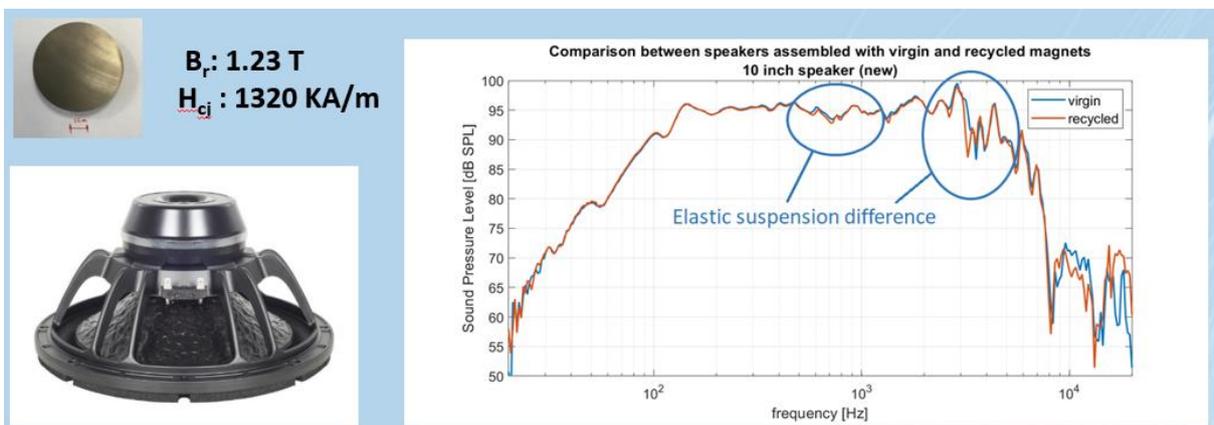


Abb. 14: Audioversuche an Lautsprechern mit Recyclatmagneten

Es wurden darüber hinaus Demonstratoren für Traktionsmotoren von E-Fahrzeugen, Heizungspumpen und Sensoren aufgebaut, bei denen auch polymergebundene und MIM-Magnete zum Einsatz kommen. Die Ergebnisse zeigen, dass recycelte Magnete gleiche Leistung wie Neumagnete zeigen, aufgrund von Vertraulichkeitsvereinbarungen können die Ergebnisse in diesem Report allerdings nicht dargestellt werden.

Eine Ökobilanzierung zeigt, dass recycelte Magnete eine deutlich bessere Umweltbilanz als Neumagnete aufweisen (siehe Abb. 15).

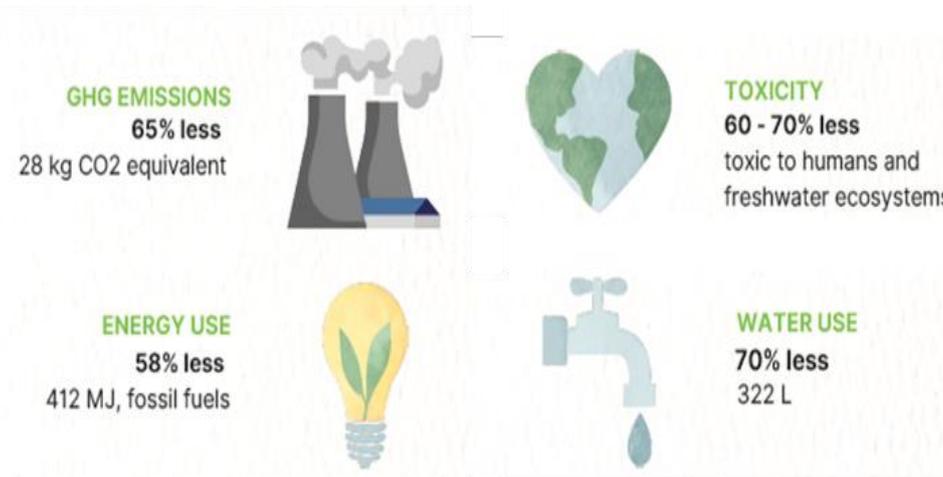


Abb. 15: Umweltauswirkungen von 1 kg gesintertem Lautsprechermagneten (HPMS-Kurzschlusschleife) im Vergleich zu 1 kg gleichwertigem Primärmagneten

Es ist dabei anzumerken, dass es sich hierbei um Laborbedingungen handelt, wo insbesondere die Pulverherstellung einen deutlich höheren Energieverbrauch hat, als dies unter Serienbedingungen der Fall ist. Es wird erwartet, dass bei allen Werten unter Serienbedingungen Einsparungen >80% erreicht werden.

Im Rahmen eines Promotionsvorhabens in Zusammenarbeit mit der Montanuniversität Leoben wird zudem ein neues Herstellungsverfahren für isotrope und anisotrope, endkonturgetreue Permanentmagnete mittels Extrusion entwickelt (siehe Abb. 16).

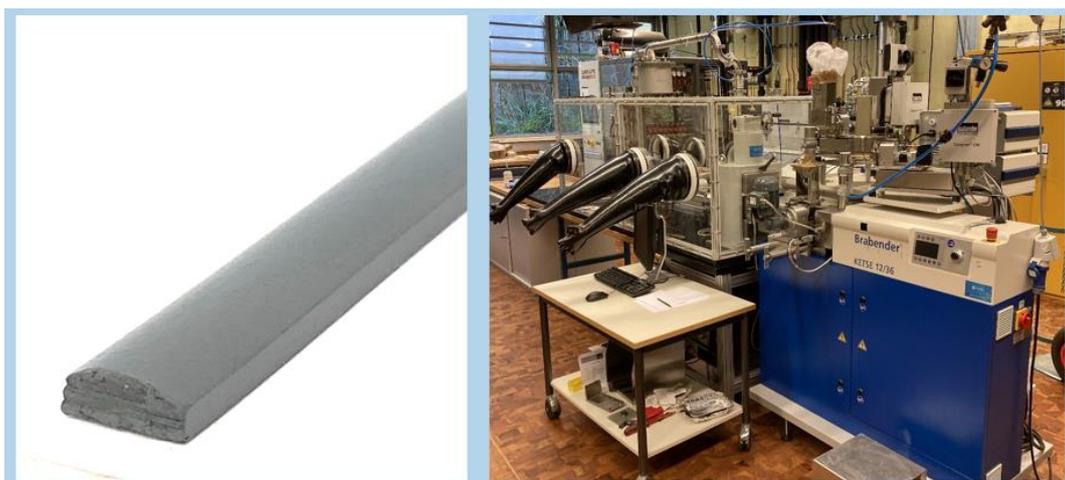


Abb. 16: Neu entwickelte Extrusionsanlage zur Herstellung von anisotropen Permanentmagneten

Im Rahmen des Projekts wurden ein Magnetometer, ein Magnetpulser, ein Extruder zur Fertigung magnetischer Profile, eine ICP-OES sowie ein weiterer Sinterofen angeschafft, um die umfangreichen Projektaufgaben zu bewältigen. 2023 wurden im Rahmen von SUSMAGPRO zwei Studentenprojekte, eine Masterarbeit und eine Promotion betreut.

Das Projekt wurde im Rahmen der European Raw Materials Week 2022 im November 2022 als *HORIZON 2020 Success Story* ausgezeichnet.

### Projekt REEsilience

Im HORIZON-EUROPE-Förderprogramm der EU wurde erfolgreich das Projekt „REEsilience“ beantragt. Im Projekt (Laufzeit: 01.07.2022 – 30.06.2026) wird ein Produktionssystem aufgebaut, das eine belastbare und nachhaltige Versorgungskette für RE als kritische Rohstoffe für Elektromobilität, erneuerbare Energien und andere strategische Sektoren in Europa mit geringerer Abhängigkeit von außereuropäischen Volkswirtschaften gewährleistet. Ein neu entwickeltes Software-Tool wird optimale Mischungsverhältnisse ermitteln, um eine gleichbleibend hohe Produktqualität mit einem Maximum an Sekundärstoffen für Hightech-Anwendungen zu gewährleisten. In Verbindung mit neuen und verbesserten Technologien für die Legierungsherstellung und die Pulveraufbereitung, insbesondere von Sekundärwerkstoffen, werden die Ausbeute und die Stabilität der Prozesse weiter verbessert, was eine weitere Erhöhung des Anteils von Sekundärwerkstoffen an der RE-PM-Produktion ermöglicht, während gleichzeitig Abfall, Umweltschäden und der Energieverbrauch im Zusammenhang mit der Herstellung von Neuware verringert werden. Derzeit finden die vorbereitenden Arbeiten (Mapping der Primär- und Sekundärquellen, Bewertung der ESG-Kriterien der Quellen (Ethics, Sustainability, Governance), Definition der Software-Anforderungen etc. statt, die erforderlich sind, um ein wettbewerbsfähiges Produktionssystem darzustellen.

Das Projekt wird vom STI der Hochschule Pforzheim koordiniert, das Konsortium besteht aus 19 europäischen Partnern: Steinbeis Europa Zentrum (Deutschland), University of Birmingham (Großbritannien), Jožef Stefan Institute (Slowenien), University of Leiden (Niederlande), Valeo EEM (Frankreich), Research Institute of Sweden RISE (Schweden), INSERMA ANOIA, S.L. (Spanien), Mkango Polska (Polen), Kolektor Group (Slowenien), Kolektor KFH (Slowenien), Kolektor ASCOM (Slowenien), Circularise (Niederlande), Bergakademie Freiberg (D), der STI Ausgründung HyProMag GmbH (D), Donau-Universität Krems (Österreich), Delft University (Niederlande), HyProMag Ltd (Großbritannien), Carester S.a.r.l. (Frankreich), der Rare Earth Industry Organisation REIA (Belgien) sowie den assoziierten Partnern Siemens Gamesa Renewable Energy (Dänemark) und SUEZ Recycling (Frankreich).

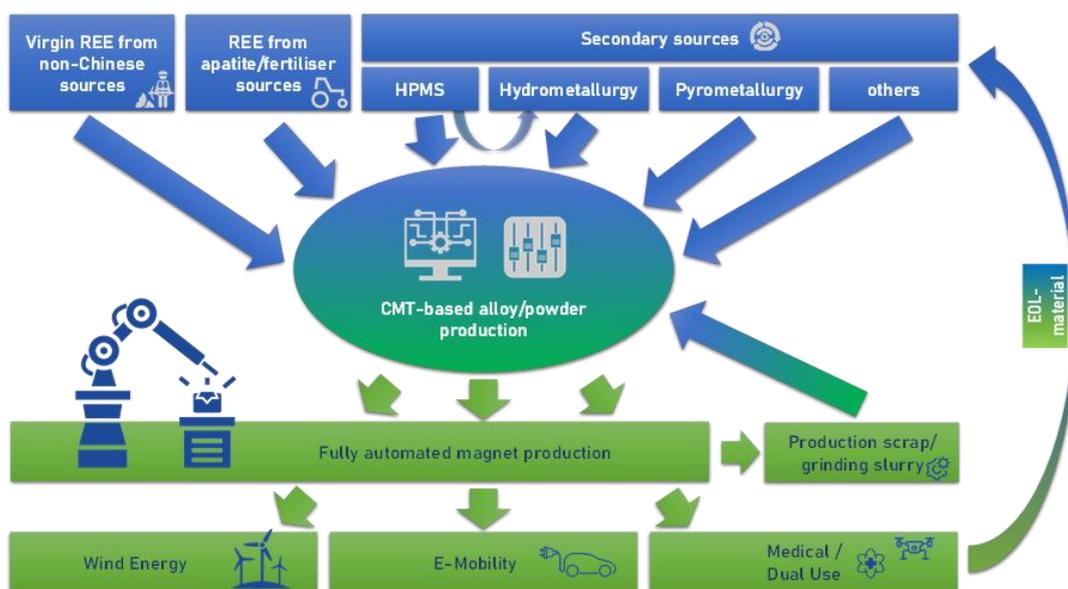


Abb. 17: REEsilience Materialflusskonzept

Bisher wurden folgende Ergebnisse erzielt:

- Aufbau einer detaillierten Datenbank relevanter Primärquellen für seltene Erden mit 715 nichtchinesischen Quellen, inkl. einer ersten Bewertung der chemischen Zusammensetzungen und ESG-Kriterien, die in einem zweiten Schritt ausdetailliert wird.
- Überführung, Optimierung und Ausbau der SUSMAGPRO-Datenbank relevanter Sekundärquellen für Magnetschrotte (siehe auch Abb. 9) mit nun 180 Quellen inkl. der Bewertung der Magnetqualität, Wirtschaftlichkeit der Verwertung und des projizierten Schrottaufkommens für die nächsten Jahre, inkl. der Bewertung neuer Magnetgeometrien, insbesondere segmentierte/laminierte Magnete (Abb. 18).

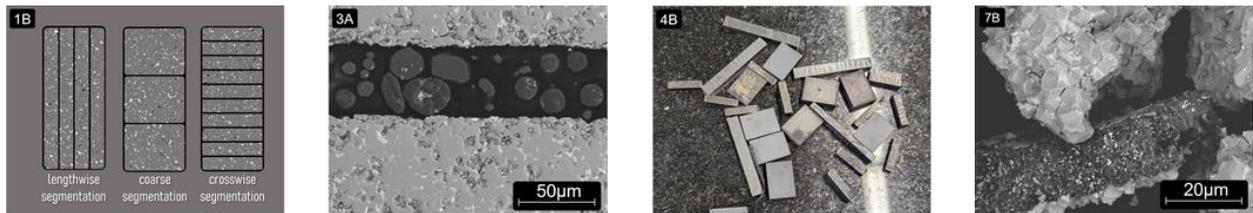


Abb. 18: Analyse laminiertes Magnete

- Aufbau einer dynamischen Systemmodellierung für Permanentmagnete

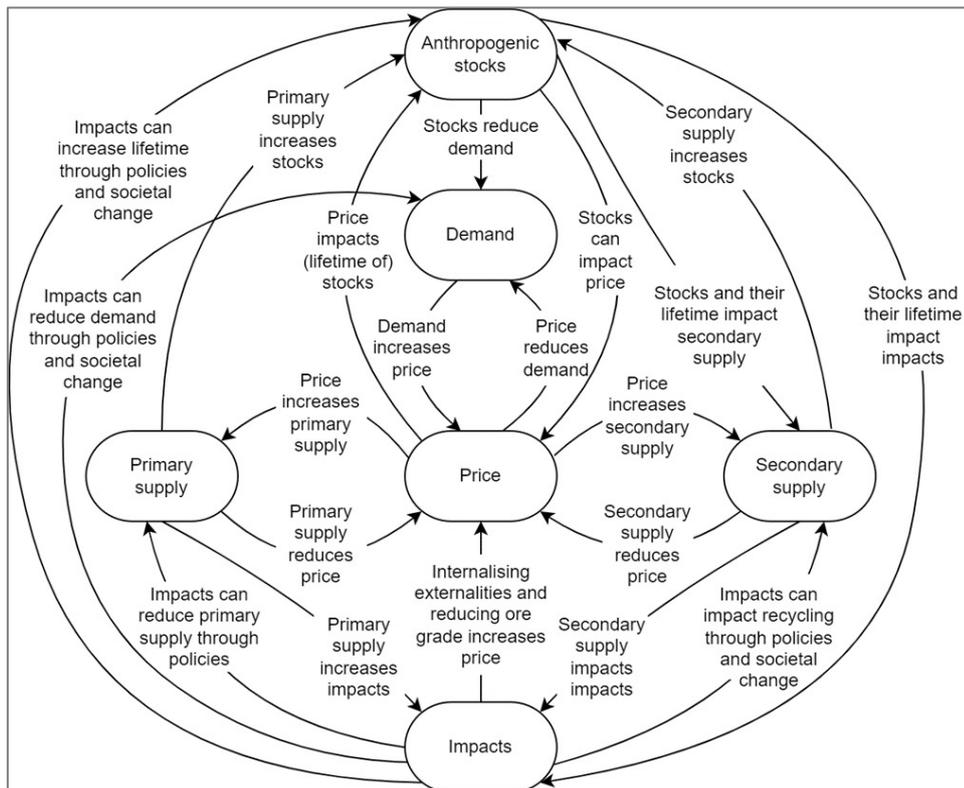


Abb. 19: Exemplarisches Subsystem der dynamischen Modellierung

- Datenblätter und Zeichnungen der zu produzierenden Demonstratormagnete
- Erste Tests zur Mischung von Neu- und EOL-Material zur Produktion von Permanentmagneten

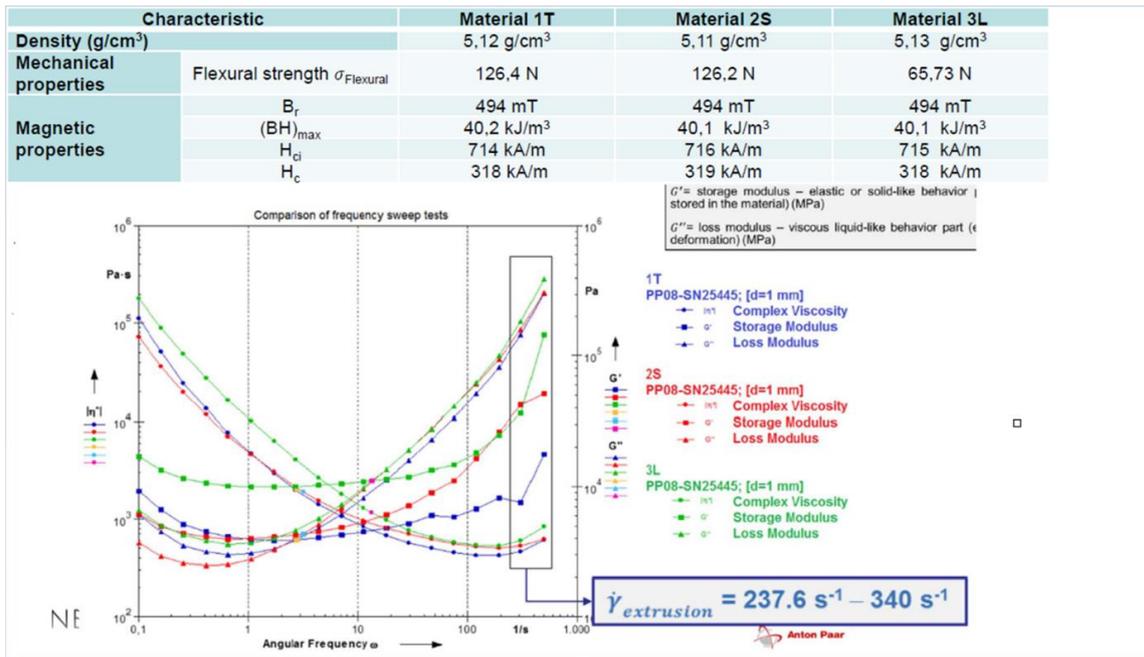


Abb. 20: Untersuchung unterschiedlicher Magnetlegierungen (Mischungen aus Neu- und EOL-Material)

- Planung, Bestellung, Aufbau und erste Inbetriebnahme von Produktionseinrichtungen zur Herstellung von Permanentmagneten

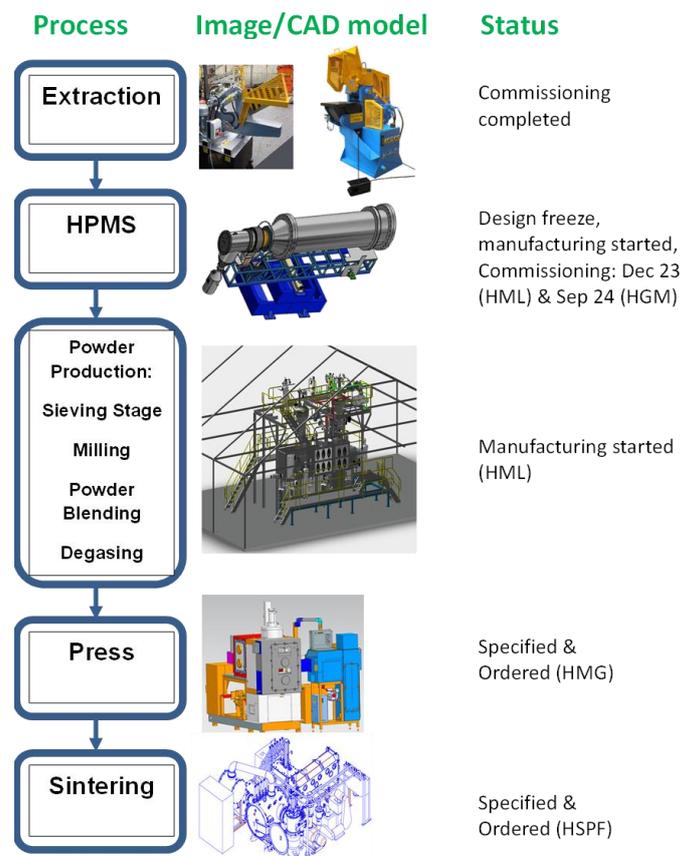


Abb. 21: Pulver- und Magnetproduktionslinie (Prozessschritte und Status der Umsetzung)

- Entwicklung neuer Magnetmessverfahren zur Integration in die vollautomatisierte Produktionslinie (Abb. 22) inkl. Hard- und Softwareentwicklung



Abb. 22: 3D-Magnetscanner (links) und 2D-Magnetometer auf XY-Tisch (rechts)

- Aufbau des Prototyps einer innovativen Schmelzflusselektrolyse-Zelle (Abb. 23) zur umweltfreundlichen Gewinnung von hochreinen SE-Metallen bei deutlich verringerter Schadgasentwicklung unter Verwendung einer inerten Anode

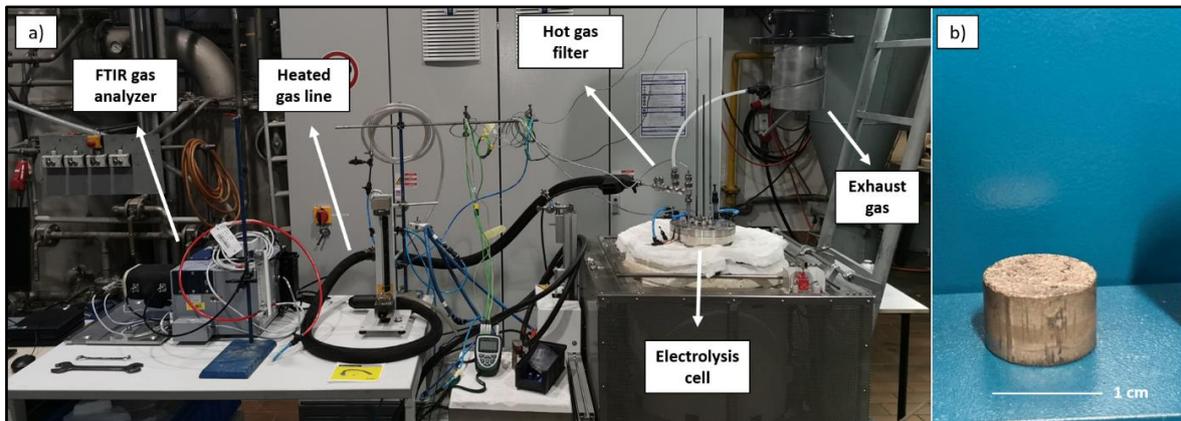


Abb. 23: Pilotanlage der Schmelzflusselektrolyse (a) und inerte Anode (b)

- Neue Verfahren zur Magnetextraktion und erste Ansätze zur Automatisierung
- Ein neues Verfahren zur Pulveraufbereitung mit dem Ziel der Herstellung von Magneten mit verringertem SE-Anteil
- Neue Ansätze und Lösungsmöglichkeiten zum Design-for-Recycling für Rotoren von Elektromotoren
- Ein Curriculum für einen Masterstudiengang „Magnet Expert“
- Projektvideos und 2 Publikationen

In Abbildung 24 sind die „bis“-Ergebnisse von REEsilience zusammengestellt, deren kommerzielle Verwertung am Projektende angestrebt wird.

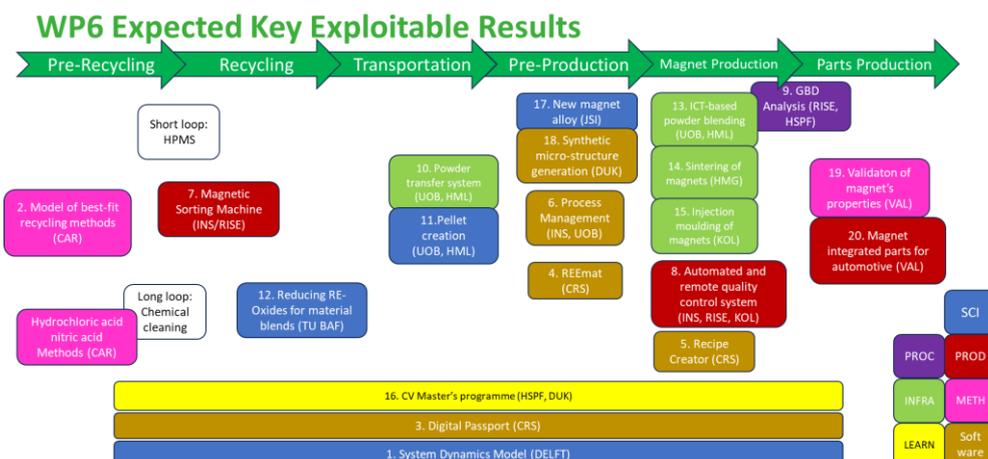


Abb. 24: Erwartete verwertbare Hauptergebnisse im Projekt REEsilience

2023 wurden im Rahmen von REEsilience eine Masterarbeit und eine Promotion betreut.

Aufgrund ihrer Expertise im Bereich der Kreislaufwirtschaft von Permanentmagneten auf Basis seltener Erden konnte die Institutsleitung einen erheblichen Beitrag zur Erstellung des Critical Raw Materials Acts der EU und zum Aufbau einer CEN-Normungsgruppe „Seltene Erden“ leisten.

Das STI ist im High-Level-Forum „Standardisation of Critical Raw Materials“ der EU, am Runden Tisch Kreislaufwirtschaft Metalle des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, nukleare Sicherheit und Verbraucherschutz – BMUV, des CEN/TC „Rare Earth“ und in der deutschen Spiegelgruppe des ISO/TC 298 „Rare Earth“ als Experte für Permanentmagnete vertreten.

**Institutsleitung: Prof. Dr. Carlo Burkhardt**

Weitere Informationen: [www.hs-pforzheim.de/sti](http://www.hs-pforzheim.de/sti)

### 1.2.5 Institut für Personalforschung – IfP

---

Das Institut für Personalforschung im Human Resources Competence Center (HRCC) an der Hochschule Pforzheim arbeitete im Jahr 2023 an sechs Forschungsprojekten in fünf unterschiedlichen Themenbereichen.

Im **Themenbereich Agilität und Innovation** agierte das IfP weiterhin gemeinsam mit dem Institut für Industrial Ecology (INEC, Prof. Dr. Claus Lang-Koetz) im Forschungsprojekt „*Selbstorganisiertes Innovationsmanagement im digitalen Zeitalter*“ (InnoDiZ). Das Projekt wurde im Rahmen des Förderprogramms „Zukunft der Arbeit“ als Teil des Dachprogramms „Innovationen für die Produktion, Dienstleistung und Arbeit von morgen“ vom Bundesministerium für Bildung und Forschung und dem Europäischen Sozialfond gefördert (FKZ 02L17C50). Details zum Projektverbund können der Website des Projekts entnommen werden ([www.inno-diz.com](http://www.inno-diz.com)). Projektbeteiligte am IfP waren Prof. Dr. Stephan Fischer und Dr. Sabrina Weber. Das dreijährige Forschungsprojekt endete am 31.12.2021. Im Fokus für das abgelaufene Jahr 2023 stand weiterhin die Verwertung der wissenschaftlichen Ergebnisse. Diese wurden gemeinsam mit den Kolleginnen und Kollegen des INEC sowohl für den wissenschaftlichen Diskurs als auch für die anwendungsorientierte Praxis publiziert.

Im **Themenbereich Rekrutierung und Bindung** stand im abgeschlossenen Jahr 2023 zunächst noch das Projekt „*Emotionale Mitarbeiter\*innenbindung im Evangelischen Kirchenkreis Stuttgart*“ im Fokus. Projektbeteiligte am IfP waren Prof. Dr. Stephan Fischer und Dr. Sabrina Weber.

Das Projekt beschäftigte sich mit neuen Formen der Personalbindung im Bereich der Kindertageseinrichtungen und verfolgte einen quantitativen und qualitativen Untersuchungsansatz, um durch die Kombination unterschiedlicher Methoden der empirischen Sozialforschung einen möglichst großen Erkenntnisgewinn zu gewährleisten. Im Projekt wurde auf Basis von Organisationsdaten die Personalfluktuation der letzten drei Jahre analysiert und es erfolgte sowohl 2022 als auch 2023 eine quantitative empirische Untersuchung (Online-Befragung, ergänzt durch Papierfragebögen) des affektiven und normativen Commitments der pädagogischen Fachkräfte. Die in der Organisation bestehenden Anreize des internen Personalmarketings (als ein Indikator für die Arbeitgebermarke) wurden analysiert und erste inhaltliche Entwicklungsfelder auf Basis der einschlägigen Literatur und vorhandener empirischer Daten aus anderen Studien erarbeitet. Schließlich wurden über qualitative halb-strukturierte Interviews mit Fachkräften sowie ergänzend mit Vertreterinnen und Vertretern der Personalabteilung, der Fachberatungen und der Mitarbeitendenvertretung mögliche Anreize für eine Verstärkung des affektiven und normativen Commitments der Fachkräfte exploriert.

Einige Ergebnisse der verschiedenen Datenerhebungen bei den pädagogischen Fachkräften deuten darauf hin, dass die Werte für die Zufriedenheit mit den Arbeitsbedingungen 2023 niedriger als 2022 liegen und gleichzeitig höhere Wechselabsichten angegeben werden (zu beachten ist hier, dass es sich jeweils um Querschnitterhebungen handelte). Im Gegensatz dazu werden aber Team und Vorgesetzte eher positiv bewertet. Zudem wurde festgestellt, dass die Bindung an den Beruf stärker ausgeprägt ist als an den Träger. Als Wünsche an den Träger haben die pädagogischen Fachkräfte insbesondere Änderungen von Rahmenbedingungen der Anstellung, eine gute Ausstattung (v.a. IT), interne Vernetzungsmöglichkeiten, Benefits bzw. Angebote für Mitarbeitende (z.B. Gesundheitsförderung), Wertschätzung und Unterstützung sowie Lobbyarbeit des Trägers für den Beruf unter guten Arbeitsbedingungen genannt.

Neu startete zudem im Themenbereich Rekrutierung und Bindung im Juni 2023 das aus der Privatwirtschaft finanzierte Forschungsprojekt „*Employee Listening*“. Projektbeteiligte am IfP sind Prof. Dr. Stephan Fischer und Dr. Sabrina Weber.

Das Forschungsprojekt beschäftigt sich mit dem Einsatz von Employee-Listening-Methoden in unterschiedlichen organisationalen Kontexten. Employee Listening findet in vielen Unternehmen auf unterschiedliche Art und Weise statt und gewinnt nicht zuletzt aufgrund von Fachkräfteengpässen weiter an Bedeutung. In der Praxis vieler Unternehmen kommen entsprechend Employee-Listening-Methoden (z.B. klassische Mitarbeitendenbefragungen oder Pulsbefragungen) zum Einsatz. Ziel des Einsatzes dieser Employee-Listening-Methoden ist es, durch die Auswertung und Umsetzung der Befragungsergebnisse die interne Kommunikation zu verbessern, die Qualität der Beziehungen zwischen Mitarbeitenden und Unternehmen zu beeinflussen, die Produktivität zu steigern und Fluktuation zu reduzieren. Empirische Studien zeigen, dass die Wahrnehmung der Mitarbeitenden hinsichtlich des Einsatzes von Employee-Listening-Methoden in der Organisation positiv mit der wahrgenommenen Beziehung zu ihrer Organisation verbunden ist; darüber hinaus gibt es eine positive Auswirkung auf die Qualität der Mitarbeiter-Organisations-Beziehungen. Offen ist dabei aber, ob dies in gleichem Maße für Organisationen unterschiedlichen Typus gilt, die sich aufgrund struktureller oder kultureller Besonderheiten voneinander unterscheiden. Die Forschungsfrage des vorliegenden Projekts lautet daher: Sind Employee-Listening-Methoden universell einsetzbar oder ist es erforderlich, sie jeweils an den Organisationstyp anzupassen? Ziel des Forschungsprojekts ist es, entsprechend zu untersuchen, ob, und wenn ja, wie Employee-Listening-Methoden angepasst werden müssen, damit sie in unterschiedlichen Organisationstypen als passend erlebt werden.

Im Forschungsprojekt kommen, neben einer Literaturanalyse, qualitative und quantitative Methoden der empirischen Sozialforschung zum Einsatz: Zunächst werden in einer explorativen Phase halb-strukturierte Interviews mit Employee-Listening-Expertinnen und -Experten geführt und inhaltsanalytisch ausgewertet, um mögliche Passungsmuster zwischen Organisationstyp und Employee-Listening-Methoden zu identifizieren. Aufbauend auf den erhobenen Daten bzw. Ergebnissen wird ein Kurz-Inventar zur Bestimmung des Organisationstyps sowie relevanter Aspekte von Employee-Listening-Methoden entwickelt und in einer quantitativen Befragung erprobt und anschließend ggf. angepasst. Im bisherigen Verlauf des Projekts wurde bereits das qualitative Erhebungsinstrument entwickelt und die Daten wurden erhoben, indem Interviews mit Expertinnen und Experten unterschiedlicher Unternehmen geführt wurden. Das Sample (n=9) der explorativen Interviewstudie wurde dabei so gewählt, dass sowohl klassische Unternehmen als auch agile Unternehmen vertreten waren. Die nächsten Schritte umfassen die Aufbereitung und die inhaltsanalytische Auswertung der erhobenen Daten, bevor darauf aufbauend die quantitative Phase des Forschungsprojekts beginnt.

Im **Themenbereich Nachhaltigkeit** startete im Herbst 2023 ein Projekt zum Thema ESG-Berichterstattung, Nachhaltigkeit und HR. Das Projekt läuft bis Ende 2024 und wird durch Praxis-, Forschungs- & Transferpartner aus der Privatwirtschaft finanziert. Diese sind: 1&1 Mail & Media Applications SE, Audi AG und EnBW sowie Ingentis Group, Effactory Deutschland GmbH, tts Consulting GmbH, HR Pioneers GmbH und Haufe-Lexware GmbH & Co. KG. Projektbeteiligte am IfP sind Prof. Dr. Stephan Fischer, Prof. Dr. Cathrin Eireiner und Alexandra Rucktäschel.

Hintergrund zum Projekt: Die neue Europäische Richtlinie 2014/95/EU, auch als CSR-Richtlinie bekannt, legt für kapitalmarktorientierte Unternehmen und Konzerne mit mehr als 500 Mitarbeitenden eine neue Berichtspflicht fest. Gemäß dieser Richtlinie sind diese Unternehmen verpflichtet, über eine Vielzahl festgelegter Kriterien im Bereich Environmental, Social, and

Governance (ESG) zu berichten. Im Rahmen des Forschungsprojekts sollen die Auswirkungen dieser Richtlinie auf die Unternehmen und im Besonderen HR betrachtet werden. Die Ziele des Forschungsprojekts sind daher:

- Untersuchung, wie Unternehmen bei der Umsetzung der EU-Richtlinie (und deren Konkretisierung in den EFRAG-Kriterien) bei der Wesentlichkeitsanalyse und der ESG-Berichterstattung vorgehen und welche Rolle HR in den beteiligten Praxisunternehmen einnimmt oder einnehmen könnte.
- Identifikation von prozeduralen Handlungsfeldern bei der Generierung, Sammlung und Auswertung ESG-relevanter Daten, innerhalb und außerhalb der vorhandenen ERP-Systeme.
- Darstellung des aktuellen Stands von HR bei der ESG-Berichterstattung.
- Identifikation von strukturellen und personalen Handlungsfeldern von HR zur erfolgreichen Umsetzung von ESG und Nachhaltigkeit im Unternehmen.

Im Rahmen des Projektes ist ein Mixed-Method-Ansatz vorgesehen, der es erlaubt, eine explorative Phase mittels qualitativer Methoden der Sozialforschung mit einer hypothesenprüfenden quantifizierenden Datenerhebung zu verknüpfen und somit den jeweiligen theoretischen Erkenntnisstand der Forschungsarbeit entsprechend abzubilden. In der ersten induktiven Primärdatenerhebung kommen Interviews als Erhebungsinstrument in den beteiligten Partnerunternehmen zum Einsatz. Diese qualitative Erhebung mit explorativem Charakter soll das Verstehen bestehender Muster und Vorstellungen im Thema ESG in den betrachteten Unternehmen sichtbar machen und ein tieferes Verständnis für den Umgang der Unternehmen mit dem Thema ermöglichen. Die Interviews werden mittels eines Leitfadens für mindestens vier verschiedene relevante Stakeholder-Perspektiven im Thema ESG konzipiert und nach wörtlicher Transkription inhaltsanalytisch ausgewertet. Zudem wird in einer weiteren qualitativen Datenerhebung – einer moderierten Gruppendiskussion – die Sicht der Entwicklungspartner in die explorative Phase gewonnen und ergänzt damit die Interviewstudie. Auf der Basis der qualitativen Studie sollen im Anschluss Hypothesen formuliert werden, die wiederum in einer quantitativen Datenerhebung in einer statistisch repräsentativen Stichprobe von deutschen Unternehmen überprüft werden sollen. Methodisch ist ein online präsentierter Fragebogen mit geschlossenen und offenen Fragen vorgesehen. Die Ergebnisse beider Erhebungen sollen in ein Gesamtkonzept und eine Gesamtbewertung überführt werden.

Im **Themenbereich New Learning** startete im September 2022 das von Prof. Dr. Anja Schmitz geleitete Projekt „*New Learning @DB*“. Das Projekt wird in Kollaboration mit Dr. Julian Decius (Researcher und Leiter des Arbeitsgebiets Organisationspsychologie der Universität Bremen) und Prof. Dr. Timo Kortsch (Denkverstärker) durchgeführt. Es hatte initial eine Laufzeit von 10 Monaten und sollte am 30.06.2023 enden. Aufgrund der im Projekt bis zu diesem Zeitpunkt erreichten Ergebnisse wurde das Projekt bis zum 31.12.2023 verlängert.

Ausgangssituation und Forschungsfrage:

In einer digitalisierten und vernetzten Arbeitswelt müssen Beschäftigte kontinuierlich lernen, um den sich verändernden und steigenden Anforderungen an die Arbeit gerecht zu werden. Arbeitsbezogenem Lernen (workplace learning) und der Personalentwicklung kommen daher zentrale Bedeutung zu. Um der Veränderungsgeschwindigkeit Rechnung zu tragen, ist das Angebot rein fremdgesteuerter Präsenzlernformate nicht mehr ausreichend. Beschäftigte müssen zunehmend selbstgesteuert und unter Nutzung digitaler Angebote lernen. Die Pandemie hat hier in vielen Organisationen zu einem Ausbau digitaler Lernangebote geführt, die von den Mitarbeitenden jedoch unterschiedlich genutzt zu werden scheinen.

Traditionell standen bei neuen Lernformen, wie digitalem Lernen, primär Wissensarbeitende (white collar) mit Büro- bzw. Computerarbeitsplätzen im Fokus, gewerbliche Mitarbeitende (blue collar) sind in der aktuellen Forschung unterrepräsentiert. Vor dem Hintergrund des Fachkräftemangels und für die Bewältigung der anstehenden digitalen und nachhaltigen Transformation kommt ihnen jedoch besondere Bedeutung zu. Wenig erforscht sind ihre personalen Lernvoraussetzungen sowie die von ihnen wahrgenommenen lernförderlichen organisationalen Faktoren.

Im Zentrum des Projektes stand daher die Forschungsfrage, welche Nutzungsprofile unterschiedlicher Lernangebote sich differenzieren lassen, welche individual- und organisationspsychologischen Variablen das Lernen insbesondere betrieblicher Mitarbeitender (blue collar) beeinflussen und welche Handlungsempfehlungen sich daraus für die Förderung des Lernens speziell gewerblicher Mitarbeitender ableiten lassen. Die ursprünglich geplante experimentelle Studie konnte aufgrund betriebsinterner Gründe des auftraggebenden Unternehmens nicht durchgeführt werden.

Untersuchungsmethode:

Im Rahmen des Projektes wurde in einer längsschnittlichen Studie untersucht, wodurch das Lernen mittels neuer Lernformen (z.B. Blended Learning, digital unterstütztes Lernen, informelles Lernen) im organisationalen Kontext beeinflusst wird und wie dieses gefördert werden kann. Insbesondere wurde dabei die Sicht der gewerblichen Mitarbeitenden (blue collar) erfasst und mit administrativ tätigen Mitarbeitenden (white collar) verglichen. Hierzu wurde eine längsschnittliche quantitative Fragebogenerhebung (Selbsteinschätzung) durchgeführt. Abweichend von der ursprünglichen Planung konnte aus betrieblichen Gründen des untersuchten Unternehmens keine zweite experimentelle Studie durchgeführt werden.

Für die Studie wurde ein Erhebungsinstrument entwickelt, das sowohl folgende validierte psychologische Skalen zur Konstrukt-Erfassung nutzte als auch weitere untersuchungsspezifische Items. Die Skalen wurden hierbei auf die Zielgruppe der gewerblichen Mitarbeitenden angepasst. Zum Einsatz kamen u.a. die folgenden Skalen: Befriedigung psychologischer Grundbedürfnisse; Lernkultur; Lernmotivation; Selbstlernorientierung; Selbstwirksamkeit (lernbezogen); Work Engagement; Skalen zur Erfassung der Lernergebnisse.

Folgendes Forschungsmodell lag der Untersuchung zugrunde:

### Forschungsmodell mit 2 Messzeitpunkten

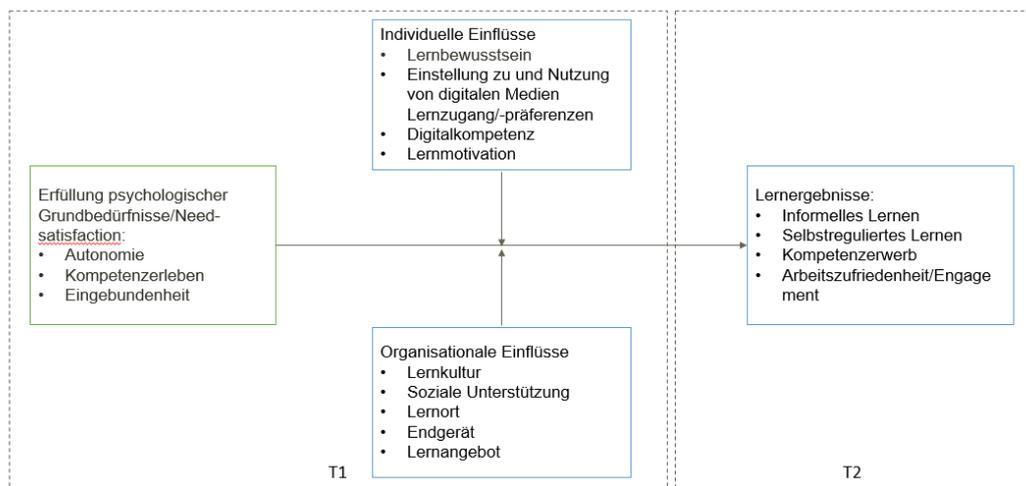


Abb. 1: Forschungsmodell mit 2 Messzeitpunkten

Stichprobe:

Zu T1 nahmen 3.881 Personen an der Befragung teil, zu T2 ergaben sich 222 gematchte Datensätze.

Auswertung:

Zur Auswertung der Daten wurden u.a. Korrelationsanalysen und latente Profilanalysen gerechnet (s.u.), die längsschnittlichen Daten wurden mittels Pfadanalysen ausgewertet.

Ergebnisse (Auszug):

Die Ergebnisse zeigen u.a., dass sich die gewerbliche (blue collar) und administrative (white collar) Mitarbeitenden in einer Vielzahl individueller Lernvoraussetzungen (z.B. Selbstlernorientierung, Selbstwirksamkeit) sowie der Wahrnehmung lernförderlicher organisationaler Variablen unterscheiden.

Die angenommenen Wirkzusammenhänge wurden anhand der vorliegenden 222 Fälle untersucht, für die Daten zu T1 und T2 vorlagen. Dazu wurde ein Pfadmodell gerechnet, in das neben der Erfüllung der drei psychologischen Grundbedürfnisse Kompetenzerleben, Autonomie und Eingebundenheit (alle zu T1) auch die Lernkultur als Prädiktor von intrinsischer und extrinsischer Lernmotivation (beide zu T1) einging. Als Outcome-Variablen wurden Kompetenzerwerb und Work Engagement (dt. Arbeitsengagement) (beide zu T2) in das Modell aufgenommen.

Die Analyse zeigte, dass das theoretisch angenommene Modell zu den empirischen Daten passt (siehe Abbildung Pfadanalyse, nur signifikante Pfade werden in der Abbildung dargestellt). Von den psychologischen Grundbedürfnissen spielte nur das Kompetenzerleben eine bedeutsame Rolle. Die Erfüllung des Grundbedürfnisses Kompetenzerleben hängt positiv mit intrinsischer Motivation und negativ mit extrinsischer Lernmotivation zusammen, die Lernkultur hängt positiv mit intrinsischer – nicht mit extrinsischer – Lernmotivation zusammen (zu beachten: alle Konstrukte wurden zu T1 erhoben, daher sind keine Kausalaussagen möglich).

Die längsschnittliche Betrachtung zeigt, dass die intrinsische Lernmotivation einen positiven Effekt auf den Kompetenzerwerb und das Work Engagement hat. Extrinsische Lernmotivation hat (nur) einen positiven Effekt auf Work Engagement.

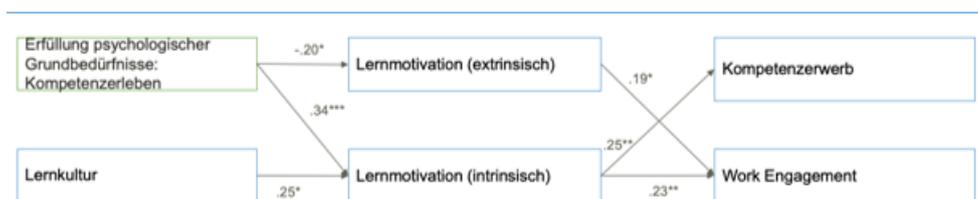


Abb. 2: Pfadanalyse (\* Hinweise: Akzeptabler Modellfit ( $\chi^2 = 678.38$ ,  $df = 386$ ,  $p < .001$ ; CFI = .92, RMSEA = .06, SRMR = .09); nur signifikante Pfade sind dargestellt; Signifikanzniveau: \*\*\*  $p < .001$ ; \*\*  $p < .01$ ; \*  $p < .05$ )

Darüber hinaus konnten sechs latente Lernprofile identifiziert werden, die unterschiedlich mit psychologischer Bedürfnisbefriedigung zusammenhängen. Es konnte ein Profil identifiziert werden, bei dem alle *drei psychologischen Grundbedürfnisse nach Kompetenz, Autonomie und Eingebundenheit* den höchsten Erfüllungsgrad aufwiesen.

Die Ergebnisse legen nahe, dass die Bereitstellung einer Vielzahl von digitalen (synchronen und asynchronen) und Präsenz-Lernangeboten für das Arbeitsplatzlernen vielversprechender erscheint als die Fokussierung auf nur einzelne Modi. Eine Reduzierung der Vielfalt an Lernangeboten, zum Beispiel auf ausschließlich digitale E-Learning-Angebote, oder eine Rückkehr

zu ausschließlichem Präsenzlernen könnte mit einer verringerten Befriedigung der psychologischen Grundbedürfnisse und daraus folgend geringerer Motivation der Beschäftigten zusammenhängen, worauf die Ergebnisse hindeuten (Decius, Kortsch & Schmitz, 2024).

Fazit:

Diese Studie leistet einen Beitrag zur Schließung der Forschungslücke im Bereich arbeitsbezogenen Lernens betrieblicher Mitarbeitender, da sie empirische Belege dafür liefert, in welchen individuellen Lernvoraussetzungen sich Blue- und White-Collar-Mitarbeitende im betrieblichen Kontext jenseits von Bildungshintergrund unterscheiden. Hieraus ergeben sich neue spezifische Interventionsmöglichkeiten zur Förderung des Lernens bei insbesondere gewerblichen Mitarbeitenden, die bisher in der Forschung unseres Wissens noch nicht längsschnittlich belegt waren.

Im **Themenbereich industrielle Beziehungen/Arbeitsbeziehungen** war das IfP am EU-Verbundprojekt „*Health Risk Outlooks by Social Partners*“ (HEROS) beteiligt. Das Verbundprojekt wurde von 2021 bis 2023 von der Europäischen Kommission gefördert („Verbesserung des Kenntnisstandes im Bereich der Arbeitsbeziehungen“, VS/2021/0234). Koordiniert wurde das Projekt an der Business School der Durham University (Großbritannien). Die weiteren Verbundpartner sind an der Linneaus University (Schweden), dem Institute of Public Affairs (Instytut Spraw Publicznych) (Polen) und der University of Warwick (Großbritannien) tätig. Die Projektleitung am IfP lag bei Dr. Sabrina Weber.

Gesundheit und Sicherheit am Arbeitsplatz ist ein wichtiger Bereich der Politik der Europäischen Union (EU). Das Verbundprojekt HEROS untersuchte die Beteiligung der Sozialpartner – Arbeitgeber bzw. Arbeitgeberverbände und Gewerkschaften – an Maßnahmen zur Verbesserung von Gesundheit und Sicherheit am Arbeitsplatz in zwei Branchen (Krankenhäuser, soziale Dienste) und in sechs Ländern (Deutschland, Großbritannien, Italien, Litauen, Polen, Schweden). Dabei wurde auch die Koordination zwischen Ländern bzw. zwischen EU-Ebene und nationaler Ebene im branchenbezogenen Sozialdialog auf EU-Ebene analysiert. Ziel der qualitativen Studie war es, effektive Wege zur Handhabung des Themas Gesundheit und Sicherheit am Arbeitsplatz, nicht zuletzt im Lichte der Erfahrungen im Zuge der Covid-19-Pandemie, zu identifizieren. Untersucht wurde die Forschungsfrage: Wie koordinieren Sozialpartner in den sechs Ländern und zwei Branchen Maßnahmen auf nationaler und auf EU-Ebene?

Der Analyserahmen für die qualitative Untersuchung basierte auf akteurzentrierten institutionalistischen und Mehrebenen-Governance-Ansätzen. Die Untersuchung stützte sich insbesondere auf 64 Expert-Interviews mit Vertreterinnen und Vertretern von Arbeitgeberverbänden, Gewerkschaften und öffentlichen Institutionen auf EU- und Länderebene, die inhaltsanalytisch ausgewertet wurden; ergänzend wurden Sekundärdaten (v.a. Dokumente der Sozialpartner) auf EU-Ebene und auf Länderebene ausgewertet. Auswertungsleitend waren sieben ex ante formulierte Annahmen über potenzielle Auswirkungen beispielsweise der nationalen Systeme der Arbeitsbeziehungen oder der Spezifika der untersuchten Branchen. Die Hochschule Pforzheim hat eine der beiden Branchenfallstudien auf EU-Ebene und die Länderfallstudie Deutschland durchgeführt. Weitere Aktivitäten umfassten u.a. die Koordination der Datenerhebungs- und -auswertungsstrategie und die Koordination der Integration von Länderebene und EU-Ebene.

Ein wesentliches Ergebnis der Untersuchung ist, dass die Covid-19-Pandemie zwar Koordination auf nationaler und zwischen nationaler und EU-Ebene zur Folge hatte, das Ausmaß dieser „vertikalen“ Koordination jedoch nach wie vor begrenzt ist; die Mehrebenen-Arbeitsbeziehungen

gen in den analysierten Fällen befinden sich – trotz gemeinsamer Herausforderungen – weiterhin in der Entstehung. Das Jahr 2023 stand im Zeichen der Datenauswertung und -triangulation auf EU-Ebene und auf Länderebene. Zudem erfolgte die Vorbereitung und Umsetzung von vielfältigen Verbreitungsaktivitäten für wissenschaftliche und nichtwissenschaftliche Zielgruppen (Publikation in einer Fachzeitschrift und Vorbereitung weiterer wissenschaftlicher Artikel, Konferenzpräsentationen und Projektberichte sowie Videos und Flyer).

### Das Team des Instituts für Personalforschung (IfP)



**Prof. Dr.  
Stephan Fischer**  
Direktor



**Prof. Dr.  
Cathrin Eireiner**  
Stellv. Direktorin



**Alexandra  
Rucktäschel**  
Akademische Mitarbeiterin



**Prof. Dr.  
Anja Schmitz**  
Projektleiterin



**Prof. Dr.  
Markus-Oliver  
Schwaab**  
Projektleiter



**Prof. Dr.  
Carsten Weber**  
Projektleiter



**Dr. Sabrina Weber**  
Projektleiterin  
Akademische Mitarbeiterin

**Institutsleitung: Prof. Dr. Stephan Fischer, Prof. Dr. Cathrin Eireiner (Stellvertreterin)**

Weitere Informationen: [www.institut-personalforschung.de](http://www.institut-personalforschung.de) oder [www.hs-pforzheim.de/ifp](http://www.hs-pforzheim.de/ifp)

## 1.2.6 Institute for Smart Bicycle Technology – ISBT

---

### Motivation

Die Fahrradtechnik hat sich in den letzten Jahren rasant in Richtung Hightech entwickelt: Leichtbau (Alu und Carbon), Einzug der Elektronik und Sensorik mit elektrisch unterstützten Fahrrädern (Pedelecs/E-Bikes) und ersten Fahrerassistenzsystemen, wie zum Beispiel ABS. Die Entwicklung steht jedoch erst am Anfang und bietet noch viel Potenzial, speziell in Richtung einer umweltfreundlichen Mobilität. Auch die Qualitätsansprüche sind stark gewachsen und damit die Anforderungen an die Prüfstandstechnik.



Besonders Pedelecs, aber auch E-Bikes ohne Pedale oder Elektroleichtfahrzeuge bieten ein ideales, interdisziplinäres Betätigungsfeld für Forschung und Entwicklung an HAWs. Vereinzelt Aktivitäten auf diesen Gebieten sind bekannt, jedoch kein gebündeltes Institut.

An der Hochschule Pforzheim, speziell der Fakultät für Technik, wurden in den vergangenen Jahren sehr erfolgreich Drittmittel in erheblichem Umfang eingeworben, sowohl aus der Industrie für Prüfstandsbau und Leichtbau (Kooperation von Prof. Dr. Peter Kohmann mit Canyon Bicycles GmbH) als auch aus öffentlich geförderten Programmen (FHprofUnt: BikeSafe, Ingenieurwachstum: BikeAssist, beides mit Partner Bosch und Fa. IPG Automotive GmbH in Karlsruhe). Drei kooperative Promotionen wurden bereits abgeschlossen, eine weitere ist gestartet. In Summe sind dort zurzeit und perspektivisch für die nächsten Jahre insgesamt 8 Mitarbeiter beschäftigt.

Um diese Aktivitäten zu bündeln, wurde 2019 das Institute for Smart Bicycle Technology gegründet.

Mitglieder des Instituts aus den Fachbereichen Maschinenbau und Informationstechnik sind:



**Prof. Dr.-Ing. Peter Kohmann**



**Prof. Dr.-Ing. Ingolf Müller**  
Stellvertretender Leiter



**Prof. Dr.-Ing. Martin Pfeiffer**



**Prof. Dr.-Ing. Stefan Hillenbrand**



**Prof. Dipl.-Ing. Jürgen Wrede**  
Leiter



**Prof. Dr.-Ing. Peter Heidrich**  
(bis 14.10.23)



Abb. 1: Institutsmitglieder und Mitarbeiter im ISBT, v.l.n.r.: Simon Mörmann, Marina Burkhardt, Manuel Hauer, Prof. Stefan Hillenbrand, Maximilian Höfert, Manuel Gerth, Prof. Ingolf Müller, Prof. Martin Pfeiffer, Matthias Häcker, Prof. Peter Kohmann, Prof. Jürgen Wrede, Lukas Ropertz, Paci Giovanni. Foto: Julia Kikel

### Die Themenfelder des Instituts:

Am ISBT werden verschiedene Aspekte der Fahrradtechnik adressiert:

- Neue mechatronische Fahrerassistenzsysteme, z.B. ABS für E-Bikes
- Komponenten- und Prüfstandentwicklung für Fahrräder (MTB, Rennrad, E-Bikes)
- Entwicklung von Leichtbaukomponenten mit neuem 3D-Faser-Wickelroboter, Entwicklung von hybriden Leichtbau-Materialien
- Entwicklung neuer Forschungsfelder, z.B. Lastenräder, Elektroleichtfahrzeuge etc.



Abb. 2: Fahrerassistenzsysteme für E-Bikes, selbstfahrender Versuchsträger und Hardware-in-the-Loop-Prüfstand für E-Bike-ABS aus abgeschlossenem Projekt „BikeSafe“



Abb. 3: 3D-Faserwickel-Roboter



Abb. 4: Prüfstandstechnik für Fahrräder und E-Bikes, Multiforce-Prüfstand zur Dauerprüfung von Fahrrad-Rahmen

Die Forschungsprojekte des Instituts:

### **BikeAssist – Assistenzsystem für E-Bikes**

Das vom BMBF im Rahmen des Programms „Ingenieurnachwuchs2016“ geförderte Projekt „Querstabilisierung elektrisch unterstützter Fahrräder bei niedrigen Geschwindigkeiten – Bike-Assist“ (FKZ 13FH533IX6) wurde von Oktober 2018 bis Februar 2023 gefördert. Aufgrund der Corona-Pandemie und des administrativ verzögerten Projektanlaufs wurde eine kostenneutrale Verlängerung des Projekts bewilligt.

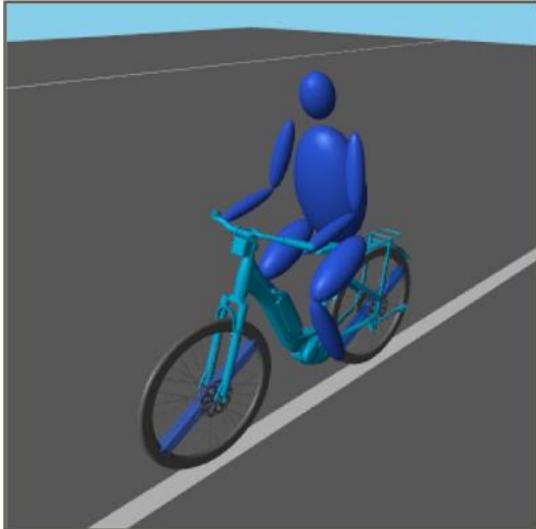
Während das Fahrradfahren bei mittleren Geschwindigkeiten von den meisten Menschen problemlos beherrscht wird, ist das Gleichgewicht halten und das präzise Kurshalten in engen Fahrspuren bei langsamer Fahrt besonders für weniger geübte Fahrerinnen und Fahrer sowie für viele ältere Menschen eine anspruchsvolle Fahraufgabe. Entsprechend einer Studie aus den Niederlanden ereignen sich daher 16% aller Fahrrad-Alleinunfälle bei geringer Geschwindigkeit. Kritische Situationen sind insbesondere das Anfahren und das Anhalten.

Ziel des Forschungsprojektes war es, ein Assistenzsystem für Fahrräder zu entwickeln, mit dessen Hilfe das Fahrrad bei langsamer Fahrt (Geschwindigkeit kleiner ca. 7 km/h) genauso einfach und sicher gefahren werden kann wie bei mittleren Geschwindigkeiten. Das System sollte für E-Bikes entwickelt werden, um deren Stromversorgung und Steuergerät zu nutzen, und so ausgelegt sein, dass es eine realistische Option für einen späteren Serieneinsatz gibt.

Im Rahmen des Projektes sollten verschiedene Eingriffsmöglichkeiten des Systems (z.B. über Lenkmoment oder Kreisel) in der Simulation untersucht und darauf aufbauend das ausgewählte Aktorkonzept prototypisch an einem Versuchsfahrrad umgesetzt werden. Die Wirkungsweise und der Nutzen des Systems sollten in Probandenstudien nachgewiesen und bewertet werden.

Am Projekt BikeAssist waren die Institutsmitglieder Prof. Dr. Martin Pfeiffer, Prof. Dr. Stefan Hillenbrand und Prof. Dipl.-Ing. Jürgen Wrede beteiligt. Im Rahmen der Probandenstudie be-

stand eine intensive Zusammenarbeit mit Prof. Christa Wehner von der Fakultät W&R. Bezüglich elektrischer Aktorik unterstützte uns Kollege Prof. Dr. Peter Heidrich aus dem Maschinenbau.



Ein weiteres wichtiges Werkzeug für die Untersuchung der Fahrstabilität ist die Simulation. Im Rahmen einer Bachelor- und einer darauf aufbauenden Master-Thesis wurde dazu in SimScape (Fa. mathworks) ein umfangreiches Simulationsmodell eines Fahrrads mit Fahrer/-in entwickelt. Es ermöglicht die Parametrierung unterschiedlicher Personen von der 5-Perzentil-Frau bis zum 95-Perzentil-Mann, unterschiedliche Fahrmanöver und Stelleingriffe. Das Simulations-Programm wurde optimiert und durch weitere Fahrversuche validiert.

Abb. 5: 3D-Simulation des E-Bikes mit Radfahrer/-in

Der E-Bike-Versuchsträger wurde prototypisch mit einem über Leistungsendstufen ansteuerbaren Getriebemotor als Lenkaktor ausgerüstet, der über Zahnräder direkt in die Lenkung eingreifen kann. Für die Implementierung der Regelung konnte statt der teuren MicroautoBox eine sehr günstige Ansteuerkarte von Texas Instruments verwendet werden, die auch bei Bosch eBike Systems zum Einsatz kommt. Mit Simulink am PC erstellte Regelalgorithmen können direkt heruntergeladen und getestet werden.

Verschiedene Regelkonzepte wurden zunächst offline in der Simulation getestet. Anfang Dezember konnten dann die am Projekt beteiligten Mitarbeiter und Professoren auf dem Hochschulparkplatz eine erste prototypische Version des Assistenzsystems erfolgreich Probe fahren.

Im Januar 2022 konnte das System auf dem E-Bike-Testgelände von Fa. Bosch in Reutlingen u.a. auch an Steigungen und von Mitarbeitern des Projektpartners ausgiebig und mit sehr positiver Resonanz getestet werden.

Im Frühjahr 2022 fand ebenfalls auf dem Hochschulparkplatz eine weitere, umfangreiche Probandenstudie statt, bei der Wirkung und Akzeptanz mit 30 Fahrern und 30 Fahrerinnen im Alter über 60 getestet wurde.



Abb. 6: Probandenstudie des prototypischen Assistenzsystems auf dem Hochschulparkplatz

Die umfangreich erhobenen Messdaten und Befragungsergebnisse wurden im Lauf des Jahres statistisch ausgewertet. Aus den im Mittel mit Assistenzsystem geringeren Lenk- und Wankraten lässt sich auf eine bessere Stabilität schließen.

Bei der subjektiven Bewertung durch die Probanden und Probandinnen waren die Eindrücke gemischt. Nur etwa ein Drittel empfand die Lenkunterstützung als hilfreich, ein Drittel fühlte sich eher irritiert. Als ein Grund dafür wurde die versuchstechnisch bedingte kurze Eingewöhnungs- und Testzeit identifiziert. Bei längeren Fahrten wird eine höhere Akzeptanz vermutet.

Doktorand Yannick Hanakam stellte die Ergebnisse auf der International Cycling Safety Conference im November 2022 in Dresden dem Fachpublikum vor.

Auf einem abschließenden Projekttreffen mit den Partnern, insbesondere Bosch E-Bike-Systems, im Januar 2023 wurden die Ergebnisse nochmals gesamthaft vorgestellt und diskutiert sowie weitere Projekte besprochen.



Abb. 7: Abschließendes Projekttreffen mit Bosch E-Bike-Systems an der HS Pforzheim am 20. Jan. 2023. V.l.n.r.: Prof. Stefan Hillenbrand, Simon Mörmann (ISBT), Prof. Christa Wehner (W&R), Doktorand Yannick Hanakam, Georg Widmaier (Bosch E-Bike Systems), Michael Brey (Bosch E-Bike Systems), Prof. Jürgen Wrede, Prof. Martin Pfeiffer, Silas Klug (Bosch Corporate Research), Felix Dauer (Bosch E-Bike Systems), Prof. Peter Heidrich. Foto: Julia Kikel

Auf der Bicycle & Motorcycle Dynamics Conference 2023 (BMD 2023) im Oktober 2023 an der TU Delft in den Niederlanden, die alle 3 Jahre stattfindet, wurde das Projekt BikeAssist mit Ergebnissen von Yannick Hanakam im Rahmen eines Plenarvortrags vorgestellt. Beim abendlichen „Bike Rodeo“ fand der mitgebrachte E-Bike-Versuchsträger/Demonstrator großen Zuspruch und die Gelegenheit zum Probefahren wurde rege wahrgenommen.



Abb. 8: Vortrag über BikeAssist von Doktorand Yannick Hanakam auf der BMD 2023



Abb. 9: Probefahren des BikeAssist E-Bike-Versuchsträgers auf der BMD 2023, am Rad links Doktorand Yannick Hanakam, rechts Arend Schwab, emeritierter Professor an der TU Delft und Gründer der BMD

Die mit dem Projekt verbundene kooperative Promotion mit der Universität Rostock von M.Sc. Yannick Hanakam konnte am 08.12.2023 mit der Promotionsprüfung in Rostock erfolgreich abgeschlossen werden.

## Kinematische Untersuchungen an Mountainbikes

Bei MTBs mit großem Federweg spielt der dynamische Komfort eine essenzielle Rolle für die Bewertung unterschiedlicher Konstruktionen. Der Komfort wird maßgeblich durch die Fahrwerkgeometrie und das Design der Hinterbaukinematik bestimmt. Bei der geometrischen Auslegung des Hinterbaus müssen die Konstrukteure unterschiedliche Phänomene im Auge behalten. Da sich bei der Einfederung des Hinterbaus der Abstand zwischen dem Tretlager und der Hinterachse verändert, kann es zum sogenannten Pedalrückschlag kommen. Der Fahrer spürt hierbei in den Füßen eine impulsartige Rückdrehbewegung der Kurbel, die sich wie Schläge auf einer Schlechtwegstrecke anfühlen. Um diesen störenden Effekt zu beseitigen, haben Fahrradhersteller Zusatzkomponenten entwickelt, wie z.B. Ochain-Pedalrückschlag-Systeme. Diese Zusatzkomponenten verbessern zwar den Komfort, haben jedoch andere Nachteile.

Grundlegende Untersuchungen zum besseren Verständnis des Pedalrückschlags wurden bislang nicht durchgeführt. Insbesondere war nicht bekannt, dass der Pedalrückschlag geschwindigkeitsabhängig ist.

Um die Geschwindigkeitsabhängigkeit des Pedalrückschlags nachzuweisen, wurde das Phänomen mit drei unterschiedlichen Ansätzen untersucht.

### 1. Analytische Herleitung der Grenzgeschwindigkeit für den Pedalrückschlag

Eine analytische Betrachtung des Phänomens hat gezeigt, dass die Längenänderung zwischen Tretlager und Hinterradachse durch eine Rückdrehung der Kurbel oder auch durch die Vorwärtsdrehung der Kassette ausgeglichen werden kann. Ist die Fahrgeschwindigkeit kleiner als diese sogenannte Grenzgeschwindigkeit, hakt der Freilauf ein und überträgt durch die Kette ein rückdrehendes Drehmoment auf die Kurbel und damit die unerwünschten Schläge auf die Füße des Fahrers. Mithilfe dieser Modellvorstellung ist es gelungen, eine Formel zur analytischen Berechnung der Grenzgeschwindigkeit für den Pedalrückschlag herzuleiten. Ferner können die Randbedingungen (wie z.B. gewählte Übersetzung) festgelegt werden, so dass der Pedalrückschlag auch numerisch und im Fahrbetrieb auf einer Teststrecke gezielt untersucht werden kann.

### 2. Numerische Nachbildung des Phänomens

Um nachzuweisen, dass die analytische Beschreibung des Pedalrückschlags korrekt ist, wurde mit dem MKS-Programm Adams eine numerische Simulation durchgeführt. In der Abbildung 10 ist das verwendete Modell zu sehen.

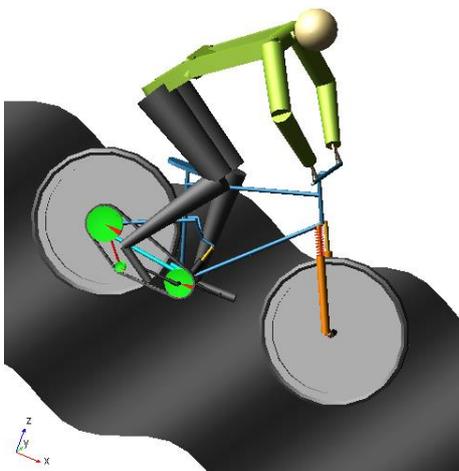


Abb. 10: MKS-Modell für die numerische Simulation

Anhand der Simulation war es möglich, die analytische Berechnung zu bestätigen.

Ferner konnte durch die Visualisierung der Bewegungen im Antriebsstrang noch eine weitere Ursache für störende Pedalkräfte beobachtet werden. Durch Unebenheiten in der Fahrbahn wird die Kette zu Eigenschwingungen angeregt. Diese Kettenbewegungen können auch impulsartige Rückdrehbewegungen an der Kurbel verursachen und vom Fahrer als störend wahrgenommen werden. Im Gegensatz zum Pedalrückschlag tritt dieses Phänomen auch bei höheren Geschwindigkeiten auf.

Diese Beobachtungen sind insbesondere für die Auswertung von Messdaten wichtig, da nur so die eindeutige Zuordnung des fahrwerksinduzierten Pedalrückschlags möglich ist.

### 3. Experimenteller Nachweis des Pedalrückschlags

Für die experimentelle Verifikation des Pedalrückschlags wurde ein Messrad mit entsprechenden Sensoren ausgestattet und auf einer Teststrecke wurden Daten gesammelt. In der Abbildung 11 ist die Auswertung eines Szenarios dargestellt.

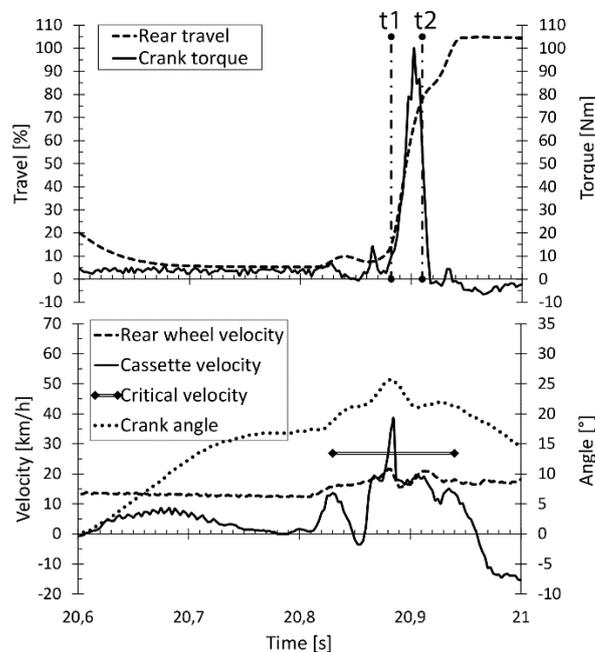


Abb. 11: Experimentell ermittelte Messdaten zum Pedalrückschlag

Im oberen Diagramm der Abbildung 11 ist der Pedalrückschlag als Peak im gemessenen Drehmomentverlauf der Kurbel im Zeitfenster von  $t_1$  bis  $t_2$  zu erkennen. Dass es sich bei diesem Peak tatsächlich um einen fahrwerkinduzierten Pedalrückschlag handelt, kann mit dem unteren Diagramm erklärt werden. In diesem Diagramm ist die berechnete Grenzgeschwindigkeit (critical velocity) als horizontale Linie eingezeichnet. Die gemessene Fahrgeschwindigkeit (rear wheel velocity) ist zum Zeitpunkt  $t_1$  kleiner als die berechnete Grenzgeschwindigkeit. Damit kommt es zum Eingriff des Freilaufs und der Pedalrückschlag entsteht. Der Eingriff des Freilaufs lässt sich daran erkennen, dass die Kassettengeschwindigkeit (cassette velocity) identisch mit der Fahrgeschwindigkeit ist. Die kurze Überschreitung der Geschwindigkeit lässt sich auf den mechanischen Aufbau eines Freilaufs zurückführen. So greift dieser nicht sofort ein, sondern hat einen definierten Leerweg. Messreihen mit unterschiedlichen Fahrgeschwindigkeiten haben gezeigt, dass der Pedalrückschlag tatsächlich nur bis zu der analytisch berechneten Grenzgeschwindigkeit auftritt.

Auf der Grundlage dieser Erkenntnisse wurde ein Promotionsvorhaben mit der TU München gestartet. Das Ziel dieser Forschungs Kooperation ist es, den Einfluss der Kettenschaltung auf den Fahrer und die Kinematik eines Mountainbikes während einer Abfahrt zu untersuchen.

### Leichtbau-Strukturen aus Thermoplast-Duroplast-Hybriden auf der Basis von Polyamid 6 und kohlenstofffaserverstärktem Epoxid

Die Kombination von duroplastischen und thermoplastischen faserverstärkten Kunststoffverbunden ermöglicht die Herstellung von hochbelastbaren, kostengünstigen und vollautomatisiert herstellbaren Strukturbauteilen. Ziel ist es, roboterbasierte 3D-Faserwickelstrukturen aus endloskohlenstofffaserverstärktem Epoxid mit kurzfaserverstärktem Polyamid 6 zu kombinieren. Eine solche vorteilhafte Kombination der beiden Werkstoffe ist bislang nicht oder nur unter starken Einschränkungen bei den mechanischen Eigenschaften möglich.

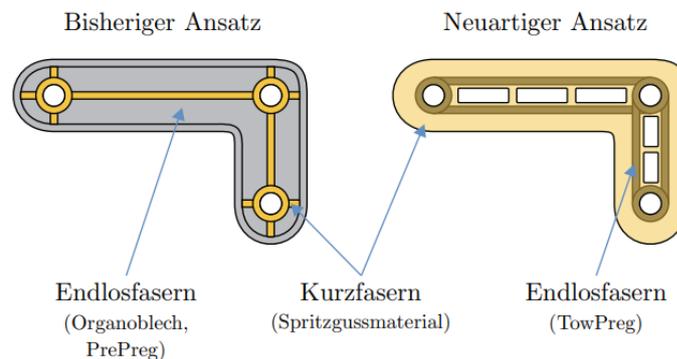


Abb. 12: Grundlegender bisheriger Ansatz, mit Umformung und Hinterspritzen (links), sowie neuartiger Ansatz, mit eingebetteten, duroplastischen Endlosfasern (rechts)

Hochbelastbare, ultraleichte, endlosfaserverstärkte Kunststoffbauteile können beispielsweise mithilfe des roboterbasierten 3D-Towpreg-Wickelverfahrens hergestellt werden. Die durch dieses Verfahren erzeugten Strukturen sind meist fachwerkartige, lastpfadgerechte Bauteile und Konstruktionen. Nachteil dieses Fertigungsverfahren ist neben der nicht optimalen Oberflächenqualität insbesondere das Problem, dass meist keine ebenen, flächigen Bauteile mit in sich geschlossener Oberfläche fasergerecht erzeugt werden können. Durch Umspritzen der Strukturen mit thermoplastischem Material können solche Bauteile jedoch erzeugt werden. Dabei bildet das bereits ausgehärtete duroplastische TowPreg-Material das lasttragende zwei- oder dreidimensionale Grundgerüst (Skelett) und das thermoplastische Spritzgussmaterial übernimmt Zusatzfunktionen. Die Zusatzfunktionen können dabei geschlossene und qualitativ hochwertige Oberflächen sein oder Bereiche zur Schubunterstützung der hauptsächlich auf Zug und Druck belastbaren Tragstrukturen. Es können auch Lasteinleitungselemente oder zusätzliche Befestigungselemente, wie etwa Clips oder Haken, dargestellt werden.

Damit diese Funktionen abgebildet werden können, muss aber eine hinreichend belastbare Anbindung (Interface) zwischen den beiden Kunststoff-Materialsystemen vorhanden sein. Dieses Interface wird im Labor für Festigkeitslehre & Leichtbau detailliert untersucht. Dabei kommen unterschiedliche Vorbehandlungsmethoden, wie etwa das Niederdruckplasma, zum Einsatz. Auch werden für die Untersuchung des Interfaces neuartige Ansätze untersucht, bei denen das vorhandene TowPreg-Material speziell an diesen Hybrid-Prozess angepasst wird und der roboterbasierte Wickelprozess modifiziert wird.

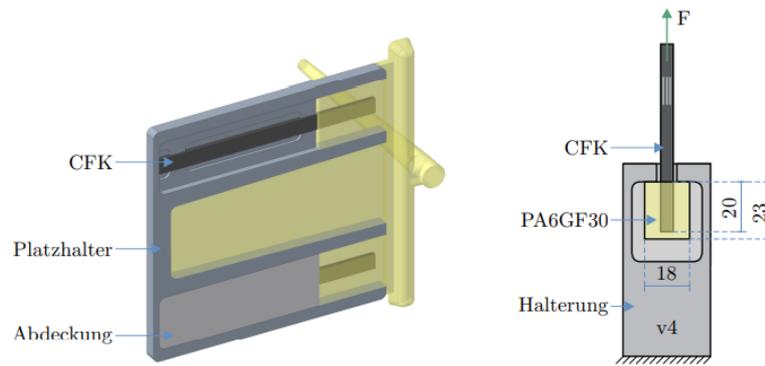


Abb. 13: Herstellung und Test der Proben für das Duroplast-/Thermoplast-Hybridmaterial zur Charakterisierung der Interface-Eigenschaften

Anhand des dargestellten Versuches konnte gezeigt werden, dass die Interface-Festigkeit des Verbundes zwischen Thermoplast und Duroplast von ca. 2 MPa (ohne Behandlung) auf ca. 15 MPa durch eine geeignete Vorbehandlung mit Niederdruckplasma gesteigert werden kann. Hierdurch wird ein sogenanntes Faserinterface erzeugt, bei dem die Fasern im duroplastischen Skelett durch die Plasmabehandlung derart freigelegt werden, dass der Thermoplast optimal an Fasern andocken kann.

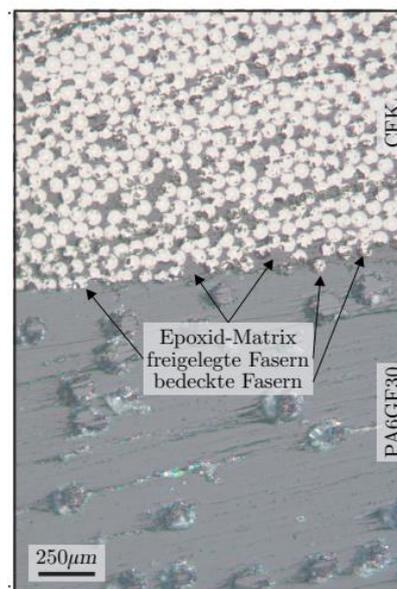


Abb. 14: Mikroskopaufnahme der Grenzfläche einer hybriden Probe nach Plasmabehandlung zur Ausbildung einer Faserinterfacezone

Ein offenes Thema ist Erzeugung optimaler Skelettstrukturen aus CFK, die als Einleger für die späteren Hybridstrukturen dienen (siehe oben). Ziel ist eine möglichst zielgenaue lokale Verstärkung, bei der möglichst wenig CFK verwendet wird. Dabei muss berücksichtigt werden, dass bei Anwendung des Wickelverfahrens i.d.R. nur geschlossene Pfade (Graphen) erzeugt werden können. Im Rahmen dieses Forschungsthemas soll nun die Entwicklung einer Optimierungsstrategie vorangetrieben werden, die es ermöglicht, eine computerbasierte Generierung der benötigten Wickelmuster vorzunehmen. Die entwickelte Strategie basiert auf der Anwendung und Erweiterung der Graphentheorie.

Mithilfe der Graphentheorie kann ein zu wickelndes Bauteil in einzelne Ecken und Kanten eingeteilt werden. Als generisches Beispiel für die Untersuchung dient hierbei ein sogenannter Brakebooster eines Fahrrad-Bremssystems. Die Skelettstruktur für den Brakebooster kann in 12 Ecken und 18 Kanten eingeteilt werden.

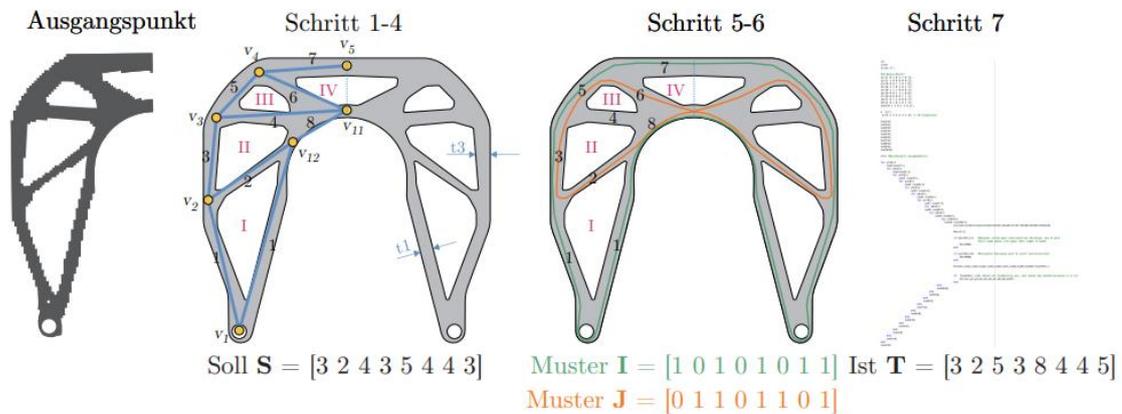


Abb. 15: Darstellung der computerbasierten Generierung der Wickelmuster mithilfe der Graphentheorie anhand eines Brakeboosters

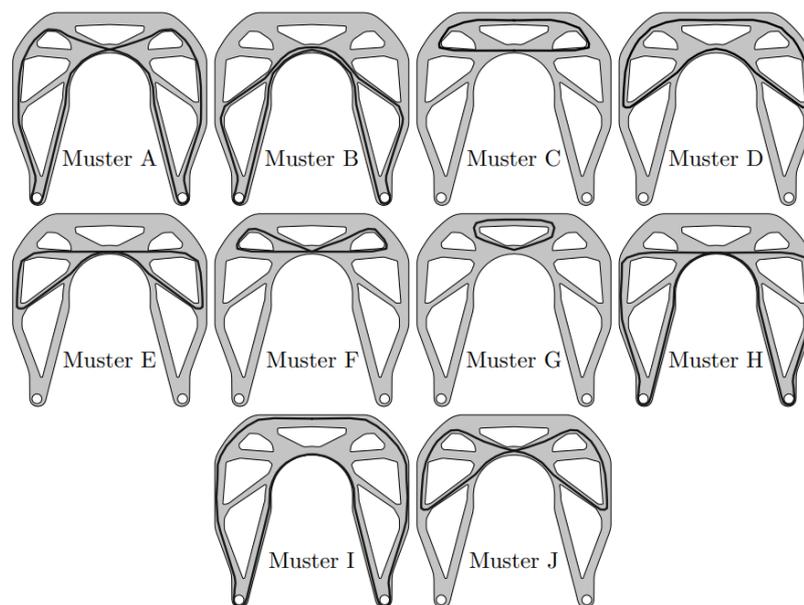


Abb. 16: Darstellung der erzeugten Basis-Wickelmuster für den Brakebooster

Für die optimale Kombination der Wickelmuster und die Erzeugung eines Skelettes mit minimaler Masse muss ein komplexes Optimierungsproblem gelöst werden. Das vorliegende Problem kann dabei in die Klasse der sogenannten Mengenüberdeckungsprobleme (set cover problem) eingeordnet und mathematisch beschrieben werden. Bei Mengenüberdeckungsproblemen wird versucht, eine gegebene Gesamtmenge, mithilfe einer Anzahl unterschiedlicher Teilmengen abzubilden. Das vorliegende Problem gehört der Problemklasse „NP vollständig“ (nichtdeterministisch polynomielle Zeit) an, welche die „schwersten“ zu lösenden Problemen der NP-Klasse beinhaltet. Diese sind zwar effizient verifizierbar, aber nicht effizient lösbar.

Eine entsprechende Lösungsstrategie wurde gemeinsam mit Prof. Guido Sand (HS Pforzheim) entwickelt und am Beispiel des Brakeboosters verifiziert. Es zeigt sich, dass insbesondere für

größere Skelettstrukturen die Anwendung des entwickelten Optimierungsschemas wesentlich effizienter als eine ebenfalls mögliche vollständige Enumeration ist.

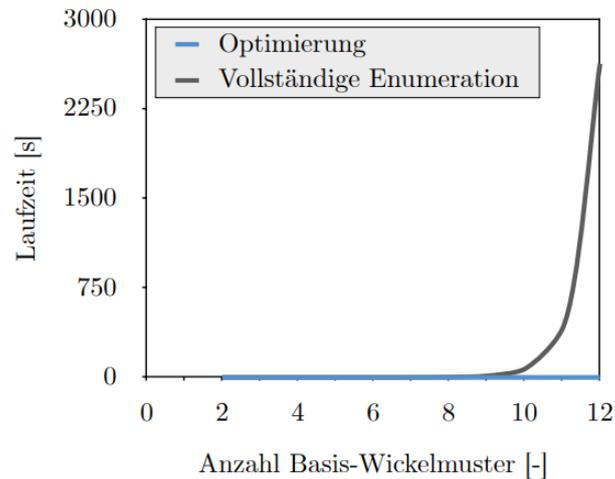


Abb. 17: Vergleich der Laufzeit der Programme für die Lösungsermittlung, bei unterschiedlicher Anzahl von Basis-Wickelmustern anhand einer Optimierung (GAMS) und einer vollständigen Enumeration (MATLAB)

Der erste Arbeitsabschnitt des Gesamtprojektes konnte 2023 mit Abschluss der Promotion von Herrn Philipp Bauer gemeinsam mit dem Leibniz-Institut für Verbundwerkstoffe an der Rheinland-Pfälzischen Technischen Universität Kaiserslautern-Landau zu Ende geführt werden.

### **Herstellung von duroplastischem unidirektionalem Faserhalbzeug (Towpreg) zum Einsatz im 3D-Faserwickelverfahren**

Ziel des Projektes ist es, eine kostengünstige Laboranlage zur Herstellung von vorimprägnierten Kohlenstofffasern (Towpreg) – auf Basis von Epoxidharzen – zu entwickeln.

Charakterisierende Größen für das erzeugte Towpreg-Material sind zum einen der Faservolumengehalt (FVG) und zum anderen die Klebrigkeit (Tack). Im zurückliegenden Jahr wurde ein System zur Online-Messung der FVG im Betrieb der Anlage entwickelt, das mit den erzielten Messwerten die Imprägniereinheit entsprechend regelt. Hierfür wurde eine Reihe von möglichen Messprinzipien verglichen, die den Imprägniergrad des Towpregs ableiten können.

Zwei Messprinzipien (NIR-Spektroskopie, kapazitive Messung) wurden in die engere Auswahl genommen. Für beide Varianten wurde ein experimenteller Aufbau erstellt und im Rahmen verschiedener Untersuchungen die Sensitivität und die Umsetzbarkeit bewertet.



Abb. 18: Carbonfaser-Towpreg-Material (links); Faserimprägnieranlage (rechts)

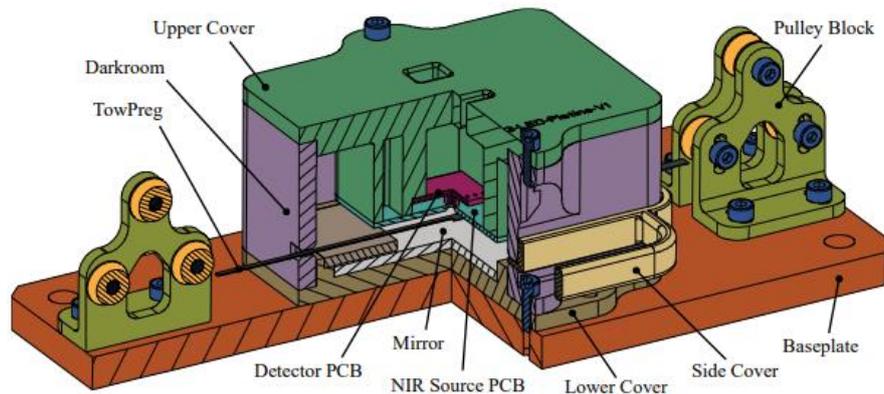


Abb. 19: Schematische Darstellung des Versuchsaufbaus für die Online-Messung des Faser-Volumen-Gehaltes (FVG) mittels NIR-Spektroskopie

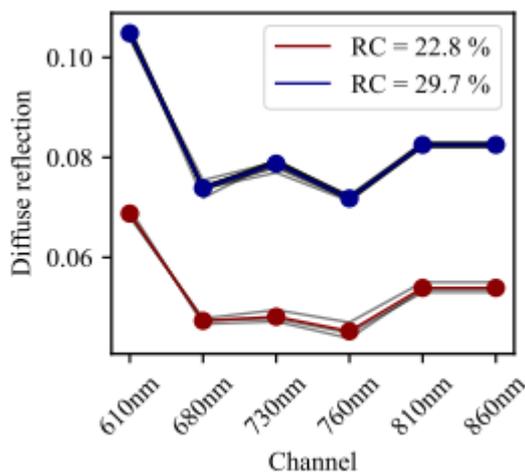


Abb. 20: NIR-Spektroskopie – Beispiel für gemessene Spektren für zwei verschiedene Faser-Volumen-Gehalte (FVG) als Nachweis der klaren Unterscheidbarkeit

Die Arbeiten werden im kommenden Jahr fortgesetzt. Dann soll ein System in die bestehende Faserimprägnieranlage integriert werden. Es ist vorgesehen, die bisher erzielten Ergebnisse in einem wissenschaftlichen Journal zu veröffentlichen.

### Weitere Institutsaktivitäten im Jahr 2023

Im Juni und im Dezember fanden Treffen der Institutsmitglieder statt, bei denen jeder Arbeitsbereich – Assistenzsysteme, Prüfstandsbaue und Leichtbau – seine aktuellen Aktivitäten vorstellte und Ideen ausgetauscht wurden.

Prof. Dr.-Ing. Peter Heidrich hat sich dazu entschlossen, in einem anderen Institut mitzuarbeiten und legt deshalb seine Mitgliedschaft im ISBT zum 14.10.23 nieder. Die anderen ISBT-Mitglieder bedauern sein Ausscheiden und danken ihm für seine wertvollen Beiträge.

Nach dem Abschluss seiner kooperativen Promotion in Zusammenarbeit mit der Uni Kaiserslautern verließ Dr.-Ing. Philipp Bauer am 01.04.23 das Leichtbaulabor und die Hochschule in Richtung Fahrradindustrie.

Nachfolger als Mitarbeiter im Leichtbaulabor ist Simon Mörmann, zunächst in Teilzeit parallel zum Masterstudium „Mechatronische Systementwicklung“.

M.Sc. Yannick Hanakam verließ die Hochschule am 01.07.23. Die kooperative Promotion in Zusammenarbeit mit der Uni Rostock konnte er mit der Promotionsprüfung am 08.12.23 erfolgreich abschließen.

Im März 2023 zog der ISBT-Bereich Assistenzsysteme vom T2 in neue Räume im T1-Gebäude um: T1.1.09.1.

Die Idee einer interdisziplinären Wahlfachvorlesung „Fahrrad- und E-Bike-Technologie“ an der Fakultät für Technik wurde erstmalig im SS23 mit Dozenten des ISBT und von Fa. Bosch E-Bike Systems umgesetzt und im WS23/24 wieder angeboten.

Im Rahmen dieser Vorlesung fand auch eine Exkursion mit den Studierenden zum Entwicklungszentrum von Bosch E-Bike Systems in Reutlingen statt. Neben interessanten technischen Informationen zu Bosch E-Bike Systems und einem Blick in den Versuchsbereich gab es auch ausgiebig Gelegenheit, verschiedene E-Bike-Typen mit Bosch-ABS auf der hauseigenen Teststrecke zu erproben.



Abb. 21: Exkursion zu Bosch E-Bike Systems in Reutlingen, auf der E-Bike-Teststrecke

**Institutsleitung: Prof. Dipl.-Ing. Jürgen Wrede, Prof. Dr.-Ing. Ingolf Müller (Stellvertreter)**

Weitere Informationen: <https://www.hs-pforzheim.de/isbt/>

## 1.2.7 Institute for Human Engineering & Empathic Design – HEED

---

Seit Oktober 2016 agiert das von der Karl Schlecht Stiftung geförderte Institut HEED unter dem Dach des IAF. Mit der Berufung des Stiftungsprofessors Dr. Sven Schimpf, der seit März 2020 zum Team gehört, liegt ein Fokus des HEED auf Innovations- und Interdisziplinaritätsforschung. Im Juni 2020 wurde die Förderung des HEED durch die Karl Schlecht Stiftung um weitere fünf Jahre verlängert. Das Team des HEED umfasst acht Professorinnen und Professoren und vier Mitarbeiter/-innen.

Im folgenden Bericht werden die beiden Forschungsschwerpunkte (1.) Kreativität und Spiel (2.) sowie Innovation und Interdisziplinarität, die im Jahr 2023 am HEED maßgeblich bearbeitet worden sind, näher dargestellt.

### 1. Forschungsschwerpunkt: Kreativität und Spiel

Eine zentrale Forschungstätigkeit, die von HEED-Direktor Thomas Hensel in Zusammenarbeit mit diversen Kooperationspartnern durchgeführt wurde, widmet sich den Möglichkeitsbedingungen von Kreativität. Für das HEED-Credo „vom Hörsaal in die Werkstatt“ ist ein inspirierender Ort, an dem die multidisziplinären Teams empathisch zusammenarbeiten und ihre Kreativität entfalten können, von großer Wichtigkeit. Dementsprechend wurde damit fortgefahren, den Creative Space in der Östlichen Karl-Friedrich-Straße zu einem „Spielraum“ umzufunktionieren. Bestandteil dieses Spielraums ist eine weltweit einzigartige Sammlung von sogenannten Zündhilfen – Spielzeugen und Kreativitätswerkzeugen –, die historische Spielgaben von Friedrich Fröbel genauso wie zahlreiche Kartenspiele zu Innovationsmethoden oder das Noppensteinmodell „Burg Blaustein“ von BlueBrixx umfasst. Im Zentrum dieses Schwerpunktes stehen spielerische Praktiken, die durch Ausprobieren und Modellieren immer wieder neue Spielfelder eröffnen und so Neues und Unerwartetes hervorbringen.

#### Wie kommt das Neue in die Welt? Das Beispiel „Ulmer Hocker“

Was haben eine Wanknutschäge, Platons Höhlengleichnis, ein Besenstiel und Max Bill gemeinsam? Antwort: Sie haben alle einen bedeutenden Anteil an der Herausbildung eines der berühmtesten Designklassiker des 20. Jahrhunderts. Kaum ein Gegenstand ist unscheinbarer als dieser und doch hat keiner mehr Aufmerksamkeit auf sich gezogen. Die Rede ist vom sogenannten *Ulmer Hocker*.

Mit der von HEED-Direktor Thomas Hensel gemeinsam mit der Kollegin Viktoria Heinrich und dem Kollegen Martin Mäntele kuratierten Ausstellung (8. Oktober 2021 bis 27. Februar 2022) „Der Ulmer Hocker: Idee – Ikone – Idol“ wurden die Möglichkeitsbedingungen von Kreativität auf ein singuläres Objekt bezogen untersucht. 2023 ist eine von den drei Kurator\*innen verfasste Monografie erschienen, die unter anderem unter Berufung vor allem auf die Akteur-Netzwerk-Theorie zehn Aktanten definiert, die an der Herausbildung des Ulmer Hockers als eines innovativen Möbelstücks, das Designgeschichte geschrieben hat, maßgeblich beteiligt waren (Kreativität, Technik, Ökonomie, Politik, Philosophie, Wissenschaft, Designtheorie, Kunst, Architektur, Möbel).



## Von den Anfängen des (Computer-)Spiels

Ein weiterer Schwerpunkt der Forschungsarbeit von HEED-Direktor Thomas Hensel liegt auf dem Computerspiel, insbesondere auf dessen Bildlichkeit. In einem (double blind peer reviewed) Aufsatz sucht er das Computerspiel in seiner medialen Einzigartigkeit und ästhetischen Bedeutsamkeit zu begreifen. Zu diesem Zweck wird mit der Figur des Schattens ein besonderer Aspekt freipräpariert, der das Computerspiel mit wegweisenden Anfängen abendländischer Kultur verknüpft, mit christlicher Religion, mit Philosophie und mit bildender Kunst.

## 2. Forschungsschwerpunkt: Innovation und Interdisziplinarität

Eine zentrale Forschungstätigkeit, die von HEED-Direktor Sven Schimpf in Kooperation mit verschiedenen Industriepartnern durchgeführt wurde, widmet sich interdisziplinären Innovationsaktivitäten unter der Hypothese, dass ambitionierte Innovationen zu einem wesentlichen Anteil an Schnittstellen entstehen – beispielsweise zwischen Disziplinen wie auch zwischen Sektoren, gesellschaftlichen Schichten oder geografischen Regionen. Ambitionierte Innovationen werden dabei als Innovationen mit hohem Leistungszuwachs im Vergleich zu Referenzlösungen gesehen, auch bezeichnet als radikale Innovationen, wie von Richard Leifer im gleichnamigen Buch beschrieben, und vielfach mündend in disruptiven Veränderungen der Märkte.

Im Forschungsschwerpunkt Innovation und Interdisziplinarität stehen das System der interdisziplinären Innovationsaktivitäten in Unternehmen sowie das Verständnis einzelner Schnittstellen im Fokus – immer mit Blick auf den möglichen Mehrwert entlang des Innovationsprozesses sowie die damit verbundenen Herausforderungen und unterstützenden Ansätze.

## Interdisziplinäre Brücke zwischen Innovation und Science-Fiction

In einem durch die Volkswagen Stiftung finanzierten Scoping Workshop konnten mit Beiträgen unterschiedlichster Disziplinen einige der zukünftig voraussichtlich relevanten Forschungsthemen an der Schnittstelle zwischen Innovation, Foresight und Science-Fiction thematisiert und

spezifiziert werden. Aus der Arbeit des HEED wurde insbesondere die Nutzung methodischer Ansätze des Innovationsmanagements hervorgehoben, die eine Schnittstelle zu Science-Fiction aufweisen (siehe Veröffentlichung Schimpf/Lauster (2020) Foresight, Innovation und Science-Fiction: <https://digital.ub.uni-paderborn.de/urn/urn:nbn:de:hbz:466:2-40340>, S.577-599). Die Erkenntnisse des Workshops und insbesondere die Funktion von Science-Fiction als disziplinäre Brücke werden derzeit für einen Beitrag in der Academy of Management aufbereitet. Dazu wird der Konferenzartikel zur Einordnung methodischer, Science-Fiction-basierter Ansätze weiterentwickelt und als Artikel in einem Special Issue in der Fachzeitschrift Technovation eingereicht werden.

### **Interdisziplinarität in der Hochschullehre**

Entlang des durch den Stifterverband geförderten interdisziplinären Studienprojektes an dem das HEED gemeinsam mit der Fakultät für Technik und der Fakultät für Gestaltung beteiligt war, ist ein Buchbeitrag zum Themenfeld des empathischen Designs entstanden. Im Studienprojekt wurde der Ansatz eines intensiven Stakeholder-Dialogs angewandt.

### **Roadmapping in der Praxis**

2022 wurde die Praxisstudie Roadmapping (<https://doi.org/10.24406/publica-1134>) in Zusammenarbeit mit dem ifM Cambridge, dem MIT und TIM Consulting aktualisiert. Die Studie wurde erstmalig 2015 veröffentlicht, um den praktischen Einsatz von Roadmapping in Unternehmen zu untersuchen. Insbesondere die Methode des strategischen Roadmappings spielt eine essenzielle Rolle, um Transparenz zu Innovationsaktivitäten über unterschiedliche Unternehmensbereiche und Disziplinen zu schaffen. Die Veröffentlichung der Ergebnisse konnte 2023 auf Deutsch und Englisch in einem anwendungs- und wirtschaftsorientierten Studienformat realisiert werden, sie steht zum kostenfreien Download zur Verfügung.

### **Maker-Toolkit zur Entwicklung neuer Anwendungen mithilfe von Quantentechnologien im BMBF-geförderten Projekt QOI**

Im Oktober konnte das durch das Bundesministerium für Bildung und Forschung geförderte Forschungsprojekt „Entwicklung eines Open-Hardware-Baukastens und von Open-Innovation-Ansätzen für eine effektive Verbreitung von Quantentechnologien der 2. Generation, Teilvorhaben: Entwicklung Design-basierter und interdisziplinärer methodischer Ansätze in Entwicklung und Einsatz des Open-Hardware-Baukastens“ (QOI) starten. Zielstellung des Projektes ist die Entwicklung eines Maker-Toolkits zur Entwicklung von Anwendungen mithilfe von Quantentechnologien in Maker-Umgebungen. Hierbei ist das HEED insbesondere zur Forschungsfrage beteiligt, welche Parameter bei der Entwicklung von Makertoolkits erfolgsentscheidend sind – und wie diese bestmöglich mit Blick auf erfolgreiche Anwendungsprototypen gestaltet werden.

Zum zweiten Forschungsschwerpunkt insbesondere der Interdisziplinarität trägt zudem die Forschungsarbeit von HEED-Direktor Werner Engeln bei, der eine Brücke zwischen Technik und Industriedesign in der Produktentwicklung schlägt. Dieser hat seine Forschungsarbeit aus dem Vorjahr fortgesetzt (s. IAF-Bericht 2022).

**Institutsleitung: Prof. Dr.-Ing. Werner Engeln, Prof. Dr. phil. Thomas Hensel, Prof. Dr.-Ing. Sven Schimpf**

Weitere Informationen: [www.hs-pforzheim.de/heed](http://www.hs-pforzheim.de/heed)

## 2 Personalia

### 2.1 Institut für Angewandte Forschung

---

Wissenschaftlicher Direktor	Prof. Dr. Thomas Greiner
Stellv. wissenschaftliche Direktorin	Prof. Dr. Rebecca Bulander
Forschungskoodinatorin	Dr. Monika Roller
Junior Forschungsreferentin	Iuliana Ancuța Ilie, M.A.

### 2.2 Fachinstitute und ihre Mitglieder

---

#### Institut für Industrial Ecology – INEC

---

(1)	Prof. Dr.-Ing. Frank Bertagnolli	Wirtschaft und Recht
(2)	Prof. Dr. Guy Fournier <sup>2</sup>	Technik
(3)	Prof. Dr. Hendrik Lambrecht	Wirtschaft und Recht
(4)	Prof. Dr. Claus Lang-Koetz (Stellvertretender Leiter)	Wirtschaft und Recht
(5)	Prof. Dr. Mario Schmidt (Leiter)	Wirtschaft und Recht
(6)	Prof. Dr. Ingela Tietze	Wirtschaft und Recht
(7)	Prof. Dr. Tobias Viere	Wirtschaft und Recht
(8)	Prof. Dr.-Ing. Jörg Woidasky	Technik

#### Institut für Smart Systems und Services – IoS<sup>3</sup>

---

(1)	Prof. Dr. Karlheinz Blankenbach <sup>3</sup>	Technik
(2)	Prof. Dr. Rebecca Bulander	Technik
(3)	Prof. Dr. Benno Dömer	Technik
(4)	Prof. Dr.-Ing. Rainer Drath	Technik
(5)	Prof. Dr. Thomas Greiner (Leiter)	Technik
(6)	Prof. Dr. Alexander Hetznecker	Technik

---

<sup>2</sup> Mitglied bis August 2023

<sup>3</sup> Im Ruhestand

(7)	Prof. Dr. Bernhard Kölmel (Stellvertretender Leiter)	Technik
(8)	Prof. Dr. Stefan Kray	Technik
(9)	Prof. Dr. Ansgar Kühn	Technik
(10)	Prof. Dr. Steffen Reichel	Technik
(11)	Prof. Dr. Guido Sand	Technik
(12)	Prof. Dr. Norbert Schmitz	Technik
(13)	Prof. Dr. Thomas Schuster	Wirtschaft und Recht
(14)	Prof. Dr. Sascha Seifert	Technik
(15)	Prof. Dr. Raphael Volz	Technik
(16)	Prof. Dr. Peter Weiß	Wirtschaft und Recht

Institut für Werkstoffe und Werkstofftechnologien – IWWT

---

(1)	Prof. Dr. Volker Biehl	Technik
(2)	Prof. Dr. Gerhard Frey <sup>4</sup>	Technik
(3)	Prof. Dr. Matthias Golle	Technik
(4)	Prof. Dr. Ulrich Heinen	Technik
(5)	Prof. Dr.-Ing. Dipl.-Wirt.-Ing. (FH) Norbert Jost (Leiter)	Technik
(6)	Prof. Dr. Kai Oßwald	Technik
(7)	Prof. Dr. Tobias Preckel	Technik
(8)	Prof. Dr.-Ing. Jörg Woidasky	Technik

Schmucktechnologisches Institut – STI

---

(1)	Prof. Dr. Carlo Burkhardt (Leiter)	Technik
-----	------------------------------------	---------

Institut für Personalforschung – IfP

---

(1)	Prof. Dr. Cathrin Eireiner (Stellvertretende Leiterin)	Wirtschaft und Recht
(2)	Prof. Dr. Stephan Fischer (Leiter)	Wirtschaft und Recht

---

<sup>4</sup> Im Ruhestand

- |     |                                 |                      |
|-----|---------------------------------|----------------------|
| (3) | Prof. Dr. Anja Schmitz          | Wirtschaft und Recht |
| (4) | Prof. Dr. Markus-Oliver Schwaab | Wirtschaft und Recht |
| (5) | Prof. Dr. Carsten Weber         | Wirtschaft und Recht |
| (6) | Dr. Sabrina Weber               | Wirtschaft und Recht |

#### Institute for Smart Bicycle Technology – ISBT

---

- |     |   |         |
|-----|---|---------|
| (1) | Prof. Dr.-Ing. Peter Heidrich <sup>5</sup>              | Technik |
| (2) | Prof. Dr.-Ing. Stefan Hillenbrand                       | Technik |
| (3) | Prof. Dr.-Ing. Peter Kohmann                            | Technik |
| (4) | Prof. Dr.-Ing. Ingolf Müller (Stellvertretender Leiter) | Technik |
| (5) | Prof. Dr.-Ing. Martin Pfeiffer                          | Technik |
| (6) | Prof. Dipl.-Ing. Jürgen Wrede (Leiter)                  | Technik |

#### Institute for Human Engineering & Empathic Design – HEED

---

- |     |  |                      |
|-----|--|----------------------|
| (1) | Prof. Dr. Felix Buchmann               | Wirtschaft und Recht |
| (2) | Prof. Dr.-Ing. Werner Engeln (Leiter)  | Technik              |
| (3) | Prof. Dr. phil. Thomas Hensel (Leiter) | Gestaltung           |
| (4) | Prof. Dr. Simone Huck-Sandhu           | Wirtschaft und Recht |
| (5) | Prof. Dr. Claus Lang-Koetz             | Wirtschaft und Recht |
| (6) | Prof. Dr. Jan Of                       | Gestaltung           |
| (7) | Prof. Dr.-Ing. Sven Schimpf (Leiter)   | Gestaltung           |
| (8) | Prof. Dr. Andrea Wechsler              | Wirtschaft und Recht |

### 2.3 Persönliche Mitglieder des IAF

---

- |     |                           |                      |
|-----|---------------------------|----------------------|
| (1) | Prof. Dr. Tobias Brönneke | Wirtschaft und Recht |
| (2) | Prof. Dr. Ulrich Föhl     | Wirtschaft und Recht |

---

<sup>5</sup> Mitglied bis Oktober 2023

(3)	Prof. Dr. Guy Fournier <sup>6</sup>	Technik
(4)	Prof. Dr. Rainer Gildeggen <sup>7</sup>	Wirtschaft und Recht
(5)	Prof. Dr. Silke Helmerdig	Gestaltung
(6)	Prof. Dr. Steffen Kroschwald	Wirtschaft und Recht
(7)	Prof. Dr. Jasmin Mahadevan	Technik
(8)	Prof. Dr. Ute Marx	Technik
(9)	Prof. Gabriele Naderer	Wirtschaft und Recht
(10)	Prof. Dr. Waldemar Pförsch <sup>8</sup>	Wirtschaft und Recht
(11)	Prof. Dr. Heiko Thimm	Technik
(12)	Prof. Dr. Jörg Tropp	Wirtschaft und Recht
(13)	Prof. Dr. Roland Wahl	Technik
(14)	Prof. Dr. Nadine Walter	Wirtschaft und Recht
(15)	Prof. Dr. Dirk Wentzel	Wirtschaft und Recht

---

<sup>6</sup> Mitglied seit September 2023

<sup>7</sup> Im Ruhestand

<sup>8</sup> Im Ruhestand

## 4 Publikationen

### 4.1 Peer-Review-Publikationen (=57)

#### 4.1.1 Beiträge aus Journals in Master Journal List (Clarivate), Scopus, DOAJ und COPE (=37)

---

1. **Antony, J.** & Klarl, T. (2023). Subsistence consumption and natural resource depletion: Can resource-rich low-income countries realize sustainable consumption paths? *Journal of Macroeconomics*, 15(3), 103549, insg. 31 Seiten. <https://doi.org/10.1016/j.jmacro.2023.103549>
2. **Auer, M., Schmidt, J., Diemert, J., Gerhardt, G., Renz, M., Galler, V. & Woidasky, J.** (2023). Quality Aspects in the Compounding of Plastic Recyclate. *Recycling*, 8(1), insg. 18 Seiten. <https://doi.org/10.3390/recycling8010018>
3. Barriga, A., Ferguson, N. T. N., Fiala, N. & **Leroch, M. A.** (2023). Ethnic cooperation and conflict in Kenya. *Journal of Behavioral and Experimental Economics*, 106(4), 102050, insg. 12 Seiten. <https://doi.org/10.1016/j.socec.2023.102050>
4. **Bhatti, F., Engel, G., Hampel, J., Khalil, C., Reber, A., Kray, S. & Greiner, T.** (2023). Non-Contact Face Temperature Measurement by Thermopile-Based Data Fusion. *Sensors*, 23(18), 7680, insg. 14 Seiten. <https://doi.org/10.3390/s23187680>
5. **Brändle, T.** & Koch, A. (2023). Entgelttransparenzgesetz erreicht Ziel nicht. *Wirtschaftsdienst*, 103(12), 842–849. <https://doi.org/10.2478/wd-2023-0230> <https://www.wirtschaftsdienst.eu/pdf-download/jahr/2023/heft/12/beitrag/entgelttransparenzgesetz-erreicht-ziel-nicht.html>
6. **Britzelmaier, B., Kurz, F., Kraus, P.** & Holder, S. (2023). The management of digital transformation in German companies: an empirical analysis. *Journal for Global Business Advancement*, 15(3), 297-317. <https://doi.org/10.1504/JGBA.2022.129058>
7. **Burkhardt, C.,** van Nielen, S., Awais, M., Bartolozzi, F., Blomgren, J., Ortiz, P., Xicotencatl, M. B., Degri, M., Nayebossadri, S. & Walton, A. (2023). An overview of Hydrogen assisted (Direct) recycling of Rare earth permanent magnets. *Journal of Magnetism and Magnetic Materials*, 588, 171475, insg. 9 Seiten. <https://doi.org/10.1016/j.jmmm.2023.171475>
8. Cohen, Y., **Burkhardt, C., Vogel, L.,** Baum, A., Mitteramskogler, G., Shilo, D. & Faran, E. (2023). Sinter-Based Additive Manufacturing of Ni–Ti Shape Memory Alloy. *Shape Memory and Superelasticity*, 9, 492-503. <https://doi.org/10.1007/s40830-023-00436-y>
9. Doblinger, M. & **Class, J.** (2023). Does it fit? The relationships between personality, decision autonomy fit, work engagement, and emotional exhaustion in self-managing organizations. *International Journal of Selection and Assessment*, 31(3), 420–442. <https://doi.org/10.1111/ijsa.12440>
10. Felix, B., Tiussi, B. L., **Mahadevan, J.** & Dias, R. C. (2023). The great pretenders? Individuals' responses to threats to their remote worker identities. *Frontiers in Psychology*, 14, 1224548, insg. 13 Seiten. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2023.1224548>
11. Ferguson, N. T. & **Leroch, M. A.** (2023). On the behavioral impacts of violence: Evidence from incentivized games in Kenya. *European Journal of Political Economy*, 78, 102352, insg. 15 Seiten. <https://doi.org/10.1016/j.ejpoleco.2022.102352>
12. Fluchs, S., **Drath, R.** & Fay, A. (2023). Evaluation of Visual Notations as a Basis for ICS Security Design Decisions. *IEEE Access*, 11, 9967–9994. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2023.3238326>

13. Fluchs, S., **Taştan, E.**, Trumpf, T., Horch, A., **Drath, R.** & Fay, A. (2023). Nachvollziehbare Security by Design-Entscheidungen für Automatisierungssysteme mittels funktionsbasierter Diagramme und Security-Bibliotheken. *at - Automatisierungstechnik*, 71(9), 759–778. <https://doi.org/10.1515/auto-2023-0084>
14. Fluchs, S., **Taştan, E.**, Trumpf, T., Horch, A., **Drath, R.** & Fay, A. (2023). Traceable Security-by-Design Decisions for Cyber-Physical Systems (CPSs) by Means of Function-Based Diagrams and Security Libraries. *Sensors*, 23(12), 5547, insg. 30 Seiten. <https://doi.org/10.3390/s23125547>
15. **Fritz, B., Heidak, P.**, Vasters, J., Kuhn, T., Franken, G. & **Schmidt, M.** (2023). Life cycle impact on climate change caused by metal production from deep sea manganese nodules versus land-based deposits. *Resources, Conservation and Recycling*, 193(5), 106976, insg. 10 Seiten. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2023.106976>
16. **Fritz, B.**, Peregovich, B., da Silva Tenório, L., da Silva Alves, A. C. & **Schmidt, M.** (2023). Mercury and CO<sub>2</sub> emissions from artisanal gold mining in Brazilian Amazon rainforest. *Nature Sustainability*, 7, 15-22. <https://doi.org/10.1038/s41893-023-01242-1>
17. Galetto, M., **Weber, S.**, Larsson, B., Bechter, B. & Prosser, T. (2023). ‘You see similarities more than differences after a while’. *Communities of Practice in European industrial relations. The case of the hospital European Sectoral Social Dialogue. Industrial Relations Journal*, 54(2), 167–185. <https://doi.org/10.1111/irj.12396>
18. **Horschutz Nemoto, E., Korbee, D., Jaroudi, I., Viere, T., Naderer, G. & Fournier, G.** (2023). Integrating automated minibuses into mobility systems – Socio-technical transitions analysis and multi-level perspectives. *Technological Forecasting and Social Change*, 188, 122260, insg. 14 Seiten. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2022.122260>
19. **Hoss, N. & Eichner, K.** (2023). Shareholder activism: Further evidence on the relationship between activists’ demands and shareholder value creation. *Journal of Corporate Accounting & Finance*, 34(4), 157–173. <https://doi.org/10.1002/jcaf.22635>
20. Kádár, C., **Kubelka, P.** & Szlancsik, A. (2023). On the compressive properties of aluminum and magnesium syntactic foams: Experiment and simulation. *Materials Today Communications*, 35(2), 106060, insg. 8 Seiten. <https://doi.org/10.1016/j.mtcomm.2023.106060>
21. **Klein, T.** & Ott, M. (2023). Effiziente und faire Verteilung von Lebensmittelspenden. *Wirtschaftsdienst*, 103(8), 560–563. <https://doi.org/10.2478/wd-2023-0156>
22. **Koelmel, B.**, Borsch, M., **Bulander, R.**, **Waidelich, L.**, **Brugger, T.**, **Kuehn, A.**, **Weyer, M.**, Schmerber, L. & Krutwig, M. (2023). Quantifying the Economic and Financial Viability of NB-IoT and LoRaWAN Technologies: A Comprehensive Life Cycle Cost Analysis Using Pragmatic Computational Tools. *FinTech*, 2(3), 510–526. <https://doi.org/10.3390/fintech2030029>
23. **Kraus, P.**, Stokes, P., Moore, N., Ashta, A. & **Britzelmaier, B. J.** (2023). An elite perspective on interviewing entrepreneurs – methodological considerations for the entrepreneurship field. *Journal of Small Business and Enterprise Development*, 30(5), 857-879. <https://doi.org/10.1108/JSBED-12-2022-0492>
24. **Lewerenz, S.**, Sailer, G., Pelz, S. & **Lambrecht, H.** (2023). Life cycle assessment of biowaste treatment – Considering uncertainties in emission factors. *Cleaner Engineering and Technology*, 15, 100651, insg. 10 Seiten. <https://doi.org/10.1016/j.clet.2023.100651>
25. **Mahadevan, J.** & Moore, F. (2023). A framework for a more reflexive engagement with ethnography in International Business Studies. *Journal of World Business*, 58(4), 101424, insg. 12 Seiten. <https://doi.org/10.1016/j.jwb.2022.101424>

26. **Mahadevan, J. & Steinmann, J.** (2023). Cultural intelligence and COVID-induced virtual teams: Towards a conceptual framework for cross-cultural management studies. *International Journal of Cross Cultural Management*, 23(2), 317–337. <https://doi.org/10.1177/14705958231188621>
27. **Maurer, R.** (2023). Comparing the effect of different agricultural land-use systems on biodiversity. *Land Use Policy*, 134(2), 106929, insg. 8 Seiten. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2023.106929>
28. Mishra, A., Khoshsima, S., Tomše, T., Podmiljšak, B., Šturm, S., **Burkhardt, C.** & Žužek, K. (2023). Short-Loop Recycling of Nd-Fe-B Permanent Magnets: A Sustainable Solution for the RE2Fe14B Matrix Phase Recovery. *Materials*, 16(19), 6565, insg. 13 Seiten. <https://doi.org/10.3390/ma16196565>
29. Ortega, J. & **Klein, T.** (2023). The cost of strategy-proofness in school choice. *Games and Economic Behavior*, 141, 515–528. <https://doi.org/10.1016/j.geb.2023.07.008>
30. Reeh, A., **Walter, N., Sander, F. & Cleff, T.** (2023). Shopping for a worthy cause - the theory of planned behaviour for vegan personal care products with a special focus on animal welfare. *International Journal of Business Environment*, 14(4), 488-526. <https://doi.org/10.1504/IJBE.2023.10056159> oder <https://www.inderscience-online.com/toc/ijbe/14/4>
31. Schlegel, D. & **Kraus, P.** (2023). Skills and competencies for digital transformation – a critical analysis in the context of robotic process automation. *International Journal of Organizational Analysis*, 31(3), 804–822. <https://doi.org/10.1108/IJOA-04-2021-2707>
32. Spangenberg, J. H. & **Kurz, R.** (2023). Epochal turns: Uncomfortable insights, uncertain outlooks. *Sustainable Development*, 31(4), 2347-2362. <https://doi.org/10.1002/sd.2512>
33. **Thimm, H.** (2023). Data modeling and NLP-based scoring method to assess the relevance of environmental regulatory announcements. *Environment Systems & Decisions*, 43, 416-432. <https://doi.org/10.1007/s10669-023-09900-7>
34. **Wagner, V.**, Keil, M., **Lang-Koetz, C. & Viere, T.** (2023). Screening life cycle assessment of medical workwear and potential mitigation scenarios. *Sustainable Production and Consumption*, 40(7/8), 602–612. <https://doi.org/10.1016/j.spc.2023.07.026>
35. **Wiek, M. & Eichner, K.** (2023). Adjusted versus unadjusted earnings: An empirical analysis of pro forma adjustments in large German public companies. *Journal of Corporate Accounting & Finance*, 34(3), 47–63. <https://doi.org/10.1002/jcaf.22611>
36. Xinwei, L., Tse, Y. K. & **Fastoso, F.** (2023). Unleashing the power of social media data in business decision making: an exploratory study. *Enterprise Information Systems*, 41(1), 2243603, insg. 28 Seiten. <https://doi.org/10.1080/17517575.2023.2243603>
37. Zaun, N., **Leroch, M. A.** & Thielemann, E. (2023). Why courts are the life buoys of migrant rights: anti-immigrant pressure, variation in judicial independence, and asylum recognition rates. *Journal of European Public Policy*, 22(2), insg. 25 Seiten. <https://doi.org/10.1080/13501763.2023.2182821>

#### 4.1.2 Beiträge aus Journals in AG-Liste (=7)

---

38. **Alemayehu, Y., Jakobi, C., Klink, M.-A., Weber, J. & Morelli, F.** (2023). Ausgestaltung eines digitalen Zwillings im Rahmen von Manufacturing-X. *Anwendungen und Konzepte der Wirtschaftsinformatik*, 18, 9-21. <https://akwi.hswlu.ch/article/view/4540>

39. **Britzelmaier, B., Steindl, S., Baarck, A. & Holder, S.** (2023). Holistic investment appraisal approach based on the triple bottom line. *International Journal of Management Cases*, 25(1), 74-95. <https://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=bth&AN=162459678&lang=de&site=eds-live>
40. **Heck, F., Morelli, F. & Meyer, J.** (2023). Anwendung von Object Centric Process Mining am Beispiel eines Use Cases. *Anwendungen und Konzepte der Wirtschaftsinformatik*, 18, 41-49. <https://akwi.hswlu.ch/article/view/4506>
41. **Oelfin, D. & Morelli, F.** (2023). Organizational Integration of User Experience Contributors in Agile Software Development. *Anwendungen und Konzepte der Wirtschaftsinformatik*, 18, 65-79. <https://akwi.hswlu.ch/article/view/4491>
42. **Pruhs, A., Kusch, A., Bertagnolli, F., Viere, T. & Woidasky, J.** (2023). Makigami im Produktentstehungsprozess - Einsatz einer Lean-Methodik zur Integration eines nachhaltigen und zirkulären Produktdesigns. *Industrie 4.0 Management*, 39(6), 55–60. [https://doi.org/10.30844/IM\\_23-6\\_55-60](https://doi.org/10.30844/IM_23-6_55-60)
43. Sekulovska, A., **Morelli, F.**, Siurdyban, A., Manfreda, A. & **Schätter, F.** (2023). Designing a Use Case for Supply Chain Resilience Based on Process Mining. *Anwendungen und Konzepte der Wirtschaftsinformatik*, 18, 103-116. <https://akwi.hswlu.ch/article/view/4563>
44. **Stumm, S. & Morelli, F.** (2023). Automatisierungspotenziale von Büro- und Verwaltungsarbeiten anhand von Large Language Models am Beispiel von ChatGPT. *Anwendungen und Konzepte der Wirtschaftsinformatik*, 18, 117-127. <https://akwi.hswlu.ch/article/view/4490>

#### 4.1.3 Beiträge mit separatem Nachweis des Peer-Reviews (=13)

---

45. Artelt, M., Dittler, D., **Hildebrandt, G.**, Braun, D., Jazdi, N. & Weyrich, M. (2023). Dynamic Production Scheduling with Intelligent Products in a Modular Production System. In *2023 IEEE 28th International Conference on Emerging Technologies and Factory Automation (ETFA)*, S. 1-4. IEEE. <https://doi.org/10.1109/ETFA54631.2023.10275613>
46. **Hildebrandt, G., Habiger, P.**, Dittler, D., **Drath, R.** & Weyrich, M. (2023). Automated Integration of External Data into Digital Twins for Manufacturing Processes. In *2023 IEEE 28th International Conference on Emerging Technologies and Factory Automation (ETFA)*, S. 1–8. IEEE. <https://doi.org/10.1109/ETFA54631.2023.10275696>
47. **Heinrich, S., Kreft, N., Schuster, T. & Volz, R.** (2023). A Total Cost of Ownership Model for Cloud Computing Infrastructure. In *Proceedings of the 56th Hawaii International Conference on System Sciences*, 5779-5788. <https://scholarspace.manoa.hawaii.edu/server/api/core/bitstreams/6b236266-cfe4-4cb3-bb16-db2195d098e3/content>
48. Schlegel, D, Wallner, J., Monauni, M. & **Kraus, P.** (2023). Data-driven Culture: A Transformational Framework. In *Proceedings of the Forty-Fourth International Conference on Information Systems (ICIS) 2023*, insg. 17 Seiten. [https://aisel.aisnet.org/icis2023/gov\\_strategy/gov\\_strategy/7](https://aisel.aisnet.org/icis2023/gov_strategy/gov_strategy/7)
49. **Fournier, G.**, Thalhofer, M., Chrétien, P., **Boos, A., Korbee, D., Jaroudi, I., Horschutz Nemoto, E., Naderer, G.**, Konstantas, D. & **Viere, T.** (2023). System innovation in transport with automated minibuses and ITS: the citizen centric approach of AVENUE. *Transportation Research Procedia*, 72, 2984–2991. <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2023.11.845>
50. **Horschutz Nemoto, E., Korbee, D., Jaroudi, I., Viere, T., Naderer, G. & Fournier, G.** (2023). Sustainability assessment of the deployment of automated minibuses in urban mobility of European cities. *Transportation Research Procedia*, 72, 1364–1371. <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2023.11.599>

51. **Korbee, D., Naderer, G. & Fournier, G.** (2023). The potential of automated minibuses in the socio-technical transformation of the transport system. *Transportation Research Procedia*, 72, 2936–2943. <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2023.11.840>
52. **Reimschüssel, S., Fuchs, U. & Sand, G.** (2023). Electroplating scheduling: Closing a research gap from an automation vendor's perspective. In *Computer Aided Chemical Engineering. 33rd European Symposium on Computer Aided Process Engineering*, S. 125–130. (Bd. 52, Hrsg. A. Kokossis, M. Georgiadis & E. Pistikopoulos). ISSN: 1570-7946. <https://doi.org/10.1016/B978-0-443-15274-0.50021-4>
53. **Habiger, P., Hildebrandt, G., Drath, R. & Fay, A.** (2023). Module Type Package in der Fertigungsautomatisierung. Teil 1: Grundlagen und Handlungsbedarf. *atp magazin*, 65(9), 72–79. <https://doi.org/10.17560/atp.v65i9.2681>
54. **Habiger, P., Hildebrandt, G., Drath, R. & Fay, A.** (2023). Module Type Package in der Fertigungsautomatisierung. Teil 2: Informationsmodellierung. *atp magazin*, 65(11-12), 72–79. <https://doi.org/10.17560/atp.v65i11-12.2697>
55. Kleiser, M., **Mittmann, K. & Tropp, J.** (2023). "Don't talk the talk if you don't walk the walk!" Warum verhält sich die Gen Z beim Thema Nachhaltigkeit inkongruent? *Transfer - Zeitschrift für Kommunikation und Markenmanagement*, 69(3), 6-14. <https://transfer-zeitschrift.net/transfer-03-2023/> oder [https://www.wiso-net.de/document/TWP\\_\\_d4675d72cc3759bb260957bdae849aa1920f2db4](https://www.wiso-net.de/document/TWP__d4675d72cc3759bb260957bdae849aa1920f2db4)
56. **Schmidt, S. W.** (2023). Der gestaltete Ort. Entwurf einer phänomenologischen Topologie des Designs. *Phänomenologische Forschungen*, 1, 67–86. ISSN: 0342-8117
57. **Weber, S., Bechter, B., Galetto, M., Guobaite, R., Blaziene, I., Hiltunen, L., Larsson, B., Pankow, M., Czarzasty, J. & Owczarek, D.** (2023). Social partners and OSH: a multilevel and cross-country exploration in the hospital and social services sectors. *Zeitschrift für Sozialreform/Journal of Social Policy Research (ZSR)*, 69(4), 253–277. <https://doi.org/10.1515/zsr-2023-0006>

## 4.2 Dissertationen (=7)

---

58. **Bauer, P.** (2023). Lastpfadoptimierte Strukturbauteile aus duroplastischen Wickelstrukturen mit thermoplastischem Spritzguss. Insg. 130 Seiten. Rheinland-Pfälzische Technische Universität Kaiserslautern-Landau (RPTU). [https://kluedo.ub.rptu.de/frontdoor/deliver/index/docId/7290/file/Philipp\\_Bauer\\_Dissertation\\_2023.pdf](https://kluedo.ub.rptu.de/frontdoor/deliver/index/docId/7290/file/Philipp_Bauer_Dissertation_2023.pdf)  
**Betreuer:** Prof. Dr.-Ing. P. J. Geiß, RPTU, Prof. Dr.-Ing. Hausmann, Leibniz-Institut für Verbundwerkstoffe, **Prof. Dr.-Ing. I. Müller, Hochschule Pforzheim** und PD Dr.-Ing. habil. D. May, Leibniz-Institut für Verbundwerkstoffe. **Philipp Bauer – Mitarbeiter der Hochschule Pforzheim**
59. **Härle, C.** (2023). Automatisierte Generierung, Adaption und Rekonfiguration von Co-Simulationen für modulare Produktionsanlagen. Insg. 165 Seiten. Karlsruher Institut für Technologie. DOI: 10.5445/IR/1000154191; <https://publikationen.bibliothek.kit.edu/1000154191>  
**Betreuer:** Prof. Dr.-Ing. Mike Barth, KIT und Prof. Dr.-Ing. Alexander Fay, Helmut-Schmidt-Universität / Universität der Bundeswehr Hamburg. **Christian Härle – Mitarbeiter der Hochschule Pforzheim; Mike Barth – bis Herbst 2022 Professor an der Hochschule Pforzheim**
60. **Hiller, T.** (2023). Schwingungsverhalten von Abgasanlagen mit Entkoppelelementen. Insg. 132 Seiten. In Schriftenreihe Technische Mechanik, Band 47, Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg. ISSN: 2190-023X. <https://opus4.kobv.de/opus4-fau/frontdoor/index/index/docId/23385>  
**Betreuer:** Prof. Dr.-Ing. habil. Kai Willner, Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg und Prof. Dr.-Ing. Steffen Marburg, Universität München. **Thomas Hiller – Mitarbeiter der Hochschule Pforzheim**

61. **Horschutz Nemoto, E.** (2023). Towards a new sustainable mobility paradigm: The role and impacts of automated minibuses in the mobility transition. Insg. 169 Seiten. Université Paris-Saclay. <https://www.theses.fr/en/2022UPAST160>  
**Betreuer: Prof. Dr. Guy Fournier, Hochschule Pforzheim** und Prof. Dr. Danielle Attias und Prof. Dr. Pascal da Costa, Université Paris-Saclay. **Eliane Horschutz Nemoto – Mitarbeiterin der Hochschule Pforzheim**
62. **Rötzer, N.** (2023). Modellbasierte Bestimmung des Energieaufwands der Metallgewinnung und seiner Entwicklung zur Bewertung der Rohstoffverfügbarkeit - Fallbeispiel Kupfer. Insg. 189 Seiten. Karlsruher Institut für Technologie. DOI: 10.5445/IR/1000157891; <https://publikationen.bibliothek.kit.edu/1000157891>  
**Betreuer: Prof. Dr. Mario Schmidt, Hochschule Pforzheim** und Prof. Dr. Armin Grunwald, KIT. **Nadine Rötzer – Mitarbeiterin der Hochschule Pforzheim**
63. **Stratmann, M.** (2023). Ökobilanzierung in der Aluminiumindustrie – Entwicklung einer industriespezifischen und anwenderfreundlichen LCA-Methodik, insg. 152 Seiten. Karlsruher Institut für Technologie. DOI: 10.5445/IR/1000154044; <https://publikationen.bibliothek.kit.edu/1000154044>  
**Betreuer: Prof. Dr. Mario Schmidt, Hochschule Pforzheim** und Prof. Dr. Armin Grunwald, KIT. **Mathias Stratmann – Stipendiat Kooperatives Promotionskolleg ENRES an der Hochschule Pforzheim**
64. **Vuillermin, F.** (2023). Interngerichtetes Issues Management. Eine theoretische und empirische Analyse von konflikt- und chancenhaltigen Themen in der internen Unternehmenskommunikation. Springer Fachmedien Wiesbaden. Softcover ISBN: 978-3-658-42367-4. Insg. 409 Seiten. <https://doi.org/10.1007/978-3-658-42368-1>  
**Betreuer: Prof. Dr. Simone Huck-Sandhu, Hochschule Pforzheim** und Prof. Dr. Claudia Mast, Universität Hohenheim. **Frederic Vuillermin – Mitarbeiter der Hochschule Pforzheim**

#### 4.3 Weitere wissenschaftliche Publikationen (=104)

##### 4.3.1 Beiträge in wissenschaftlichen Zeitschriften und Proceedings (=70)

###### 4.3.1.1 Beiträge in wissenschaftlichen Zeitschriften und Proceedings (ohne Nachweis) (=25)

---

65. **Berbig, D.** (2023). Extending a comprehensive model for choosing proper load carriers. Logistics Journal, insg. 7 Seiten. ISSN: 1860-5923. DOI: 10.2195/lj\_edrev\_berbig\_en\_202311\_01. [https://www.logistics-journal.de/archive/not-reviewed/2023/11/5827/berbig\\_en\\_2023.pdf](https://www.logistics-journal.de/archive/not-reviewed/2023/11/5827/berbig_en_2023.pdf)
66. **Berbig, D.** (2023). There is More than Mean and Variance on Waiting. In Proceedings of the 13th International Conference on Simulation and Modeling Methodologies, Technologies and Applications (SIMULTECH 2023), S. 171-177. ISBN: 978-989-758-668-2; ISSN: 2184-2841. <https://www.scitepress.org/Papers/2023/119474/119474.pdf>
67. **Blankenbach, K.** (2023). Augmented Reality HUDs: Challenges, Solutions and Competitors. In 30th International Workshop on Active-Matrix Flatpanel Displays and Devices (AM-FPD), S. 28-31. <https://ieeexplore.ieee.org/document/10264936>
68. **Blankenbach, K.** (2023). Invited Paper: LCD Innovations vs. OLED Performance for Automotive Applications. SID Symposium Digest of Technical Papers, 54(S1), 327–330. <https://doi.org/10.1002/sdtp.16295>

69. **Blankenbach, K., Eisenhardt, M., Brezing, K. & Reichel, S.** (2023). RGB LED matrix display for augmented driving for higher traffic safety. In J.-H. Lee, Q.-H. Wang & T.-H. Yoon (Hrsg.), *Advances in Display Technologies XIII (Proceedings volume 12443)*, insg. 12 Seiten. SPIE. <https://doi.org/10.1117/12.2648294>
70. **Bulander, R., Kölmel, B. & Rath, M.** (2023). Development of a Procedure for the Processing of Raw Sensor Data from Smart Devices for Utilisation in Process Mining. In *Proceedings of the 20th International Conference on Smart Business Technologies (S. 193–202)*. SCITE-PRESS - Science and Technology Publications. <https://doi.org/10.5220/0012122700003552>
71. **Eisenhardt, M., Reichel, S. & Blankenbach, K.** (2023). Augmented Information by Graphics Pillar-to-Pillar RGB LED Display at the Base of the Windscreen: Design, Measurements & Evaluation (34-4: Late-News Paper). *SID Symposium Digest of Technical Papers*, 54(1), 495–498. <https://doi.org/10.1002/sdtp.16601>
72. **Fischer, S.** & Rotzinger, J. (2023). Fluktuationsrisiken einschätzen. Möglichkeiten und Grenzen datenbasierter Modelle. *Zeitschrift für Führung und Organisation (zfo)*, 6, 356-361. [https://www.zfo.de/fileadmin/user\\_upload/zfo/Dokumente/Beitrag2.pdf](https://www.zfo.de/fileadmin/user_upload/zfo/Dokumente/Beitrag2.pdf)
73. **Foschiani, S.** & Huppert, M. (2022). Strategische Optionen von Genossenschaftsbanken vor dem Hintergrund aktueller Herausforderungen. *Hohenheimer Genossenschaftsforschung 2022*, S. 60-80. ISSN: 1868-9116. [https://geno.uni-hohenheim.de/fileadmin/einrichtungen/geno/HGF/HGF22\\_final.pdf](https://geno.uni-hohenheim.de/fileadmin/einrichtungen/geno/HGF/HGF22_final.pdf)
74. **Bacher, U. & Sander, F.** (2022). Genossenschaftliche Finanzgruppe Marktführer mit „Visualvest“ bei Robo-Advisory. *Hohenheimer Genossenschaftsforschung 2022*, S. 88-98 . ISSN: 1868-9116. [https://geno.uni-hohenheim.de/fileadmin/einrichtungen/geno/HGF/HGF22\\_final.pdf](https://geno.uni-hohenheim.de/fileadmin/einrichtungen/geno/HGF/HGF22_final.pdf)
75. **Gröbe-Boxdorfer, B. & Engeln, W.** (2023). Herausforderungen bei der Integration von Nachhaltigkeitsanforderungen in die Produktentwicklung von Unternehmen. In K. Hölzle, M. Kreimeyer, D. Roth, T. Maier & O. Riedel (Hrsg.), *Stuttgarter Symposium für Produktentwicklung SSP 2023*, S. 259-270. [https://elib.uni-stuttgart.de/bitstream/11682/13150/3/SSP\\_2023\\_Tagungsband.pdf](https://elib.uni-stuttgart.de/bitstream/11682/13150/3/SSP_2023_Tagungsband.pdf)
76. **Pruhs, A., Kusch, A., Viere, T. & Woidasky, J.** (2023). Operationalisierung von „Design for Circularity“ in der industriellen Produktentwicklung. In K. Hölzle, M. Kreimeyer, D. Roth, T. Maier & O. Riedel (Hrsg.), *Stuttgarter Symposium für Produktentwicklung SSP 2023*, S. 271 - 281. [https://elib.uni-stuttgart.de/bitstream/11682/13150/3/SSP\\_2023\\_Tagungsband.pdf](https://elib.uni-stuttgart.de/bitstream/11682/13150/3/SSP_2023_Tagungsband.pdf)
77. Hagelüken, C., **Schmidt, M.**, Schebek, L. & Liedtke, C. (2023). Chancen und Grenzen des Recyclings im Kontext der Circular Economy Rahmenbedingungen, Anforderungen und Handlungsempfehlungen. Position der Ressourcenkommission am Umweltbundesamt (KRU). Juni 2023. Insg. 29 Seiten. [https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/1410/publikationen/2023\\_uba\\_kom\\_ressourcen\\_bf.pdf](https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/1410/publikationen/2023_uba_kom_ressourcen_bf.pdf)
78. **Khan, A. & Greiner, T.** (2023). Symbolic AI for External Magnetic Interference Classification in Magnetostrictive Position Sensors. In *2023 IEEE Conference on Artificial Intelligence (CAI)*, Santa Clara, CA, USA. S. 185–188. <https://doi.org/10.1109/CAI54212.2023.00088>
79. **Khan, A., König, T., Liebgott, F. & Greiner, T.** (2023). External Magnetic Interference Classification in Magnetostrictive Position Sensors using Neuro-Symbolic AI with Log-Likelihood Ratios. In *2023 IEEE 21st International Conference on Industrial Informatics (INDIN)*, Lemgo, Germany. Insg. 6 Seiten. <https://doi.org/10.1109/INDIN51400.2023.10217878>
80. **Khan, A., König, T., Liebgott, F. & Greiner, T.** (2023). Self-Monitoring of External Magnetic Interference in Magnetostrictive Position Sensors Using Machine Learning. In *Proceedings of the 8th International Conference on Machine Learning Technologies*, Stockholm, Sweden. S. 8–14. ACM. <https://doi.org/10.1145/3589883.3589885>

81. **Mahadevan, J.** (2023). Indien - Ein kulturelles Kaleidoskop mit vielen Traditionen und Modernen. Die Neue Hochschule (DNH), 5, 8-12. <https://d-nb.info/1306714230/34>
82. **Reichel, S., Blankenbach, K., Reber, A. & Erel, E.** (2023). Development and evaluation of a photonics instrument for precise beam profile measurements by a XY-stage. In Y. Soskind & L. E. Busse (Hrsg.), Photonic Instrumentation Engineering X (Proceedings volume 12428), insg. 13 Seiten. SPIE. <https://doi.org/10.1117/12.2647730>
83. **Reichel, S.,** Burke, J., Pak, A. & **Rentschler, T.** (2023). Camera calibration as machine learning problem using dense phase shifting pattern, checkerboards, and different cameras. In K.-i. Kitayama & B. Jalali (Hrsg.), AI and Optical Data Sciences IV (Proceedings volume 12438), insg. 13 Seiten. SPIE. <https://doi.org/10.1117/12.2648304>
84. **Schimpf, S.,** Phaal, O., de Weck, O. L. & Abele, T. (2023) Roadmapping Field Study Update 2023. How are roadmaps applied in the real world? Insg. 30 Seiten. Stuttgart: Fraunhofer Group for Innovation Research. <https://publica-rest.fraunhofer.de/server/api/core/bitstreams/9eed62b3-cf80-4be3-8572-1517fc762e97/content> oder <https://doi.org/10.24406/publica-1134> (deutsche Version der Studie unter <https://doi.org/10.24406/publica-1133> verfügbar)
85. **Thimm, H.** (2023). Assessment Power of ChatGPT in the Context of Environmental Compliance Management – Experiments with a Real-World Regulation Cadastre. In V. Wohlgenuth, D. Kranzlmüller & M. Hüb (Hrsg.), EnviroInfo 2023. Lecture Notes in Informatics (LNI). Gesellschaft für Informatik, S. 153-162. <https://dl.gi.de/server/api/core/bitstreams/50cc6a42-f852-4c66-8959-940bfe43091a/content>
86. **Waidelich, L. & Schuster, T.** (2023). Literature Review on Privacy Patterns: Insights, Challenges and Future Directions. In ACIS 2023 Proceedings, 37. Insg. 12 Seiten. <https://aisel.ais-net.org/acis2023/37>
87. **Waidelich, L.,** Lambert, M., **Al-Washash, Z., Kroschwald, S., Schuster, T. & Döring, N.** (2023). Using Large Language Models for the Enforcement of Consumer Rights in Germany. In J. Maślankowski, B. Marcinkowski & P. Rupino da Cunha (Hrsg.), Lecture Notes in Business Information Processing. Digital Transformation (Bd. 495, S. 1–15). Springer Nature Switzerland. [https://doi.org/10.1007/978-3-031-43590-4\\_1](https://doi.org/10.1007/978-3-031-43590-4_1)
88. **Waidelich, L. & Schuster, T.** (2023). Privacy Pattern Catalog Approach for GDPR Compliant Appliance: From Legal Requirements to Technology Design. In J. Maślankowski, B. Marcinkowski & P. Rupino da Cunha (Hrsg.), Lecture Notes in Business Information Processing. Digital Transformation (Bd. 495, S. 88–102). Springer Nature Switzerland. [https://doi.org/10.1007/978-3-031-43590-4\\_6](https://doi.org/10.1007/978-3-031-43590-4_6)
89. Warg, M., Frosch, M., **Weiß, P.** & Zolnowski, A. (2023). Service innovation roadmaps as benchmarks for organizational learning. ITM Web of Conferences, 51, 04001, insg. 14 Seiten. [https://www.itm-conferences.org/articles/itmconf/pdf/2023/01/itmconf\\_iess2023\\_04001.pdf](https://www.itm-conferences.org/articles/itmconf/pdf/2023/01/itmconf_iess2023_04001.pdf) oder <https://doi.org/10.1051/itmconf/20235104001>

#### 4.3.1.2 Beiträge in wissenschaftlichen Zeitschriften und Proceedings (mit Nachweis) (=45)

---

90. Bach, V., Denz, W., Giegrich, J., Gromke, U., Horn, H. Lauwigi, C., Oberender, C., Rohn, H., **Schmidt, M.** & Simon, F.-G. (2023). Ressourceneffizienz und Ressourcenschonung - Methodische Grundlagen, Prinzipien und Strategien. Insg. 36 Seiten. [https://www.vdi.de/fileadmin/pages/vdi\\_de/redakteure/richtlinien/inhaltsverzeichnisse/3417994.pdf](https://www.vdi.de/fileadmin/pages/vdi_de/redakteure/richtlinien/inhaltsverzeichnisse/3417994.pdf)

91. Bilgram, V., Cañadas Link, D. & **Lang-Koetz, C.** (2023). Generative KIs in Kreativprozessen: Praxiserfahrungen aus den ersten Monaten mit ChatGPT & Co. Ideen- und Innovationsmanagement. 1, 18-22. <https://doi.org/10.37307/j.2198-3151.2023.01.07>
92. **Blankenbach, K.** (2023). Outdoor and Automotive Displays: Applications in Challenging Environments. Information Display, 39(5), 28–32. <https://doi.org/10.1002/msid.1431>
93. **Blankenbach, K., Eisenhardt, M. & Reichel, S.** (2023). Graphics "Scheibenwurzel-Display" to Raise Traffic Safety. In Deutsche Gesellschaft für angewandte Optik (DGaO) Proceedings 2023, insg. 2 Seiten. ISSN: 1614-8436. [https://www.dgao-proceedings.de/download/124/124\\_a41.pdf](https://www.dgao-proceedings.de/download/124/124_a41.pdf)
94. Bonk, M. & **Britzelmaier, B.** (2023). Behavioral Controlling in der Praxis. Analyse verhaltensorientierter Faktoren zwischen dem Business Unit Controlling und seinen Business Partnern bei SAP. Controller Magazin, 3, 12-17. [https://www.wiso-net.de/document/COWI\\_\\_305543624ea7799f8f25abdd96fccf00d603ae70](https://www.wiso-net.de/document/COWI__305543624ea7799f8f25abdd96fccf00d603ae70)
95. **Feld, M., Riedel, M., Schmidt, J., Auer, M., Fimpeler, S., Cassier-Woidasky, A.-K. & Woidasky, J.** (2023). Kreislaufwirtschaftliche Ansätze für das Gesundheitswesen. Müll und Abfall, 10, 601–608. <https://muellundabfall.de/ce/kreislaufwirtschaftliche-ansaetze-fuer-das-gesundheitswesen/detail.html>
96. **Fischer, S.** (2023). Berichtspflicht als HR-Chance. Personalmagazin, 5, 62-66. [https://www.wiso-net.de/document/PEMA\\_\\_771e1d3774461cd72fe5c8ec1dfa1d46fc5e7abb](https://www.wiso-net.de/document/PEMA__771e1d3774461cd72fe5c8ec1dfa1d46fc5e7abb)
97. **Harriehausen, S.** (2023). Die aktuellen Entwicklungen im Leasingrecht. Neue Juristische Wochenschrift, 22, 1551-1557 (insg. 11 Seiten). <https://beck-online.beck.de/?vpath=bib-data/zeits/NJW/2023/cont/NJW.2023.H22.NAMEINHALTSVERZEICHNIS.htm>
98. **Hildebrandt, G., Habiger, P., Drath, R.** und Weyrich, M. (2023). Hybrides Engineering für modulare Fertigungsanlagen mittels Mixed Reality. In VDI Wissensforum GmbH (Hrsg.), Automation 2023. 24. Leitkongress der Mess- und Automatisierungstechnik. Transformation by Automation, S. 21–36. Print ISBN: 978-3-18-092419-9. <https://elibrary.vdi-verlag.de/10.51202/9783181024195/automation-2023?page=1>
99. **Drath, R.,** Mosch, C., Hoppe, S., Faath, A., Barnstedt, E. & Schleipen, M. (2023). Das Zusammenspiel von Verwaltungsschale, AutomationML und OPC UA – Handlungsempfehlungen zur Auswahl und Nutzung bestehender Interoperabilitätslösungen. In VDI Wissensforum GmbH (Hrsg.), Automation 2023. 24. Leitkongress der Mess- und Automatisierungstechnik. Transformation by Automation, S. 319-336. Print ISBN: 978-3-18-092419-9. <https://elibrary.vdi-verlag.de/10.51202/9783181024195/automation-2023?page=1>
100. **Tastan, E., Drath, R.** & Fluchs, S. (2023). Security-Engineering mit AutomationML – Methodik zur Modellierung von Security-Entscheidungen, -Zielen, -Risiken und -Anforderungen. In VDI Wissensforum GmbH (Hrsg.), Automation 2023. 24. Leitkongress der Mess- und Automatisierungstechnik. Transformation by Automation, S. 413–428. Print ISBN: 978-3-18-092419-9. <https://elibrary.vdi-verlag.de/10.51202/9783181024195/automation-2023?page=1>
101. John, M., **Schimpf, S.** & Martini, M. (2023). Zukunft der Innovation – eine Spurensuche in den Daten. In R. Dumitrescu & K. Hölzle (Hrsg.), Vorausschau und Technologieplanung: 17. Symposium für Vorausschau und Technologieplanung, S. 29–48, Band 413. Verlagsschriftenreihe des Heinz Nixdorf Instituts. ISBN: 978-3-947647-32-3. urn:nbn:de:hbz:2-45833. <https://digital.ub.uni-paderborn.de/hs/content/titleinfo/7280681>
102. **Kappl, J., Kraus, P.** & Schlegl, D. (2023). Investment Appraisal of Digital Investments – An Exploratory Analysis of Procedures, Evaluation Criteria and Barriers. In EURAM 2026 Conference. Transforming Business for Good, insg. 36 Seiten. ISSN 2466-7498 and ISBN 978-2-9602195-5-5

103. Kern, M., **Heidrich, P.** & **Preckel, T.** (2023). Neuartige Beatmungshilfe zur Unterstützung von First Respondern. Elsevier Emergency. Fachmagazin für Rettungsdienst und Notfallmedizin, 3, 40-47.
104. **Kölmel, B.**, Protzer, J., **Bulander, R.**, **Lang-Koetz, C.**, **Brugger, T.**, **Kühn, A.**, **Weyer, M.** & Schmerber, L. (2023). Towards a Sustainable and Innovative Learning Region: The Holistic Strategy and Entrepreneurship Support Initiatives in the Northern Black Forest. In 21st Interdisciplinary European Conference on Entrepreneurship Research (IECER), S. 3-17. Covilhã, Portugal.
105. **Krebber, F.** (2023). Geschichte gibt Gestalt. Einsatzmöglichkeiten, Wirkungen und Grenzen der Historie in der Marketingkommunikation. transfer - Zeitschrift für Kommunikation und Markenmanagement, 69(2), 43-47. <https://transfer-zeitschrift.net/transfer-02-2023/> oder [https://www.wiso-net.de/document/TWP\\_\\_29b4c9c5d0b31268302f124b3490b71a0edff9eb](https://www.wiso-net.de/document/TWP__29b4c9c5d0b31268302f124b3490b71a0edff9eb)
106. **Kroschwald, S.** (2023). Nutzer-, kontext- und situationsbedingte Vulnerabilität in digitalen Gesellschaften. Schutz, Selbstbestimmung und Teilhabe „by Design“ vor dem Hintergrund des Art. 25 DSGVO und dem KI-Verordnungsentwurf. Zeitschrift für Digitalisierung und Recht (ZfDR), 1, insg. 22 Seiten.
107. **Kusch, A.**, **Lang-Koetz, C.**, Riegraf, D., Sorg, F., Lehner, A. & Mielitz, J. (2023). Matchmaking für gezielte Kooperationen zwischen grünen Start-ups und KMU in Baden-Württemberg. Ideen- und Innovationsmanagement. 2, 48-53. <https://doi.org/10.37307/j.2198-3151.2023.02.05>
108. **Laug, A.-S.** (2023). „Nicht in einem Arbeitsgang“. Zu den Collageverfahren von Hannah Höch und Max Ernst. IMAGO. Zeitschrift für Kunstpädagogik, 17, 5-17. [https://www.kopaed.de/kopaedshop/?pg=3\\_58&qt=35&pid=1458#](https://www.kopaed.de/kopaedshop/?pg=3_58&qt=35&pid=1458#)
109. Luga, J. & **Schmitz, A.** (2023). New Work/New Learning: eine Inspiration für die Schule? bildung+ Schule digital, 1, 6-9.
110. **Mahadevan, J.**, Primecz, H. & Mills, A. J. (2023). Beyond politics of difference: intersectionality across time and place. Culture and Organization, 29(3), 191–196. <https://doi.org/10.1080/14759551.2023.2182499>
111. Müller, C., **Fastoso, F.** & **Spilski, A.** (2023). What drives perceived brand luxury with Gen Z? An exploratory study of German consumers. In Proceedings of the Conference of the Global Alliance of Marketing & Management Organizations (GAMMA), S. 2-7. Seoul, Südkorea. Seiten. <https://db.koreascholar.com/Article/Detail/423126>
112. Podmiljšak, B., **Grau, L.**, **Burkhardt, C.** & Kobe, S. (2023). Development of recycling friendly coatings for Nd-Fe-B magnets. In 2023 IEEE International Magnetic Conference - Short Papers (INTERMAG Short Papers), insg. 2 Seiten. <https://doi.org/10.1109/INTERMAGShortPapers58606.2023.10228645>
113. Rando, S., Haas-Adam, J., Mühlbauer, J., Spengler, R., Wirth, L., **Woidasky, J.** & Cassier-Woidasky, A.-K. (2023). Abfall beseitigen - Ansätze zur Kreislaufwirtschaft im OP. PflegenIntensiv, 20(4), 70-76. <https://www.bibliomed-pflege.de/pi/ausgabe/4-2023-wunden-professionell-versorgen>
114. **Reichel, S.**, **Blankenbach, K.**, **Rebel, A.** & **Erel, E.** (2023). Photonisches Instrument zur präzisen Strahlprofilmessung. In Deutsche Gesellschaft für angewandte Optik (DGaO) Proceedings 2023, insg. 2 Seiten. ISSN: 1614-8436. [https://www.dgao-proceedings.de/download/124/124\\_a40.pdf](https://www.dgao-proceedings.de/download/124/124_a40.pdf)
115. Riegraf, D., **Kusch, A.**, **Lang-Koetz, C.**, Kraus, A.-M., Lehner, A., Mielitz, J. & Sorg, F. (2023). Handbuch grünNetz. Leitfaden zur strategischen Vernetzung von GreenTech Start-ups und dem Mittelstand. Insg. 59 Seiten. <https://www.umwelttechnik-bw.de/de/gruenetz>

116. **Schätter, F., Haas, F. & Morelli, F.** (2023). Inbound Supply Chain Resilience Analysis Based on Key Resilience Areas. In E. Vicario et al. (Hrsg.), Communications of the ECMS: Proceedings of the 37th ECMS International Conference on Modelling and Simulation ECMS 2023, S. 277–283. ISBN: 978-3-937436-80-7, ISSN: 2522-2414. <https://www.scs-europe.net/conf/ecms2023/ecms2023proceedings.pdf>
117. Scherb, N., Miecznik, B. **Lang-Koetz, C.** Vetter, J., Gronauer, B. & Schnittker, F. (2023). Nachhaltigkeitsinnovationen entwickeln und umsetzen. Wir gestalten Zukunft. VDI-Handlungsempfehlung. In VDI e.V. (Hrsg.), Nachhaltigkeitsinnovationen entwickeln und umsetzen. Wir gestalten Zukunft. VDI-Handlungsempfehlung, insg. 7 Seiten. E-ISBN: 978-3-949971-48-8. <https://www.vdi.de/ueber-uns/presse/publikationen/details/nachhaltigkeitsinnovationen-entwickeln-und-umsetzen>
118. **Schmidt, J., Auer, M. & Woidasky, J.** (2023). Einflussfaktoren auf das Leichtverpackungsabfall-Aufkommen. In A. Bockreis et al (Hrsg.), 12. Wissenschaftskongress Abfall- und Ressourcenwirtschaft (S. 57-63). innsbruck university press. ISBN: 978-3-99106-095-6. [https://www.uibk.ac.at/iup/buch\\_pdfs/10.15203-99106-095-6.pdf](https://www.uibk.ac.at/iup/buch_pdfs/10.15203-99106-095-6.pdf)
119. **Auer, M., Schmidt, J. & Woidasky, J.** (2023). Der "Gelbe 100-Teile-Sack" – Probenchargen-Konzeption. In A. Bockreis et al (Hrsg.), 12. Wissenschaftskongress Abfall- und Ressourcenwirtschaft (S. 173-178). innsbruck university press. ISBN: 978-3-99106-095-6. [https://www.uibk.ac.at/iup/buch\\_pdfs/10.15203-99106-095-6.pdf](https://www.uibk.ac.at/iup/buch_pdfs/10.15203-99106-095-6.pdf)
120. **Pruhs, A., Kusch, A., Viere, T. & Woidasky, J.** (2023). Zirkuläre Produktentwicklungsmethodik für Serienprodukte. In A. Bockreis et al (Hrsg.), 12. Wissenschaftskongress Abfall- und Ressourcenwirtschaft (S. 313-317). innsbruck university press. ISBN: 978-3-99106-095-6. [https://www.uibk.ac.at/iup/buch\\_pdfs/10.15203-99106-095-6.pdf](https://www.uibk.ac.at/iup/buch_pdfs/10.15203-99106-095-6.pdf)
121. **Schmidt, M.** (2023). Carbon Neutrality in the brewing industry as a concrete task. Brauwelt International, 41(5), 344-346. ISSN: 0934-9340 <https://brauwelt.com/en/topics/energy-environment/646219-carbon-neutrality-in-the-brewing-industry-as-a-concrete-task>
122. **Schmitz, A.** & Foelsing, J. (2023). Empowered Learning - Mit voller Kraft ins Lernen. ManagerSeminare, 302, 56-64. [https://www.managerseminare.de/ms\\_Artikel/Empowered-Learning-Mit-voller-Kraft-ins-Lernen,283473](https://www.managerseminare.de/ms_Artikel/Empowered-Learning-Mit-voller-Kraft-ins-Lernen,283473)
123. **Scholz, M. & Spohn, P.** (2023). Gestaltungsmöglichkeiten in Bezug auf den Investitionsabzugsbetrag des § 7g EStG. Deutsches Steuerrecht (DStR), 11, 550-555. <https://beck-online.beck.de/?vpath=bibdata/zeits/DSTR/2023/cont/DSTR.2023.H11.NAMEINHALTSVERZEICHNIS.htm>
124. **Schuppler, N. & Saldsieder, K. A.** (2023). Chocolate Packaging in a Circular Economy: Investigating the Consumer Perception, Purchase and Recycling Intention with Regards to the German Chocolate Industry. In A. Erceg (Hrsg.), Interdisciplinary Management Research XIX (S. 799–821). ISSN: 1847-0408. <https://nx15738.your-storageshare.de/s/C2NMK478Qc9aHdq>
125. **Föhl, U. & Heil, N.-M.** (2023). Welche Effekte haben reale und virtuelle Influencer auf die Einstellung zur Marke? In A. Erceg (Hrsg.), Interdisciplinary Management Research XIX (S. 931–955). ISSN: 1847-0408. <https://nx15738.your-storageshare.de/s/C2NMK478Qc9aHdq>
126. **Schül, T., Cleff, T. & Walter, N.** (2023). Multi-sensorial Customer Experience for Luxury Brands - The Impact of Sensory Cues and Emotional States on Store Browsing Time, Purchase Intention and Brand Attitude of Generation Z. Customers. In A. Erceg (Hrsg.), Interdisciplinary Management Research XIX (S. 956–991). ISSN: 1847-0408. <https://nx15738.your-storageshare.de/s/C2NMK478Qc9aHdq>

127. **Gutzentat, V.M. & Saldsieder, K.A.** (2023). Storytelling as a Communication Approach for Cradle to Cradle Products in the Clothing Industry. In A. Erceg (Hrsg.), *Interdisciplinary Management Research XIX* (S. 992–1017). ISSN: 1847-0408. <https://nx15738.your-storage.de/s/C2NMK478Qc9aHdq>
128. **Glass, A.-C. & Saldsieder, K.A.** (2023). Livestream Commerce in Germany - An Empirical Analysis of Advantages and Success Factors. In A. Erceg (Hrsg.), *Interdisciplinary Management Research XIX* (S. 1124–1144). ISSN: 1847-0408. <https://nx15738.your-storage.de/s/C2NMK478Qc9aHdq>
129. **Bacher, U. & Wegmann, S.** (2023). VISA - Weltweitführende Kreditkartenorganisation - Kurzanalyse eines Musterbeispiels einer wertstarken Wachstumsaktie mit Inflationsschutz. In A. Erceg (Hrsg.), *Interdisciplinary Management Research XIX* (S. 1160–1170). ISSN: 1847-0408. <https://nx15738.your-storage.de/s/C2NMK478Qc9aHdq>
130. **Schwaab, M.-O.** (2023). Digitales Recruiting. Die Chancen und Risiken der IT. *Personalmagazin plus*, 4, 5-9. [https://zeitschriften.haufe.de/ePaper/personalmazin\\_plus/DD80820C/index.html](https://zeitschriften.haufe.de/ePaper/personalmazin_plus/DD80820C/index.html)
131. **Schwaab, M.-O.** (2023). Ein Blick in die Zukunft des Lernens. *Personalmagazin - neues Lernen*, 6, 50–53. [https://www.wiso-net.de/document/PNL\\_\\_e938f7d1855d194cb4c2d0189f95a373aa00b2ac](https://www.wiso-net.de/document/PNL__e938f7d1855d194cb4c2d0189f95a373aa00b2ac)
132. **Spilski, A.** (2023). Gestaltung von Kommunikation - Möglichkeiten der Kreation als Einführung in den Themenschwerpunkt dieser Ausgabe. *transfer - Zeitschrift für Kommunikation und Markenmanagement*, 69(2), 23-29. <https://transfer-zeitschrift.net/transfer-02-2023/> oder [https://www.wiso-net.de/document/TWP\\_\\_b4203abc2e5c163d1e40a27f1e1bdba42589b1ef](https://www.wiso-net.de/document/TWP__b4203abc2e5c163d1e40a27f1e1bdba42589b1ef)
133. **Vogel, L., Ali Khan, Q., Zimmermann, M. & Burkhardt, C.** (2023) Impact of Printing Parameters on Green Density Homogeneity in Lithography-based Metal Manufacturing. In *Euro PM2023 Proceedings*, insg. 10 Seiten. Lissabon, EPMA. <https://doi.org/10.59499/EP235762089>
134. **Woidasky, J., Schmidt, J. & Auer, M.** (2023). Technologiesprünge beim Kunststoffrecycling!? In R. Stegmann et al (Hrsg.), *Deponietechnik 2023* (S. 173-185), *Hamburger Berichte*, Band 59, ISBN: 978-3-9824608-1-9

#### 4.3.2 Herausgeberschaft, Buchveröffentlichungen, Monographien und Beiträge in Fachbüchern (=34)

---

135. **Bertagnolli, F.** (2023). *Lean Empowerment. Die konsequente Fortsetzung von Lean Leadership*. Stuttgart: Schäffer-Poeschel Verlag, eBook ISBN: 978-3-791-05773-6. Insg. 192 Seiten. <https://doi.org/10.34156/978-3-791-05773-6>
136. **Britzelmaier, B.** (2023). *Rechnungswesen (3., aktualisierte Auflage)*. Herne: Kiehl. Insg. 412 Seiten. ISBN: 978-3-470-10163-7. <https://d-nb.info/1299386326>
137. **Buchner, M., Friedl, G. & Glasl, M.** (2023). *Unternehmensbewertung für Mittelstand, Klein- und Kleinstunternehmen*. In S. Behringer & F. Follert (Hrsg.), *Unternehmensbewertung und ökonomische Analyse* (Bd. 12, S. 185–203). Springer Fachmedien Wiesbaden. Softcover ISBN: 978-3-658-40234-1. [https://doi.org/10.1007/978-3-658-40235-8\\_9](https://doi.org/10.1007/978-3-658-40235-8_9)
138. Daus, H.-L., Decker, M. & **Fischer, S.** (2023). *Gastbeitrag: Wie New Pay und Unternehmenskultur zusammenhängen*. In S. Hornung, N. Nobile & S. Franke (Hrsg.), *New Pay Journey: Ein Leitfaden, um Vergütung neu zu denken: Eine Roadmap für die Gestaltung alternativer Vergütungssysteme* (S. 27-48). Freiburg: Haufe. ISBN: 978-3648150115. <https://www.beck-elibrary.de/10.32745/9783648150139/new-pay-journey?hitid=00&search-click>

139. **Echle, E.** (2023). Funktion und Imagination. Projektionsdispositive als ästhetisch-technischer Transfer einer angewandten Bildkultur des Weltentwerfens. In L. C. Grabbe, C. Wagner & T. Held (Hrsg.), *Kunst, Design und die »Technisierte Ästhetik«* (S. 106-121). Marburg: BÜCHNER-Verlag. ISBN: 978-3-96317-327-1. <https://d-nb.info/1274566835>
140. Faber, M., Manstetten, R., **Rudolf, M.**, Frick, M. & Becker, M.-Y. (2023). *Nachhaltiges Handeln in Wirtschaft und Gesellschaft. Orientierung für den Wandel*. Insg. 230 Seiten. Berlin: Springer. eBook ISBN: 978-3-662-67889-3. <https://doi.org/10.1007/978-3-662-67889-3>
141. **Gutmann, T.**, **Bulander, R.** & **Kölmel, B.** (2023). Customer Journey Mining – Erweiterung des Customer-Journey-Ansatzes mit Process Mining. In Deutscher Dialogmarketing Verband e.V. (Hrsg.), *Dialogmarketing Perspektiven 2022/2023* (S. 51–68). Wiesbaden: Springer Gabler. Softcover ISBN: 978-3-658-40752-0. [https://doi.org/10.1007/978-3-658-40753-7\\_3](https://doi.org/10.1007/978-3-658-40753-7_3)
142. **Häfele, M.** & Strieder, T. (2023). *Genossenschaft: Rechnungslegungsbesonderheiten*. In Univ.-Prof. Dr. Heinz Kußmaul und Univ.-Prof. Dr. Stefan Müller (Hrsg.), *Handbuch der Bilanzierung*, S. 1-16. Freiburg: Haufe. ISBN: 978-3-448-08290-6. <https://shop.haufe.de/prod/handbuch-der-bilanzierung-online>
143. **Häfele, M.** (2023). *Offenlegung und Hinterlegung des Jahres- und Konzernabschlusses*. In Univ.-Prof. Dr. Heinz Kußmaul und Univ.-Prof. Dr. Stefan Müller (Hrsg.), *Handbuch der Bilanzierung*, S. 1-38. Freiburg: Haufe. ISBN: 978-3-448-08290-6. <https://shop.haufe.de/prod/handbuch-der-bilanzierung-online>
144. Heinrich, V. L., **Hensel, T.** & Mäntele, M. F. (2023). *Der Ulmer Hocker: Idee - Ikone - Idol*. Stuttgart: avedition. Insg. 328 Seiten. ISBN: 978-3-89986-360-4. <https://d-nb.info/1232836796>
145. **Hensel, T.** (2023). Im „Schnittpunkt zahlreicher Bezugslinien“ (Otl Aicher): Der Ulmer Hocker im Licht der Akteur-Netzwerk-Theorie. In V. L. Heinrich, T. Hensel. & M. F. Mentel, *Der Ulmer Hocker: Idee - Ikone - Idol* (S. 111-161). Stuttgart: avedition. ISBN: 978-3-89986-360-4
146. **Hensel, T.** (2023). *Betriebssystem Design oder wie aus einem Alltagsgegenstand eine Designikone wird*. In V. L. Heinrich, T. Hensel. & M. F. Mentele, *Der Ulmer Hocker: Idee - Ikone - Idol* (S. 163-183). Stuttgart: avedition. ISBN: 978-3-89986-360-4
147. **Hensel, T.** (2023). *Das Computerspiel. Wie aus einer Kunst im Schatten die Kunst des Schattens wurde*. In R. Biermann, J. Fromme & F. Kiefer (Hrsg.), *Computerspielforschung: Interdisziplinäre Einblicke in das digitale Spiel und seine kulturelle Bedeutung* (S. 191–213). Opladen, Berlin, Toronto: Verlag Barbara Budrich. eBook ISBN: 978-3-8474-1840-5. <https://shop.budrich.de/wp-content/uploads/2022/12/9783847418405.pdf>
148. **Herrmann, T.**, **Zimmerer, A.**, **Lang-Koetz, C.** & **Woidasky, J.** (2023). The Climate Impact of the Usage of Headphones and Headsets. In F. Hesser, I. Kral, G. Obersteiner, S. Hörtenhuber, M. Kühmaier, V. Zeller & L. Schebek (Hrsg.), *Progress in Life Cycle Assessment 2021* (S. 7–22). Online ISBN: 978-3-031-29294-1. Springer International Publishing. [https://doi.org/10.1007/978-3-031-29294-1\\_2](https://doi.org/10.1007/978-3-031-29294-1_2)
149. **Krebber, F.** & Neidhart, L. V. (2023). Organizing Ethics. In T. Koch, J. Beckert, B. Viererbl & N. Denner (Hrsg.), *Grenzen, Entgrenzung und Grenzüberschreitungen der Public Relations und Organisationskommunikation* (S. 199–217). Springer Fachmedien Wiesbaden. Online ISBN: 978-3-658-40810-7. [https://doi.org/10.1007/978-3-658-40810-7\\_10](https://doi.org/10.1007/978-3-658-40810-7_10)
150. **Krebber, F.** & Rademacher, L. (2023). *Beteiligungsverfahren als Instrument strategischer Kommunikation*. In T. Koch, J. Beckert, B. Viererbl & N. Denner (Hrsg.), *Grenzen, Entgrenzung und Grenzüberschreitungen der Public Relations und Organisationskommunikation* (S. 265–290). Springer Fachmedien Wiesbaden. Online ISBN: 978-3-658-40810-7. [https://doi.org/10.1007/978-3-658-40810-7\\_13](https://doi.org/10.1007/978-3-658-40810-7_13)

151. **Krebber, F.** (2023). Beteiligung vor Missbrauch schützen: Konzeptionelle Grundlage und Konsequenzen für die Praxis der neuen PR-Ethik-Richtlinie ‚Bürgerbeteiligung und Kommunikation‘. In J. Sommer (Hrsg.), Kursbuch Bürgerbeteiligung #5 (S. 88-105). Berlin: Republik Verlag. ISBN: 978-3-942-46660-8
152. **Krebber, F.** (2023). Bürgerbeteiligung richtig machen. Was die Ethik-Richtlinie ‚Bürgerbeteiligung und Kommunikation‘ für die Praxis bedeutet. Insg. 37 Seiten. Springer Fachmedien Wiesbaden. eBook ISBN: 978-3-658-42802-0. <https://doi.org/10.1007/978-3-658-42802-0>
153. Kreuzwieser, S., Kimmig, A., Michels, F., **Bulander, R.**, Häfner, V., Bönsch, J. & Ovtcharova, J. (2023). Human-Machine-Interaction in Innovative Work Environment 4.0 – A Human-Centered Approach. In A. Shajek & E. A. Hartmann (Hrsg.), New Digital Work (S. 68–86). Springer International Publishing. eBook ISBN: 978-3-031-26490-0. [https://doi.org/10.1007/978-3-031-26490-0\\_5](https://doi.org/10.1007/978-3-031-26490-0_5)
154. **Lang-Koetz, C., Reischl, A., Fischer, S., Weber, S. & Kusch, A.** (2023). Ambidextres Innovationsmanagement in KMU. Praxisnahe Konzepte und Methoden. Insg. 138 Seiten. Springer Gabler Berlin, Heidelberg. Softcover ISBN: 978-3-662-66457-5. <https://doi.org/10.1007/978-3-662-66457-5>
155. **Leroch, M. A.** & Sirries, S. (2023). The Potential of the Digital Economy for Economic Development: The Case of Georgia. In M. Kupiek & R. A. Brandmeier (Hrsg.), Progress in IS. The Digital Transformation of Georgia (Bd. 69, S. 189–200). Springer International Publishing. Online ISBN: 978-3-031-26451-1. [https://doi.org/10.1007/978-3-031-26451-1\\_12](https://doi.org/10.1007/978-3-031-26451-1_12)
156. **Leroch, M. A.** & Rupp, F. (Hrsg.) (2023). Power and Responsibility. Interdisciplinary Perspectives for the 21st Century in Honor of Manfred J. Holler. Insg. 393. Springer International Publishing. eBook ISBN: 978-3-031-23015-8. <https://doi.org/10.1007/978-3-031-23015-8>
157. **Mahadevan, J.** (2023). Cross-cultural management: A contemporary approach. Insg. 456 Seiten. SAGE. ISBN: 9781526459244. <https://uk.sagepub.com/en-gb/eur/cross-cultural-management/book262679#description>
158. **Peter, M.** (2023). Strategischer Einkauf: Präventives und reaktives Lieferanten-Risikomanagement. In A. Klein & M. Kottbauer (Hrsg.), Strategien entwickeln, umsetzen und optimieren, (S.175–190). Haufe Lexware. ISBN: 978-3-648-16861-5. [doi.org/10.34157/9783648168622](https://doi.org/10.34157/9783648168622)
159. **Preiss, P., Puteanus-Birkenbach, K. & Lang-Koetz, C.** (2023). Coaching Concept to Improve the Sustainability Impact of Students’ Startup Ideas in an Early Stage. In J. H. Block, J. Halberstadt, N. Högsdal, A. Kuckertz & H. Neergaard (Hrsg.), FGF Studies in Small Business and Entrepreneurship. Progress in Entrepreneurship Education and Training (Bd. 16, S. 87–106). Springer International Publishing. Online ISBN: 978-3-031-28559-2. [https://doi.org/10.1007/978-3-031-28559-2\\_7](https://doi.org/10.1007/978-3-031-28559-2_7)
160. **Schmidt, S. W.** (2023). Nostalgie oder der flüchtige Duft der Heimat. Wien: Passagen Verlag. Reihe Passagen Philosophie. Insg. 80 Seiten. ISBN: 978-3-7092-0546-4. <https://www.passagen.at/gesamtverzeichnis/neu-erschienen/nostalgie-oder-der-fluechtige-duft-der-heimat/>
161. **Schmitt, R.** (2023). Teil 6 VV RVG. Kommentierung von Nr. 6100-7008 VV RVG. In G. Touissant (Hrsg.), Beck’sche Kurz-Kommentare. Kostenrecht, Band 2, 53. Auflage (S. 1349-1403). Verlag C.H. Beck. ISBN: 978-3-406-79707-1. <https://www.beck-shop.de/toussaint-kostenrecht/product/34310002>
162. **Scholz, M.** & Schlarb, P. (2023). Änderung im Steuer- und Gesellschaftsrecht 2022/2023. StB-Buch 65. Band 29. Insg. 644 Seiten. Mainz: StB - Steuerberaterverlag Rheinland-Pfalz GmbH. ISBN: 3-926638-56-7

163. **Stobbe, T.** (2023). Steuern kompakt. Repetitourium - Grundlagen. Klausuren-Training – Band 1. 3. erweiterte und überarbeitete Auflage. Insg. 184 Seiten. München: SteuernRep Verlag. ISBN: 978-3-9824903-3-5. <https://d-nb.info/1292707070> oder <https://steuernkompreg.de/produkt/steuern-kompakt-klausuren-training-band-1-grundlagen-2023/>
164. **Tavakoli, A., Eisenberg, C. & Jautz, U.** (2023). Rechtsfälle aus dem Wirtschaftsprivatrecht (11., völlig neu bearbeitete Auflage), Insg. 194 Seiten. Heidelberg: C.F. Müller. ISBN: 978-3-8114-6079-9. <https://d-nb.info/1300028475>
165. **Tropp, J.** (2023). „Ich weiß nicht warum, aber ich will jetzt ein Eis!“ The Hidden Persuaders von Packard. In T. G. Meitz, N. S. Borchers & B. Naderer (Hrsg.), Schlüsselwerke der Werbeforschung (S. 367–378). Springer Fachmedien Wiesbaden. eBook ISBN: 978-3-658-36508-0. [https://doi.org/10.1007/978-3-658-36508-0\\_32](https://doi.org/10.1007/978-3-658-36508-0_32)
166. **Weber, H., Schimpf, S. & Gerlach, T.** (2023). Stakeholder-Dialog – Moderation der interdisziplinären Zusammenarbeit disparater Anspruchsgruppen mit den Mitteln des Empathic Designs. In M. Braßler, S. Brandstädter & S. Lerch (Hrsg.), Interdisziplinarität in der Hochschullehre (S. 137-147). wbv, E-Book ISBN: 978-3-7639-7461-0, DOI: 10.3278/9783763974610. <https://www.wbv.de/shop/Interdisziplinaritaet-in-der-Hochschullehre-l74610>
167. **Weber, S., Reischl, A., Fischer, S. & Lang-Koetz, C.** (2023). Kompetenzen für das Innovationsmanagement. Ergebnisse und Erfahrungen aus KMU. In S. Kauffeld & S. Rothenbusch (Hrsg.), Kompetenzmanagement in Organisationen. Kompetenzen von Mitarbeitenden in der digitalisierten Arbeitswelt (S. 119–138). Springer Berlin Heidelberg. eBook ISBN: 978-3-662-66992-1. [https://doi.org/10.1007/978-3-662-66992-1\\_7](https://doi.org/10.1007/978-3-662-66992-1_7)
168. Wichert, P., **Lang-Koetz, C.**, Lührs, T. & **Preiss, P.** (2023). Kreativitätstechniken für nachhaltigkeitsorientierte Innovationen in Unternehmen und Open Innovation Communities. In B. Fesidis, S. A. Röß & S. Rummel (Hrsg.), Mit Digitalisierung und Nachhaltigkeit zum klimaneutralen Unternehmen (S. 255–269). Springer Fachmedien Wiesbaden. eBook ISBN: 978-3-658-42485-5 [https://doi.org/10.1007/978-3-658-42485-5\\_15](https://doi.org/10.1007/978-3-658-42485-5_15)

#### 4.4 Vormerkungen für 2024

---

- VM 1 **Blankenbach, K.**, Tarabay, N., Yoo, H. & Rothscholl, I. (2023). Improvements for Automotive LCDs: Image Enhancement and Local Dimming (FALD). In The 30th International Display Workshops (IDW '23)
- VM 2 **Burkhardt, C.**, Ortiz, F., Daoud, K., Björnfort, T., Ahrentorp, F., Blomgren, A., Walton, A. (2023). Automated High-Speed Approaches for the Extraction of Permanent Magnets from Hard Disk Drive Components for the Circular Economy. Cleaner Logistics and Supply Chain. Preprint DOI: 10.13140/RG.2.2.31642.21449
- VM3 **Mahadevan, J.** (2023). What connects positivism and interpretivism in cross-cultural management studies: Genealogy as a method for re-ordering disciplinary knowledge. International Journal of Cross Cultural Management, Artikel 14705958231223874. Vorab-Onlinepublikation. <https://doi.org/10.1177/14705958231223874>
- VM4 Popirtac, A. & **Sand, G.** (2023). Multi-Robot Routing by Engineered Mixed-Integer Programming. In Proceedings of the 50th International Conference on Computers and Industrial Engineering, Dubai, United Arab Emirates
- VM5 **Tropp, J.** & Baetzgen, A. (2023). Why do users follow sponsored influencer content. Toward a deeper understanding of consumption-related user motivations. International Journal of Internet Marketing and Advertising, 1(1), Artikel 10055715, 1. DOI: 10.1504/IJIMA.2023.10055715

- VM6 **Weiß, P.**, Warg, M. & Zolnowski, A. (2023). Service Design Patterns for Transforming Business with Service Dominant Architecture (SDA): Insights from a Longitudinal Case Study. 33rd RESER International Conference, Sierre, Switzerland. Insg. 20 Seiten

#### **4.5 Patentoffenlegung**

---

In diesem Jahr wurde an der Hochschule Pforzheim keine Patentanmeldung veröffentlicht.

#### **4.6 Vorträge**

---

Die Vorträge der Pforzheimer Professorinnen und Professoren werden derzeit nicht gesondert erfasst. Zur Veröffentlichung in Form eines Papers gelangte Vorträge finden sich unter 4.3.1 Weitere wissenschaftliche Publikationen.

#### **4.7 Messen**

---

Auch in diesem Jahr wurden keine Messebesuche zentral vom IAF aus organisiert und betreut. Allerdings wurden einzelne Forschungsschwerpunkte auf Messen vorgestellt.

## 9 Pressespiegel

Ausgewählte Presseartikel zum Thema Forschung an der Hochschule Pforzheim im Jahr 2023.

Datum	Presseartikel
20.01.2023	<p><a href="#">Forschungskonsortium zeigt erstmals „SORT4CIRCLE®“-Kombinationsanlage zur Verbesserung des Kunststoffrecyclings</a></p> <p><a href="https://www.hs-pforzheim.de/news_detailansicht/news/forschungskonsortium_zeigt_erstmals_sort4circler_kombinationsanlage_zur_verbesserung_des_kunststoffrecyclings">https://www.hs-pforzheim.de/news_detailansicht/news/forschungskonsortium_zeigt_erstmals_sort4circler_kombinationsanlage_zur_verbesserung_des_kunststoffrecyclings</a></p>
25.01.2023	<p><a href="#">Glasklar mit viel Luft nach oben: Industriekonsortium gewinnt Förderprojekt zur Acrylglas-Kreislaufführung</a></p> <p><a href="https://www.hs-pforzheim.de/news_detailansicht/news/glasklar_mit_viel_luft_nach_oben_industriekonsortium_gewinnt_foerderprojekt_zur_acrylglas_kreislauffuehrung">https://www.hs-pforzheim.de/news_detailansicht/news/glasklar_mit_viel_luft_nach_oben_industriekonsortium_gewinnt_foerderprojekt_zur_acrylglas_kreislauffuehrung</a></p>
02.02.2023	<p><a href="#">Leuchtturmprojekt IZWW der Region Nordschwarzwald vom Wirtschaftsministerium bewilligt</a></p> <p><a href="https://www.hs-pforzheim.de/news_detailansicht/news/leuchtturmprojekt_izww_der_region_nordschwarzwald_vom_wirtschaftsministerium_bewilligt">https://www.hs-pforzheim.de/news_detailansicht/news/leuchtturmprojekt_izww_der_region_nordschwarzwald_vom_wirtschaftsministerium_bewilligt</a></p>
10.02.2023	<p><a href="#">Autonomes Fahren und innovative Messtechnik: Internationale Optik-Konferenz</a></p> <p><a href="https://www.hs-pforzheim.de/news_detailansicht/news/autonomes_fahren_und_innovative_messtechnik_internationale_optik_konferenz">https://www.hs-pforzheim.de/news_detailansicht/news/autonomes_fahren_und_innovative_messtechnik_internationale_optik_konferenz</a></p>
13.02.2023	<p><a href="#">Chemie-Mittelständler wollen Ressourceneffizienz und Kreislaufwirtschaft steigern</a></p> <p><a href="https://www.hs-pforzheim.de/news_detailansicht/news/chemie_mittelstaendler_wollen_ressourceneffizienz_und_kreislaufwirtschaft_steigern">https://www.hs-pforzheim.de/news_detailansicht/news/chemie_mittelstaendler_wollen_ressourceneffizienz_und_kreislaufwirtschaft_steigern</a></p>
16.03.2023	<p><a href="#">Projekt an der Hochschule Pforzheim: Ambidextres Innovationsmanagement für KMU</a></p> <p><a href="https://www.hs-pforzheim.de/news_detailansicht/news/projekt_an_der_hochschule_pforzheim_ambidextres_innovationsmanagement_fuer_kmu">https://www.hs-pforzheim.de/news_detailansicht/news/projekt_an_der_hochschule_pforzheim_ambidextres_innovationsmanagement_fuer_kmu</a></p>
20.03.2023	<p><a href="#">Starke Beteiligung der Hochschule Pforzheim am DGAW-Wissenschaftskongress in Hamburg</a></p> <p><a href="https://www.hs-pforzheim.de/news_detailansicht/news/starke_beteiligung_der_hspf_am_dgaw_wissenschaftskongress_in_hamburg">https://www.hs-pforzheim.de/news_detailansicht/news/starke_beteiligung_der_hspf_am_dgaw_wissenschaftskongress_in_hamburg</a></p>

31.03.2023	<p><a href="#">Blockchain-Projekt vor dem Abschluss</a></p> <p><a href="https://www.hs-pforzheim.de/news_detailansicht/news/blockchain_projekt_vor_dem_abschluss_1">https://www.hs-pforzheim.de/news_detailansicht/news/blockchain_projekt_vor_dem_abschluss_1</a></p>
05.04.2023	<p><a href="#">Klimafreundlich verpflegen im Ehrenamt</a></p> <p><a href="https://engineeringpf.hs-pforzheim.de/detailansicht/news/klimafreundlich_verpflegen_im_ehrenamt">https://engineeringpf.hs-pforzheim.de/detailansicht/news/klimafreundlich_verpflegen_im_ehrenamt</a></p>
21.04.2013	<p><a href="#">Fachtagung Funkenerosion stellt Innovation und Digitalisierung in den Fokus</a></p> <p><a href="https://engineeringpf.hs-pforzheim.de/detailansicht/news/fachtagung_funkenerosion_stellt_innovation_und_digitalisierung_in_den_fokus">https://engineeringpf.hs-pforzheim.de/detailansicht/news/fachtagung_funkenerosion_stellt_innovation_und_digitalisierung_in_den_fokus</a></p>
09.05.2023	<p><a href="#">Der MCCM gratuliert Frederic Vuillermin zur erfolgreichen Promotion</a></p> <p><a href="https://businesspf.hs-pforzheim.de/detailansicht/news/der_mccm_gratuliert_frederic_vuillermin_zur_erfolgreichen_promotion">https://businesspf.hs-pforzheim.de/detailansicht/news/der_mccm_gratuliert_frederic_vuillermin_zur_erfolgreichen_promotion</a></p>
24.05.2023	<p><a href="#">Forschungsprojekt BikeAssist – Querstabilisierung elektrisch unterstützter Fahrräder bei niedrigen Geschwindigkeiten</a></p> <p><a href="https://engineeringpf.hs-pforzheim.de/detailansicht/news/forschungsprojekt_bikeassist_querstabilisierung_elektrisch_unterstuetzter_fahrraeder_bei_niedrigen_geschwindigkeiten">https://engineeringpf.hs-pforzheim.de/detailansicht/news/forschungsprojekt_bikeassist_querstabilisierung_elektrisch_unterstuetzter_fahrraeder_bei_niedrigen_geschwindigkeiten</a></p>
25.05.2023	<p><a href="#">Leichtbau mit hoher technischer Relevanz für ressourcenschonende Mobilität</a></p> <p><a href="https://www.hs-pforzheim.de/news_detailansicht/news/leichtbau_mit_hoher_technischer_relevanz_und_aktualitaet">https://www.hs-pforzheim.de/news_detailansicht/news/leichtbau_mit_hoher_technischer_relevanz_und_aktualitaet</a></p>
25.05.2023	<p><a href="#">Forschungsprojekt „NEOSPEK“: Neue Sensorik für multispektrale klinische Bildgebung</a></p> <p><a href="https://www.hs-pforzheim.de/news_detailansicht/news/forschungsprojekt_neospek_neue_sensorik_fuer_multispektrale_klinische_bildgebung">https://www.hs-pforzheim.de/news_detailansicht/news/forschungsprojekt_neospek_neue_sensorik_fuer_multispektrale_klinische_bildgebung</a></p>
30.05.2023	<p><a href="#">Hochwertiges industrielles Aluminium-Recycling dank LIPS</a></p> <p><a href="https://engineeringpf.hs-pforzheim.de/detailansicht/news/hochwertiges_industrielles_aluminium_recycling_dank_lips">https://engineeringpf.hs-pforzheim.de/detailansicht/news/hochwertiges_industrielles_aluminium_recycling_dank_lips</a></p>
23.06.2023	<p><a href="#">Pforzheimer Symposium beleuchtet aktuelle Forschung und industrielle Umsetzung der Circular Economy</a></p> <p><a href="https://www.hs-pforzheim.de/forschung/aktuelles/detailansicht/news/pforzheimer_symposium_beleuchtet_aktuelle_forschung_und_industrielle_umsetzung_der_circular_economy">https://www.hs-pforzheim.de/forschung/aktuelles/detailansicht/news/pforzheimer_symposium_beleuchtet_aktuelle_forschung_und_industrielle_umsetzung_der_circular_economy</a></p>

10.07.2023	<p><a href="#">9. DAS-Vernetzungstreffen in Berlin – Projekt KliReGeM stellt sich vor</a></p> <p><a href="https://businesspf.hs-pforzheim.de/detailansicht/news/vernetzungstreffen_in_berlin_projekt_kliregem_stellt_sich_vor_1">https://businesspf.hs-pforzheim.de/detailansicht/news/vernetzungstreffen_in_berlin_projekt_kliregem_stellt_sich_vor_1</a></p>
18.10.2023	<p><a href="#">Für eine nachhaltige Energieversorgung in Wiernsheim</a></p> <p><a href="https://businesspf.hs-pforzheim.de/detailansicht/news/fuer_eine_nachhaltige_energieversorgung_in_wiernsheim">https://businesspf.hs-pforzheim.de/detailansicht/news/fuer_eine_nachhaltige_energieversorgung_in_wiernsheim</a></p>
06.11.2023	<p><a href="#">Klima- und Umweltwirkung des Goldabbaus im Amazonas Regenwald</a></p> <p><a href="https://www.hs-pforzheim.de/forschung/aktuelles/detailansicht/news/klima_und_umweltwirkung_des_goldabbaus_im_regenwald">https://www.hs-pforzheim.de/forschung/aktuelles/detailansicht/news/klima_und_umweltwirkung_des_goldabbaus_im_regenwald</a></p>
11.12.2023	<p><a href="#">Industrie trifft Hochschule: Künstliche Intelligenz für industrielle Anwendungen</a></p> <p><a href="https://www.hs-pforzheim.de/forschung/institute/institut_fuer_smart_systems_und_services_ios3/aktuelles/detailansicht/news/industrie_trifft_hochschule_kuenstliche_intelligenz_fuer_industrielle_anwendungen">https://www.hs-pforzheim.de/forschung/institute/institut_fuer_smart_systems_und_services_ios3/aktuelles/detailansicht/news/industrie_trifft_hochschule_kuenstliche_intelligenz_fuer_industrielle_anwendungen</a></p>
14.12.2023	<p><a href="#">„Querstabilisierung elektrisch unterstützter Fahrräder bei niedrigen Geschwindigkeiten“</a></p> <p><a href="https://www.hs-pforzheim.de/news_detailansicht/news/querstabilisierung_elektrisch_unterstuetzter_fahrraeder_bei_niedrigen_geschwindigkeiten">https://www.hs-pforzheim.de/news_detailansicht/news/querstabilisierung_elektrisch_unterstuetzter_fahrraeder_bei_niedrigen_geschwindigkeiten</a></p>
18.12.2023	<p><a href="#">Energieoptimierte Produktion mit grünen Digitalen Zwillingen. Projekt „green-Prod“ läuft unter Beteiligung der Hochschule Pforzheim</a></p> <p><a href="https://www.hs-pforzheim.de/news_detailansicht/news/energieoptimierteproduktion_mit_gruenen_digitalen_zwillingen">https://www.hs-pforzheim.de/news_detailansicht/news/energieoptimierteproduktion_mit_gruenen_digitalen_zwillingen</a></p>
19.12.2023	<p><a href="#">Schlüssel zur Zukunft: Großauftrag geht an die Hochschule Pforzheim. WFG und Hochschule kooperieren für nächsten Meilenstein im TraFoNetz Nordschwarzwald</a></p> <p><a href="https://www.hs-pforzheim.de/news_detailansicht/news/schluesSEL_zur_zukunft_grossauftrag_geht_an_die_hochschule_pforzheim">https://www.hs-pforzheim.de/news_detailansicht/news/schluesSEL_zur_zukunft_grossauftrag_geht_an_die_hochschule_pforzheim</a></p>