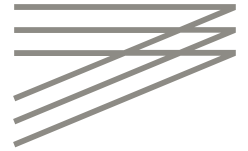


HS PF



• IAF •  
INSTITUT FÜR  
ANGEWANDTE FORSCHUNG

---

JAHRESBERICHT 2024



## **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 2025  
© • 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 14.02.2025

---

Prof. Dr. Ulrich Jautz

Rektor

---

Prof. Dr. Thomas Greiner

Wissenschaftlicher Direktor



## **Vorwort**

Das Jahr 2024 war für die Forschung der Hochschule Pforzheim sehr erfolgreich. Zum einen konnte das Drittmittelvolumen auf einen neuen Höchststand von mehr als 6 Millionen Euro gesteigert werden und zum anderen hat sich auch die Anzahl der begutachteten Publikationen deutlich erhöht. Damit setzt sich Aufwärtsentwicklung der Forschungsaktivitäten der Hochschule beständig fort.

Von großer Bedeutung ist hierbei, dass die Forschungsprojekte wichtige und aktuelle Zukunftsthemen abdecken. Es gilt nun diesen Weg fortzusetzen und das Thema Forschung noch mehr im Hochschulbewusstsein zu verankern.

Unser Dank gilt auch in diesem Jahr allen forschungsaktiven Professorinnen und Professoren und deren Arbeitsgruppen für die zahlreichen Publikationen und Aktivitäten sowie für die vielen erfolgreich durchgeführten Forschungsprojekte, welche die anwendungsnahe Forschung an der Hochschule gestärkt und vorangetrieben haben.

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> .....	27
1.2.3 Schmucktechnologisches Institut – STI .....	45
1.2.4 Institute for Smart Bicycle Technology – ISBT .....	69
1.2.5 Institut für Werkstoffe und Werkstofftechnologien – IWWT .....	79
1.2.6 Institut für Personalforschung – IfP .....	96
1.2.7 Institut für Verbraucherforschung und nachhaltigen Konsum – vunk .....	105
1.2.8 Institute for Human Engineering & Empathic Design – HEED.....	113
2 Personalia .....	115
2.1 Institut für Angewandte Forschung .....	115
2.2 Fachinstitute und ihre Mitglieder .....	115
2.3 Persönliche Mitglieder des IAF .....	118
2.4 Akademische Mitarbeiter/-innen in der Forschung .....	119
3 FuE-Drittmittelprojekte der Hochschule Pforzheim .....	124
3.1 Institut für Industrial Ecology – INEC .....	124
3.2 Institut für Smart Systems und Services – IoS <sup>3</sup> .....	161
3.3 Schmucktechnologisches Institut – STI .....	191
3.4 Institut für Smart Bicycle Technology – ISBT.....	209
3.5 Institut für Werkstoffe und Werkstofftechnologien – IWWT .....	212
3.6 Institut für Personalforschung – IfP .....	226
3.7 Institut für Verbraucherforschung und nachhaltigen Konsum – vunk .....	234
3.8 Institute for Human Engineering & Empathic Design – HEED .....	239
3.9 Diverse Projekte – DP.....	241
4 Publikationen.....	251
4.1 Peer-Review-Publikationen (=82) .....	251
4.1.1 Beiträge aus Journals in Master Journal List (Clarivate), Scopus, DOAJ und COPE (=50) .....	251
4.1.2 Beiträge aus Journals in AGQ-Liste (=2).....	255
4.1.3 Beiträge mit Aufnahmeantrag in die AGQ-Liste (=16) .....	256

4.1.4	Beiträge aus Proceedings mit einem h5-Index $\geq 30$ bei Google Scholar oder mit A*, A oder B im ICORE-Index gerankt (=9).....	257
4.1.5	Monografien in anerkannten Fachverlagen (DOAB, Web of Science, Scopus, ARSV, Fachportal Pädagogik) (=5).....	258
4.2	Dissertationen (=4) .....	259
4.3	Weitere wissenschaftliche Publikationen (=105).....	259
4.3.1	Beiträge in wissenschaftlichen Zeitschriften und Proceedings (=58).....	259
4.3.1.1	Beiträge in wissenschaftlichen Zeitschriften und Proceedings (ohne Nachweis) (=12) .....	259
4.3.1.2	Beiträge in wissenschaftlichen Zeitschriften und Proceedings (mit Nachweis) (=46) .....	260
4.3.2	Herausgeberschaft, Buchveröffentlichungen, Monographien und Beiträge in Fachbüchern (=47).....	265
4.4	Vormerkungen für 2025 .....	270
4.5	Patentoffenlegung.....	271
4.6	Vorträge .....	272
4.7	Messen .....	272
5	Deputatsumwidmungen im FuE-Bereich.....	272
6	Bonusmittelverteilung.....	272
7	Drittmittelbilanz 2024.....	273
7.1	Drittmittel der Kategorie 1 .....	273
7.2	Drittmittel der Kategorie 2 .....	297
7.3	Anrechenbare Drittmiteleinnahmen aus FuE-Projekten 2024.....	299
8	Anlagen.....	300
8.1	Anlagen zu 4.1.1 – Beiträge aus Journals in Master Journal List (Clarivate), Scopus, DOAJ und COPE .....	300
8.2	Anlagen zu 4.1.2 – Beiträge aus Journals in AGQ-Liste.....	383
8.3	Anlagen zu 4.1.3 – Beiträge mit Aufnahmeantrag in die AGQ-Liste .....	387
8.4	Anlagen zu 4.3.1.2 – Beiträge aus Proceedings mit einem h5-Index $\geq 30$ bei Google Scholar oder mit A*, A oder B im ICORE-Index gerankt.....	431
8.5	Anlagen zu 4.1.5. – Monografien in anerkannten Fachverlagen (DOAB, Web of Science, Scopus, ARSV, Fachportal Pädagogik) .....	447
8.6	Anlagen zu 4.3.1.2 – Beiträge in wissenschaftlichen Zeitschriften und Proceedings (mit Nachweis) .....	459
8.7	Anlagen zu 4.3.2 – Herausgeberschaft, Buchveröffentlichungen, Monographien und Beiträge in Fachbüchern (mit Nachweis) .....	616
9	Pressespiegel.....	688

## 1.2 Berichte der Forschungsinstitute des IAF

### 1.2.1 Institut für Industrial Ecology – INEC

---

Der aktive Kreis an Mitgliedern besteht aus 7 Professoren. Prof. Dr. Ingela Tietze wurde im Januar 2024 zur hauptamtlichen Prorektorin gewählt. Zu ihren Themenfeldern gehören u.a. Energiemanagement und Klimaschutz, so dass sie weiterhin dem INEC auch mit Forschungsprojekten verbunden bleiben wird. Prof. Dr. Mario Schmidt und Prof. Dr. Claus Lang-Koetz wurden im Juli 2024 für weitere 2 Jahre in ihrem Amt als Institutsdirektor bzw. stellv. Direktor bestätigt. Dr. Christian Haubach schied nach langjähriger Mitarbeit als Institutsgeschäftsführer aus. Koordinationsaufgaben am INEC werden künftig von Frau Dipl.-Ing. Heidi Hottenroth übernommen.

Bei den rund 25 Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern des INEC sind neu hinzugekommen: Maximilian Auer, Markus Balsler, Leon Deterding, Simon Eberle, Kiriaki Karatopi, Raphael Schill, Pablo Thier, Anton Vielsack, Julia Walz und Franziska Zecha. Das Institut verließen: Dr.-Ing. Philipp Preiss, Marlon Ferdinand Patt, Marco Pufal und Alexandra Vogt. Frau Melanie Apitzsch-Delavault wurde Doktorandin im kooperativen Promotionskolleg KLIREC.

Eine W2-Stiftungsprofessur „Ressourceneffizienz und nachhaltige Rohstoffversorgung“ konnte bei der Carl-Zeiss-Stiftung eingeworben werden, die den Kreis der INEC-Mitglieder verstärken wird. Das Auswahlverfahren fand Ende 2024 statt, eine Besetzung steht für das Sommersemester 2025 an.

#### **INEC gründet „Forschungsstelle Kreislaufwirtschaft im Gesundheitswesen“**

Zirkularität und Klimafreundlichkeit im Gesundheitswesen stehen im Fokus der Arbeit einer neuen Abteilung innerhalb des INEC: Die Forschungsstelle „Kreislaufwirtschaft im Gesundheitswesen“ bündelt ausstrahlend von den Kernkompetenzen des INEC hochschulweit die Forschungs- und Entwicklungskompetenzen der Medizintechnik, der Umwelttechnik und der Umweltbewertung für die Gesundheitswirtschaft. Die Abteilung wurde unter Leitung von Prof. Jörg Woidasky im September 2024 gegründet. Gemeinsam mit seinen Kollegen Dr. Benno Dömer, der die Professur für Biosignalverarbeitung im Bereich Medizintechnik innehat, und Dr. Tobias Viere, Professor für Energie- und Stoffstromanalyse beim INEC, bearbeitet er derzeit die ersten beiden Verbundforschungsprojekte zur Kreislaufführung von Einmalprodukten. Sowohl das Bundeswirtschaftsministerium im Rahmen des MEiK-Projektes als auch die Deutsche Bundesstiftung Umwelt mit ihrem SEB-Vorhaben fördern diese Forschung an der Hochschule Pforzheim finanziell und schaffen so drei Stellen für Promovierende. Deren Doktorarbeiten adressieren mit Leitfäden für Eco-Design, der Schaffung einer belastbaren Datenbasis zu Abfallqualitäten und -mengen sowie zu einem nachhaltigen Beschaffungswesen drängende Fragestellungen der Gesundheitswirtschaft. Beginnend mit der stationären Krankenpflege und der Heimbeatmung sollen zukünftig auch die Prozesse und Produkte der ambulanten Versorgung kreislaufwirtschaftlich optimiert werden.



Abb. 1: In der Forschungsstelle „Kreislaufwirtschaft im Gesundheitswesen“ arbeitet Direktor Dr. Jörg Woidasky mit den Professoren Dr. Benno Dömer sowie Dr. Tobias Viere mit dem Doktoranden Marcel Kern (v.r.n.l) zur Abfallvermeidung bei Einwegprodukten. Foto: Hochschule Pforzheim / S. Eberle

### **Forschungsprojekte am INEC**

Folgende drittmittelgeförderten Forschungsprojekte sind zu erwähnen (in alphabetischer Reihenfolge):

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

Das INEC spielt eine wichtige Rolle im renommierten Konsortium des EU-geförderten CircoMod-Projekts, das die Circular Economy (CE) in bedeutende ökonomische und ökologische Modelle integriert. Ziel ist es, den Beitrag der CE zum Klimaschutz durch die Verknüpfung verschiedener Modellansätze zu quantifizieren. CircoMod wird Entscheidungsträger auf nationaler, europäischer und internationaler Ebene mit wertvollen Erkenntnissen versorgen. Das Projekt liefert eine umfassende wissenschaftliche Modellierung des Potenzials von CE-Strategien für Umwelt, Klima und Wirtschaft sowie für unterschiedliche Modelle geeignete CE-Datensätze.

Das INEC hat in 2024 u.a. die Datensammlung und -koordinierung für Kupferherstellung und End-of-Life-Prozesse verantwortet, Datenerhebungen in den Bereichen Maschinenbau und Haushaltsgeräte durchgeführt und ein Konzept für „CE Profiles“ entwickelt. Die CE Profiles werden die Projektergebnisse zusammenfassen und kommunizieren. Sie zeigen Material- und Treibhausgas-Einsparungspotenziale verschiedener CE-Strategien für spezifische Materialien, Produkte, Sektoren und Regionen auf. Beim Midterm Event in Brüssel wurden diese Profile einem Fachpublikum aus Wissenschaft und Politik vorgestellt.





Abb. 2: Präsentation der CE Profiles in Brüssel. Foto: Asel Doranova



Abb. 3: Teilnehmende des CircoMod-Projekttreffens in Lissabon. Foto: Asel Doranova

### **DACE – Datenkompetenzzentrum für Circular-Economy(CE)-Daten**

Das Projekt DACE (Datenkompetenzzentrum für Circular-Economy-Daten) zielt darauf ab, die Kompetenzen zur Erhebung, Auswertung und Nutzung von Circular Economy (CE)-Daten zu erforschen und zu vermitteln. Es soll die Basis für ein besseres Messen und Bewerten von CE und CE-Strategien schaffen, indem es eine wichtige Lücke in der Forschungs- und Lernlandschaft für nachhaltiges Wirtschaften schließt. Das Projekt basiert auf drei Säulen: der DACE Academy zum Lehren der Kompetenzen, dem DACE-Space zum Erforschen der Kompetenzen und dem DACE-Hub zur Verbreitung der Kompetenzen.

Das INEC spielt eine zentrale Rolle im DACE-Projekt, indem es unter Federführung des Wuppertal Instituts und in Kooperation mit der RWTH Aachen, dem Deutschen Forschungszentrum

für Künstliche Intelligenz und weiteren Partnern in allen drei Säulen des Projekts forscht. Diese Beteiligung unterstreicht die Expertise des INEC im Bereich der Circular Economy und dessen Bedeutung für die Entwicklung von Datenkompetenzen in diesem Feld. Im Jahr 2024 wurden wichtige Meilensteine des Projekts erreicht. Im September fand der offizielle Kick-off mit Gästen aus Politik und Wissenschaft in Wuppertal statt, bei dem erste Forschungsergebnisse und -hypothesen in einem wissenschaftlichen Kolloquium vorgestellt wurden. Professor Tobias Viere und Dr. Juliano Araujo vom INEC waren als Referenten beteiligt. Im Dezember 2024 wurde ein erster „DACE Summit“ durchgeführt, bei dem Treffen wurde intensiv an Fragen der Datenqualität, Modellkompatibilität und Nutzung bestehender Datenquellen gearbeitet. Dr. Araujo leitete dabei einen Workshop zur Frage der Nutzung bestehender Unternehmensdaten für CE-Zwecke.



Abb. 4: DACE Summit zur Circular-Economy-Datenlandschaft und Workshop geleitet vom INEC-Vertreter Juliano Araujo



Abb. 5: Teilnehmerinnen und Teilnehmer der offiziellen Kick-off Veranstaltung des DACE Vorhabens im September 2024 in Wuppertal

### **DfC-Industry – Design for Circularity – Operationalisierung in der industriellen Produktentwicklung**

Das Verbundprojekt "Design for Circularity" (DfC-Industry) wurde von Februar 2022 bis April 2024 durchgeführt, mit dem Ziel, digitale Lösungen für ressourceneffiziente industrielle Produkte im Kontext der Kreislaufwirtschaft und Energiewende zu entwickeln und zu testen. Das Konsortium bestand aus dem INEC als Konsortialführer, dem Deutschen Forschungszentrum für Künstliche Intelligenz (DFKI), der Robert BOSCH GmbH und der IPOINT-systems GmbH. Gefördert wurde das Projekt vom Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz.

Ein Hauptziel des Projekts war die frühzeitige Integration automatisierter Lebenszyklusanalysen (LCA) in den Produktentwicklungsprozess ebenso wie die frühzeitige Bewertung zirkulärer Optionen. Dies sollte Optimierungspotenziale direkt im Entwicklungsprozess aufzeigen. Die Partner entwickelten prototypische Lösungen zur Nutzung von KI für LCAs und zur Automatisierung von LCAs in der Produktentwicklung. BOSCH übernahm dabei eine zentrale Rolle bei der Erprobung und Validierung der entwickelten Methoden und Werkzeuge anhand industrieller Anwendungsbeispiele.

Das INEC war als Konsortialführer federführend für Anforderungsanalysen und die Regelwerkentwicklung zur praktischen Integration von Circular-Economy-Prinzipien sowie für das Projektmanagement zuständig. Ein wichtiges Ergebnis war die Entwicklung eines konsistenten Regelwerks zur Berücksichtigung von Ressourceneffizienz und Kreislaufwirtschaft im Produktentwicklungsprozess. Dies mündete in die Konzeption einer Entscheidungsheuristik namens „Circularity Navigator“ ([www.circularity-navigator.com](http://www.circularity-navigator.com)). Die Projektergebnisse wurden sowohl intern bei BOSCH in den Produktentwicklungsprozess integriert als auch extern durch öffentliche Veranstaltungen verbreitet.

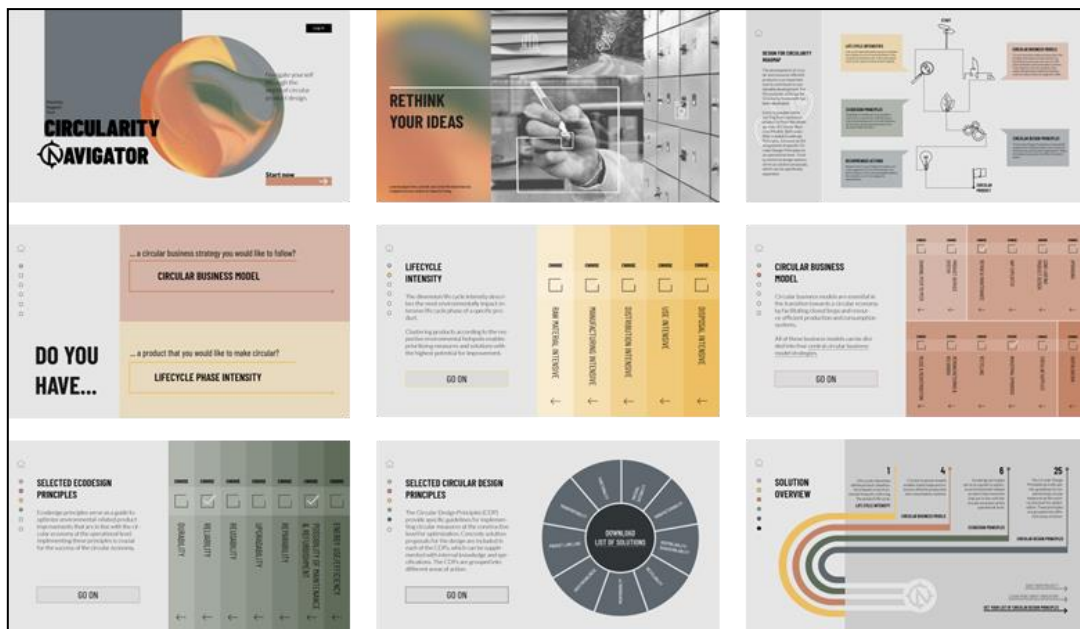


Abb. 6: Webanwendung Circularity Navigator

## Fuenf+1 – Forschende Untersuchung erfolgreicher und nachhaltiger Fertigungsoptimierung und Berücksichtigung der Kaizen-Kultur

Bei der Witzenmann GmbH in Pforzheim konnte im Jahr 2024 das letzte Projekt einer Projektreihe abgeschlossen werden. Bei „Fuenf+1“ wurde die Zusammenarbeit zum Thema „Forschende Untersuchung erfolgreicher und nachhaltiger Fertigungsoptimierung und Berücksichtigung der Kaizen-Kultur“ erfolgreich beendet. Die Fragestellung war hierbei, welchen Stand und welche Einflüsse die Faktoren Mensch, Führung und Kultur auf das Themenfeld der betrieblichen Verbesserungsprozesse haben. Des Weiteren war hierbei von Interesse, wie Optimierungsmaßnahmen in diesem Zusammenhang langfristig und erfolgreich umgesetzt werden können. Der Forschungsansatz basierte 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 wurden unterschiedliche Bereiche und unterschiedliche Firmenstandorte, welche sich auch im europäischen Ausland befinden. Das Unternehmen



konnte eine entsprechende Reifegradanalyse inklusive aller Faktoren realisieren und in die Praxis transferieren.

### **Halbzeit im Forschungsprojekt greenProd – Energieoptimierte Produktion mit grünen Digitalen Zwillingen**

Seit Mitte 2023 arbeitet das Projektteam daran, die produzierende Industrie auf die Nutzung regenerativer Energie auszurichten und gleichzeitig ihre Wettbewerbsfähigkeit zu stärken. Dabei kommen grüne Digitale Energiezwillinge (gDEZ) zum Einsatz, die den Energieverbrauch und die Emissionsdaten ihrer realen Gegenstücke (digital) abbilden. So können den Produktionsprozessen sowie den beteiligten Maschinen und Anlagen entsprechende CO<sub>2</sub>-Emissionen zugeordnet werden. Mithilfe von Prognosemodellen lassen sich die potenziellen CO<sub>2</sub>-Emissionen der Produktion auf Basis des individuellen Produktionsplans eines Unternehmens vorhersagen. Anschließend wird der Produktionsplan unter Einhaltung festgelegter Rahmenbedingungen so optimiert, dass die Emissionen des gesamten Produktionssystems verringert werden. Ziel ist es, den Entscheidern einen optimierten Produktionsplan zur Verfügung zu stellen, der die Transformation hin zu einer emissionsarmen und kosteneffizienten Produktion unterstützt.

Das Projekt wird durch das Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK) im Rahmen des Förderprogramms „Entwicklung digitaler Technologien“ gefördert. Projektleiterin am INEC ist Prof. Dr. Ingela Tietze.

### **H2Chemie2050: Ambitioniertes Forschungsprojekt des Landes zum Wasserstoffeinsatz**

Mit einem gemeinsamen Workshop der Projektbeteiligten der Evonik Operations GmbH am Standort Rheinfelden und des INEC sowie des baden-württembergischen Umweltministerium und des Verband der Chemischen Industrie wurde im Juli das Projekt H2Chemie2050 – Ohne Umweg zum grünen Wasserstoff in der chemisch-pharmazeutischen Produktion bis 2050 – beendet.



Abb. 7: Vortrag von Projektmitarbeiterin Melanie Apitzsch-Delavault beim Abschluss-Workshop des Projektes H2-Chemie 2050 am 18. Juli 2024 in Rheinfelden. Foto: Katharina Fraune

In dem Projekt war das INEC hauptsächlich mit der ökonomischen und ökologischen Systemanalyse eines verstärkten Einsatzes von Wasserstoff in der chemischen Produktion befasst. Dabei wurden verschiedene technische Erzeugungsoptionen von grauem bis grünem Wasser-

stoff untersucht und bewertet. Eine besondere Bedeutung hatte die Energiesystemmodellierung mithilfe des INEC-Modells LAEND. Anhand des konkreten Anwendungsfalls bei der Firma Evonik wurden Zukunftsszenarien für die Investition und den Betrieb entsprechender Technologien entwickelt.

Die Ergebnisse zeigten, dass eine maximale Dekarbonisierung, d.h. maximale Einsparung von CO<sub>2</sub>-Emissionen, gleichzeitig auch die teuerste Variante ist, die wahrscheinlich die internationale Wettbewerbsfähigkeit der chemischen Industrie deutlich beeinflusst. Weniger ambitionierte Minderungsziele könnten deutlich kostengünstiger umgesetzt werden, wobei die CO<sub>2</sub>-Einspareffekte trotzdem immer noch beträchtlich sind. Das Projekt reiht sich ein in die Ergebnisse ähnlicher Studien aus der jüngeren Vergangenheit, hat aber den Vorteil, die Ergebnisse an einem konkreten Fallbeispiel aus der chemischen Industrie durchgerechnet zu haben und dabei auch elaborierte Methoden der Energiesystemmodellierung eingesetzt zu haben.

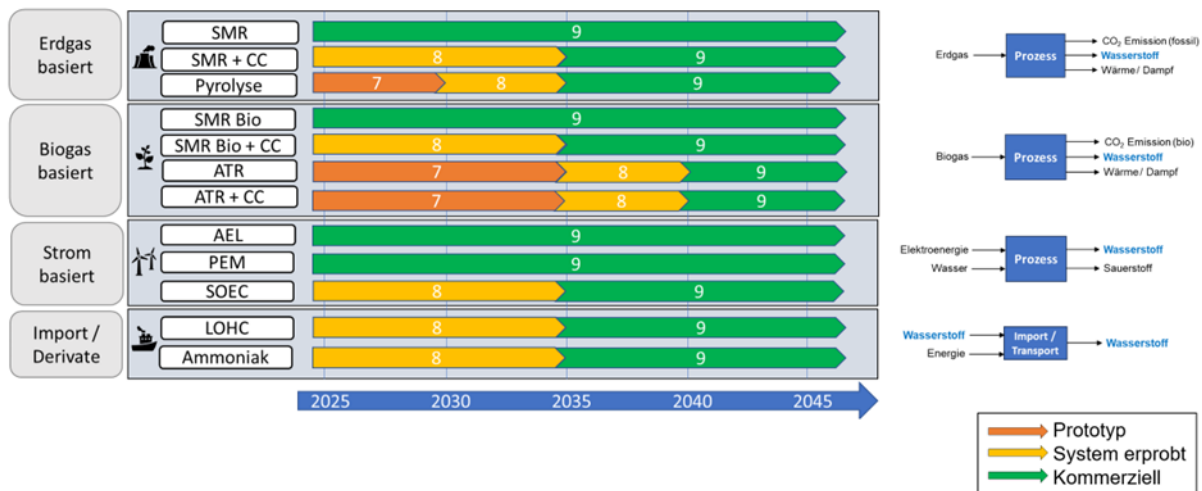


Abb. 8: Übersicht der im Projekt betrachteten Technologien sowie deren technologischen Reifegrads im Zeitraum zwischen 2025 und 2045

### Ziele erreicht: Projekt InPEQt – Weiterentwicklung und Erprobung des Modells LAEND zur ganzheitlichen Planung und Optimierung dezentraler Energieversorgungssysteme für Quartiere – abgeschlossen

Das von Prof. Dr. Ingela Tietze und Prof. Dr. Tobias Viere geleitete Projekt InPEQt wurde gut drei Jahre von der Deutschen Bundesstiftung Umwelt gefördert. Methodisch wurden Energiesystemmodellierung und Ökobilanzierung im Energiesystemmodell LAEND gekoppelt. Ziel war 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 wurde LAEND im Rahmen des Vorhabens weiterentwickelt und zur Sicherstellung der Praxistauglichkeit auf drei Fallbeispiele angewendet.

Im Jahr 2024 wurde die Fallstudie Gerstetten untersucht. Mit dem LAEND zugrunde liegenden mathematischen Optimierungsmodell wurden für verschiedene Szenarien Energiesystemkonfigurationen für die Erweiterung des Wärmenetzes 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. Beim Abschlussworkshop im März 2024 mit Projektbeteiligten, Beiratsmitgliedern und externen Gästen wurden die Ergebnisse für alle drei Fallbeispiele vorgestellt und diskutiert.

## LAEND - Poster 3



### → Zum Poster

Abb. 9: Posterankündigung beim Symposium Kommunale Wärmeplanung in Berlin

Im April 2024 wurden Projektergebnisse beim Symposium Kommunale Wärmeplanung der Forschungsnetzwerke Energie in Berlin als Poster präsentiert.

### **Abschluss des Projekts IRMa – Integratives Ressourceneffizienz-Management für mittelständische Unternehmen der chemischen Industrie. INEC unterstützt KMU bei nachhaltiger Transformation**

Das Projekt IRMa wurde geleitet von Prof. Tietze und Prof. Lang-Koetz und gefördert vom Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK). Es hat sich der Frage gewidmet, wie kleine und mittlere Unternehmen (KMU) der chemischen Industrie ihre Produktionsprozesse ressourceneffizienter gestalten und Circular-Economy-Ansätze umsetzen können. Ziel ist es, den CO<sub>2</sub>-Ausstoß zu verringern, Energie einzusparen und Materialkreisläufe zu schließen.

Gerade KMU stehen vor großen Herausforderungen, wenn es um die nachhaltige Transformation ihrer Prozesse geht. Mit dem IRMa-Ansatz können sie ihre Potenziale besser ausschöpfen. Dieser basiert auf einem Plan-Do-Check-Act-Control-Zyklus, der auch im Umweltmanagement zum Einsatz kommt. Mit dem Ansatz können Potenziale, Maßnahmen und Technologien für mehr Ressourceneffizienz identifiziert und bewertet werden. Ein Indikatorenset dient dazu, im multikriteriellen Entscheidungsprozess zu unterstützen und bildet die Basis einer übergeordneten Bewertungsmethodik. Berücksichtigt werden 29 Indikatoren zu Ressourceneffizienz und Circular Economy, beispielsweise aus den Kategorien Energie, Wasser, Abwasser, Abfall, Emissionen etc. Der Projektpartner krumedia aus Karlsruhe entwickelte eine IT-Plattform, um den IRMa-Ansatz im Unternehmen inklusive sogenannter Dashboards mit Kennzahlen (KPI) für Ressourceneffizienz und Kreislaufwirtschaft abzubilden. Der entwickelte Ansatz wurde einem Praxistest bei den beiden Projektpartnern Buzil-Werk Wagner in Memmingen und Münzing Chemie in Heilbronn unterzogen und der Öffentlichkeit in einer Abschlussveranstaltung im Dezember 2024 vorgestellt. Das Projekt wurde damit erfolgreich zum Ende des Jahres 2024 abgeschlossen. Die Veröffentlichung der Ergebnisse erfolgt in Kürze.





Abb. 10: Das IRMa-Team rund um Projektleiterin Prof. Dr. Ingela Tietze (2. v.r.) und Projektleiter Prof. Dr. Claus Lang-Koetz (rechts). Foto: Claus Lang-Koetz

### **Projekt Klima-Freizeit – Klimasensible Gemeinschaftsverpflegung auf Freizeiten. Entwicklung einer Online-Lösung für Ehrenamtliche zur praktischen deutschlandweiten Umsetzung**

Das INEC führt das Projekt *Klima-Freizeit* rund um die Weiterentwicklung der Online-Planungslösung DEATER.info im Jahr 2024 weiter, welches von der Deutschen Bundesstiftung Umwelt (DBU) gefördert wird.

Ehrenamtliche, die Freizeit- und Bildungsmaßnahmen für Kinder und Jugendliche organisieren, erhalten dadurch ein erweitertes Tool zur Verpflegungsplanung, das die Klimawirkung von Rezepten berücksichtigt. Diese neue Funktion ermöglicht es, klimafreundliche Mahlzeiten einfach zu erkennen und bei der Planung zu priorisieren. Eine zentrale Forschungsfrage ist dabei die Gesamtklimawirkung von Freizeit- und Bildungsmaßnahmen, die mithilfe einer zweistufigen Befragung von Ehrenamtlichen untersucht wird.

Das Projekt baut auf bewährten Partnerschaften auf: der Evangelischen Jugend auf dem Lande Baden-Württemberg (ejl) mit Jugendreferent Micha Schradi, dem Evangelischen Jugendwerk in Württemberg (EJW) mit Jens König, dem Landesjugendring Baden-Württemberg (LJR) mit Julia Widmann bzw. Katja Hannig-Fischer sowie dem Financial Coach Johannes Häfele. Zudem unterstützen Kiriaki Karatopi, Absolventin des Bachelor-Studiengangs „*Betriebswirtschaft / Ressourceneffizienz-Management*“ (heute: *Betriebswirtschaft/ Nachhaltigkeit und Ressourceneffizienz*) der Hochschule Pforzheim, und Kirsten Reichardt, Masterandin im Projekt Klima-Freizeit, das Vorhaben mit ihrer Expertise zur Umweltbewertung regionaler und saisonaler Lebensmittel.

Unter der Leitung von Prof. Dr. Jörg Woidasky und in Kooperation mit dem Projekt „N-Challenges“ des Landesjugendrings Baden-Württemberg wird eine breite Anwendung des Tools

für Ehrenamtliche sichergestellt. Das Projekt *Klima-Freizeit* leistet so einen wichtigen Beitrag zur nachhaltigen Gemeinschaftsverpflegung bei Freizeitmaßnahmen.



Abb. 11: Beim Klima-Freizeit-Projektteam steht die nachhaltige Ernährung im Mittelpunkt: Silvia Santos-Izquierdo/Landesjugendring Baden-Württemberg, Prof. Jörg Woidasky/Projektleiter, Hochschule Pforzheim, Jens König/Evangelisches Jugendwerk Württemberg, Micha Schradi/Ev. Jugend auf dem Lande Baden-Württemberg, Johannes Häfele/Financial Coaching, Katja Hannig-Fischer/Landesjugendring Baden-Württemberg, Kirsten Reichardt/Hochschule Pforzheim und Kiriaki Karatopi/Hochschule Pforzheim (v. r. n. l.)

### **KLIREC – Klima, Ressourcen und Circular Economy (KLIREC) – Wechselbeziehungen, Synergien und Tradeoffs**

Im Jahr 2024 erreichte das Kooperative Promotionskolleg KLIREC seine Sollstärke von insgesamt 15 Stipendiat/-innen, davon werden 10 von der Landesgraduierendenförderung und 5 von der Hochschule Pforzheim durch Zuwendungen der Karlheinz-Osterwald-Stiftung und der PSD-Bank Karlsruhe-Neustadt finanziert. Das Kolleg wird gemeinsam mit dem Karlsruher Institut für Technologie (KIT) durchgeführt. Dabei steht die integrierte Betrachtung des Klima- und Ressourcenschutzes der Kreislaufführung von Materialien und Produkten – sowohl in technischer wie in sozio-ökonomischer Hinsicht – im Mittelpunkt. Beteiligt sind Prof. Dr. Armin Grunwald, Prof. Dr. Dr. Rafaela Hillerbrand und Prof. Dr. Daniel Lang vom Institut für Technikfolgenabschätzung und Systemanalyse (ITAS, KIT), Prof. Dr. Christoph Hilgers vom Institut für Angewandte Geowissenschaften (AGW, KIT), Prof. Dr. Harald Horn vom Engler-Bunte-Institut (EBI, KIT) und Prof. Dr. Mario Schmidt, Prof. Dr. Ingela Tietze und Prof. Dr. Tobias Viere vom Institut für Industrial Ecology (INEC, Hochschule Pforzheim).

2024 fanden im März und im November zwei gemeinsame Workshops mit allen Betreuerinnen und Betreuern statt, dazu im ca. 4-wöchigen Abstand gemeinsame Kolloquien der Stipendiat/-innen. Stipendiat/-innen waren außerdem an der Ausrichtung der Symposien des INEC maßgeblich beteiligt. Für 2025 ist eine Summer School geplant. Das Kolleg wird vom Land Baden-Württemberg bis 2027 gefördert.





Abb. 12: Das Kooperative Promotionskolleg KLIREC mit den Stipendiaten und Betreuern (Stand: März 2024). Bild: INEC

### **KliReGeM – Klimaresilientes Gebäudemanagement**

Das Projekt KliReGeM widmet sich der Untersuchung der Ressourcenverbräuche verschiedener Hitzeschutzmaßnahmen im Gebäudemanagement der Stadt Karlsruhe. Dabei wird die Dämmung opaker Bauteile genauso betrachtet wie Verschattungssysteme oder konditionierte Lüftungssysteme. Die dabei gewonnenen Erkenntnisse sollen helfen, Reboundeffekte durch den klimawandelbedingt absehbar steigenden Anpassungsbedarf im Karlsruher Gebäudebestand zu vermeiden. Mitarbeitende der Stadtverwaltung, die die Umsetzung von Hitzeschutzmaßnahmen planen, sollen durch einen praxistauglichen Leitfaden bzw. ein entscheidungsorientiertes Bewertungstool unterstützt werden.

Im Jahr 2024 konzentrierten sich die Arbeiten auf die Konkretisierung der Anforderungen an den Leitfaden bzw. das Bewertungstool sowie die Entwicklung geeigneter Methoden für die entscheidungsorientierte Beitragsanalyse der Ökobilanzen (LCAs) für die untersuchten Hitzeschutzmaßnahmen.

In einer studentischen Projektarbeit wurden die internen Entscheidungs- und Planungsprozesse des Amtes für Hochbau und Gebäudewirtschaft der Stadt Karlsruhe (HGW) analysiert und mittels eines BPMN (Business Process Modeling Network) visualisiert. Dabei wurden die für Neubau und Sanierung von Gebäuden wesentlichen Abteilungen und Abläufe identifiziert. Parallel wurde ein prototypisches Auswertungstool zur vereinfachten Beitragsanalyse entwickelt. Den Kern bildet ein excelbasiertes Dashboard, mit dem beispielsweise die Umweltwirkungsbeiträge verschiedener für unterschiedliche Hitzeschutzmaßnahmen notwendiger Materialien miteinander verglichen werden können.

Die Ergebnisse wurden im November bei einem internen Projekt-Workshop validiert und mittels einer kollaborativen Abfragemethode um weitere Bedarfe und Anforderungen des HGWs ergänzt. Die dabei gewonnenen Erkenntnisse werden im weiteren Projektverlauf in sogenannte Use Cases überführt. Diese stellen ressourcenbezogene Fragestellungen und Entscheidungssituationen im Planungsprozess plastisch dar, um Problemlösungen zu entwickeln und zu prüfen, ob diese den Anforderungen des Praxispartners HGW entsprechen.

Der in 2025 zu entwickelnde Leitfaden wird den Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern des HGW sowie weiteren interessierten Nutzergruppen eine fundierte Orientierungs- und Entscheidungshilfe bei der Auswahl ressourcenschonender Hitzeschutzmaßnahmen geben. Durch den expliziten Praxis- und Entscheidungsbezug werden aus dem Forschungsprojekt darüber hinaus wichtige methodische Erkenntnisse für die Fortentwicklung von State-of-the-Art-Methoden des *attributional* Life Cycle Assessment in Richtung *konsequenzorientierter* und *prospektiver* Ansätze erwartet.

### **Kreislauf-E-Wende – Kreislauffähige Energiewende: Bilanzierung der Minderung von THG durch zukünftige Materialkreisläufe im Lebenszyklus energietechnischer Anlagen und Komponenten. Materialrecycling für die Energiewende**

Das vom BMBF geförderte Projekt Kreislauf-E-Wende steht kurz vor dem Abschluss. Im März 2025 wird noch ein Abschlussworkshop mit interessierten Kreisen aus der Wirtschaft veranstaltet. Zusammen mit den Projektpartnern der TU Darmstadt, der Forschungsstelle für Energie (FfE) und Siemens Energy aus Erlangen wurden Szenarien entwickelt und Analysen durchgeführt, wie der Carbon Footprint von wichtigen Materialien wie z.B. Faserverbundstoffen, die in Windkraftanlagen eingesetzt werden, oder Silizium, Aluminium, Stahl oder Kupfer sich zeitlich entwickeln wird und welche Recyclingstrategien hier sinnvoll sind. Das INEC hat sich im Rahmen dieses Projektes besonders mit prospektiven LCA befasst sowie mit der Frage der zeitlichen Allokation von Emissionen auf die verschiedenen Lebensphasen von Materialien. Dazu wurden im größeren Umfang neue Software-Tools und Datenbanken eingesetzt.

### **MEiK – Medizinische Einmalgebrauchsprodukte in der Kreislaufwirtschaft – Wege von der Beseitigung zur stofflichen Verwertung**

Das Ziel des am 01.01.2024 begonnenen, dreijährigen Vorhabens ist es, eine weitgehend klimafreundliche, hochwertige stoffliche Verwertung für medizinische Einmalgebrauchsprodukte mit hohem Kunststoffanteil in Deutschland zu entwickeln, praktisch zu demonstrieren und unter Umwelt- und Wirtschaftlichkeitsaspekten zu bewerten. Die Demonstration soll anhand ausgewählter Medizinprodukte der Vorhabenspartner erfolgen und als Grundlage für eine umfassende Verwertungslösung für den gesamten Abfallstrom dienen. Ausgewählte Produkte sollen über ihre gesamten Wertschöpfungszyklen betrachtet und von der Produktgestaltung bis hin zur hochwertigen stofflichen Verwertung partnerübergreifend optimiert werden. Die Ergebnisse werden aufbereitet und übertragbar für weitere medizinische Produkte dargestellt, und diese Erkenntnisse werden zielgerichtet in den öffentlichen Diskurs einschließlich der Normungsgremien eingespeist. Durch das Produktdesign, die gezielte Minimierung des Abfallaufkommens und die stoffliche Verwertung als Alternative zur energetischen Verwertung oder Beseitigung können erhebliche positive Klimaeffekte erwartet werden. Die Entwicklungen im Rahmen des Vorhabens werden von ausgewählten Medizinprodukten der drei Hersteller B. Braun (Aesculap-Standort in Tuttlingen), Harro Höfliger (Allmersbach i.T.) und Carl Zeiss Meditec (Oberkochen) ausgehen. Die kreislaforientierte Produktgestaltung ist die Hauptaufgabe dieser Unternehmen im Vorhaben.

Die Analyse der Produkteinsatzfelder wird interdisziplinär und nutzerorientiert erfolgen. Im Klinikum Lüneburg werden deshalb zunächst gemeinsam mit den Pflegewissenschaftlerinnen der htw saar (Saarbrücken) ausgewählte medizinische und pflegerische Prozesse detailliert untersucht, bei denen Medizinprodukte zu Abfällen werden. Darauf aufbauend werden gemeinsam Prozesse optimiert und Schulungskonzepte entwickelt, um nachhaltige Entsorgungslösungen umsetzen zu können. Die Verwertung der Abfälle übernimmt das Entsorgungsunternehmen REMONDIS Medison (Lünen), das über die einzige Verwertungsanlage für sol-

che Abfälle in Deutschland verfügt. Eine hochwertige stoffliche Verwertung der Abfälle ist dabei beabsichtigt, da derzeit nur eine energetische Verwertung möglich und zulässig ist. An der Hochschule Pforzheim werden hierfür nicht nur die Zusammensetzung der Abfälle, sondern auch die Werkstoffeigenschaften der Kunststoffe bei der Kreislaufführung untersucht. Als assoziierte Partner unterstützen das Projektvorhaben sowohl die BIOPRO Baden-Württemberg durch die Gestaltung von Transferaktivitäten als auch das Klinikum Saarbrücken und die München Klinik, die bei der Prozessanalyse und -optimierung mitwirken.

Im Rahmen des Vorhabens wurde im Jahr 2024 eine deutschlandweite Benchmarkanalyse zur Erfassung der Abfallmengen und -qualitäten aus Akutkrankenhäusern durchgeführt, die erstmals umfangreiche und transparente Abfalldaten aus diesem Bereich zusammenführt. Parallel dazu wurden die vollständigen Jahresbeschaffungen mehrerer Klinikstandorte aufgenommen. Die zentrale Aufgabe für die beiden mit diesen Aufgaben befassten Doktoranden besteht nun darin, diese Daten zu einem durchgängigen Stoffstrommodell für Krankenhäuser zu verknüpfen und darauf basierend Bewertungen der Umweltwirkung abzuleiten. Ein Teilaspekt dieser Untersuchungen sind Primärdatenerhebungen zur Zusammensetzung infektiöser Abfälle durch bildgebende Verfahren (siehe Abb.).



Abb. 13: CT-Scan eines Modellbehälters zur Charakterisierung infektiöser Abfälle aus dem Gesundheitswesen. Quelle: Zeiss

Substitute für PFAS-Chemikalien in der Industrie gesucht: Studie unter Beteiligung des INEC erschienen

Die Substanzklasse der PFAS (per- und polyfluorierte Alkylsubstanzen) weist einzigartige technische Merkmale auf, steht aber aufgrund von Wirkungen auf Umwelt und Menschen in der Kritik, und es wird aktuell über ein Stoffverbot auf EU-Ebene diskutiert. Viele Unternehmen suchen daher Substitute für die Anwendung von PFAS, um Alternativen zur Verfügung zu haben. Dieses Thema hat das INEC zusammen mit TIM Consulting in einer Studie untersucht (Projektleitung: Prof. Lang-Koetz). In dem vom THINKTANK Industrielle Ressourcenstrategien Baden-Württemberg beauftragten Projekt wurde unter Einsatz künstlicher Intelligenz (KI) eine Übersicht über mögliche Stoffe und Stoffgruppen geschaffen, die das Potenzial besitzen, die technischen Funktionen von PFAS zu ersetzen.

Zunächst wurden mit Unternehmenspartnern Anforderungen an die bisher eingesetzten PFAS in ausgewählten Anwendungen erfasst. TIM Consulting hat dann eine eigens entwickelte künstlichen Intelligenz trainiert, die in 35.246 wissenschaftlichen Dokumenten und Open-



Source-Publikationen 420 Materialien identifizierte. Es zeigte sich jedoch, dass es für keines der beteiligten Unternehmen gegenwärtig eine adäquate Alternative gibt. Zwei bis drei identifizierte Materialien könnten ggf. nach umfangreicher Forschung einen Teil der erforderlichen Anforderungen erfüllen. Die 420 identifizierten Materialien bieten jedoch Ansätze für die strategische Ausrichtung weiterer Forschungen. Die vollständigen Ergebnisse des Projekts wurden in einer Studie auf Deutsch und Englisch veröffentlicht.

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

Das Projekt präziSort verfolgt das Ziel, eine Pilotanlage zu dem neuen Sortierverfahren SORT4CIRCLE von Polysecure zu entwickeln und zu errichten, welches durch die Kombination verschiedener Technologien die Recyclingquote von Kunststoffen und anderen Materialien wesentlich erhöhen kann.

Der Projektteil des INEC 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.

Ein wichtiger Teil des Projektes ist die umfangreiche Erfassungs- und Sortierstudie zu Qualität und Quantität des Anfalls von Leichtverpackungen (LVP). Hierbei wurden deutschlandweit LVP-Abfälle aus Haushalten gesammelt, die aktuell analysiert und tiefencharakterisiert werden, um detaillierte Angaben zur Zusammensetzung und Recyclingfähigkeit der LVP-Abfälle zu erhalten. Zusätzlich werden in Form von Stakeholder-Interviews kreislaufwirtschaftlich relevante Anforderungen und Technologien erschlossen. Entwicklungsbegleitend wird eine Ökobilanz angefertigt, welche die Umweltwirkungen verschiedener alternativer Sortier- und Recyclingverfahren bewertet.



Abb. 14: Das Projektteam beim Projektmeeting bei Polysecure in Freiburg (nicht abgebildet: Prof. Lang-Koetz).  
Foto: Martina Kaminski, Polysecure GmbH

## **PRESERVE – Kreislaufwirtschaft für Schlüsselwerkstoffe der Elektromobilität und erneuerbaren Energie – Konzepte für die Bewertung und den Einsatz von Recyclingmaterialien aus Seltenerdmetallen und Li-Ionen-Batterien**

Das Projekt gehört zu den 6 im Rahmen des Programms für angewandte Nachhaltigkeitsforschung an baden-württembergischen Hochschulen für angewandte Wissenschaften „PAN HAW BW“ geförderten Projekten, die 2024 angelaufen sind. Diese werden im Rahmen des EFRE-Programms gemeinsam von der Europäischen Union und dem Ministerium für Wissenschaft, Forschung und Kunst Baden-Württemberg finanziert. Das Projekt wird von der Hochschule Aalen geleitet. Die Hochschule Pforzheim ist mit den Professoren Carlo Burkhardt und Mario Schmidt an dem Projekt beteiligt.

Inhaltlich werden für die Kreislaufwirtschaft von Magneten und Batterien Konzepte und Werkzeuge entwickelt und mit LCA-Betrachtungen verknüpft. Ziel ist es, Rezyklate von Seltenerdmetallen und Li-Ionen-Batterien effizient und standardisiert zu bewerten, deren Alterungseigenschaften zu prognostizieren und Einsatzgrenzen und geeignete Anwendungen abzuleiten. Das INEC bringt in das Projekt seine LCA-Kompetenz ein. Eine besondere Rolle spielen dabei die Qualität von Sekundärrohstoffen und deren Parametrisierung. Dazu werden der Einfluss der Rezyklat-Eigenschaften auf die Anwendungseigenschaften der Komponenten und ihre Alterung umfassend untersucht. Die Parametrisierung spielt für die Allokation im Lebensweg von Materialien eine wichtige Rolle.



Abb. 15: Auftaktveranstaltung des Wissenschaftsministeriums zu den PAN HAW BW-Projekten am 6. März 2024 mit Ministerialdirektor Dr. Hans J. Reiter und den Projektbeteiligten. Foto: Jan Potente

## **RewitAI – Re-Integration hochwitterungsbeanspruchter Altkunststoffe in die Kreislaufwirtschaft**

Mit einem interdisziplinären Ansatz und unter Beteiligung der Industrie und Zivilgesellschaft verfolgt RewitAI unter der Leitung von Prof. Dr. Iman Taha der Hochschule Aalen die Schließung von Materialkreisläufen und die Mobilisierung von Recycling in der Kunststoffwirtschaft. Der Fokus liegt auf den bislang eher vernachlässigten, aber mengenmäßig bedeutsamen

hochwitterungsbeanspruchten Kunststoffen am Beispiel von Sportanlagen mit Kunststoffbelagssystemen (KBS). Auch RewitAI ist eines von 6 geförderten Projekten im Rahmen des Programms für angewandte Nachhaltigkeitsforschung an baden-württembergischen Hochschulen für angewandte Wissenschaften „PAN HAW BW“.

Im Vordergrund stehen (i) der umweltschonende Rückbau der Systeme unter Berücksichtigung des Mikroplastikaustrags in die Umgebung, (ii) die Analyse der optimalen Eignung diverser Recyclingverfahren für die hochwitterungsbeanspruchten Kunststoffe des KBS sowie (iii) die Untersuchung möglicher Alternativen auf Basis von Bio- und Recyclingkunststoffen.

Das INEC, unter Leitung von Prof. Dr. Mario Schmidt, ist für die vergleichende ökonomische und ökologische Bewertung von Materialien und Prozessen zuständig. Diese sind in Kombination mit einer umfassenden Eigenschaftsbeschreibung der Schlüsselfaktor für einen Transfer in nachhaltige Anwendungsszenarien und Geschäftsmodelle, was in dem Projekt ebenfalls untersucht wird. Das Projekt läuft bis September 2027.



Abb. 16: Auftaktworkshop des Projektes RewitAI an der Hochschule Aalen im Februar 2024 mit Prof. Dr. Iman Taha (im Bild links) als Projektleiterin. Foto: Nova Reichel

### **SEB – Systematische Erschließung des kreislaufwirtschaftlichen Potenzials von Beatmungssystemen**

Die Hochschule Pforzheim wurde mit einem Projektvorschlag als eines von insgesamt fünf durch die Deutsche Bundesstiftung Umwelt in ihrem neuen Förderschwerpunkt CirculaID geförderten Vorhaben ausgewählt: Das Forschungskonsortium für das dreijährige Vorhaben besteht aus dem Hersteller von Beatmungssystemen Löwenstein Medical Technology (LMT), der das Gesamtvorhaben koordiniert, dem Eigentümer der Beatmungssysteme während der Nutzungsphase („Provider“) Löwenstein, dem Hersteller von Einwegkomponenten für diese Systeme WILAmед sowie der Forschungsstelle „Kreislaufwirtschaft im Gesundheitswesen“ am INEC als akademischer Forschungs- und Entwicklungspartner. Das Vorhaben wird gemeinschaftlich von Prof. Benno Dömer aus der Medizintechnik und von Prof. Jörg Woidasky von der Forschungsstelle geleitet.

In Deutschland werden derzeit etwa 7.500 Patienten ambulant beatmet. Die hierfür eingesetzten Schlauchsysteme haben im klinischen Bereich im Mittel eine Nutzungsdauer von maximal sieben Tagen. In anderen Anwendungsbereichen wie zum Beispiel einer individuellen Heimbeatmung (CPAP Beatmung) sind jedoch auch Nutzungsdauern bis zu sechs Monate oder auch darüber hinaus möglich. Insgesamt ergibt sich daraus in Deutschland ein potenzielles



Aufkommen von 1,2 Millionen Schlauchsystemen oder etwa 500 t Abfällen jährlich. Hinzu kommen Atemmasken, Befeuchtungsbehälter und weitere Verbrauchsmaterialien der Beatmung. Diese bestehen größtenteils aus Einwegkomponenten, welche nach der Nutzung bislang thermisch verwertet werden. Das Ziel des Vorhabens ist es, an dem konkreten Produkt- bzw. Anwendungsbeispiel der Patientenbeatmung den Ressourcenverbrauch massiv zu senken. Hierfür sollen in SEB kreislaufwirtschaftliche Lösungen entwickelt, bewertet und modellhaft umgesetzt werden. Durch eine entwicklungsbegleitende Ökobilanz wird die ökologische Nachhaltigkeitswirkung der kreislaufwirtschaftlichen Ansätze bewertet und in die Verfahrens- und Produktentwicklung integriert. Die Projektarbeiten sind mit einer Promotionsarbeit verknüpft, die systematisch den kreislaufwirtschaftlichen Lösungsraum für Patientenbeatmungssysteme aus technisch-wirtschaftlicher Sicht erschließen und die Umweltwirkungen ausgewählter Lösungen bewerten soll.



Abb. 17: Beatmungssystem mit Patienten-Interface und Einwegschlauch

### **TraFoNetz – Circular Economy und Transformationsvorgehensweise**

Im Projekt TrafoNetz (Transformationsnetzwerk Nordschwarzwald) bearbeitet das INEC mit Prof. Dr. Claus Lang-Koetz und Prof. Dr. Frank Bertagnoli ein Teilprojekt, in dem zum einen das Thema Circular Economy und zum anderen das Vorgehen bei der Transformation im gegebenen Umfeld erforscht wird.

So wurde in einer Studie untersucht, wie sich Automobilzulieferer an die sich verändernde Dynamik durch Circular Economy in der Automobilindustrie anpassen können. Ziel war es, Herausforderungen und Lösungsansätze bei der Umsetzung der Circular Economy in der Automobilzulieferindustrie zu identifizieren. Die Untersuchung basierte auf zwei systematischen Literaturrecherchen sowie 16 qualitativen Interviews mit Zulieferern. Herausforderungen und Lösungsansätze wurden in Kategorien wie rechtliche Rahmenbedingungen, Produktdesign, Materialien, Technologien, Mitarbeiterkompetenzen, Lieferketten und betriebswirtschaftliche Aspekte identifiziert.

Als zentrale Herausforderungen wurden identifiziert: Der Einsatz von Rezyklaten ist bei sicherheitsrelevanten Bauteilen aufgrund hoher Qualitätsanforderungen stark eingeschränkt. Wiederverwendete Teile sind aufgrund von Akzeptanzproblemen, wechselnden Designs und Qualitätsanforderungen kaum einsetzbar und fehlende Rückführungswege am Ende der Lebensdauer erschweren die Kreislaufschließung. Die Ergebnisse werden 2025 veröffentlicht.

Aktuell wird für die Automobilzulieferindustrie in der Region ein Change-Management-Ansatz entwickelt, um die Transformation ganzheitlich durchzuführen. Das Change Canvas diente dabei als Vorlage für drei Workshops mit der Industrie. Aus den Workshops werden nun detaillierte Transformationsvorgehensweisen mit drei ausgewählten Fokusrichtungen entwickelt: Innovation, Effizienz/Lean und Nachhaltigkeit.



Abb. 18: Workshopdurchführung des INEC bei der Witzenmann GmbH zum Thema Innovation. Foto: Witzenmann

## WELLE 67

Das Projekt „Weiterentwicklung Lean Logistics – WELLE 67“ mit dem Industriepartner LGI GmbH wurde im Jahr 2024 erfolgreich fortgeführt. Die Konzeption einer Ideallogistik nach den Prinzipien der schlanken Logistik (Lean Logistic) wurde in der Logistikwertstromvorgehensweise weiterentwickelt. Hierbei spielen vor allem die komplexen digitalen Informationsflüsse eine zentrale Rolle. Das Ergebnis aus dem Jahr 2024 scheint ausgereift zu sein und wurde mehrfach angewendet. Es erfolgte die Evaluierung in vier ausgewählten Umsetzungsprojekten an verschiedenen Standorten in Europa durch Lean-Experten des Unternehmens. Die Ergebnisse werden im weiteren Projektverlauf zurückgeführt und in eine finale Methodenvorgehensweise gebracht.



Abb. 19: Projektteilnehmer der Lean-Logistic-Umsetzungen bei der LGI mit Geschäftsleitung (links) sowie Projekt- und Bereichsleitung (rechts) im Rahmen der Projektpräsentationen. Foto: LGI

## ZIRU – Zirkuläre und ressourcenschonende Produktentwicklungsprozesse in der industriellen Umsetzung

Das Forschungsvorhaben ZIRU zielt darauf ab, Ressourcenschonung und Kreislaufwirtschaft systematisch in Produktentstehungsprozessen zu verankern. Das Projekt bezieht Produkte und Themenstellungen von Unternehmen aus der Fertigungsindustrie ein, um eine praxisnahe Anwendung und Verbreitung der entwickelten Methoden und Prinzipien zu ermöglichen. Dafür führen Anina Kusch, Annika Pruhs, Prof. Frank Bertagnolli und Prof. Viere Workshops in baden-württembergischen Unternehmen aus unterschiedlichen Branchen und von unterschiedlicher Größe durch. Ein weiteres zentrales Element des Projekts ist die Weiterentwicklung des webbasierten „Circularity Navigator“, der Unternehmen bei der Auswahl geeigneter zirkulärer Geschäftsmodelle, Konstruktionsprinzipien und Design-for-Circularity-Ansätze unterstützt. Zukünftig werden selbsterklärende Workshop- und Schulungsunterlagen erstellt, um einen effektiven Transfer der Projektergebnisse zu gewährleisten. Die Verbreitung über potenzielle Multiplikatoren wie Wirtschaftsförderungen, Industrie- und Handelskammern sowie Berater und Hochschulen wird experimentell erprobt. Als Konsortialführer des durch das baden-württembergische Umweltministerium geförderten Projekts ist das INEC hauptverantwortlich für die Durchführung der Forschungsaufgaben, einschließlich der Analyse und Verbesserung von Produktentstehungsprozessen hinsichtlich ihrer Zirkularität. Das INEC koordiniert die Zusammenarbeit mit den Projektpartnern Umwelttechnik Baden-Württemberg GmbH, die für Transferaufgaben und Schulungskonzeption zuständig ist, und dem Wuppertal Institut für Klima, Umwelt, Energie gGmbH, das die Begleitforschung und Evaluation durchführt.



Abb. 20: Einer von mehreren Workshops zur Implementierung von zirkulären Prozessen mit Unternehmen aus Baden-Württemberg. Foto: HSPF Tobias Viere





Abb. 21: Auszug aus LinkedIn-Post eines Workshops in einem KMU. Quelle: [https://www.linkedin.com/posts/mott-mobile-systeme\\_kreislaufwirtschaft-nachhaltigkeit-innovation-activity-7244239161220567041-bGtF/](https://www.linkedin.com/posts/mott-mobile-systeme_kreislaufwirtschaft-nachhaltigkeit-innovation-activity-7244239161220567041-bGtF/)

## Publikationen

Im Jahr 2024 wurden von den Institutsangehörigen einige Publikationen in renommierten Fachjournals veröffentlicht. Dazu gehören u.a. Artikel über Design for Circularity im angesehenen Elsevier-Journal „Resources, Conservation and Recycling“, über Impact-Bewertungsmethoden im „International Journal of Life Cycle Assessment“ (Springer) oder über Definitionen der Nachhaltigkeit in Elseviers „Ecological Economics“.

Ein Buch mit Beiträgen zu Circular Economy steht kurz vor der Veröffentlichung.

## Besondere Veranstaltungen, Vorträge und Ereignisse

Im Jahr 2024 wurden zwei **Symposien für Nachhaltigkeit und Ressourceneffizienz** an der Hochschule Pforzheim veranstaltet, eines im Juni zu „Klimaneutralität und Kompensation“ und eines im Dezember zu „Wasserstoff – Wundermittel der Transformation?“. Die Symposien waren erneut gut besucht und stießen auf ein positives Echo. Die Vorträge der Juni-Veranstaltung wurden auch in dem Youtube-Channel des Instituts öffentlich bereitgestellt (<https://www.youtube.com/@INECundREM>).



Abb. 22: Das 4. Symposium „Nachhaltigkeit und Ressourceneffizienz“ im Audimax der Hochschule Pforzheim im Juni 2024. Foto: INEC

Ebenfalls fortgesetzt wurde die **Videoreihe „Alles öko? Es kommt darauf an“**, die zusammen mit dem Moderator Kevin Gerwin und mit Unterstützung der PSD-Bank Karlsruhe-Neustadt produziert wird. Es wurden u.a. folgende Folgen produziert: „E-Bike vs. Drahtesel“, „Buch oder E-Book Reader?“, „CO<sub>2</sub>-Abtrennung aus der Luft – Sinnvoll oder nicht?“



Abb. 23: Moderator Kevin Gerwin mit INEC-Mitarbeiter Marco Rudolf zum Thema „Lesen im digitalen Zeitalter“. Quelle: <https://youtu.be/CFqIqIdFI8>

Wie jedes Jahr im November fand der **Ressourceneffizienzkongress** des Landes Baden-Württemberg statt, diesmal erstmals im neuen Kongresszentrum in Heidelberg mit über 1.000 Teilnehmern aus der Wirtschaft, Wissenschaft und Politik. Der Kongress wird vom Ministerpräsidenten Winfried Kretschmann persönlich eröffnet und von Umweltministerin Thekla Walker und Staatssekretär André Baumann begleitet. Das INEC war mit einem Plenumsbeitrag von Prof. Mario Schmidt beteiligt.



Abb. 24: Prof. Mario Schmidt im Plenum des Ressourceneffizienzkongresses im Oktober 2024 in Heidelberg. Foto: Jan Potene



Gut vertreten war das INEC wieder auf **internationalen Fachtagungen**, darunter:

- Pia Heidak und Benjamin Fritz auf der SETAC-Konferenz im Mai in Sevilla
- Benjamin Fritz auf der Ecobalance-Tagung im November in Japan, wo er den Best Presenter Award gewann
- Melanie Apitzsch-Delavault, Alexandra Vogt, Julia Walz, Maike Senk, Tobias Viere und Claus Lang-Koetz auf der internationalen Life Cycle Innovation Conference 2024 im Juli in Berlin
- Felix Bischoff und Dr. Philipp Preiss auf der 19<sup>th</sup> SDEWES Conference im September in Rom
- Alejandro Arias Castillo und Leon Deterding auf dem SETAC Europe 26th LCA Symposium im Oktober in Göteborg

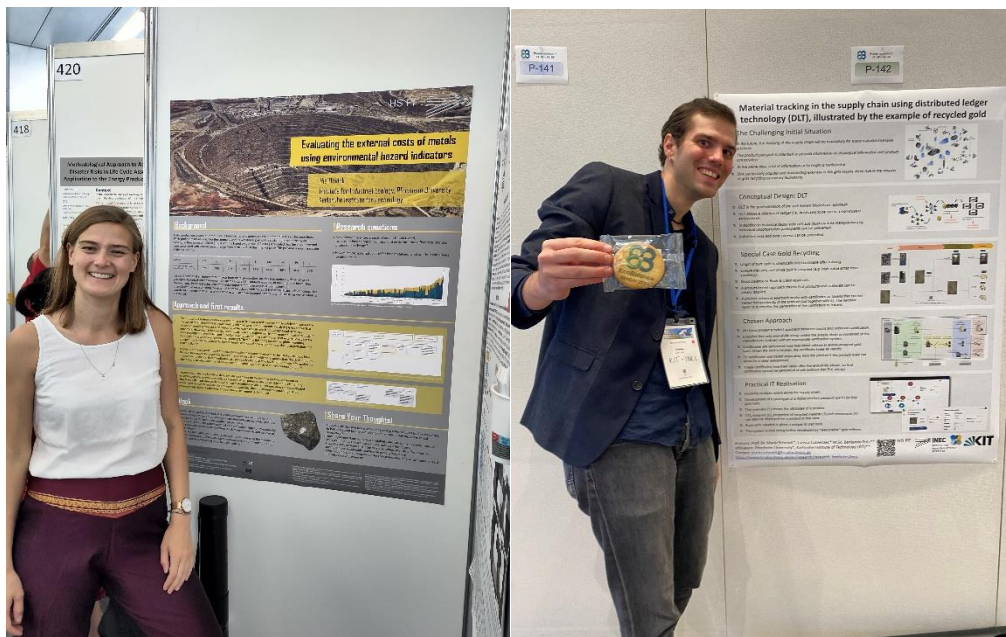


Abb. 25: Pia Heidak auf der SETAC-Konferenz in Sevilla und Benjamin Fritz auf der Ecobalance-Tagung im November in Japan

Prof. Lang-Koetz hielt am 17. April 2024 einen **Vortrag** im Rahmen der Ringvorlesung „Verantwortung Zukunft“ der Technischen Hochschule Mittelhessen zum Thema „Nachhaltigkeitsaspekte in Innovations- und Gründungsaktivitäten integrieren“ und gab dabei auch Einblicke in aktuelle Forschungsarbeiten des INEC.



Abb. 26: Prof. Lang-Koetz beim Vortrag in der Ringvorlesung an der Technischen Hochschule Mittelhessen. Foto: THM

## Mitgliedschaften

Im Juni 2024 fand in Berlin eine Klausursitzung der Ressourcenkommission des Umweltbundesamtes unter Beteiligung des Präsidenten Prof. Dr. Dirk Messner statt. Die Kommission gibt Empfehlungen zu Fragen der Ressourcen- und Kreislaufwirtschaftspolitik und hat in ihrer jüngsten Sitzungsperiode mehrere Diskussionspapiere veröffentlicht. Mitglied ist auch Prof. Dr. Mario Schmidt. Die Mitgliedschaft ist ehrenamtlich.



Abb. 27: Die Mitglieder der Ressourcenkommission des Umweltbundesamtes mit dessen Präsidenten (in der Mitte zw. blau und rot). Foto: UBA

Im Juni und im Dezember 2024 fanden wieder 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 Bundesumweltministerin berufen. Das Zeichen wird vom Umweltbundesamt inhaltlich betreut.



Abb. 28: Die Mitglieder der Jury Umweltzeichen / Blauer Engel anlässlich ihrer Sitzung im Juni 2024 in Düsseldorf. Foto: Janine Braumann



Als deutsches Delegationsmitglied des DIN nahm Prof. Dr. Mario Schmidt an der diesjährigen Klausursitzung des ISO/TC 207/SC 7 „Greenhouse gas and climate change management and related activities“ im November 2024 in London teil. Das ISO/TC 207/SC 7 entwickelt Standards für das Treibhausgasmanagement, die sowohl Minderungs- als auch Anpassungsmaßnahmen abdecken. Aktuell geht es um Standards zum Carbon Footprint für Unternehmen und Produkte sowie um Fragen zu Net Zero von Organisationen.



Abb. 29: Sitzung des TC207/SC7 im November 2024 in London. Foto: privat

Prof. Dr. Mario Schmidt wurde 2024 in den Sachverständigenrat (SVR) des Institut Bauen und Umwelt e.V. (IBU) berufen. Der SVR berät über die sogenannten Environmental Product Declarations (EPDs) hauptsächlich im Baubereich, mit denen die Regeln zu Ökobilanzen für bestimmte Produktgruppen harmonisiert werden.

Im Jahr 2024 wurde durch das baden-württembergische Wissenschaftsministerium wieder der Landesforschungspreis vergeben. Die Auswahl der Vorschläge wurde an die Landesakademie, die Heidelberger Akademie der Wissenschaften, delegiert, die eine Jury aus Wissenschaftlern aus ganz Deutschland zusammengestellt hat. Prof. Dr. Mario Schmidt ist seit 2022 Mitglied dieser Jury. Die Preisvergabe erfolgte im Oktober 2024 im Stuttgarter Schloss durch Ministerin Petra Olschowski.

**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 2024 verlief für das Institut wiederum sehr erfolgreich. Es wurden sowohl laufende Forschungsprojekte weitergeführt bzw. abgeschlossen als auch eine Reihe neuer Projekte akquiriert.

Im Jahr 2024 sind die folgenden Forschungsprojekte neu hinzugekommen:

- Drive2Transform – Integrative Regional Approaches for the Transformation of the Automotive Industry (Prof. Dr. Bernhard Kölmel, Prof. Dr. Rebecca Bulander)
- EMF – Evaluierung von Monitoren für die Flugsicherung (Prof. Dr.-Ing. Steffen Reichel, Prof. Dr. Karlheinz Blankenbach)
- Inskale – Interaktive, skalierbare Lernumgebung für die Elektrotechnik (Prof. Dr. Stefan Kray)
- PBR – Comparison of Perceived Brightness and Colorfulness between Display Technologies (Prof. Dr.-Ing. Steffen Reichel, Prof. Dr. Karlheinz Blankenbach)
- RISE – Rising competences & skills in less developed Danube regions through food sector cross-topic innovations (Prof. Dr. Bernhard Kölmel, Prof. Dr. Rebecca Bulander)
- SEB – Systematische Erschließung des kreislaufwirtschaftlichen Potenzials von Beatmungssystemen (Prof. Dr. Benno Dömer, Prof. Dr. Jörg Woidasky)

Die folgenden Projekte wurden im Jahr 2024 weitergeführt:

- CareWarn – Vitalmonitoring – CareWarn / Wearable für die Sturzerkennung und -prophylaxe pflegebedürftiger Menschen (Prof. Dr. Benno Dömer)
- EcoAction – Action to Boost Ecosystem Impact through Cross-partner Learning (Prof. Dr. Bernhard Kölmel, Prof. Dr. Rebecca Bulander)
- greenProd – Energieoptimierte Produktion mit grünen Digitalen Zwillingen (Prof. Dr. Thomas Greiner, Prof. Dr. Rainer Drath, Prof. Dr. Ingela Tietze (INEC))
- IDEAS – Integrated Data Models for the Engineering of Automation Security (Prof. Dr. Rainer Drath)
- KISA – Hybride künstliche Intelligenz für intelligente Sensoren und Aktoren in der Produktion (Prof. Dr. Thomas Greiner, Prof. Dr. Rainer Drath, Prof. Dr. Alexander Hetzner)
- LGD 2023 – Automotive Displays including Switchable Privacy Displays (Prof. Dr. Steffen Reichel, Prof. Dr. Karlheinz Blankenbach)
- METHODS – Modular Engineering Techniques for Heterogeneous Discrete Systems (Prof. Dr. Rainer Drath, Prof. Dr. Thomas Greiner)
- NEOSPEK – Neue Sensorik für die multispektrale klinische Bildgebung (Prof. Dr. Stefan Kray, Prof. Dr. Thomas Greiner)
- 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 werden die einzelnen Projekte beschrieben:

### **Drive2Transform – Integrative Regional Approaches for the Transformation of the Automotive Industry (Prof. Dr. Bernhard Kölmel, Prof. Dr. Rebecca Bulander)**

Das EU-Interreg-Projekt Drive2Transform widmet sich den tiefgreifenden Veränderungen in der Automobilindustrie, die durch zentrale Megatrends wie Elektrifizierung, Konnektivität, Automatisierung und die Plattformökonomie geprägt werden. Im Fokus der Forschungsaktivitäten der Hochschule Pforzheim liegt die systematische Analyse dieser Trends und ihrer Auswirkungen auf regionale Wertschöpfungsketten sowie die Entwicklung innovativer Ansätze zur Steigerung der Wettbewerbsfähigkeit von Unternehmen in einem dynamischen Umfeld.

Ein zentraler Bestandteil des Projekts ist die Einrichtung einer transnationalen Transformationsplattform für die Automobilindustrie. Der Fokus liegt auf der Analyse regionaler und transnationaler Wertschöpfungsketten unter dem Einfluss von Megatrends wie Elektrifizierung, Konnektivität, Automatisierung und Plattformökonomie. Mit Methoden wie Literaturanalysen, Szenariotechnik und Roadmapping wird ein Transformationsbereitschaftsmodell entwickelt, das als Grundlage für zukunftsorientierte Handlungsszenarien dient. Ziel ist eine praxisorientierte Plattform, die Unternehmen und Stakeholdern konkrete Optionen zur Transformation bietet.

Ein weiterer Schwerpunkt ist der Kapazitätsaufbau in regionalen Ökosystemen. Hierbei werden Kompetenzentwicklungs- und Wissenstransfermaßnahmen evaluiert und gezielte Schulungen wissenschaftlich begleitet. Qualitative Interviews und Fallstudien identifizieren Bedarfe und Herausforderungen der Unternehmen, während die wissenschaftliche Begleitung sicherstellt, dass die Maßnahmen nachhaltig umsetzbar sind. Ziel ist die Stärkung der Transformationskompetenzen von Unternehmen und Entscheidern.

Schließlich widmet sich das Projekt dem Aufbau transnationaler Anwendungsfälle, die neue Wertschöpfungsketten und Technologien wie IKT, Elektronik und Energie in den Fokus rücken. Use Cases werden analysiert und Zukunftsstrategien entwickelt, um konkrete Handlungsmöglichkeiten für Unternehmen aufzuzeigen und ihre Wettbewerbsfähigkeit langfristig zu sichern.

### **EMF – Evaluierung von Monitoren für die Flugsicherung (Prof. Dr.-Ing. Steffen Reichel, Prof. Dr. Karlheinz Blankenbach)**

Die Deutsche Flugsicherung (DFS) überwacht und leitet den deutschen Flugverkehr. Dazu werden den Fluglotsen die Flugbewegungen auf Monitoren dargestellt. Um die Sicherheit des Flugverkehrs sicherzustellen und zu gewährleisten, müssen diese Monitore anspruchsvolle Anforderungen erfüllen. Aufgrund des sicherheitsrelevanten Einsatzes der Monitore sind beispielsweise Blendungen durch Licht-Reflexion zu verhindern und eine „gute Schärfe“ der Darstellung ist zu garantieren. Es ist nicht klar, welche Parameter diese beiden genannten Eigenschaften ausreichend beschreiben, mit welcher Methode diese erfasst und wie diese charakterisiert werden können. Bei den Monitoren handelt es sich nicht um Standardmonitore, wie diese bei PC bekannt sind, sondern um kostenintensive Spezialmonitore.

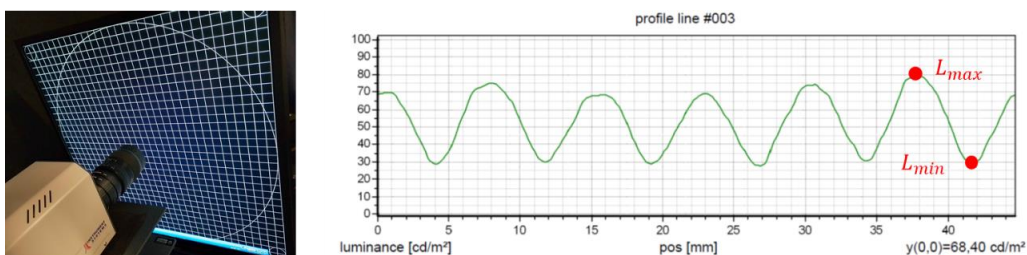


Abb. 1: Visualisierung der Sharpness-Messungen (Bildschärfe) mit suboptimalem Testbild

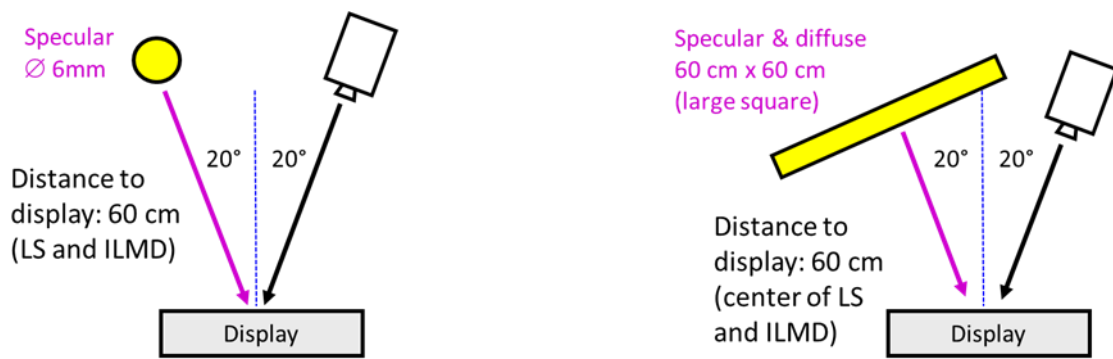


Abb. 2: Geometrie der beiden Methoden zur Bewertung der Reflexionseigenschaften. Lichtquellen: weiße LEDs (entspricht Indoor-Beleuchtung)

Daher ist die Forschungsfrage dieser Zusammenarbeit, im ersten Schritt geeignete Parameter zu erforschen, damit die Effekte passend beschrieben werden können (um die hochanspruchsvollen Monitore zu charakterisieren). Dazu wurden diese Parameter anhand von derzeit bei der DFS verwendeten Monitoren getestet und mit neuen Messmethoden umgesetzt und wissenschaftlich bewertet. Parameter der Forschungsfrage waren beispielsweise goniometrische Abhängigkeit der Leuchtdichte, das Blockverhältnis (auch Contrast Ratio genannt), Reflexion und Bildschärfe. Die entsprechenden Messmethoden wurden der DFS vorgeschlagen und waren bei der HS Pforzheim vorhanden. Für die Bildschärfe wurde eine neue Methode vorgeschlagen und auch umgesetzt, für die Beschreibung mittels MTF siehe Abb. 1. Um Blendungen der Fluglotsen zu unterdrücken, wurde ein weiterer Parameter der Forschungsfrage vorgeschlagen, sowie die flächige Reflexion als auch die Spotlight-Reflexion (nach ISO 15008). Auch hier sind der Parameter und die Messmethode neu und beschreiben den Anwendungsfall für die Fluglotsen am besten (siehe Abb. 2). Die Monitore wurden bezüglich der neu gefundenen Parameter und Messmethoden charakterisiert. Eine Empfehlung für die DFS zur Bewertung von Monitoren wurde vorgeschlagen und bildet die Basis für weitere Zusammenarbeiten.

### InskaLE – Interaktive, skalierbare Lernumgebung für die Elektrotechnik (Prof. Dr. Stefan Kray)

Elektrotechnik ist ein zentrales Grundlagenfach in vielen ingenieurwissenschaftlichen Studiengängen. Der traditionelle Frontalunterricht bietet in vielen Fällen nicht ausreichend Unterstützung für Studierende, die Schwierigkeiten mit den grundlegenden Konzepten der Elektrotechnik haben. Die bisher verfügbaren Tools, die beim Verständnis von Schaltungen helfen könnten, wie beispielsweise LT-Spice, erlauben zwar numerische Simulationen, bieten jedoch keine didaktisch aufbereitete Unterstützung für das Verständnis von Schaltungen. Sie sind ebenfalls nicht für das selbstständiges Lernen ausgelegt.

Das Projekt InskaLE zielt darauf ab, diese Lücke zu schließen. Es soll eine interaktive und skalierbare Lernumgebung für die Elektrotechnik erforscht werden, die insbesondere den didaktischen Bedürfnissen von Studierenden gerecht wird. Das Projekt soll den Studierenden ermöglichen, die zugrunde liegenden Konzepte besser zu verstehen und eigenständig Aufgaben zu lösen. Die Plattform soll skalierbar und leicht zugänglich sein und sich für eine breite Nutzerbasis eignen. Neue Ansätze und Konzepte zur Skalierung sollen geschaffen werden, um den speziellen Anforderungen für dauerhaften Einsatz an Hochschulen gerecht zu werden.

Im Rahmen dieses Projektes gilt es, folgende Forschungsfragen zu beantworten:

1. Wie können analytische Schaltungssimulatoren für didaktische Zwecke realisiert werden?

2. Wie kann die Lernumgebung bei begrenzten Ressourcen für eine große Nutzerzahl skalierbar gehalten werden?
3. Wie können Inhalte didaktisch so gestaltet werden, dass sie Studierende beim selbstständigen Lernen effektiv unterstützen?

Als Nebenbedingung soll die Lernumgebung alle Hochschulen und weitere Bildungsträger zugänglich sein. Die Plattform soll mit einfachster Serverinfrastruktur auskommen und ohne nennenswerten Ressourcenaufwand kostenlos betrieben werden können. Der Programmcode wird als Open Source veröffentlicht. Dies soll eine weite Verbreitung sowie Integration in eigene Veranstaltungen sicherstellen.

Projektziel ist, die Qualität der Lehre in der Elektrotechnik nachhaltig zu verbessern.

### **PBR – Comparison of Perceived Brightness and Colorfulness between Display Technologies (Prof. Dr.-Ing. Steffen Reichel, Prof. Dr. Karlheinz Blankenbach)**

Im Rahmen dieses Projektes wird erforscht, wie verschiedene Display-Technologien die vom Menschen wahrgenommene Helligkeit („perceived brightness“) und vom Menschen wahrgenommene Farbe („colorfulness“) darstellen. Hierzu ist der Helmholtz-Kohlrausch-Effekt (HK-Effekt) von zentraler Bedeutung. Beim HK-Effekt interpretiert der Mensch Farben, die am stärksten gesättigt sind (also am Rand der „Hufeisenkurve“ im CIE-xy-Farbsystem liegen), heller (perceived brightness), obwohl die Farben alle die gleiche gemessene/eingestellte Leuchtdichte (physikalische Größe) haben. Das Ziel ist, Displays basierend auf verschiedenen Technologien vollständig messtechnisch zu erfassen, d.h. vollständig insbesondere bezüglich Leuchtdichte und Farbort zu charakterisieren. Außerdem muss sichergestellt werden, dass alle Displays denselben Farbraum abdecken. Hierfür ist ein entsprechender Farbgleich für alle Displays zu erforschen. Dieser Abgleich stellt sicher, dass alle Displays denselben Farbraum darstellen und auch die gleiche Leuchtdichte. Hierzu sind auch die Grafikkarten der Ansteuercomputer zu berücksichtigen, die für alle Displays gleich sein müssen. Darüber hinaus muss eine neue Messmethode erforscht und aufgebaut werden, die unter Berücksichtigung von Benutzerstudien (user studies) entwickelt, umgesetzt und wissenschaftlich evaluiert wird. Zusätzlich muss erforscht werden, ob und wie die Ergebnisse im CIE-Lab-Farbraum (mit einigen Ergänzungen) dargestellt werden können. Die Ergebnisse unserer Forschungsaufgabe sollen sicherstellen, dass der Benutzer Farben und Helligkeiten bei verschiedenen Displays gleich interpretiert, trotz möglicherweise unterschiedlicher Leuchtdichten (objektive physikalische Größe) und unterschiedlicher Farbräume. Die Ergebnisse sollen auf einer wissenschaftlichen Fachtagung vorgestellt werden oder publiziert werden.

### **RISE – Rising competences & skills in less developed Danube regions through food sector cross-topic innovations (Prof. Dr. Bernhard Kölmel, Prof. Dr. Rebecca Bulander)**

Das EU-Interreg-Projekt RISE zielt darauf ab, die Innovationsfähigkeit und Beschäftigungsmöglichkeiten in strukturschwachen, ländlichen Regionen entlang der Donau zu stärken, mit einem besonderen Fokus auf Nachhaltigkeit, Digitalisierung und Kreislaufwirtschaft im Lebensmittelsektor sowie in den damit verbundenen Wertschöpfungsketten. Der Forschungsbezug des Projekts umfasst die systematische Analyse regionaler Fördermaßnahmen, die Bedarfsermittlung bei KMU, die Entwicklung und Evaluierung von Mentoring-Programmen sowie die Formulierung transnationaler Strategien und regionaler Aktionspläne.

Im Rahmen des Projekts übernimmt die Hochschule Pforzheim eine Reihe spezifischer Forschungsaktivitäten. Eine zentrale Aufgabe ist die Evaluation regionaler Fördermaßnahmen,



bei der die Wirksamkeit und Relevanz bestehender Programme untersucht wird, die auf digitale Technologien, Energieeffizienz und Materialkreisläufe im Lebensmittelsektor abzielen. Mithilfe quantitativer und qualitativer Methoden der Systemanalyse und Evaluationsforschung werden fundierte Empfehlungen entwickelt, um die Förderstrukturen zu optimieren und eine langfristige Innovationsförderung sicherzustellen.

Aktuelle Arbeiten umfassen die Entwicklung eines Tools zur Ermittlung des Reifegrades in den Bereichen Nachhaltigkeit, Digitalisierung und Kreislaufwirtschaft. Dieses Tool soll es KMU ermöglichen, ihren aktuellen Stand in diesen Schlüsselbereichen systematisch zu bewerten und zielgerichtete Maßnahmen zur Weiterentwicklung zu identifizieren. Die Hochschule Pforzheim leistet hierbei als wissenschaftliche Organisation einen wesentlichen Beitrag, indem sie auf ihrer Expertise in methodischer Konzeption und Evaluierung aufbaut.

Ein weiterer Schwerpunkt liegt auf der Bedarfsermittlung bei KMU im Lebensmittel- und Getränkektor, mit besonderem Fokus auf den Themen Nachhaltigkeit, Digitalisierung und Kreislaufwirtschaft. Durch den Einsatz empirischer Forschungsmethoden werden Barrieren und Treiber identifiziert, die eine gezielte Unterstützung der KMU ermöglichen sollen. Ziel ist es, evidenzbasierte Erkenntnisse zu gewinnen, die als Grundlage für angepasste Fördermaßnahmen und praxisorientierte Unterstützungsangebote dienen.

Die Hochschule Pforzheim trägt auch zur Entwicklung branchenübergreifender Mentoring-Dienstleistungen bei. Der Fokus liegt hierbei auf der Konzeption und Evaluierung von Programmen, die KMU im Lebensmittelsektor bei der Umsetzung von Innovationsstrategien unterstützen. Mithilfe qualitativer Interviews, Netzwerkanalysen sowie prä- und post-interventioneller Erhebungen werden diese Mentoring-Programme optimiert und auf Skalierbarkeit untersucht.

Darüber hinaus sollen eine Folgenabschätzung und Validierung der Mentoring-Dienstleistungen, um deren Effektivität und Nachhaltigkeit zu bewerten, erfolgen. Mithilfe entsprechender Evaluationsmethoden und Fallstudien wird die Wirkung der Programme auf die teilnehmenden KMU gemessen. Ziel ist eine wissenschaftlich fundierte Validierung, die zur Weiterentwicklung und breiteren Anwendung der Mentoring-Dienstleistungen beiträgt.

### **SEB – Systematische Erschließung des kreislaufwirtschaftlichen Potenzials von Beatmungssystemen (Prof. Dr. Benno Dömer, Prof. Dr. Jörg Woidasky)**

Die Hochschule Pforzheim wurde mit einem Projektvorschlag als eines von insgesamt fünf durch die Deutsche Bundesstiftung Umwelt in ihrem neuen Förderschwerpunkt CirculAID geförderten Vorhaben ausgewählt: Das Forschungskonsortium für das dreijährige Vorhaben besteht aus dem Hersteller von Beatmungssystemen Löwenstein Medical Technology (LMT), der das Gesamtvorhaben koordiniert, dem Eigentümer der Beatmungssysteme während der Nutzungsphase („Provider“) Löwenstein, dem Hersteller von Einwegkomponenten für diese Systeme WILAmed sowie der Forschungsstelle „Kreislaufwirtschaft im Gesundheitswesen“ am I-NEC als akademischer Forschungs- und Entwicklungspartner. Das Vorhaben wird gemeinschaftlich von Prof. Benno Dömer aus der Medizintechnik und von Prof. Jörg Woidasky von der Forschungsstelle geleitet.

In Deutschland werden derzeit etwa 7.500 Patienten ambulant beatmet. Die hierfür eingesetzten Schlauchsysteme haben im klinischen Bereich im Mittel eine Nutzungsdauer von maximal sieben Tagen. In anderen Anwendungsbereichen wie zum Beispiel einer individuellen Heimbeatmung (CPAP Beatmung) sind jedoch auch Nutzungsdauern bis zu sechs Monate oder auch darüber hinaus möglich. Insgesamt ergibt sich daraus in Deutschland ein potenzielles



Aufkommen von 1,2 Millionen Schlauchsystemen oder etwa 500 t Abfällen jährlich. Hinzu kommen Atemmasken, Befeuchtungsbehälter und weitere Verbrauchsmaterialien der Beatmung. Diese bestehen größtenteils aus Einwegkomponenten, welche nach der Nutzung bislang thermisch verwertet werden. Das Ziel des Vorhabens ist es, an dem konkreten Produkt- bzw. Anwendungsbeispiel der Patientenbeatmung den Ressourcenverbrauch massiv zu senken. Hierfür sollen in SEB kreislaufwirtschaftliche Lösungen entwickelt, bewertet und modellhaft umgesetzt werden. Durch eine entwicklungsbegleitende Ökobilanz wird die ökologische Nachhaltigkeitswirkung der kreislaufwirtschaftlichen Ansätze bewertet und in die Verfahrens- und Produktentwicklung integriert. Die Projektarbeiten sind mit einer Promotionsarbeit verknüpft, die systematisch den kreislaufwirtschaftlichen Lösungsraum für Patientenbeatmungssysteme aus technisch-wirtschaftlicher Sicht erschließen und die Umweltwirkungen ausgewählter Lösungen bewerten soll.



Abb. 3: Beatmungssystem mit Patienten-Interface und Einwegschlauch

### **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.

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.

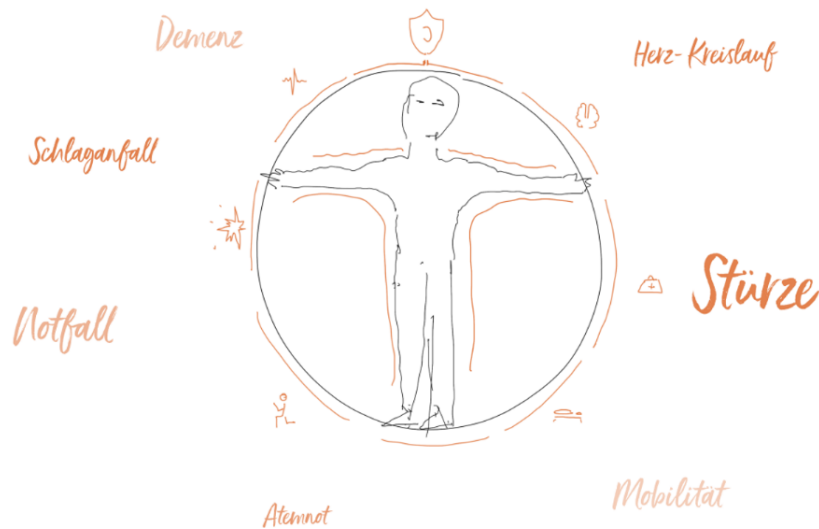


Abb. 4: Kontext des Projekts „CareWarn“

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.

#### **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 etwa 15 Artefakte – im Mittelpunkt steht. Das übergeordnete Ziel bestand darin, ein tiefgehendes Verständnis für die Gestaltung von Rahmenbedingungen zur effektiven Multiplikation von Entrepreneurship zu gewinnen. Diese interdisziplinäre Forschung verknüpfte Elemente aus empirischer Forschung, betriebswirtschaftlicher Forschung und Informatik, wobei das „Venture Clienting“ als exemplarische Illustration für die Forschungsergebnisse diente.

Im spezifischen Kontext des Venture Clientings als Kooperationsmodell zwischen Hochschulen, etablierten Unternehmen und Startups wurden drei konkrete Forschungsfragen untersucht:

1. Wie kann das Venture-Clienting-Programm von der Exploration in die Exploitation überführt werden?
2. Wie kann sich das Venture-Clienting-Modell weiterentwickeln?

### 3. Wie lässt sich der Impact des Venture Clientings auf die Organisation zuverlässig ermitteln?

Als gewählte Forschungsmethodik diente das DSR. Ein zentrales Modell-Artefakt wurde auf Basis einer umfangreichen Literaturrecherche und 27 Experteninterviews in einem Großkonzern entwickelt. Dieses Artefakt visualisiert den gesamten Prozess des Venture Clientings in einem Unternehmen und berücksichtigt sowohl die Geschäfts- als auch die Organisationsentwicklung. Schlüsselkomponenten des Artefakts umfassten 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.

Das Projekt wurde planmäßig am 30.06.2024 erfolgreich abgeschlossen. Dabei konnten alle gesetzten Ziele erreicht und die entwickelten Artefakte umfassend evaluiert werden. Die Ergebnisse tragen nicht nur zur Weiterentwicklung des Venture Clientings bei, sondern liefern auch wertvolle Impulse für die Praxis und zukünftige Forschungsarbeiten im Bereich Entrepreneurship und Innovationsmanagement.

#### **greenProd – Energieoptimierte Produktion mit grünen Digitalen Zwillingen (Prof. Dr. Thomas Greiner, Prof. Dr. 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.

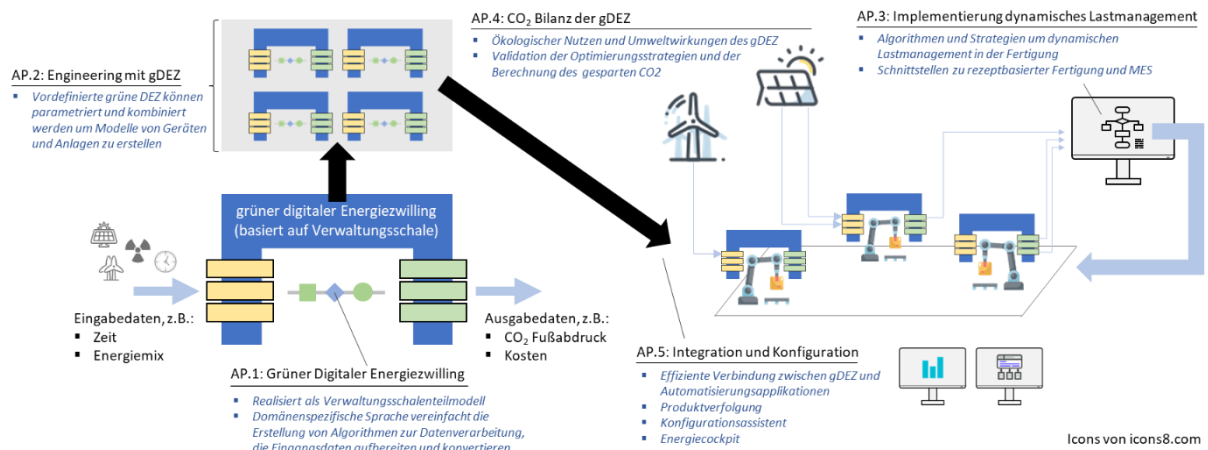


Abb. 5: Gesamtübersicht greenProd

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

Gegenstand des Vorhabens war 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 wurde zunächst ein Phasenmodell des Engineeringprozesses für Automatisierungssysteme um Security Engineering ergänzt, wobei auch die relevanten Ein- und Ausgangsgrößen für das Security Engineering definiert wurden. Basierend darauf wurde 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 wurde 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 wurden die nachfolgend formulierten Forschungsfragen beantwortet (vgl. auch Abbildung 6).

**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?

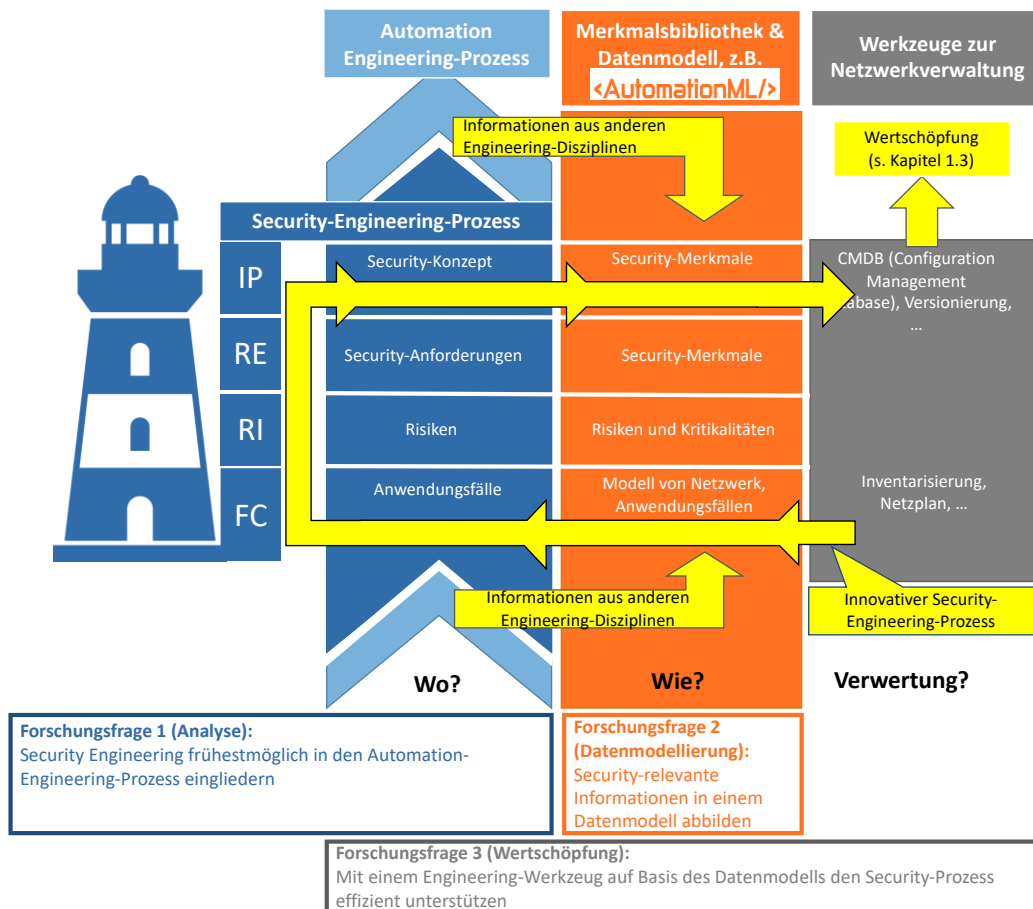


Abb. 6: Zielbild und Forschungsfragen

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

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

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.

### **LGD 2023 – Automotive Displays including Switchable Privacy Displays (Prof. Dr.-Ing. Steffen Reichel, Prof. Dr. Karlheinz Blankenbach)**

In diesem Forschungsprojekt wurden multidimensionale photonisch-elektrisch-softwaretechnische Displaysysteme hinsichtlich verschiedener Optimierungsaspekte erforscht. Hierzu wurden neue Ansätze mit besonderer Berücksichtigung der Supply-Chain-Aspekte und zukünftiger Innovationen untersucht. Insbesondere fokussierte 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 wurden durch Untersuchungen mit Versuchspersonen (sogenannte user studies) parametrisiert und validiert. Exemplarisch hierfür sind Switchable Privacy Displays (SPD), eine ganz neuartige Technologie zur elektronischen Ausblendung von Displayinhalten für den Fahrer während der Fahrt (aus Sicherheits- und rechtlichen Gründen) – siehe Abbildung 7. Die Forschungsfrage gliederte sich hier u.a. in blickwinkelabhängige Leuchtdichte, Uniformity und Switching-Ratio, welche notwendig sind, um solche Displays in automotive Anwendungen umsetzen zu können.



Abb. 7: Switchable Privacy Display: der Fahrer erkennt den Display-Inhalt nicht, während der Beifahrer den Film auf dem Display ungehindert sehen kann. Quelle: Continental – angepasst

Hierfür wurden neue Messmethoden erforscht sowie zusätzlich eine Benutzer-Studie (user study) zur menschlichen Bewertung entwickelt, umgesetzt und wissenschaftlich bewertet.

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

**Teilprojekt 1:** Es wurden die Trends für Automotive Displays im Standardisierungsumfeld herausgearbeitet. Dazu erfolgte eine Erforschung des gegenwärtigen Standes der optischen

Messtechnik wie beispielsweise ICDM oder DFF (für den Bereich Automotive Displays). Messmethoden, welche als signifikant und fehlend bewertet werden, wurden in die Gremien eingebracht.

**Teilprojekt 2:** Im zweiten Teilprojekt wurden 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 wurden die technischen Anforderungen sowie Herausforderungen für zukünftige Automotive-Display-Technologien auch mittels Benutzer-Studien (user studies) erforscht. Neue Themen, Messtechniken oder Standardisierungen werden analysiert.

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

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

Beispielsweise wurde das sogenannte Switching-Ratio gemessen und in einer user study (mit ca. 20 weiblichen und männlichen Personen im Alter von 20 Jahren bis 65 Jahren) vertiefend erforscht. Das Switching-Ratio ist definiert als das Verhältnis der Leuchtdichte bei 50°-Winkel (der Fahrerposition) dividiert durch die Leuchtdichte bei 0° (der Beifahrerposition), wenn das Display im „private mode“ ist (also der Fahrer nichts sehen sollte). Ein Messergebnis für ein Entwicklungs-Display zeigt Abbildung 8.

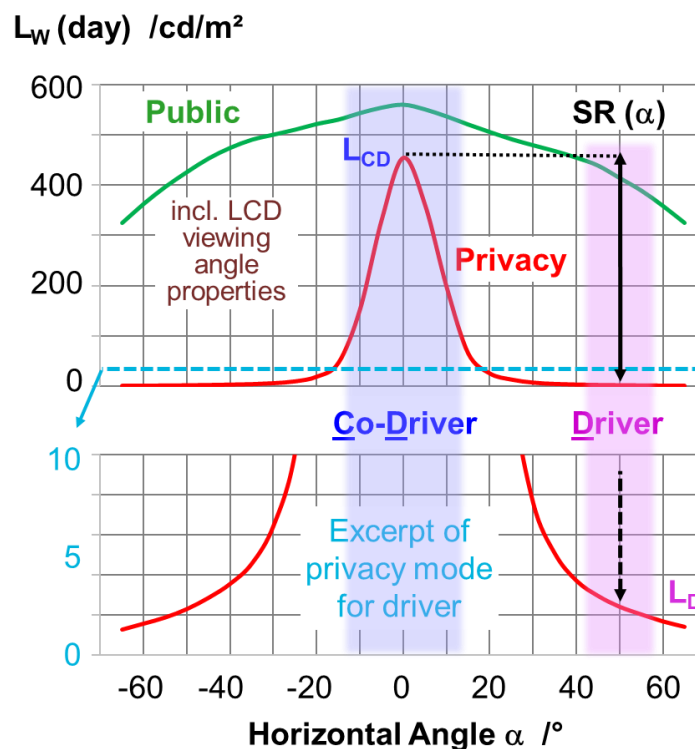


Abb. 8: Messergebnisse eines Switchable-Privacy-LCD Displays (Privacy-Funktion realisiert über das Backlight): Leuchtdichte als Funktion des Winkels (inklusive der typischen Leuchtdichtedegradation von LCDs) für den Privacy- und Public-Modus. Die farbigen Flächen markieren typische Winkelbereiche für den Fahrer (driver) und Beifahrer (co-driver). Unten: Vergrößerung und Auszug des oberen Messergebnisses zur besseren Lesbarkeit im Privacy-Modus für die Fahrerposition

Aufgrund der user study stellte sich beispielsweise als ein Ergebnis heraus, dass ein Switching-Ratio (SR) von 0,5% (wie von der Alliance for Automotive Innovation vorgeschlagen) zu hoch ist und nach unseren Ergebnissen eher bei 0,2% ... 0,3% (verschärfte Anforderung) liegen sollte, siehe Abbildung 9. Die Ergebnisse wurden auf Konferenzen und Fachtagungen präsentiert, diskutiert und publiziert.

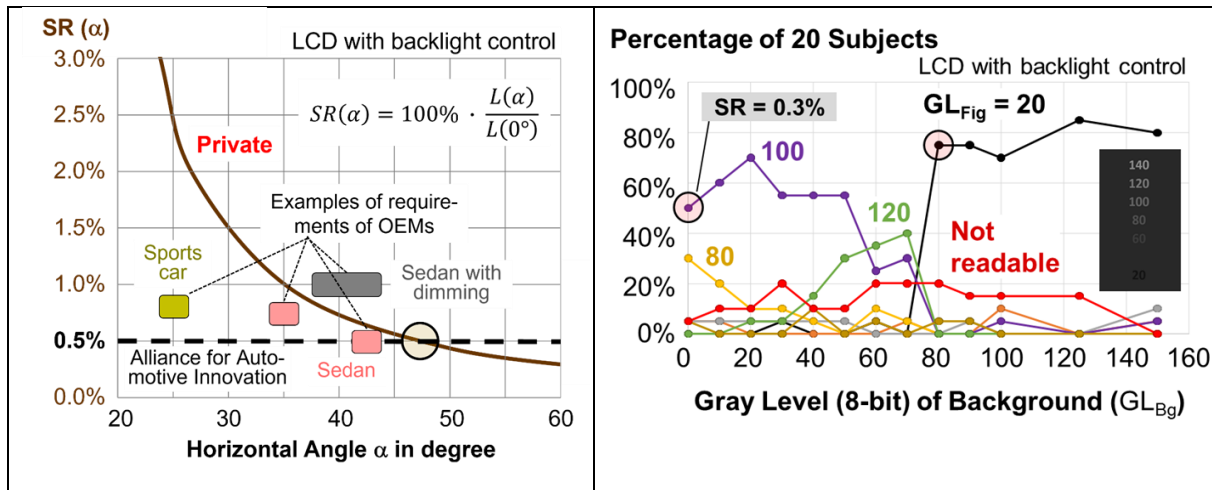


Abb. 9: Switching-Ratio (SR) als Funktion des Winkels (gemessen an einem Display) inklusive der 0,5% Empfehlung der AAI (links). Rechts: Als Ergebnis der user study sollte das SR eher bei 0,3% liegen.

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

Das Ziel von METHODS ist die Erforschung und Entwicklung eines strukturierten und herstellerunabhängigen 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. 10: Verschmelzung realer und virtueller Fertigungsmodule

Im Rahmen des Projektes METHODS wurden folgende Vorträge gehalten:

- R. Drath: Engineering und Betrieb von Anlagen in einer Industrie 4.0, Handlungsempfehlungen für die Verwendung von AutomationML, Verwaltungsschale und OPC UA. Vortrag auf dem 19. Fachkongress Digitale Fabrik, 19.-20.03.2024, Ulm.
- R. Drath: Plug&Produce im gemischt real-virtuellen Produktionsumfeld, ein Ausblick auf die Möglichkeiten des virtuellen Engineerings der Zukunft. Vortrag auf der Fachtagung Automation, 13.06.2024, Pforzheim.
- T. Tauchnitz, F. Maurer, M. Barth, A. Schüller, R. Drath: Durchgehender Informationsfluss für Engineering und Betrieb von verfahrenstechnischen Anlagen und deren Automatisierungskomponenten auf Basis von Verwaltungsschalen. Vortrag auf der Automation 2024, Baden-Baden.

### **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:

1. 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 Abb. 11). Es wird untersucht, die hyperspektrale Information mit der struktu-

rellen 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.

## 2. 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.

## 3. 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. 11: 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.

## **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 die Ableitung von Implikationen für die regionale Fahrzeug- und Zulieferindustrie. Ziel ist die Entwicklung wissenschaftlich fundierter Zukunftsartefakte wie Strategien, Handlungsempfehlungen und iterative Vorgehensmodelle, die die Transformation dieser Branche unterstützen. Grundlage hierfür ist ein gestaltungsorientierter Forschungsansatz (Design Science Research – DSR).

Der Forschungsansatz zeichnet sich durch folgende Merkmale aus:

- **Praxisorientierung:** Die wissenschaftliche Forschung zielt darauf ab, konkrete, praxisnahe Lösungen für die Herausforderungen der Transformation in der Automobilwirtschaft bereitzustellen.
- **Gestaltungsorientierung:** Neue Artefakte wie Methodenkarten, Frameworks und Vorgehensmodelle werden nicht nur konzipiert, sondern auch evaluiert und weiterentwickelt.
- **Interdisziplinarität:** Die Forschung integriert Erkenntnisse aus Wirtschaftsinformatik, Ingenieurwissenschaften und Betriebswirtschaft und bindet regionale Unternehmen eng in den Forschungsprozess ein.
- **Iteratives Vorgehen:** Die Entwicklung und Verfeinerung der Artefakte erfolgt in mehreren Zyklen unter Einbezug von empirischen Daten und Nutzerfeedback.
- **Wissenschaftliche Fundierung:** Der Ansatz basiert auf systematischen Literaturrecherchen, qualitativen Interviews und Datenanalysen.

### **Analyse der Plattformökonomie**

Die Analyse aktueller Trends in der Plattformökonomie wurde abgeschlossen, und spezifische Aspekte wie neue Marktpotenziale werden derzeit untersucht. Eine Umfrage mit 18 KMU aus der Region lieferte erste Daten, die aktuell weiter analysiert werden. Auf Basis der Ergebnisse wurden erste Implikationen für die Automobil- und Zulieferindustrie abgeleitet, deren Validierung und Verfeinerung noch aussteht. Szenario-Analysen wurden gestartet, eine abschließende Bewertung der Transformationsstrategien ist für 2025 geplant.

### **Entwicklung innovativer Lösungsansätze**

Auf Basis der Umfrageergebnisse wurden über 30 Methodenkarten entwickelt, die Transformationsprozesse in der Automobilwirtschaft unterstützen, deren Evaluation aktuell läuft. Ein iteratives Vorgehensmodell wurde grundlegend entwickelt und erste Entwürfe erstellt, die durch Interviews und Praxistests weiter verfeinert werden sollen. Erste Interviews zur Validierung des Modells sind in Planung, während eine umfassendere Evaluation noch aussteht.

### **Analyse zukunftsrelevanter Themen**

Erste Analysen haben wichtige Markt- und Technologietrends identifiziert, wobei die tiefgehende Untersuchung ihrer langfristigen Auswirkungen auf die Zulieferindustrie noch andauert. Erste Kompetenzprofile wurden erstellt, und die Entwicklung spezifischer Weiterbildungsempfehlungen ist in Planung.

### **Regionale Verankerung**

Erste strategische Implikationen für die Region Nordschwarzwald wurden abgeleitet, diese müssen jedoch noch detaillierter ausgearbeitet werden. Ein vorläufiges Profil für die Region

wurde erstellt, das nun erweitert und validiert werden soll. Die Zusammenarbeit mit regionalen Unternehmen hat mit Workshops und Interviews begonnen und weitere Kooperationsprojekte sind in Planung, jedoch sind weitere Arbeiten erforderlich, um diese detaillierter auszugestalten.

### **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 Kompetenzen der Wirtschaftsförderung Nordschwarzwald, der Hochschule Pforzheim als Konsortialpartner sowie weiterer Projektpartner. Ziel des Projekts ist es, den Strukturwandel in der Fahrzeug- und Zulieferindustrie der Region Nordschwarzwald durch die Entwicklung und Implementierung kollaborativer Entwicklungs- und Produktionsplattformen zu unterstützen. Die Hochschule Pforzheim übernimmt dabei eine zentrale Rolle durch die Durchführung von Forschungsarbeiten, die als Grundlage für die weiteren Maßnahmen und Arbeitspakete dienen.

Die Forschungsarbeiten der Hochschule Pforzheim folgen einem gestaltungsorientierten Forschungsansatz (Design Science Research – DSR), der praxisnahe Lösungen mit wissenschaftlicher Fundierung verbindet. Dabei stehen die Entwicklung und Iteration von Artefakten sowie die praxisorientierte Einbindung der Ergebnisse in den Transformationsprozess im Fokus.

#### **1. Erarbeitung der Grundlagen zur Plattformökonomie**

Die Forschungsarbeiten zur Plattformökonomie umfassen eine Kombination aus systematischen Analysen und empirischen Untersuchungen:

- **Grundlagenanalysen:** Erste Literatur- und Anforderungsanalysen wurden durchgeführt, um zentrale Fragestellungen der Plattformökonomie zu identifizieren.
- **Empirische Studien:** Erste empirische Untersuchungen mit regionalen Unternehmen haben Einblicke in die spezifischen Herausforderungen und Potenziale der Plattformökonomie geliefert.
- **Trend- und Evaluationsanalysen:** Die Analyse aktueller Trends und die Entwicklung erster methodischer Ansätze sind im Gange und fließen in die weiteren Arbeiten ein.

#### **2. Entwicklung von Kompetenzgrundlagen**

Ein Schwerpunkt der Forschungsarbeiten liegt auf der Identifikation und Entwicklung von Kompetenzen, die für die Transformation in der Plattformökonomie erforderlich sind:

- **Literatur- und Anforderungsanalysen:** Erste Arbeiten zur Ermittlung relevanter Kompetenzen und Qualifikationen wurden begonnen und werden schrittweise erweitert.
- **Innovative Ansätze:** Auf Basis der bisherigen Erkenntnisse entstehen erste methodische Artefakte und Empfehlungen, die die Kompetenzentwicklung unterstützen sollen.

#### **3. Konzeption eines Plattform-Demonstrators**

Die Entwicklung eines Plattform-Demonstrators befindet sich in einer frühen Phase:

- **Strategische Analysen:** Erste Überlegungen zu einer systematischen Herangehensweise wurden angestoßen, um zentrale Herausforderungen zu adressieren.



- **Iterative Modellentwicklung:** Basierend auf empirischen Erkenntnissen wird ein iteratives Vorgehensmodell entwickelt, das die Basis für einen Demonstrator bildet.

**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 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 von Schmelztemperatur von Legierungen, Wachsen
- Messung von Gewichtsveränderung oder Schmelzverhalten 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, Induktionslötten, Messvorrichtungen

Folgende öffentlich geförderten Forschungsprojekte wurden bearbeitet:

### 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 Seltenerdmetallen 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 Seltenerdmetallen für Hochleistungsanwendungen in Elektromobilität, erneuerbarer Energie und Digitalisierung entwickelt.

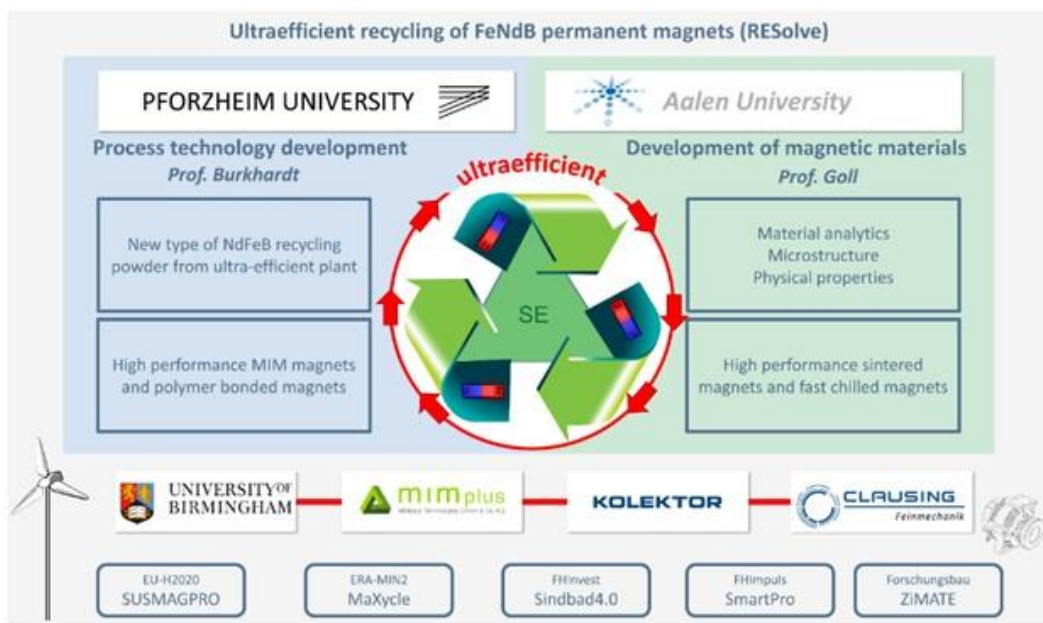


Abb. 1: REsolve-Projektstruktur

NdFeB-Magnete auf Basis von Seltenerdmetallen (SE) sind als integrale Funktionsbestandteile zur Energieumwandlung in den Bereichen Elektromobilität und erneuerbare Energien sowie der Digitalisierung für den Wirtschaftsstandort Deutschland von größter Bedeutung. Obwohl ihre Legierungsbestandteile seit Jahren als kritische Rohstoffe eingestuft werden, gibt es keine effiziente Kreislaufwirtschaft für NdFeB-Materialien. Ausgehend von der Prognose, dass sich der Bedarf an SE-Magneten in den nächsten 10 Jahren verdoppelt, wird sich diese Situation noch weiter verschärfen. Durch entsprechende Innovationen ist die Nutzung der SE als Sekundärressource zu verbessern, was dem Wirtschaftsstandort Deutschland die Möglichkeit bietet, den derzeitigen Standortnachteil mittelfristig in einen Vorteil umzuwandeln. Um Altmagnete zu recyceln, müssen sie aus den magnethaltigen Geräten extrahiert werden. Da diese heute meist geschreddert werden, ist chemisches bzw. pyrometallurgisches Recycling teuer und energieintensiv. Mit dem innovativen, hochwirksamen HPMS-Verfahren kann Magnetmaterial leichter extrahiert und direkt aus der NdFeB-Legierung aufbereitet werden. Dies ermöglicht eine wesentlich verkürzte und umweltfreundlichere Prozesskette mit 25% höherer Ausbringung bei bis zu 90% Energieeinsparung und 98% weniger Humantoxizität im Vergleich zur Neuproduktion von Magneten. Im Projekt REsolve wird mittels innovativer Lösungen der HPMS-Recyclingprozess für EOLM auf Basis von neuartigem monokristallinem Pulver so wei-

terentwickelt, dass die resultierenden Magnete mindestens gleiche Eigenschaften wie die Ausgangsmagnete besitzen und darüber hinaus gezieltes Upcycling durchgeführt werden kann. So wird ein durchgängiges, ultraeffizientes Konzept für die Wiederverwertung von Permanentmagneten für Hochleistungsanwendungen in Elektromobilität, erneuerbarer Energie und Digitalisierung geschaffen, um in effizienter Kreislaufwirtschaft Stoffflüsse für Rohstoffe der höchsten Risikoklasse zu schließen.

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 2 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 gemahlten Pulver sind feine Partikel zu erkennen, bei denen es sich um die Nd-reiche Phase handelt, welche im nächsten Prozessschritt aufgelöst wird.

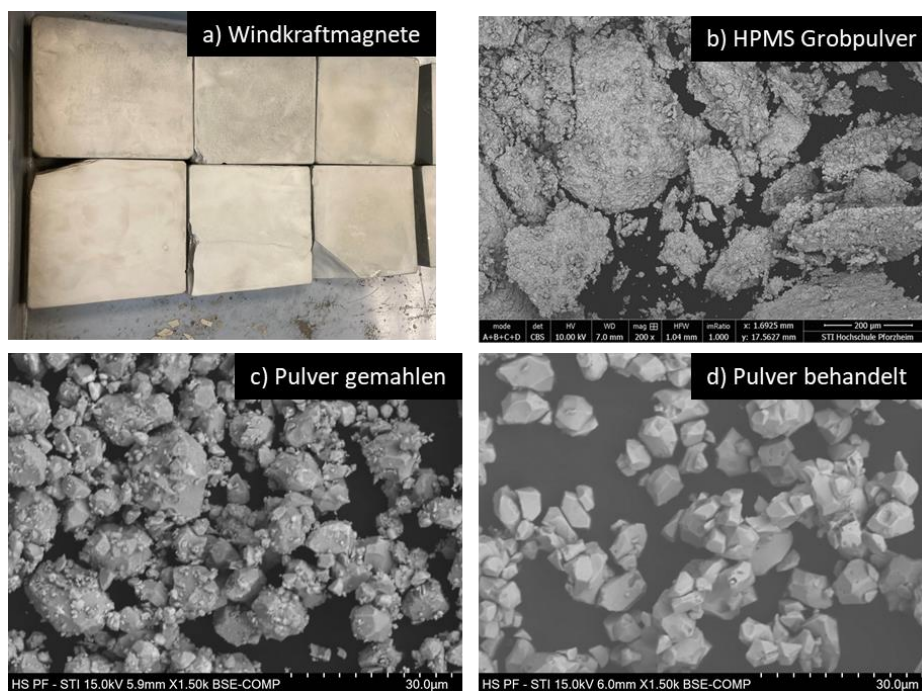


Abb. 2: Aufnahmen nach verschiedenen Prozessschritten: a) Foto sandgestrahlter Magnete, b) REM-Aufnahme Grobpulver nach HPMS, c) REM-Aufnahmen Pulver nach Kugelmahlen, d) REM-Aufnahme nach Säurebehandlung

Im weiteren Projektverlauf wurden aus diesem Pulver (Neoleach-Pulver) gesinterte Magnete produziert und untersucht. Zu diesem Zweck wurden einerseits zwei verschiedene Nd-reiche Zusatzlegierungen (HS Aalen) und andererseits NdH (HS Pforzheim) zugegeben. Durch das Entfernen der alten Nd-reichen Phase konnte die optimale Menge an Nd zugegeben werden, wodurch die Remanenz gegenüber dem Ausgangsmagneten leicht erhöht werden konnte. Die Koerzitivfeldstärke erreichte ca. 80% des Ausgangsmagneten.

Mit dem neu angeschafften ONH-Messgerät am STI wurde nach jedem Prozessschritt der Sauerstoffgehalt gemessen. Durch das Auflösen der Nd-reichen Phase in Säure kann der



Sauerstoffgehalt im Pulver reduziert werden. Auch in den recycelten Magneten ist der Sauerstoffgehalt im Vergleich zu den Ausgangsmagneten geringer, was auch die guten Magnetereigenschaften erklärt. Darüber hinaus wurde ein Konzept zur Rückgewinnung der gelösten Seltenen Erden als Oxid entwickelt.

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 zielte darauf ab, seltene Erden innerhalb der EU beim Recycling von Permanentmagneten aus Haushaltsgeräten zurückzugewinnen. Im Projekt sollten 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.

Das Projekt hatte eine Laufzeit vom 01.04.2021 bis 30.09.2024.

Projektpartner waren 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 wurde ein Promotionsvorhaben durchgeführt.



Abb. 3: Regionale Kreislaufwirtschaft im Regional Innovation Scheme (RIS) INSPIRES

Es besteht ein dringender Bedarf, Recyclingtechnologien für seltene Erden zu implementieren. Das Projekt INSPIRES zielte auf die Rückgewinnung und Versorgung von seltenen Erden, innerhalb der EU, durch radikale Innovationen beim Recycling von Permanentmagneten ab. Dabei lag der Schwerpunkt auf einer der am leichtesten verfügbaren Quellen, nämlich Haushaltsgeräten wie z.B. Waschmaschinen, Wäschetrockner etc.

Das übergeordnete Ziel von INSPIRES war die Entwicklung und industrielle Umsetzung einer zirkulären, intelligenten und nachhaltigen Rückgewinnung und Verarbeitung von Seltenerd-magneten. INSPIRES optimierte Methoden für eine nachhaltige Gewinnung und Wiederverwertung sowie den Einsatz recycelter Magnete in neuen Motoren. Hierfür wurde für das effektive Zusammenspiel von Design, Recyclingtechnologien, Demontage- und Sammelstrategien sowohl an Post-Consumer-Elektroschrott wie auch an in der Entwicklung und Produktion befindlichen magnethaltigen Produkten geforscht.

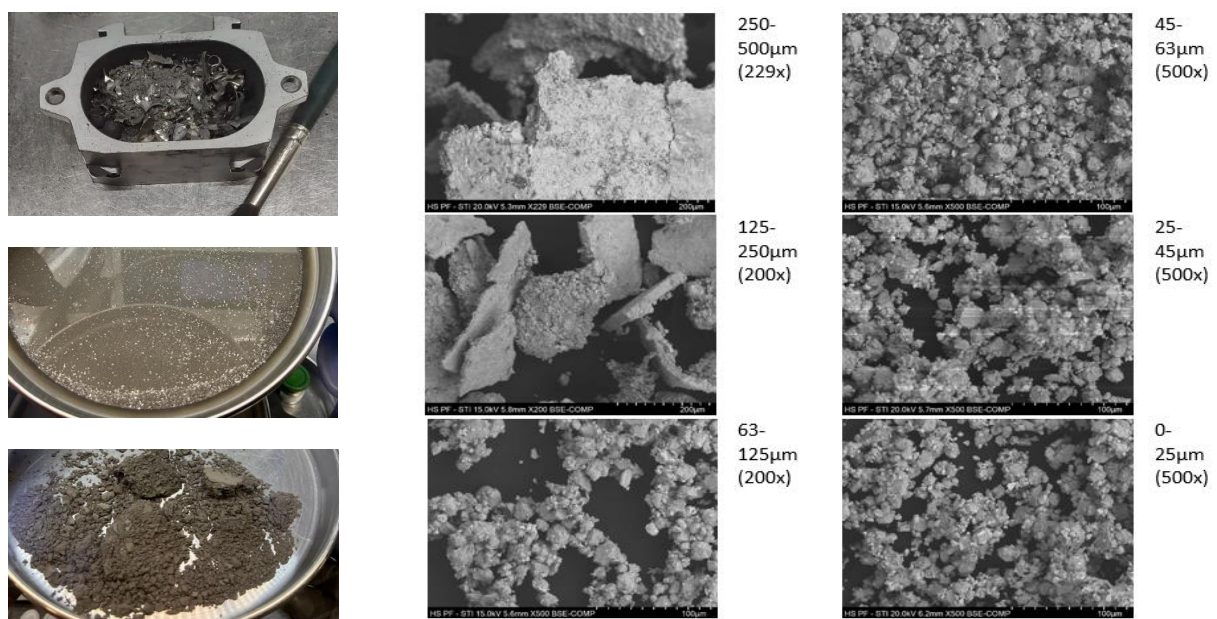


Abb. 4: Siebkaskadentest, um Beschichtungsrückstände automatisiert zu entfernen

Im Rahmen von INSPIRES wurden potenzielle Schrottquellen auf die Qualität und Quantität, die Lage und die Recyclingfähigkeit der enthaltenen Magnete untersucht und passende Sammel- und Demontagekonzepte entwickelt.

In einem realitätsnahen Ansatz wurden zum Beispiel gemischte Schrottquellen mit verschiedenen Beschichtungen und auch Magnettypen erprobt, um möglichst einfache Separationsmethoden, welche ein Minimum an manueller Arbeit erfordern, zu entwickeln. Beispielsweise wurde die Wasserstoffversprödung der Magnete im montierten Zustand erprobt und in nachfolgenden Separationstests geprüft, welche Beschichtungs- und Klebstoffreste aus dem entstehenden Pulver entfernt werden können. Auch wurden Tests zur einfachen Aussonderung von anderen Magnettypen durchgeführt.

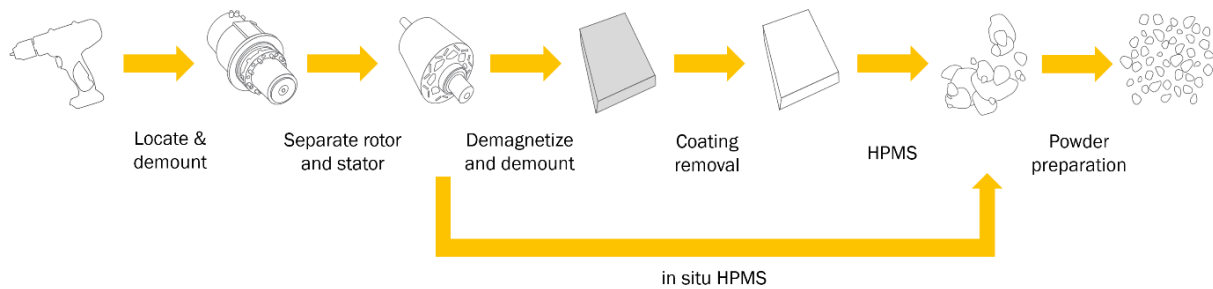


Abb. 5: Die Möglichkeit, zeitaufwändige Prozesse beim Recycling durch geeignetes Produktdesign abzukürzen oder zu überspringen, wurde erprobt. Daraus wurden Design-Empfehlungen hergeleitet.

Des Weiteren wurden die Einflüsse von Verunreinigungen während der Nutzung und des Recyclings auf die Eigenschaften der recycelten Magnete geprüft. Auf diese Weise wurde ein örtlich begrenztes Recycling-Ökosystem realitätsnah und effizienzorientiert analysiert, was als Basis für die industriell skalierbare Implementierung dienen soll. Die Ergebnisse sind dabei sowohl wertvoll für die effiziente Verwertung von gemischtem Schrott wie auch als Grundlage für eine Design-for-Recycling Richtlinie und für die recyclingrelevante Beschriftung von magnethaltigen Produkten.

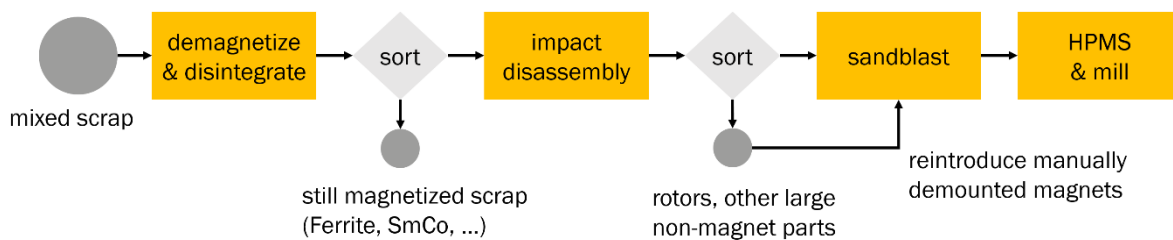


Abb. 6: Entwickelter Workflow für gemischten Schrott

Die Hochschule Pforzheim untersuchte dabei insbesondere die Wiederverwertung von Permanentmagneten mittels Wasserstoffverarbeitung von Magnetschrott, wobei die chemische Zusammensetzung, Magnetpulvermorphologie, mikrostrukturellen Parameter der fertigen Magnete und deren Magneteigenschaften mittels verschiedener Analysemethoden überwacht wurden.

### 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).

Ziel des Projekts ist der Aufbau einer resilienten Lieferkette für Magnetwerkstoffe auf Basis seltener Erden (RE). Diese sind unverzichtbar für den erfolgreichen grünen und digitalen Wandel in Europa und werden deshalb als äußerst versorgungskritisch eingestuft.

Im Rahmen des Projekts wird ein Produktionssystem aufgebaut, das eine widerstandsfähige und nachhaltige Lieferkette für Elektromobilität, erneuerbare Energien und weitere strategische Sektoren in Europa gewährleisten soll. Von der Hochschule Pforzheim federführend entwickelte Herzstücke sind vollautomatisierte Produktionstechnologien zur Herstellung von Hochleistungs-Sintermagneten für High-End-Anwendungen in Elektromobilität, grüner Energie (hauptsächlich Windkraft), Sensorik sowie ein neu entwickeltes Software-Tool für vollständige Rückverfolgbarkeit aller Prozessschritte unter ethischen und ökologischen Gesichtspunkten. Ein weiterer Forschungsschwerpunkt liegt in der Entwicklung von innovativen Technologien für die Legierungsherstellung und die Pulveraufbereitung, insbesondere von Sekundärmaterialien. Die Summe der Einzelmaßnahmen soll die Ausbeute und die Stabilität der Prozesse weiter signifikant verbessern und die dringend notwendige Erhöhung des Anteils von Recyclingwerkstoffen in der Produktion ermöglichen.

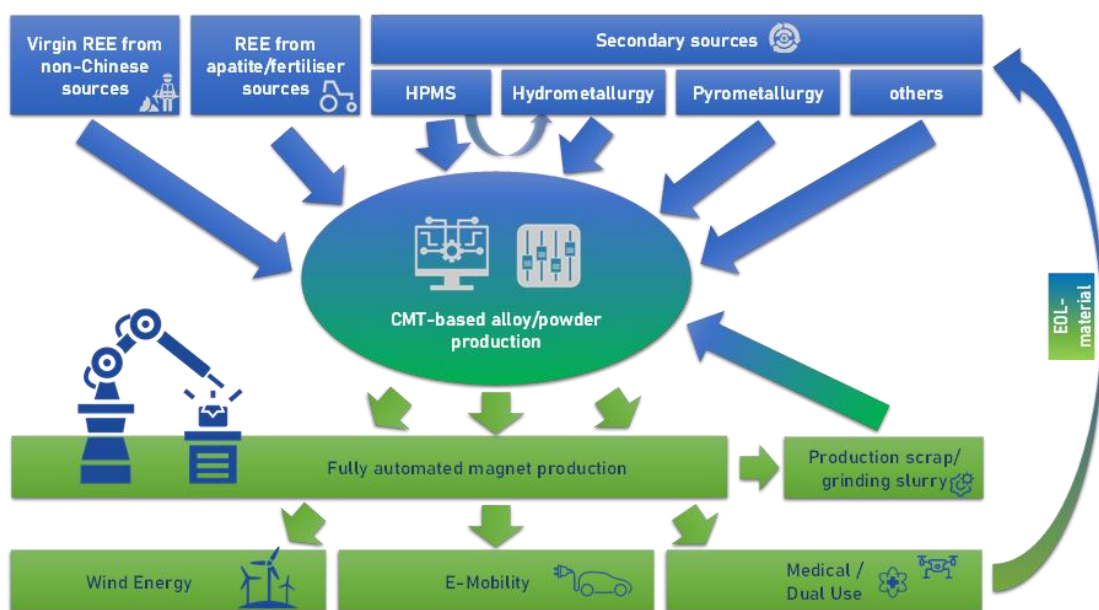


Abb. 7: REEsilience Materialflusskonzept



Durch die Vermeidung von Abfall und Umweltschäden und durch die Reduzierung von Energieverbrauch im Zusammenhang mit der Herstellung von Magneten werden die Projektergebnisse entscheidend zur Umsetzung des European Green Deals und zur Umsetzung der UN-Nachhaltigkeitsziele beitragen.

Bisher wurden folgende Ergebnisse erzielt:

- Aufbau einer detaillierten Datenbank relevanter Primärquellen für Seltene Erden mit 715 nicht-chinesischen 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 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 (siehe Abb. 8).
- Prüfung der Auswirkungen von Störstoffen durch Korrosion oder Reste von Klebstoffen und Beschichtungen, welche durch Prozesse wie ungenügende Separation, thermische Entmagnetisierung oder unzureichenden Schutz der Magnete eingebracht werden.

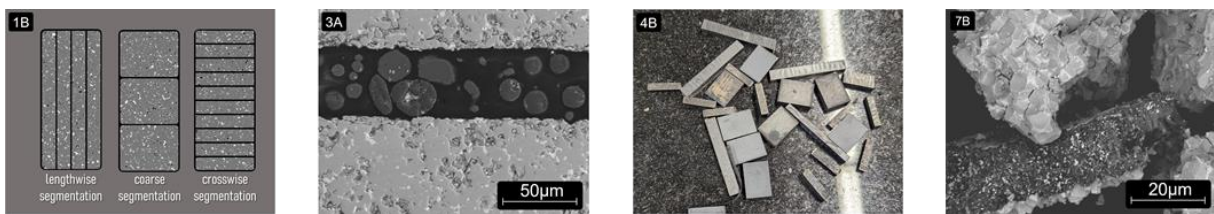


Abb. 8: Analyse laminierte Magnete

- Aufbau einer dynamischen Systemmodellierung für Permanentmagnete (siehe Abb. 9)

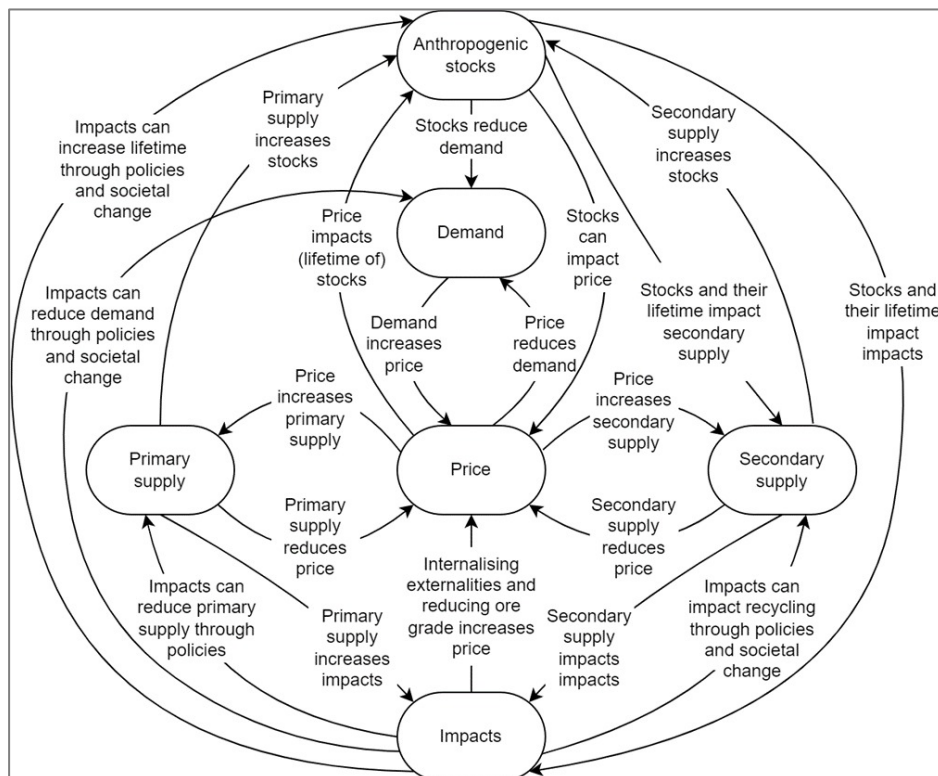


Abb. 9: Exemplarisches Subsystem der dynamischen Modellierung

- Datenblätter und Zeichnungen der zu produzierenden Demonstratormagneten
- Erste Tests zur Mischung von Neu- und EOL-Material zur Produktion von Permanentmagneten (siehe Abb. 10)

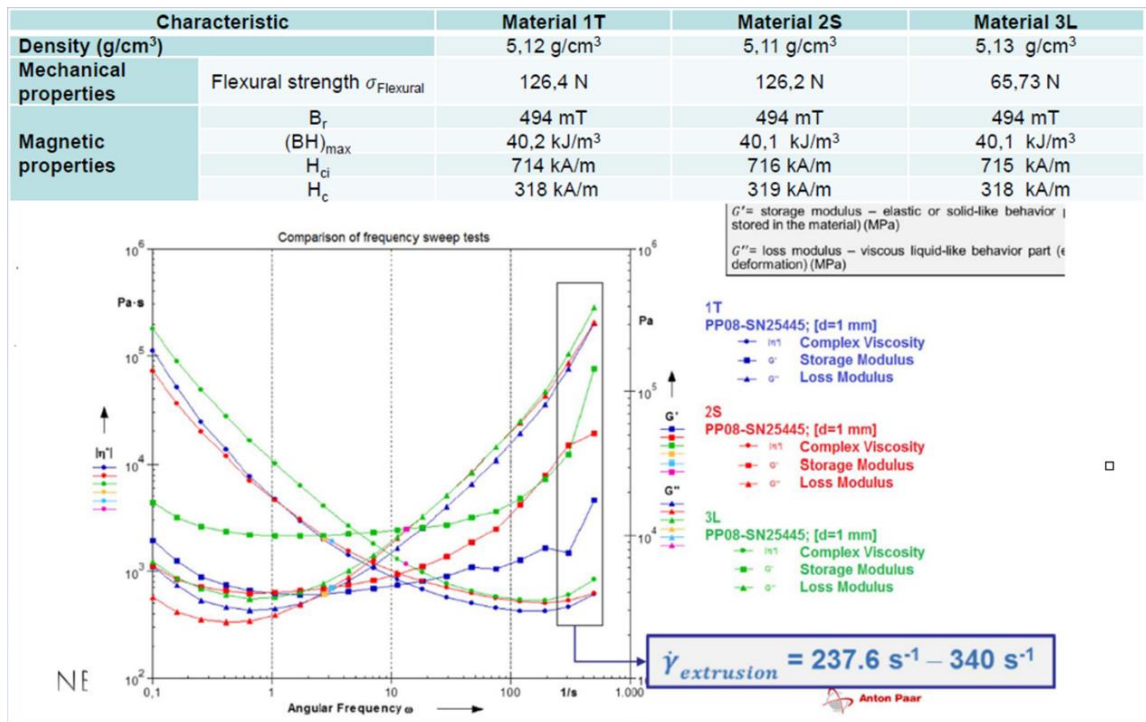


Abb. 10: Untersuchung unterschiedlicher Magnetlegierungen (Mischungen aus Neu- und EOL-Material)

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

Im Vorgängerprojekt von REEsilience, SUSMAGPRO, wurde eine Anlage zur Herstellung von Permanentmagneten durch Extrusion geplant, aufgebaut und es wurden erste Versuche durchgeführt, die im Projekt REEsilience weitergeführt wurden.

Es konnte zum ersten Mal gezeigt werden, dass mit dem Powder-Extrusion-Moulding (PEM)-Verfahren isotrope NdFeB-Permanentmagnete aus Recyclingmaterial hergestellt werden können. Bei diesem Verfahren wird das mit dem von der Universität Birmingham patentierten HPMS-Verfahren hergestellte Pulver mit einem Bindersystem aus Kunststoffen und Wachsen im Extruder gemischt. Das Pulver-Bindemittel-Gemisch, auch Feedstock genannt, wird dann durch eine Düse zu einem endlosen Strang gepresst (siehe Abb. 11).

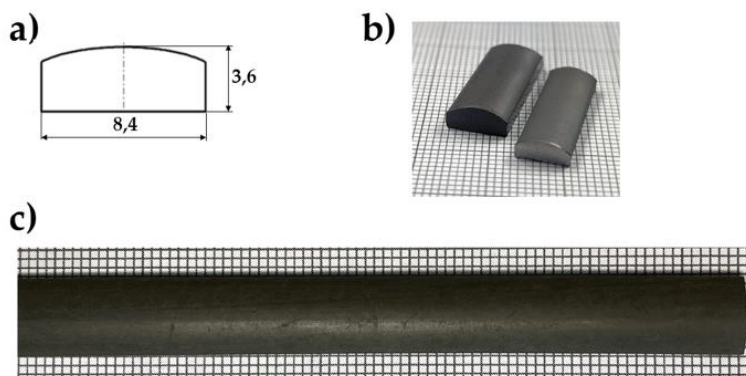


Abb. 11: Extrusionstrang mit Brotlaibquerschnitt

Nach der Formgebung werden der Binder entfernt und die Teile in einem Sinterofen unter Schutzgasatmosphäre gesintert. Abbildung 12 zeigt die Entmagnetisierungskurve eines NdFeB-Magneten, der mittels PEM hergestellt wurde. Die Kurve zeigt eine Remanenz von ca. 550 mT und eine Koerzitivfeldstärke von ca. 1.300 mT.

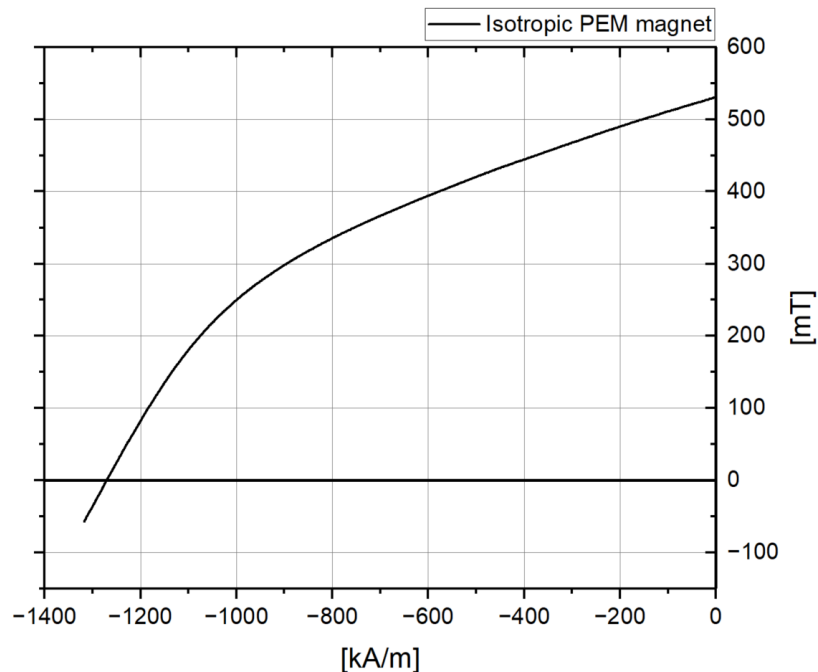


Abb. 12: Entmagnetisierungskurve isotroper PEM-Magnet

Die Gefügebilder in Abbildung 13 zeigen das Gefüge eines gesinterten PEM-Magneten. Die Bilder zeigen ein dichtes Gefüge mit kleineren Poren, die durch die Probenpräparation entstanden sind. Die Nd-reiche Phase ist gleichmäßig im Gefüge verteilt.

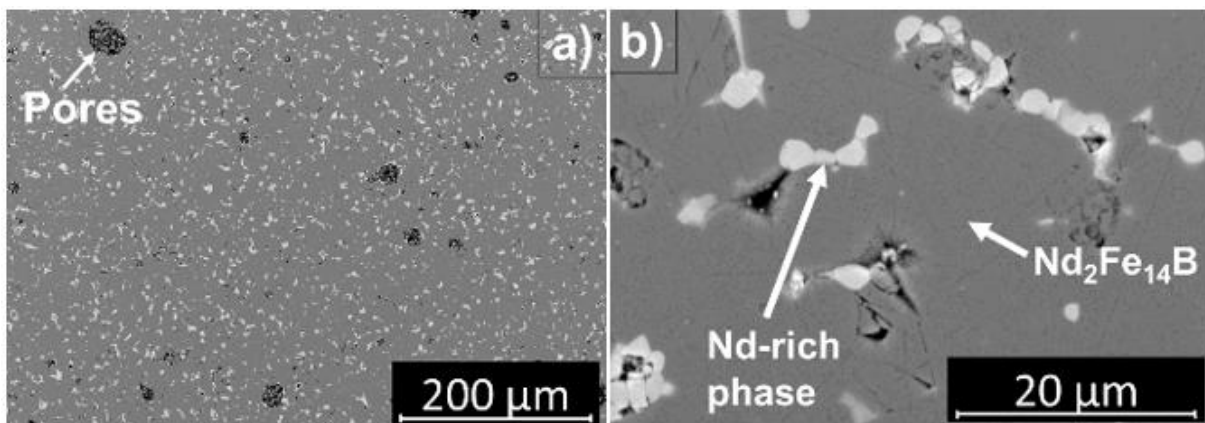


Abb. 13: Gefügebilder aufgenommen mit Hitachi REM eines gesinterten PEM-Magneten

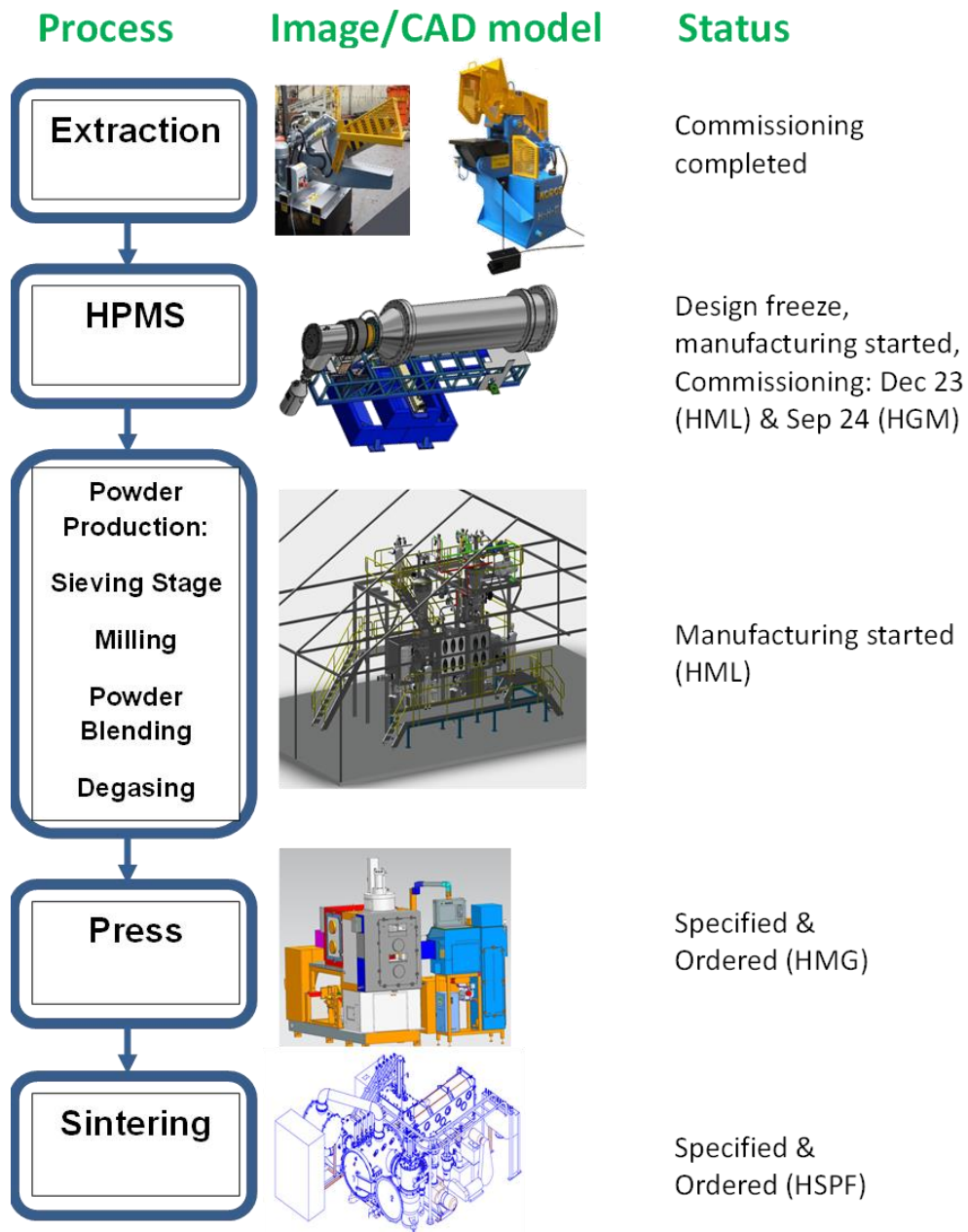


Abb. 14: Pulver- und Magnetproduktionslinie (Prozessschritte und Status der Umsetzung)

- Entwicklung neuer Magnetmessverfahren zur Integration in die vollautomatisierte Produktionslinie (Abb. 15) inkl. Hard- und Softwareentwicklung



Abb. 15: 3D-Magnetscanner (links) und 2D-Magnetometer auf XY-Tisch (rechts)



- Aufbau des Prototyps einer innovativen Schmelzflusselektrolyse-Zelle (Abb. 16) zur umweltfreundlichen Gewinnung von hochreinen SE-Metallen bei deutlich verringerter Schadgasentwicklung unter Verwendung einer inerten Anode

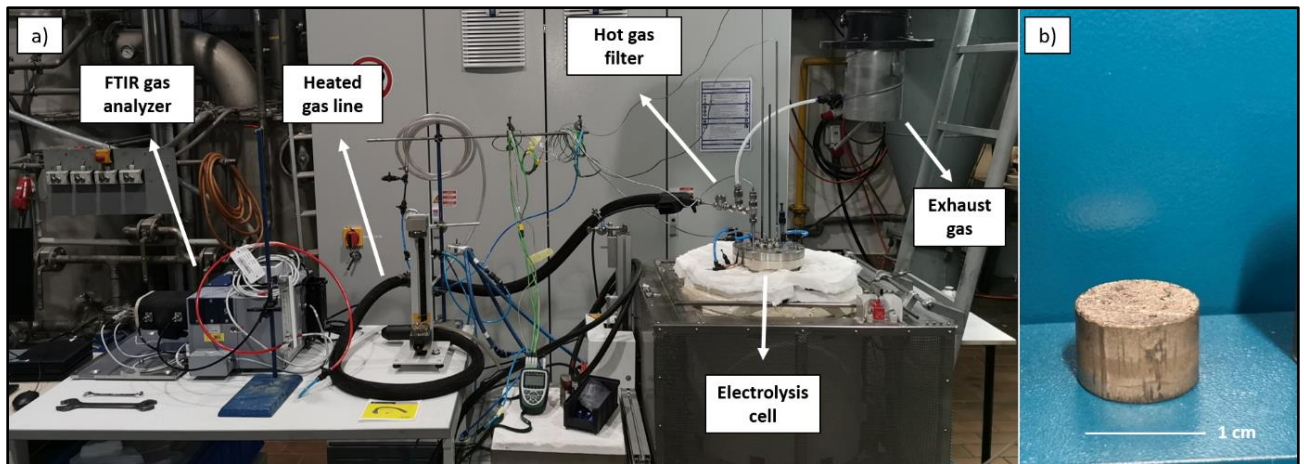


Abb. 16: Pilotanlage der Schmelzflusselektrolyse (a) und inerte Anode (b)

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

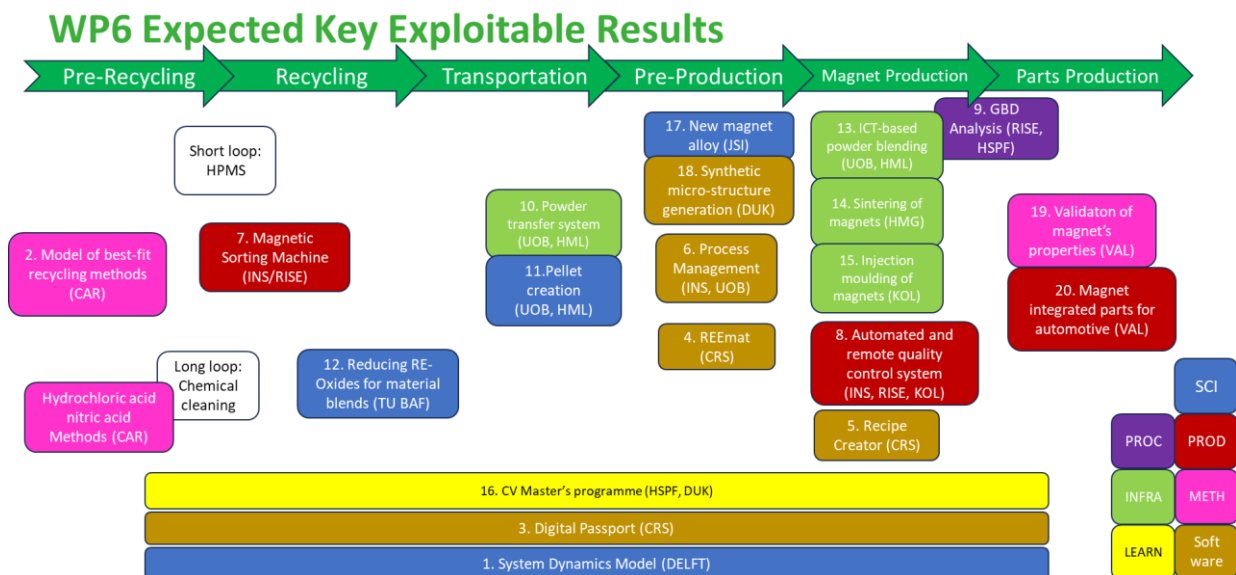


Abb. 17: Erwartete verwertbare Hauptergebnisse im Projekt REEsilience

2024 wurden im Rahmen von „REEsilience“ zwei Masterarbeiten und zwei Promotionen 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 Act der EU und zum Aufbau einer CEN-Normungsgruppe „Seltene Erden“ leisten. Im Rahmen der CEN-Normungsgruppe wurde die Leitung einer Arbeitsgruppe zur Vorbereitung des Einführungsrechtsakts des Art. 28 des Critical Raw Materials Act übernommen, welche sich mit der Beschriftung von magnethaltigen Produkten auseinandersetzt. Somit wird sichergestellt, dass die Forschungsergebnisse zahlreicher Forschungseinrichtungen und kooperativer Projekten rechtlich zukünftig umgesetzt werden können.

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.

### **Projekt Aurum Nova**

Im ZIM-Förderprogramm wurde erfolgreich das Projekt „Aurum Nova“ beantragt. Das Projekt unter der Leitung von Prof. Carlo Burkhardt hat eine Laufzeit vom 01.01.2023 bis 31.12.2025 und erfolgt in Zusammenarbeit mit dem Projektpartner Fa. Wellendorf Gold-Creationen GmbH & Co. KG in Pforzheim.

Aurum Nova zielt darauf ab, neuartige Goldfarben für den Schmuckbereich zu entwickeln und Ringe als Prototypen herzustellen. Hierbei stehen sowohl neue Fertigungsverfahren als auch neue Produkte im Fokus.

Aufgrund ihrer herausragenden Medienbeständigkeit, guten Umformbarkeit und besonderer Farb- und Glanzeigenschaften sind Goldwerkstoffe seit vielen Jahrtausenden bevorzugte Werkstoffe für hochwertige Schmuckanwendungen. Aufgrund der Mischbarkeit mit farbverändernden metallischen Legierungselementen im schmelzflüssigen Zustand können verschiedene Goldfarben erzeugt werden, die von Kupferrot über Grüngelb bis Weiß reichen und die in Premiumanwendungen als einfarbige oder mechanisch gefügte Multi-Color-Gestaltungselemente eingesetzt werden. Einschränkungen im Legierungsspektrum ergeben sich dabei hinsichtlich der mechanischen Eigenschaften (z.B. Verschlechterung der Umformbarkeit und Duktilität), gesetzlicher Vorgaben (z.B. EU-Verordnungen 1907/2006 „REACH“ und 65/2011 „RoHS“) sowie der Hautverträglichkeit (z.B. Nickellässigkeit). Trotz vielfältiger Anstrengungen ist es deshalb bisher nicht gelungen, hochwertige Schmuckwerkstoffe mit einem Goldanteil von mindestens 75% außerhalb des beschriebenen Farbspektrums herzustellen und durch eine geeignete Wahl der Füllstoffe gleichzeitig höhere Härte und damit Verschleißbeständigkeit bzw. Kratzerunempfindlichkeit zu erzielen.

Im Vorhaben Aurum Nova wird eine innovative Prozesskette entwickelt, um neuartige 18-Karat-Goldwerkstoffe mit Farben außerhalb des bekannten Spektrums durch modifiziertes Heiß-Isostatisches Pressen (HIP) im TRL 3-4 herstellen zu können. In einem zweistufigen Prozess wird zunächst eine mechanische Pulvermischung 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. Dies beinhaltet sowohl hochschmelzende metallische Elemente (z.B. Refraktärmetalle) wie auch nichtmetallische Werkstoffe wie z.B. Keramiken, Gläser, Kohlenstoff etc., was die Darstellung eines deutlich erweiterten Farbspektrums erwarten lässt. Es wird weiterhin versucht, durch die Auswahl der Füllstoffe höhere Härte und ein damit verbessertes Verschleißverhalten zu erzielen. Das modifizierte HIP-Verfahren verspricht höchste Präzision und Oberflächenqualität.

Ein Beispiel dafür zeigt das Gold-Glas-Composite in Abbildung 18.

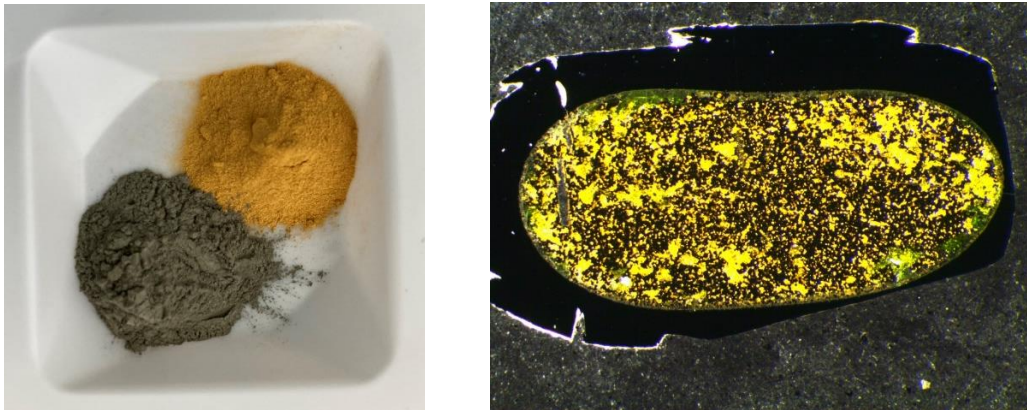


Abb. 18: Gold- und Zinn-Pulver (links) und Gold-Glas-Composite unter dem Stereomikroskop (rechts)

Abbildung 19 zeigt eine im HIP-Verfahren erzeugte intermetallische  $Al_2Au$ -Phase, die eine Rosé-Färbung aufweist.

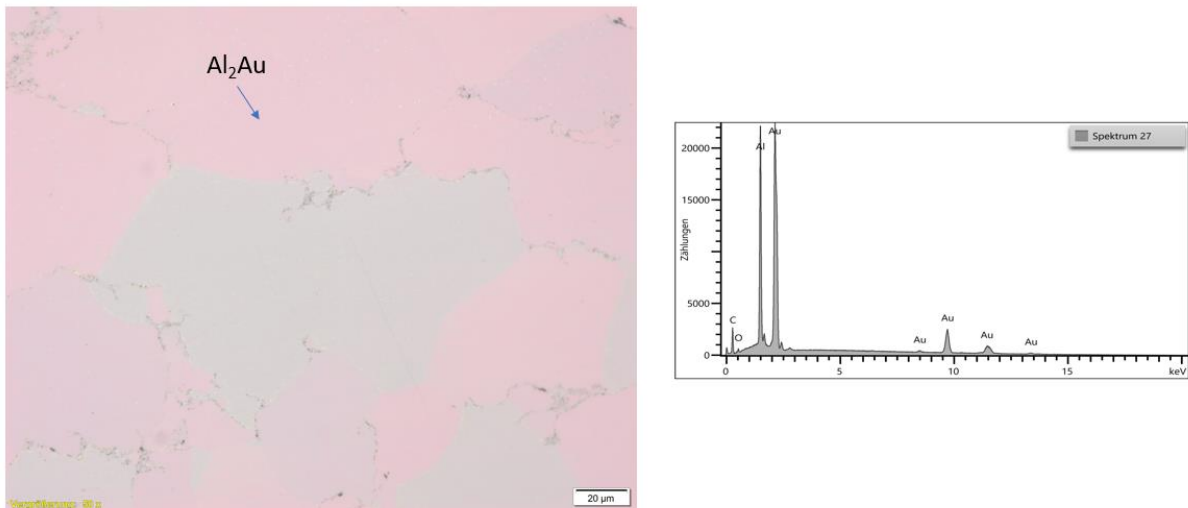


Abb. 19: Schliffbild der intermetallischen  $Al_2Au$ -Phase (links) und XRD-Analyse (rechts)

## Projekt PRESERVE

Im Rahmen des Förderprogramms PAN HAW BW entstand das Projekt „PRESERVE“ unter der Leitung von Prof. Dr. Mario Schmidt (INEC) und Prof. Dr. Carlo Burkhardt (STI). Das Projekt hat eine Laufzeit vom 01.10.2023 bis 30.09.2027 und erfolgt in Zusammenarbeit mit der Hochschule Aalen als Projektpartner.

Das Projekt umfasst die Entwicklung von Konzepten für die Bewertung und den Einsatz von Recyclingmaterialien aus Seltenerdmetallen und Li-Ionen-Batterien.

Das Forschungsvorhaben PRESERVE verfolgt das Ziel, die Kreislaufwirtschaft für Seltenerd-magnete und Lithium-Ionen-Batterien zu fördern, indem Rezyklate systematisch bewertet und deren Einsatzmöglichkeiten sowie Alterungseigenschaften analysiert werden. Hierfür werden spezifische Konzepte und Werkzeuge entwickelt, die eine standardisierte Bewertung der Rezyklate ermöglichen.

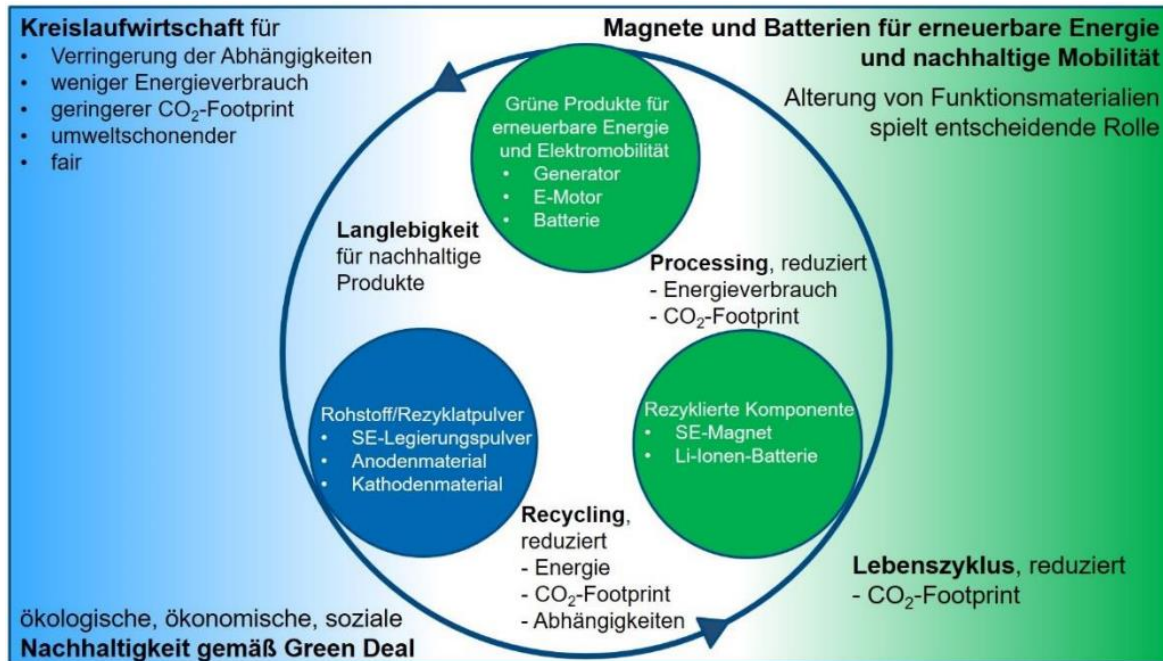


Abb. 20: PRESERVE schafft die Voraussetzungen für eine gelingende Kreislaufwirtschaft für Seltenerd-magnete und Li-Ionen-Batterien

Im Fokus steht die Untersuchung des Einflusses von Materialzusammensetzung, mikrostrukturellem Aufbau und möglichen Ungängen auf die Anwendungseigenschaften und die Alterung der Bauteile. Ziel ist es, Alterungsrisiken zu minimieren, Einsatzgrenzen zu definieren und geeignete Anwendungen für die Rezyklate abzuleiten. Diese technischen Bewertungen werden mit umfassenden Lebenszyklusanalyse(LCA)-Betrachtungen verknüpft, um ökologische und ökonomische Aspekte in die Kreislaufwirtschaft zu integrieren.

Durch Einbinden von Methoden der Künstlichen Intelligenz werden nutzerfreundliche und industriell einsetzbare Softwaretools zur effizienten Qualitätsbewertung und Eigenschaftsprognose der im Projekt untersuchten Magnete und Batterien entwickelt. Dies schont kritische Ressourcen, steigert Nachhaltigkeit und Lebensdauer von E-Maschinen und Batterien und macht Lieferketten vom asiatischen Markt unabhängiger.

Das STI befasst sich im Projekt PRESERVE mit dem Recycling von Magneten aus seltenen Erden. Ziel dabei ist es, einen ressourcenschonenden und Recyclingprozess zu entwickeln, bei dem die Eigenschaften der Magnete erhalten bleiben, um eine gelingende Kreislaufwirtschaft aufzubauen.

2024 wurden im Rahmen von PRESERVE eine Masterarbeit und eine Promotion betreut.

### Projekt HARMONY

Im Rahmen des Förderprogramms Resilient Value Chains 2023 konnte das Projekt HARMONY unter der Leitung von Prof. Dr. Carlo Burkhardt erfolgreich beantragt werden. Das Projekt hat eine Laufzeit vom 01.01.2024 bis 31.12.2026. Projektpartner sind Asociación Centro Tecnológico Ceit; Asociación Española de Normalización; Copreci S Coop; Erion Compliance



Organization S.C.A.R.L.; European Science Communication Institute gGmbH; Fraunhofer-Gesellschaft zur Förderung der angewandten Forschung e.V.; Ghent University; KOLEKTOR MOBILITY Upravljanje naložb d.o.o.; Lancor 2000 S.Coop; Magnax; MAGNETI LJUBLJANA Podjetje za proizvodnjo magnetnih materialov, d.d.; MEAB Chemie Technik GmbH; Mondragon Goi Eskola Politeknikoa Jose Maria Arizmendiarieta S.Coop.; Politecnico di Milano; Steinbeis Innovation gGmbH; Technische Universität Clausthal; TU Bergakademie Freiberg; Universidad del País Vasco; Universität Florenz; University of Birmingham.

Das Projekt HARMONY zielt darauf ab, die Selbstversorgung und Wettbewerbsfähigkeit der europäischen Industrie zu stärken und eine widerstandsfähige Rohstoff-Wertschöpfungskette zu ermöglichen, indem ein innovatives, umweltfreundliches und sicheres Recyclingverfahren für Seltene Erden (REEs) aus ausgedienten NdFeB-Dauermagneten entwickelt und im Pilotmaßstab validiert wird. Der Recyclingkreislauf umfasst die Sammlung und Demontage von EoL-NdFeB-Magneten und WEEE-Schrott, die Rückgewinnung von REE-Metallen durch einen indirekten Recyclingprozess, die Herstellung von recyceltem NdFeB-Pulver durch drei direkte Recyclingmethoden, die Herstellung von Magneten aus dem recycelten Pulver und die Validierung der recycelten Magnete in Endnutzeranwendungen. Die Schritte der Sammlung und des Recyclings werden in 8 Pilotprojekten mit einer endgültigen TRL von 6–7 durchgeführt. Die Kombination von direkten und indirekten Recyclingtechnologien wird die Behandlung von Schrott ermöglichen, der NdFeB in jeder Form enthält (gesinterte oder gebundene Magnete). Die recycelten NdFeB-Magnete werden in denselben Anwendungen eingesetzt wie die primären Pulvermagnete, da sie vergleichbare Eigenschaften aufweisen. Darüber hinaus können sie auf demselben Weg recycelt werden. Es wird ein Masterplan für die Verbreitung, Nutzung und Kommunikation (DECMP) entwickelt, um die Auswirkungen über die Laufzeit des HARMONY-Projekts hinaus zu maximieren.

HARMONY wird bei der Entwicklung der neuartigen Produkte auf bestehenden Normen aufbauen, die Kompatibilität mit den Marktbedingungen gewährleisten und die Transparenz für potenzielle Kunden erhöhen.

Die wirtschaftliche, ökologische und soziale Tragfähigkeit dieser Prozesse wird durch Lebenszyklusanalysen (LCA), soziale Lebenszyklusanalysen (S-LCA) und Lebenszykluskostenanalysen (LCCA) nachgewiesen. Darüber hinaus wird die soziale Innovation einschließlich des Bürgerdialogs, politischer Fragen, Normung und Ethik berücksichtigt, um die nichttechnologischen Hindernisse zu überwinden, die eine kurzfristige Markteinführung dieser neuartigen Technologien erschweren.

### **Projekt REfficient**

Im Rahmen des Förderprogramms FH-Kooperativ 1-2023 entstand das Projekt „REfficient“ (Lokal verstärkte Dauermagnete für nachhaltige und effiziente elektrische Maschinen) unter der Leitung von Prof. Dr. Carlo Burkhardt. Das Projekt hat eine Laufzeit vom 01.06.2024 bis 31.05.2028. Projektpartner sind die Hochschule Aalen; Audi AG; ZF Friedrichshafen AG; Robert Bosch GmbH; Arnold Magnetic Technologies AG; Magnetfabrik Bonn GmbH.

Gesamtziel von REfficient ist die Identifikation und die Entwicklung prozesstechnischer Möglichkeiten zur Realisierung innovativer Dauermagnete mit inhomogenem Eigenschaftsverlauf, die kritische Rohstoffe nur in jenen Bereichen enthalten, die im Maschinenbetrieb besonders beansprucht sind. Dabei gilt es nicht nur, den inhomogenen Eigenschaftsverlauf über intelligente Prozessführung maßgeschneidert einzustellen, sondern auch seine Machbarkeit und Effizienz qualitativ und quantitativ nachzuweisen. Schlüssel hierfür sind neu zu entwickelnde

materialographische und magnetometrische Analysetechniken, die in Verbindung mit begleitenden Finite-Elemente-Simulationen eine differenzierte Untersuchung des wesentlich komplexeren Magnetaufbaus und der daraus resultierenden Eigenschaftsverteilung ermöglichen. Basierend auf der erzielten Leistungsfähigkeit und Bauteilqualität (Festigkeit, Maßhaltigkeit) wird der technisch-wirtschaftliche Mehrwert gradierter Magnete für Anwendungen in E-Maschinen und der eingesetzten Fertigungstechnologien unter Einbeziehung von Resilienz- und Nachhaltigkeitsaspekten bewertet. Das Projekt ist gleichzeitig ein wichtiger Schritt in Richtung einer umfassenden Kreislaufwirtschaft für Seltenerdmetalle, da mit dieser Methode zu einem späteren Zeitpunkt auch Recycling-Magnete signifikant aufgewertet und technisch/wirtschaftlich konkurrenzfähig gemacht werden können. So kann sich Europa von chinesischen Importen unabhängiger machen und zur Verfügung stehende Ressourcen optimal nutzen.

Hauptinnovation ist die grundlegende Erforschung der Möglichkeiten zur Realisierung von inhomogenen Dauermagneten über verschiedene Prozesstechniken und des eindeutigen Nachweises des damit realisierten gradierten Eigenschaftsverlaufs der magnetischen Kenngrößen. Ein Verständnis über die Einflussgrößen/Stellhebel auf den Grad der Gradierung (scharfe Grenzfläche, kontinuierlicher Übergang) wird für ein gezieltes Maßschneiden der Magnete erarbeitet. Dabei kommt im Volumen der Magnete auch weniger ressourcenkritisches Material (Ce-Magnete) verstärkt zum Einsatz. Es wird abgeschätzt, wie sich mit inhomogenen Magneten gezielt Ressourcen einsparen lassen, E-Maschinen dadurch effizienter werden und so ein Beitrag zur CO<sub>2</sub>-Reduzierung im Rahmen der Elektrifizierung breiter Bereiche geleistet werden kann. Der Fokus in Aalen liegt auf Sintermagneten, Korngrenzdiffusion (Grain Boundary Diffusion GBD), Analytik und begleitende Finite-Elemente-Simulation (FEM), der Fokus in Pforzheim auf Metallspritzguss (Metal Injection Moulding, MIM) und Extrusion (jeweils auch als Mehrkomponenten-Variante) sowie zugehöriger Pulver-/Binderentwicklung (Feedstock).

REfficient erlaubt maßgeschneiderte Magnet-Prototypen nach einem Baukastenprinzip, bei dem verschiedenste Materialkombinationen A (Rand) und B (Body) möglich sind. Dabei sollen zwei unterschiedliche Arten von Magnet-Prototypen umgesetzt werden:

Low-Cost-Magnet – Kombination FeNdB (A) und Fe(NdCe)B (B): Mit Ce-substituierten Magneten können die Kosten deutlich gesenkt werden. Mindestens 20% der im Body enthaltenen Menge an Seltenerdmetallen besteht aus Ce (> 20 Gew.-% Ce-Substitutionsgrad).

High-End-Magnet – Kombination Fe(NdDy)B (A) und FeNdB (B): Der Dy-haltige Rand veredelt die Magnete und macht diese hochkoerzitiv. Maximal 30% der im Rand enthaltenen Menge an Seltenerdmetallen besteht aus Dy.

Im Rahmen des Projekts wird eine Masterarbeit betreut, die im Laufe des Projekts in eine Promotion übergeht.

### **Projekt GREENE**

Im Rahmen des Förderprogramms Horizont Europa – Resilient Value Chains wird das Projekt „GREENE“ (Single-Grain Re-Engineered ND-FE-B Permanent Magnets) unter der Leitung von Prof. Dr. Carlo Burkhardt durchgeführt. Das Projekt hat eine Laufzeit vom 01.06.2024 bis 31.05.2028. Projektpartner sind das Centre national de la recherche scientifique (CNRS-IJL); Consiglio nazionale delle ricerche (CNR); Hochschule Aalen; HyProMag GmbH; Jožef Stefan Institute; MAGNETI LJUBLJANA Podjetje za proizvodnjo magnetnih materialov, d.d.; Robert Bosch GmbH; Steinbeis 2i GmbH; Technische Universität Wien; Universidad de Zaragoza; Universität für Weiterbildung Krems; Universiteit Leiden; Vinnytsia National Technical University.

Dauermagnete aus Seltenen Erden (REE) auf der Basis von Nd-Fe-B sind unverzichtbar für den Einsatz in Elektrofahrzeugen und Windkraftanlagen und damit von zentraler Bedeutung für die Zukunft der grünen Energie in Europa. Diese Magnete haben hervorragende magnetische Eigenschaften und basieren auf der Phase  $\text{Nd}_2\text{Fe}_{14}\text{B}$ . Sie sind jedoch nicht frei von Schwächen: Beispielsweise werden die intrinsischen Eigenschaften der tetragonalen  $\text{Nd}_2\text{Fe}_{14}\text{B}$ -Phase nur unzureichend genutzt und Europa ist bekanntermaßen von REE-Importen aus China abhängig.

Das Projekt GREENE basiert auf der Idee, dass die Grenzflächen zwischen der  $\text{Nd}_2\text{Fe}_{14}\text{B}$ -Phase und der Korngrenzenphase eine entscheidende Rolle bei der Magnetisierungsumkehr spielen und derzeit die maximal erreichbare Koerzitivfeldstärke begrenzen. Da die konventionellen Sinterprozesse jedoch den Gesetzmäßigkeiten des Nd-Fe-B-Phasendiagramms folgen müssen, ist es schwierig zu kontrollieren, welche Phasen sich an den Korngrenzen bilden.

GREENE zielt auf die Entwicklung neuartiger Nd-Fe-B-Permanentmagnete ab, indem  $\text{Nd}_2\text{Fe}_{14}\text{B}$ -Körner und damit verbundene Verunreinigungen aus der vorhandenen Nd-reichen Phase entfernt werden und eine neue  $\text{Nd}_2\text{Fe}_{14}\text{B}$ /Korngrenze aus neuen und recycelten Rohstoffen in situ erzeugt wird. Dieser Prozess ermöglicht einen anpassbaren REE-Gehalt in der Korngrenze und könnte den Bedarf an schwerem REE reduzieren oder sogar eliminieren. Die neuen GREENE-Magnete werden ressourceneffizienter sein und eine um etwa 20% höhere Koerzitivfeldstärke, eine um 10% höhere Remanenz und ein um 20% höheres maximales Energieprodukt ( $\text{BH}_{(\text{max})}$ ) aufweisen. Durch Schnellabschreckung sollen Phasengleichgewichte vermieden und metastabile Zustände erreicht werden. Dazu werden neuartige Korngrenzen und Grenzflächen in situ mithilfe mikromagnetischer Simulationen definiert. Nach ersten Tests an gezielt gezüchteten  $\text{Nd}_2\text{Fe}_{14}\text{B}$ -Einkristallen soll diese Technologie auf isolierte Einzelkörner aus Magnetpulvern aus Neumaterial und Rezyklat angewendet werden, um eine neue Form von Nd-Fe-B-Magneten zu entwickeln. GREENE wird dabei technologischen Reifegrad 6 erreichen, indem ein Prototyp des Magnetherstellungssystems in einer realen Betriebsumgebung (Beta-Prototyp-Systemstufe) getestet und seine Tauglichkeit demonstriert wird.

Ein an der Hochschule Pforzheim entwickeltes Pulverauffbereitungsverfahren (NeoLeach-Verfahren) nutzt organische Säuren (Zitronensäure), um die neodymreiche Phase aus der Matrixphase zu entfernen. In EOL-Magneten ist der Sauerstoffgehalt (2.000-5.000 ppm) produktions- und alterungsbedingt höher als in Neumaterial (200-500 ppm). Der höhere Sauerstoffgehalt kann beim Recycling über den Short-Loop-HPMS-Prozess zu einer Verringerung der magnetischen Eigenschaften führen, da die Oxide beim Sintern nicht aufgeschmolzen werden können. Wegen des geringeren Anteils an flüssiger Phase wird nicht die volle Dichte der Magnete erreicht. Die neodymreiche Phase besteht, wie der Name schon sagt, hauptsächlich aus Neodym. Wie alle Seltenen Erden ist es sehr reaktiv gegenüber Sauerstoff. Dies führt auch dazu, dass die Oxidation der Magnete hauptsächlich in dieser Phase stattfindet. Die hohe Reaktivität, die auf das sehr niedrige Standardreduktionspotenzial von Neodym zurückzuführen ist, kann man sich aber auch zunutze machen. Aufgrund des niedrigen Potenzials wird diese Phase im NeoLeach-Prozess zuerst von der Zitronensäure angegriffen. Stoppt man den Prozess, nachdem die neodymreiche Phase entfernt wurde, bleibt die Matrixphase nahezu unbeschädigt erhalten. In der Abbildung sind REM-Aufnahmen der einzelnen Pulverauffschlussschritte dargestellt (siehe hierzu auch Abbildung 2, Projekt RESolve).

Die Untersuchungen an den Pulvern haben gezeigt, dass die magnetischen Eigenschaften der Pulver zugenommen haben, was aber hauptsächlich darauf zurückzuführen ist, dass die nicht-magnetische neodymreiche Phase nun entfernt ist und das Ergebnis nicht mehr beeinflusst.

Selbst bei guter Prozesskontrolle ist der Masseverlust etwas höher als die Masse der neodymreichen Phase, so dass eine teilweise Auflösung der Matrixphase nicht ausgeschlossen werden kann. Die TEM-Analyse der säurebehandelten Pulverpartikel zeigt, dass sich auf den Partikeln eine ca. 25 nm dicke Oxidschicht gebildet hat (siehe Abbildung) und die Partikel auch leicht von der Säure beeinflusst werden.

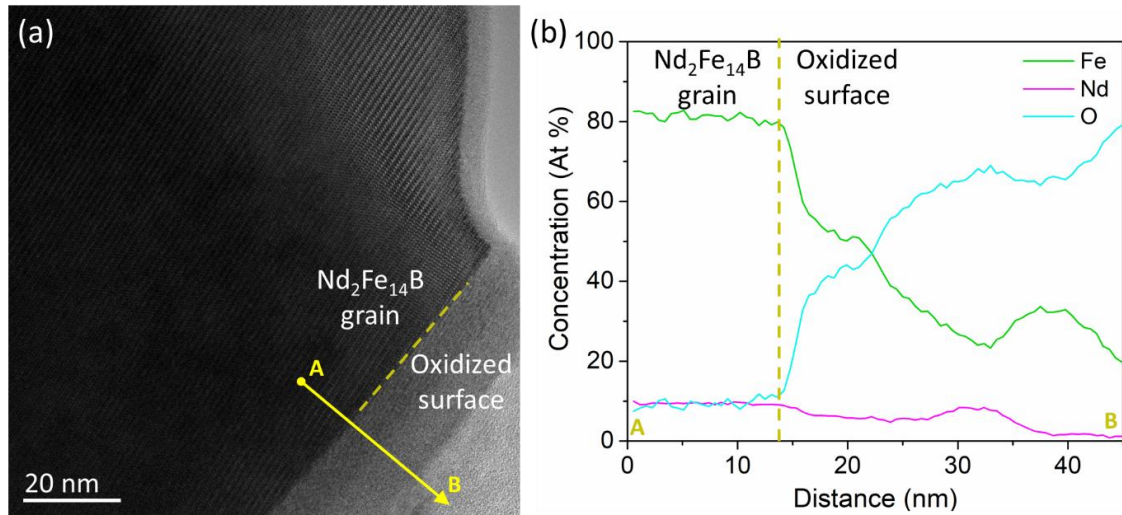


Abb. 21: a) TEM-BF-Querschnittsbild eines NeoLeach-Partikels b) EDX-Linienprofilanalyse entlang des gelben Pfeils auf dem TEM-Bild

Sauerstoffmessungen an den Pulvern haben gezeigt, dass der Sauerstoffgehalt reproduzierbar von anfänglich 3.500–4.000 ppm auf unter 2.000 ppm und damit auf die Hälfte reduziert werden kann. Aus den aufbereiteten Pulvern wurden konventionelle Sintermagnete hergestellt. Sie wurden mit 5 Gew.-% Nd-Hydrid versetzt, kaltisostatisch gepresst, gesintert und einer zweistufigen Wärmebehandlung unterzogen.

Dabei wurde die ursprüngliche Remanenz nahezu erreicht, teilweise sogar leicht übertroffen. Es konnten bis zu 80% der Koerzitivfeldstärke erreicht werden (siehe Abb. 22).

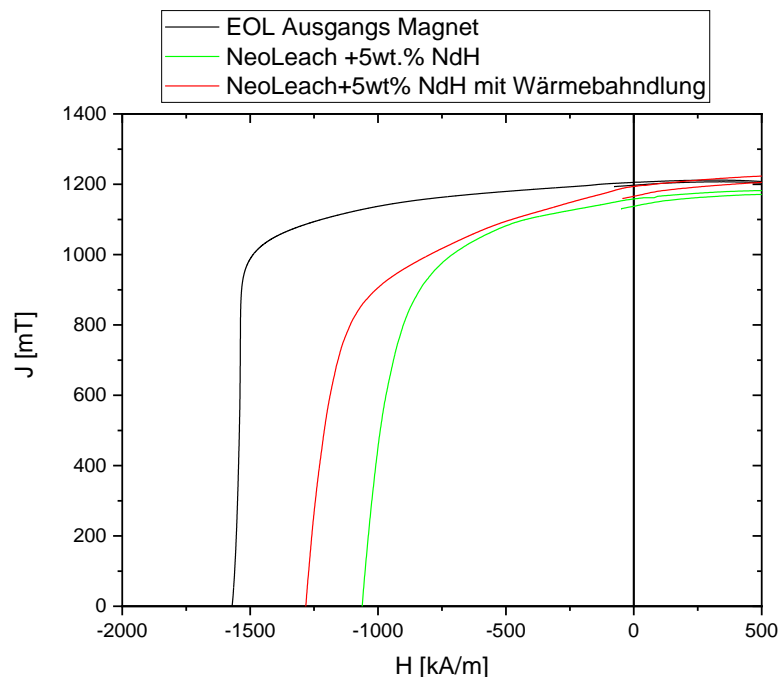


Abb. 22: Hysteresekurven des Ausgangsmagneten und des Recyclingmagneten



Es ist davon auszugehen, dass durch weitere Optimierung der Sinterparameter die Koerzitivfeldstärke noch gesteigert werden kann. Jeder Sinterprozess führt in der Regel immer zu einem gewissen Kornwachstum, welches sich negativ auf die Koerzitivfeldstärke auswirkt. Die Abbildung 23 zeigt, dass die Recyclingmagnete eine größere Korngröße aufweisen, was die geringere Koerzitivfeldstärke erklärt. Durch ein hochenergetisches Mahlverfahren, wie z.B. eine Strahlmühle im Anschluss an den Säureprozess, könnten die Korngröße vor dem Sintern reduziert und die Magneteigenschaften verbessert werden. Im Projekt GREENE ist eine Hochenergie-Jetmühle der Firma Hosokawa Alpine projektiert, die im Laufe des 1. Quartals 2025 am STI aufgebaut werden kann. Die damit erzielten Ergebnisse werden anschließend mit denen ungemahlener Pulver verglichen.

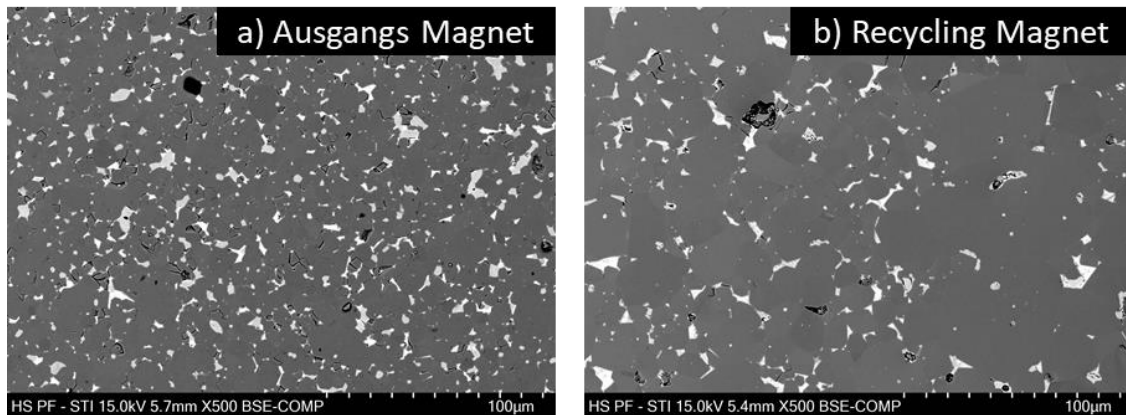


Abb. 23: REM -Aufnahmen des Ausgangsmagneten (a) und des Recyclingmagneten (b)

In 2024 wurde im Rahmen des Projekts eine Masterarbeit betreut.

### Projekt aProMag

Das Projekt aProMag (Anisotropic fast Prototyping of Magnetic Materials) wurde über EIT Manufacturing der Europäischen Kommission im Jahr 2023–2024 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 steht vor allem der 3D-Druck bei gleichzeitigem Einsatz eines Magnetfeldes im Fokus, 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 End-of-Life(EOL)-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. 24). Nach anfänglichen Liefer- und Materialschwierigkeiten konnten durch mehrere Parameterstudien erste Erfolge in der Herstellung von polymergebundenen Permanentmagneten mittels CMF erzielt werden (siehe Abb. 25). 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.

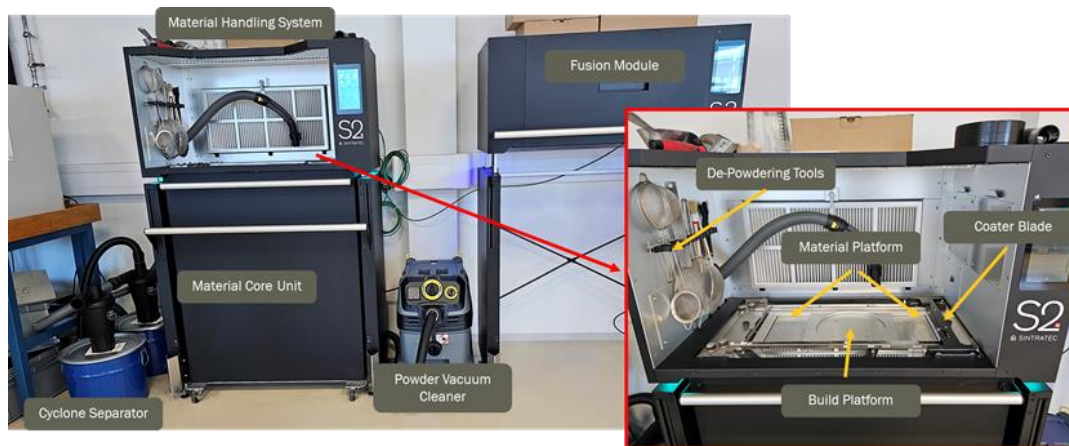


Abb. 24: Aufbau und wesentliche Bestandteile des LPBF-Druckers der Sintratec AG

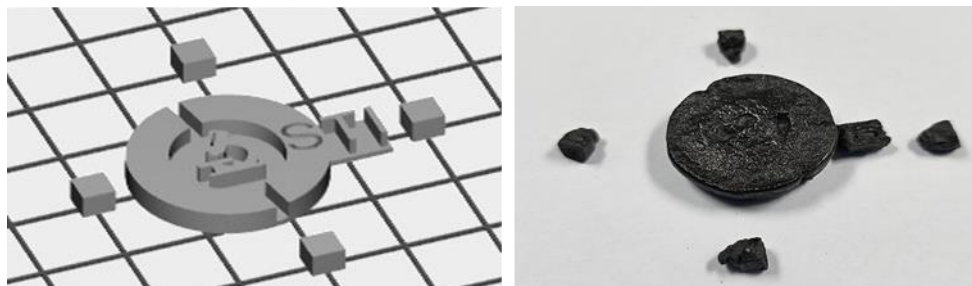


Abb. 25: CAD-Modell der gedruckten Teile für das Projekt (links) und die mit dem SmFeN-Feedstock gedruckten Bauteile im Projekt (rechts)

## Projekt RAPTOR

Das Projekt RAPTOR (Rapid Additive Prototyping and Technologies for Optimized Resources) wird über die EIT-Manufacturing der Europäischen Kommission gefördert und startete Mitte des Jahres 2024. Das Projekt RAPTOR verkörpert ein zirkuläres Geschäftsmodell mit einem bahnbrechenden Schritt in Richtung nachhaltiger Entwicklung und digitaler Transformation der Fertigung von seltenerdbasierten (RE-basierten) Permanentmagneten (PM), wobei der Fokus auf die Kommerzialisierung skalierbarer, effizienter Produktionstechnologien in einer Kreislaufwirtschaft gesetzt wird. Das Projekt widmet sich sauberen Produktionstechnologien und der Wiederaufbereitung, wodurch die Lücke zwischen den frühen Phasen des Produktdesigns und dem Endprodukt effektiv überbrückt wird. Es wird erwartet, dass seine Aktivitäten zu einem

verstärkten Einsatz von wiederaufbereiteten Produkten führen und so einen spürbaren Wandel hin zu einer nachhaltigen Industrielandschaft ermöglichen.

Im Hauptfokus der Untersuchungen stehen hierbei hauptsächlich Technologien, die eine Fertigung von individuell gestaltbaren Magneten durch den Einsatz unterschiedlicher additiver Fertigungsverfahren zur Herstellung von maßgeschneiderten RE-basierten isotropen und anisotropen Permanentmagneten ermöglichen. Die innovativen Aufbauten der zu untersuchenden Verfahren der Fused Filament Fabrication (FFF) und Cold Metal Fusion (CMF) gewährleisten ein höchstes Maß an Präzision und Ausrichtung sowie eine gesteigerte Materialeffizienz. Entscheidend hierbei ist, dass, neben kommerziell verfügbaren RE-basierten PM-Pulvern, vor allem die Nutzung von recycelten Pulvern aus End-of-Life(EOL)-Permanentmagneten vorgesehen ist, um einen möglichst hohen Grad der Wiederverwendbarkeit darstellen zu können. Das Projekt stellt somit die Nachfolge des Projektes aProMag dar. Die Hochschule Pforzheim stellt in RAPTOR einen wichtigen Partner in der Synthese, Charakterisierung und Weiterverarbeitung der für die additiven Fertigungsverfahren notwendigen polymergebundenen Magnetpulver und Filamente dar. Der Hauptfokus liegt im Allgemeinen in der Beschaffung, Bearbeitung und Charakterisierung der pulverförmigen Magnetwerkstoffe. Dies betrifft Untersuchungen hinsichtlich der chemischen Zusammensetzung sowie metallurgischen und magnetischen Charakterisierung der kommerziellen und HPMS-prozessierten EOL-Magnete. Diese werden in weiteren Schritten durch einen mehrstufigen Prozess (nasschemische Beschichtung) für die Feedstockverarbeitung, wo nötig, vorbereitet und durch weitere (interne wie externe) Partner zu druckbarem Pulverfeedstock und Filamenten verarbeitet.

Im ersten Projektabschnitt konnten die ersten Ergebnisse hinsichtlich der Charakterisierung und Verarbeitung der seltenerdbasierten PM-Pulver erzielt und für weitere Zwecke innerhalb des Projektes zur Verfügung gestellt werden. Das Hauptmaterial, das in die Untersuchung einbezogen wird, ist EOL-verarbeitetes NdFeB-Material aus einer spezifischen Schrottquelle mit einer guten Verfügbarkeit und geeigneten magnetischen Eigenschaften. Der hohe Gehalt an Seltenen Erden (RE) und die mögliche Mehrfachnutzung in einer Kreislaufwirtschaft (HPMS-Verarbeitung und einfache Wiederverwendbarkeit in der additiven Fertigung) stärken diese Position im Hinblick auf die übergeordneten wirtschaftlichen und ökologischen Ziele des Projekts. Das HPMS-prozessierte und (anschließend) jet-gemahlene Material weist eine geeignete Partikelgrößenverteilung (PSD) für AM auf, mit einer mittleren Partikelgröße  $D_{50}$  von  $13,3 \mu\text{m}$ ,  $D_{10}$  von  $6 \mu\text{m}$  und einem  $D_{90}$  von  $32,3 \mu\text{m}$  für das HPMS-Pulver sowie einer mittleren Partikelgröße  $D_{50}$  von  $4,5 \mu\text{m}$ , einem  $D_{10}$  von  $1,9 \mu\text{m}$  und einem  $D_{90}$  von  $7,9 \mu\text{m}$  für das jet-gemahlene Pulver. Das HPMS-Pulver weist einige Agglomerate auf, während das strahlgemahlene Pulver feiner dispergiert ist (vgl. Abb. 26). Dies könnte zu unterschiedlichen Problemen in der weiteren Verarbeitung führen, wie z.B. ungleichmäßige Verarbeitung (beim HPMS-Pulver) oder lokale Agglomerationen und/oder Oxidation (insbesondere beim strahlgemahlene Pulver). Der anfängliche Sauerstoffgehalt (einschließlich Stickstoff und Wasserstoff) des HPMS- und des strahlgemahlene Stadiums sowie die Legierungszusammensetzung des Ausgangsmaterials wurden bestimmt, um Veränderungen in der Zusammensetzung und die daraus resultierenden magnetischen Eigenschaften während der nachfolgenden Prozessschritte und der finalen additiven Fertigung beurteilen zu können.

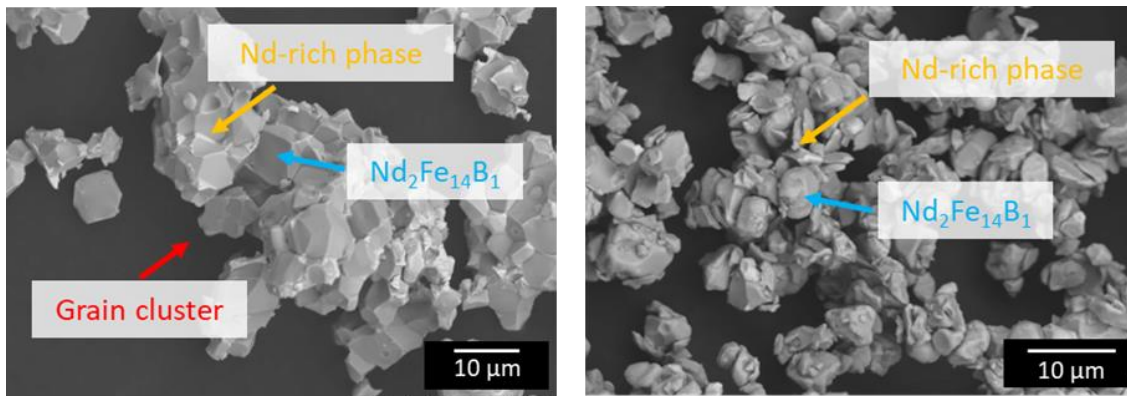


Abb. 26: EOL-HPMS-prozessiertes NdFeB-Material (links) und anschließend jet-gemahlenes Material (rechts)

RAPTOR zielt auch darauf ab, kommerziell verfügbare Primärmaterialalternativen neben EOL-NdFeB für die Herstellung von polymergebundenem Feedstock und die additive Fertigung von polymergebundenen Magneten zu untersuchen. Neben der Ermöglichung der Prozesskette zur Herstellung von polymergebundenen PMs mit EOL-NdFeB wurde ein alternativer Weg mit verschiedenen primär RE-basierten Materialien (und auch Legierungen) etabliert. Sollte sich aus irgendeinem Grund herausstellen, dass die beschriebene Prozesskette mit dem EOL-Material nicht funktioniert oder die Ergebnisse/Eigenschaften für eine Industrialisierung unzureichend sind, wurden verschiedene mögliche Alternativen für RE-basierte PM-Pulvermaterialien identifiziert und beschafft. Drei NdFeB-Pulver und ein SmFeN-Pulver wurden hierbei identifiziert, die in ihrer Beschaffenheit und/oder Zusammensetzung die Möglichkeiten zur Verarbeitung AM-gefertigter polymergebundenen PMs verbessern sollen.

Um die Pulver besser für die Herstellung zu einem polymergebundenen Feedstock nutzbar zu machen bzw. deren Eigenschaften hinsichtlich von AM zu verbessern, wurden Untersuchungen zur Sphäroidisierung durchgeführt. Neben der Verbesserung der Fließfähigkeit und Dispergierbarkeit soll die Sphäroidisierung dazu beitragen, die Ausrichtung der Partikel während des Druckvorgangs zu erleichtern. Die hierzu betrachtete Sphäroidisierung mittels eines induktiv gekoppelten Plasmas (ICP) ermöglicht die direkte Sphäroidisierung gegebener Metallpulver, ohne die ursprüngliche Partikelgrößenverteilung (PSD) und -größe signifikant zu verändern. Das folgende Schema beschreibt den Prozess der Sphäroidisierung mittels ICP (Induktiv gekoppeltes Plasma), welches für die Untersuchung verwendet wurde.

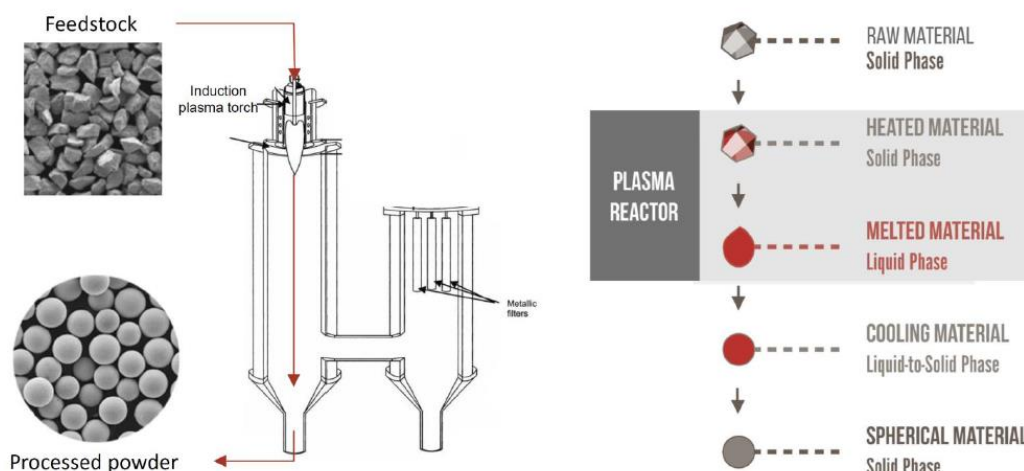


Abb. 27: Schematische Darstellung des Sphäroidisierungsprozesses mittels ICP (Ref.: TEKNA Plasma Systems Inc., Kanada)



Das Ziel war es, einen hohen Anteil sphäroidisierter Partikel zu erreichen, während die gleiche Phasenzusammensetzung beibehalten (keine Bildung von  $\alpha$ -Fe), der O-Gehalt nicht signifikant erhöht und eine akzeptable Ausbeute erzielt werden (mehr als 50% der Ausgangsmasse als Ergebnis). Die Ergebnisse mit EOL-NdFeB zeigen, dass die Sphäroidisierung grundsätzlich funktioniert. Abhängig vom verwendeten Parametersatz (Kombination aus Zufuhrgeschwindigkeit und Abkühlrate) wird ein Volumenanteil von bis zu 90% sphäroidisiert, egal ob es sich um HPMS- oder jet-gemahlene Pulver handelt (vgl. Abb. 28).

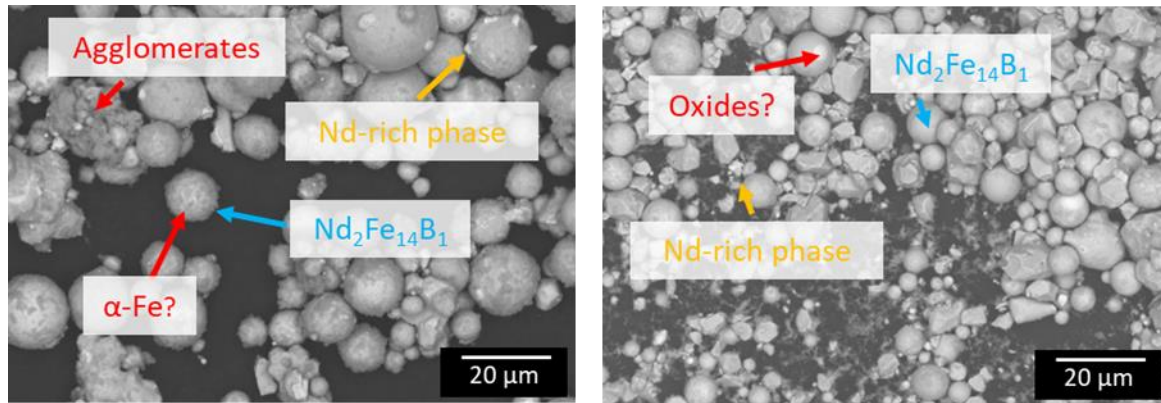


Abb. 28: Ergebnisse der Sphäroidisierung von EOL-HPMS-prozessiertem NdFeB-Material (links) und anschließend jet-gemahlene Material (rechts)

Trotz guter Ergebnisse bei der Sphäroidisierung weist der Prozess keine zufriedenstellende Materialausbeute auf (maximaler Ertrag von 30% bei niedrigerer Ausbeute). Darüber hinaus liegt ein genereller signifikanter Anstieg des Sauerstoffgehalts vor, was auf eine unzureichende Atmosphärenkontrolle während der Verarbeitung im Plasma hinweist. Der Sauerstoffgehalt der Pulver verdoppelt sich etwa beim HPMS-Pulver und verachtfacht sich beim strahlgemahlene Pulver. Der RE-Gehalt verändert sich mit größeren Anteilen kleiner Partikel in der PSD (insbesondere beim strahlgemahlene Pulver), was die stöchiometrische Zusammensetzung des Gesamtmaterials beeinflusst. Dies kann die zu erzielende Phasenzusammensetzung ändern und die magnetischen Eigenschaften negativ beeinflussen.

Hinsichtlich der erzeugten Phasenzusammensetzung, der Ausbeute und des erhöhten Sauerstoffgehalts wurde beschlossen, dass der Prozessschritt der Sphäroidisierung nicht weiterverfolgt wird. Als nächsten Schritt gilt es, die Oberflächenbeschaffenheit und Oxidationsbeständigkeit der vorliegenden Pulver zu verbessern, um eine weitere Verarbeitung zu Feedstock und den Einsatz an Luft zu ermöglichen. Abhängig von der genauen Zusammensetzung (manche Legierungen haben Bestandteile, die bereits von Grund auf beständig sind) kann dieser Schritt übersprungen und direkt mit der Feedstock-Herstellung begonnen werden.

In 2024 wurden im Rahmen des Projekts zwei Masterarbeiten betreut.

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

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

## 1.2.4 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 (Pedelects/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 Pedelects, 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 Prüfstandbau und Leichtbau (Kooperation von Prof. Dr. Peter Kohmann mit Canyon Bicycles GmbH) als auch aus öffentlich geförderten Programmen (FHprofUnt: BikeSafe, Ingenieurwachstum: BikeAssist, beide Projekte mit den Partnern Robert Bosch GmbH, Stuttgart und IPG Automotive GmbH, Karlsruhe). Drei kooperative Promotionen wurden bereits abgeschlossen, eine weitere ist gestartet. Insgesamt sind am Institut zurzeit und perspektivisch für die nächsten Jahre 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



Abb. 1: Institutsmitglieder und Mitarbeiter im ISBT, v.l.n.r.: Simon Mörmann, Marian 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:

KombiABS – Kombibremssystem für Pedelecs und S-Pedelecs

In den einschlägigen Gremien, insbesondere der AG Fahrrad- und S-Pedelec-Sicherheit des Deutschen Verkehrssicherheitsrats (DVR), wird intensiv diskutiert, wie sich die Sicherheit von Radfahrenden, insbesondere mit Pedelecs und S-Pedelecs, erhöhen lässt.

Ein wichtiger Punkt dabei ist die Kombibremse bei Pedelecs und S-Pedelecs, in Verbindung mit ABS, wie weitgehend bei Motorrädern bereits üblich. Bei heutigen Rädern betätigt ein Bremshebel eine Radbremse, also z.B. der rechte Bremshebel nur die Bremse am Hinterrad. Wird nur das Hinterrad gebremst, ist durch den hohen Schwerpunkt und die dynamische Radlastverlagerung nach vorne nur eine geringe Bremswirkung, beispielsweise unter  $2 \text{ m/s}^2$ , möglich. Werden dagegen wie bei der Kombibremse beide Räder mit einem Hebel gebremst, lässt sich die Verzögerung deutlich erhöhen und der Bremsweg verringern.

Die Kombibremse soll dabei ein ABS nicht ersetzen, sondern ergänzen oder auch unabhängig davon die Fahrsicherheit verbessern.

Auf der Eurobike wurden bereits erste Kombibremssysteme für Lastenräder vorgestellt.

Allerdings besteht noch ein hoher Forschungsbedarf bezüglich des Einsatzes und der Ausführung von Kombibremssystemen bei Fahrrädern:

1. Welchen Nutzen für die Verkehrssicherheit hat ein kombiniertes Bremssystem mit/ohne ABS bei S-Pedelecs und Pedelecs im Vergleich zum Stand von Technik und Gesetzgebung?
2. Welche Konzepte für kombinierte Bremssysteme mit/ohne ABS gibt es und welche Vor- und Nachteile haben sie in Bezug auf Verkehrssicherheit, Aufwand/Kosten, Gewicht, Bau- und Raum und Energieverbrauch?
3. Was sind die technischen Systemanforderungen an kombinierte Bremssysteme mit/ohne ABS für Pedelecs?



4. Erfordert ein kombiniertes Bremssystem bei S-Pedelecs/Pedelecs ein 2-Kanal-ABS (Vorder- und Hinterrad geregelt)?

Um diese Fragen zu klären, wurde am ISBT das Forschungsprojekt „KombiABS“ ins Leben gerufen. Es wird von Prof. Wrede geleitet und insbesondere im Forschungssemester im WS24/25 zusammen mit Studierenden und wissenschaftlichen Hilfskräften in Projekten und Thesarbeiten bearbeitet. Fachlich unterstützen Prof. Dr.-Ing. Stefan Hillenbrand bei den Themen Bremsdynamik/Simulation/Versuchsträger sowie Prof. Christa Wehner (emeritiert) bei der Nutzerumfrage.

Das Projekt läuft unter der Schirmherrschaft des DVR. In der AG Fahrradsicherheit wird regelmäßig darüber berichtet und diskutiert. Für das Projekt wurde ein Expertenbeirat gegründet.

Die gemeinnützige ARCD Verkehrssicherheits GmbH, eine Tochterfirma des Auto- und Reiseclubs Deutschland, unterstützt das Projekt finanziell.

Von Firmenseite sind in das Projekt eingebunden: Bosch eBike Systems in Reutlingen, Bremsenhersteller Magura in Bad Urach sowie der Fahrradhersteller Riese & Müller in Darmstadt.

Folgende 3 Aufgabenpakete wurden bearbeitet:

1. Computersimulation der Bremsdynamik mit Matlab/Simulink mit einfachem und danach detaillierterem Modell. Dabei kann das Modell aus dem früheren ISBT-Projekt „BikeSafe“ (Pedelec-ABS) genutzt werden.

Hierzu wurden in einem studentischen Forschungsprojekt im Master „Mechatronische Systementwicklung“ Simulationen durchgeführt und ausgewertet. Die Ergebnisse (Abb. 5) wurden auf der International Cycling Safety Conference 2024 in Imabari, Japan, vorgestellt (Abb. 6). In einem weiteren studentischen Forschungsprojekt soll das Simulationsmodell verfeinert und der Einfluss auf die Ergebnisse untersucht werden.

Status Computersimulation: Trekkingrad, 5% bergab,  $\mu_{max} = 0,8$

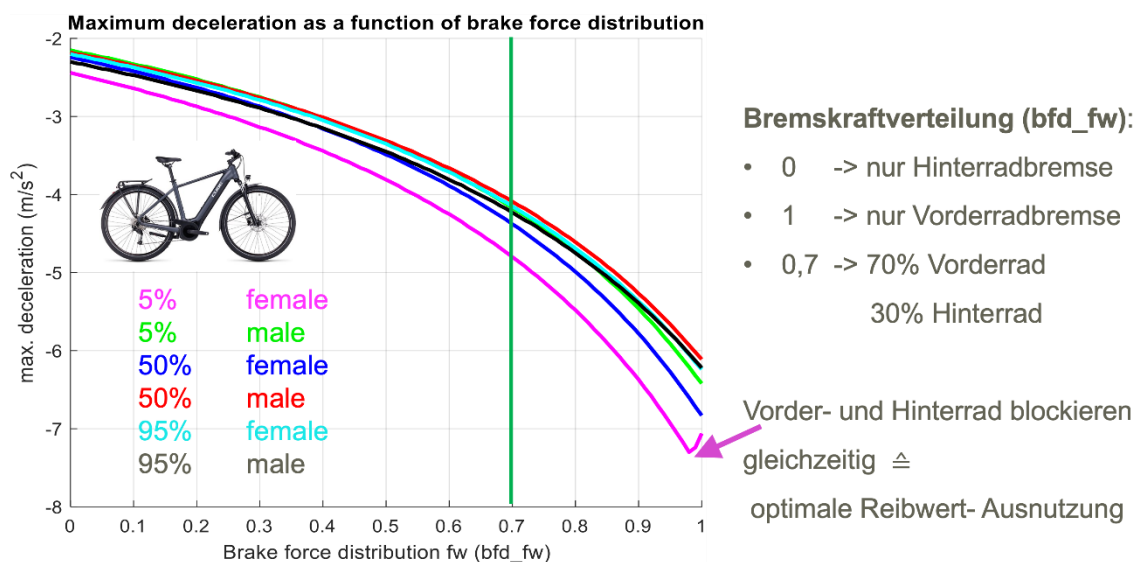


Abb. 5: Simulation der max. Verzögerung eines Trekkingrads abhängig von der Bremskraftverteilung und der Schwerpunktage verschiedener Fahrer und Fahrerinnen



Abb. 6: Posterpräsentation der Simulationsergebnisse auf der International Cycling Safety Conference 2024 im Nov. 2024 in Imabari, Japan

2. Systematische Befragung mit Unterstützung eines Umfrageinstituts, um das Bremsverhalten der Radfahrenden zu ermitteln. Recherche und eventuell Entwicklung eigener Ideen zu einer Naturalistic Cycling Study zum Bremsverhalten. Bei Letzterem werden instrumentierte Fahrräder von Probanden im Alltag genutzt und Daten aufgezeichnet.

Es wurde in 2024 eine erste Pilotumfrage zum Bremsverhalten mit 150 Teilnehmer/-innen (m/w und 4 Altersgruppen) über eine Agentur durchgeführt und von einer Hochschulabsolventin ausgewertet. Die beispielhafte Auswertung in Abbildung 7 zeigt, dass ca. 60% der Radfahrenden nicht wissen, welches Rad sie mit welchem Bremshebel abbremsen. Es ist vorgese-

## Pilotumfrage zum Bremsverhalten

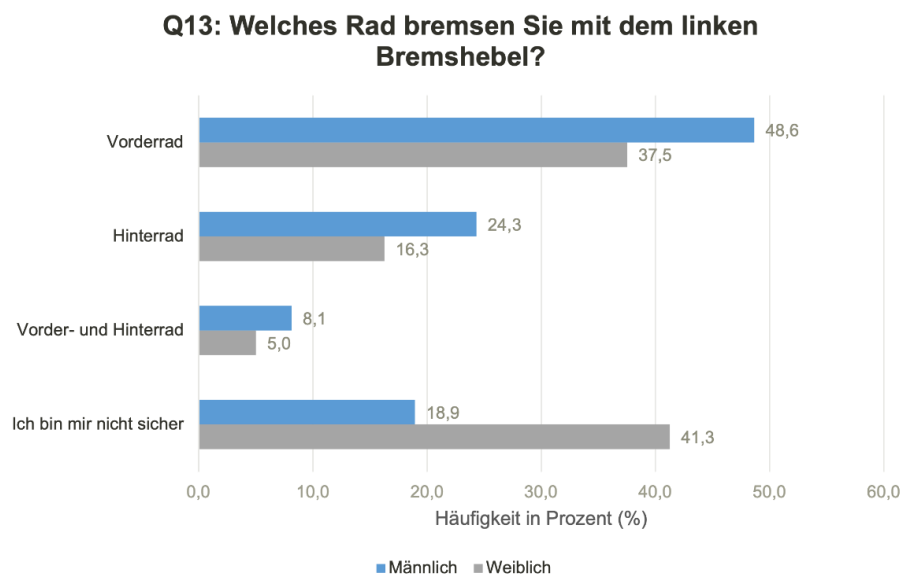


Abb. 7: Exemplarisches Ergebnis der Pilotumfrage zum Bremsverhalten mit 150 Probanden

hen, die Studie in 2025 mit einer höheren Teilnehmerzahl auszuweiten und weitere Detailauswertungen zu ermöglichen. Zu Naturalistic Cycling Study läuft ein Forschungsprojekt im Master Produktentwicklung.

3. Ausrüstung eines S-Pedelec-Versuchsträgers mit einer Bremsanlage, bei der softwarebasiert auf einfache Weise die Bremskraftverteilung zwischen Vorder- und Hinterradbremse bei verschiedenen Betätigungen eingestellt werden kann. Es handelt sich dabei um ein Brake-by-Wire-System, siehe Abbildung 8, für Versuchszwecke, mit einer mechanischen Backup-Bremse. Es ist für 2025 geplant, mit diesem Versuchsrad verschiedene Kombinationen von Kombibremсанlagen mit unterschiedlichen Bremskraftverteilungen, z.B. auch dynamisch an die Verzögerung gekoppelt, zu realisieren und im Fahrbetrieb zu testen.

Als Versuchsträger dient ein S-Pedelec von Fa. Riese & Müller. Es wurde im Rahmen einer Abschlussarbeit mechanisch umgerüstet, siehe Abbildung 9. Die Erstellung der Software sowie der dynamische Test der elektrischen Bremsbetätigung haben begonnen. Der Versuchsträger soll bis ca. Mitte 2025 in Betrieb genommen werden und dann für Versuche zur Bremskraftverteilung zur Verfügung stehen.

### Konzept für Pedelec-Versuchsträger mit elektronischem Bremskraftverteiler

Backup: 2. Bremse an Vorderrad (nicht dargestellt)

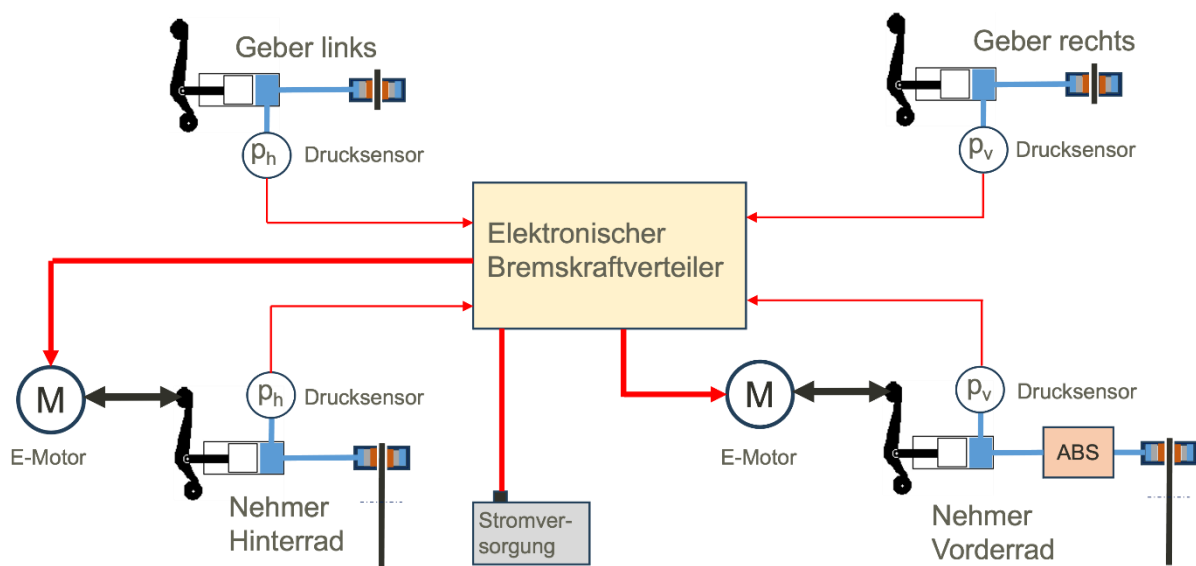


Abb. 8: Schemadarstellung der Bremsanlage des S-Pedelec-Versuchsträgers mit elektronischem, softwarebasiertem Bremskraftverteiler



S-Pedelec  
MTB Hardtail  
Riese & Müller  
Charger4 Touring HS  
Bosch Antrieb  
Bosch ABS Gen2

Abb. 9: S-Pedelec-Versuchsträger mit Hardware für elektronischen, softwarebasierten Bremskraftverteiler

### Aufbau eines Mehrkörpersystemmodells zur Analyse von Kettenschwingungen bei Mountainbikes

Das Zusammenspiel der Kräfte an den Kontaktpunkten, insbesondere an den Füßen und Händen eines Mountainbikers bei der Abfahrt, hat einen entscheidenden Einfluss auf das Fahrgefühl und die Fahrsicherheit. Problematisch ist dabei, dass die Störkräfte nicht nur durch äußere Faktoren, wie z.B. die Beschaffenheit des Trails, sondern auch durch die Geometrie des Bikes oder die verbauten Komponenten hervorgerufen werden können. Es ist daher das Bestreben aller Rahmen- und Komponentenhersteller, diese Problematik zu optimieren, um das jeweilige Produkt besser am Markt positionieren zu können. So werden z.B. zur Reduzierung von Störkräften auf die Füße spezielle Kettenblätter oder Naben angeboten, die Pedalrückschläge oder Kettenschwingungen verhindern sollen.

Ein grundlegendes Verständnis der physikalischen Phänomene, die hier ursächlich für das ungewünschte Verhalten verantwortlich sind, ist bislang nicht hinreichend erforscht. Daher bildet dieses Themenfeld den Schwerpunkt einer Dissertation, die am Institute for Smart Bicycle Technology (ISBT) der Hochschule Pforzheim und der Professur für Sportgeräte und -materialien der Technischen Universität München durchgeführt wird.

Im Rahmen einer umfassenden Analyse werden die Ursachen und Einflussfaktoren verschiedener dynamischer Effekte identifiziert und untersucht. Um ein tiefgreifendes Verständnis der komplexen mechanischen Kopplung und Wechselwirkungen zwischen Kettenschaltung, Kinematik und Fahrer während einer Abfahrt zu erlangen, wird ein ganzheitlicher Ansatz gewählt. Dieser vereint die Stärken der analytischen Herleitung, der numerischen Simulation und der experimentellen Untersuchung.

Mit den analytischen Modellen konnte bereits die mechanische Kopplung der einzelnen Komponenten einer Kettenschaltung ermittelt und die Wechselwirkung während des Einfederns analysiert werden. Basierend auf den gewonnenen Erkenntnissen wurde ein Messrad mit geeigneter Sensorik aufgebaut, wobei auch selbst entwickelte Komponenten zum Einsatz kommen.

Mit dem Messrad werden umfangreiche Messfahrten mit einem professionellen Fahrer durchgeführt. Die Auswertung der Messdaten ermöglicht eine Zuordnung und Kategorisierung der



Kräfte zu ihren Ursachen. Die Ergebnisse dieser Auswertung werden in Kürze in einer Fachzeitschrift veröffentlicht.

Abbildung 10 zeigt das verwendete Messrad. Es handelt sich um ein Norco Shore in der Größe L aus dem Jahr 2022. Das Rad ist mit entsprechender Sensorik ausgestattet, um die Kraftspitzen in den Füßen des Fahrers zu messen. Zusätzlich ist der komplette Antriebsstrang mit Sensorik ausgerüstet, um die Kettenbewegung ableiten zu können.



Abb. 10: Norco Shore Messrad (Größe L aus 2022) mit Sensorik für die Ermittlung von störenden Kräften in die Füße des Fahrers

Gegenstand der aktuellen Forschung ist der numerische Teil der Arbeit. Zu diesem Zweck wird das in Abbildung 10 dargestellte Messrad mit dem kompletten Antriebsstrang in einer Simulationsumgebung aufgebaut. Mit diesem Modell lassen sich für unterschiedliche Fahrsituationen reproduzierbar die Kraftwirkungen auf den Fahrer untersuchen. Das Ziel der Untersuchungen besteht darin, geeignete Einflussfaktoren für eine Minimierung von Kraftspitzen zu erforschen.

Zunächst wird das Verhalten der Kette in einem Laborversuch analysiert. Da moderne Fahrräder häufig nur mit einem Kettenblatt und bis zu 12 Ritzeln am Hinterrad ausgestattet sind, entsteht bei unterschiedlichen Kettenblatt-Ritzel-Kombinationen ein geometrischer Versatz, der zwangsläufig zu einem Schräglauf der Kette führt. Um diesen Schräglauf zu ermöglichen, wird von den Kettenherstellern zwischen den einzelnen Kettengliedern ein laterales Spiel vorgesehen.

Abbildung 11 zeigt einen einfachen Versuchsaufbau, mit dem das laterale Kettenspiel über mehrere Kettenglieder experimentell bestimmt werden kann. Dazu wird ein Kettensegment an der rechten Seite fest eingespannt und die Absenkung des losen Endes gemessen. Daraus lässt sich näherungsweise das mittlere Spiel zwischen den einzelnen Kettengliedern bestimmen.

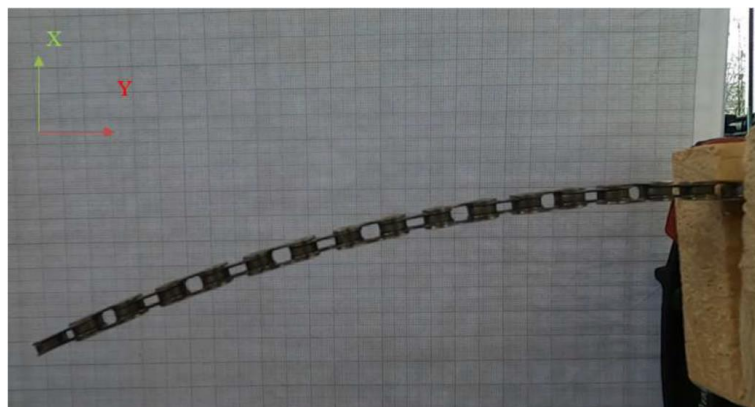


Abb. 11: Experimenteller Versuch zur Darstellung der lateralen Bewegung einer Kette

Mit diesen Messergebnissen werden die Freiheitsgrade in der Simulationsumgebung so angepasst, dass das reale Verhalten der Kette möglichst genau abgebildet wird. Diese Vorgehensweise ist essenziell, um eine möglichst detaillierte Nachbildung des Schwingverhaltens der Kette zu gewährleisten.

Im nächsten Schritt wird ein Funktionsmodell der gesamten Kettenschaltung erstellt, um die Simulationsfähigkeit der Kette und die vielen Einzelkontakte zu überprüfen. Die Ergebnisse dieser Analyse zeigen, dass das gewählte Modell für die numerische Simulation der Kettenschwingungen geeignet ist. Abbildung 12 zeigt das Funktionsmodell der Kette.

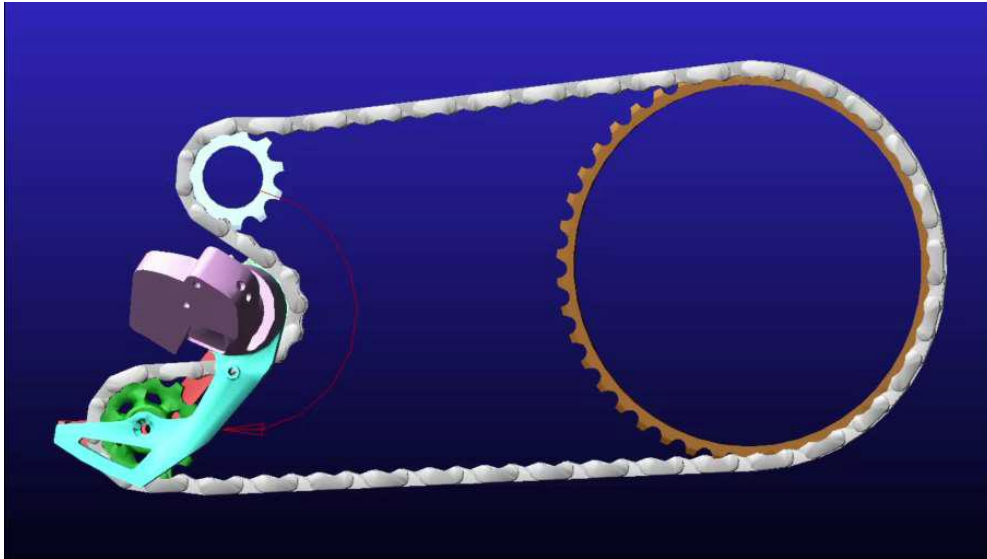


Abb. 12: Vereinfachtes Modell des Antriebsstrangs für die Überprüfung der Simulationsfähigkeit einer Kettenschaltung in Adams

Derzeit wird das Ziel verfolgt, das oben beschriebene Messrad in das vereinfachte Modell zu integrieren, um eine Verifizierung durchführen zu können. Gleichzeitig werden die Kontakte optimiert und damit der Rechenaufwand minimiert. Weiterhin ist geplant, das Modell mithilfe eines Python-Skripts aufzubauen, um eine einfache Anpassung des Modells an verschiedene Randbedingungen (Rahmenmodelle) zu gewährleisten.

### **Vorbereitung zum Start des DFG-Forschungsprojekts „HyTo3D“**

Die Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG) hat die Förderung des beantragten Forschungsprojektes „Verfahren zur hybriden Herstellung und Topologieoptimierung von umspritzten 3D-Wickelstrukturen für leichtbaugerechte, kostensensitive Strukturbauteile“ im Herbst 2024 bewilligt. Der Projektstart erfolgt im Frühjahr 2025 und wurde ab Herbst 2024 durch intensive Vorarbeiten vorbereitet. Projektpartner ist das Institut für Verbundwerkstoffe (IVW) der RPTU Kaiserslautern. Es ist geplant, mehrere Promotionsvorhaben im Rahmen des Projektes durchzuführen.

Zum Inhalt des Projektes:

Im Forschungsprojekt HyTo3D soll ein neuartiges Konzept für effiziente und lastgerechte Strukturen entwickelt werden, die aus der Hybridisierung aus kurzfaserverstärktem Thermoplast mit lokaler, duroplastischer Endlosfaserverstärkung entstehen. Interagierend wird eine spezielle Methode zur Auslegung dieser Strukturen auf der Basis eines erweiterten Ansatzes

zur Topologieoptimierung entwickelt, so dass Strukturbauteile mit höchster Festigkeit und Steifigkeit bei gleichzeitig geringster Masse sowie Kosteneffizienz und Großserientauglichkeit ermöglicht werden.

Zunächst muss zur Herstellung der Endlosfaserverstärkungen ein automatisiertes, roboterbasiertes 3D-Wickelfahren für Strukturen entwickelt bzw. deutlich erweitert werden, um komplexe, lastpfadgerechte Strukturen mit variabler Stranganzahl und einer hohen Leichtbaugüte fertigen zu können. Durch das nachträgliche Umspritzen mit kurzfaserverstärkten Kunststoffen sollen die Drucksteifigkeit/-festigkeit sowie die Oberflächenqualität erhöht und Funktionsflächen geschaffen werden. Es sollen bewusst duroplastische Endlosfaserstrukturen thermoplastisch umspritzt werden, um die im bekannten rein thermoplastischen Prozess bestehenden Verfahrens- und Geometriegrenzen zu erweitern. Die werkstoffbedingt hohen Steifigkeiten der duroplastischen Einleger erlauben es bspw., sehr feingliedrige Geometrien zu fertigen, die sich während den hohen Temperaturen des Spritzgussprozesses deutlich weniger verformen als thermoplastische Einleger. Zudem sind auch die späteren Bauteileigenschaften durch die duroplastischen Einleger weniger beeinflusst von den typischen bei Thermoplasten kritischen Einflussgrößen im Betrieb, z.B. Temperatur, Feuchte etc.

Die Möglichkeiten, die die Werkstoffkombination und das Fertigungsverfahren bieten, sollen simulativ beschrieben und in einer auf das Fertigungsverfahren angepassten Topologieoptimierung integriert werden. Der Optimierungsalgorithmus soll die Anisotropie des Verstärkungswerkstoffs (endlosfaserverstärkter Kunststoff) und die Steifigkeit des Basiswerkstoffs (kurzfaserverstärkter Kunststoff) berücksichtigen, die Interface-Festigkeit zwischen den Werkstoffen einbeziehen und auch entscheiden können, wo vollständig auf Werkstoff verzichtet werden kann. So soll das Potenzial der Werkstoffkombination möglichst vollständig ausgeschöpft werden. Hierbei ist das Interface zwischen der duroplastischen Verstärkungsstruktur und dem thermoplastischen Basismaterial von entscheidender Bedeutung und soll in diesem Projekt untersucht und prozesstauglich optimiert werden.

Zur Weiterentwicklung des Fertigungsprozesses und des Topologieoptimierers werden im Laufe des Projektes verschiedene Demonstratoren gefertigt, bei denen die Komplexität schrittweise gesteigert wird (ausgehend von der Fertigung einfacher Probekörper bis zu 2D- und 3D-Demonstratoren). Mit der Erhöhung der Komplexität der Probekörper und Demonstratoren wird neben dem Fertigungsverfahren auch die Topologieoptimierung validiert und stetig über die Projektlaufzeit weiterentwickelt.

Weitere Institutsaktivitäten im Jahr 2024

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

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

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

## 1.2.5 Institut für Werkstoffe und Werkstofftechnologien – IWWT

---

Im Jahre 2024 gab es in der Zusammensetzung der Arbeitsgruppen des IWWT keine Änderungen. Gesamtheitlich setzt sich das IWWT damit unverändert 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 wieder die wesentlichen Aktivitäten des IWWT in den Arbeitsgruppen zusammen.

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

### **Projekt „Bühler-Stiftung“ – Eigenschaften von Titanlegierung Ti6Al4V (Grade 5) in Abhängigkeit von ihrer Herstellungsart (Frau Ursula Christian)**

Der Werkstoff Titan Grade 5 findet ein vielfaches Anwendungsspektrum unter anderem in der Medizintechnik und der Verarbeitung und Verpackung von Lebensmitteln. Dabei kommt auch beim Verschweißen von Folien und Schneiden und Verpacken von druckempfindlichen Lebensmitteln die Ultraschalltechnik mit Titanwerkzeugen zum Einsatz. Diese Werkzeuge weisen aber zum Teil deutliche Unterschiede bei der korrosiven Beständigkeit, den Verschleißseigenschaften und vor allem bei der Schallübertragung auf.

Da davon auszugehen ist, dass die verschiedenen Herstellungsverfahren auch die Ursache der Eigenschaftsunterschiede sind, sollte eine Vergleichsuntersuchung der mechanischen Eigenschaften in Verbindung mit den ermittelten Gefügestrukturen Aufschluss darüber geben.

#### Untersuchungsergebnisse

Für die Untersuchung dienten Proben aus gewalztem Flachmaterial, aus Stangen-Rundmaterial, aus additiv erschmolzenen Laserproben geglüht und ungeglüht und aus dem 3D-Druck.

Die zu erwartenden Gefügestrukturen von Ti Grad5 sind eine  $\alpha$ Mk-Matrix mit  $\beta$ Mk-Ausscheidungen, die sich aber sicher in Abhängigkeit von Herstellungsart und Glühbehandlung unterscheiden.

Folgende, zu erwartende Strukturen bewirken unterschiedliche Eigenschaften:

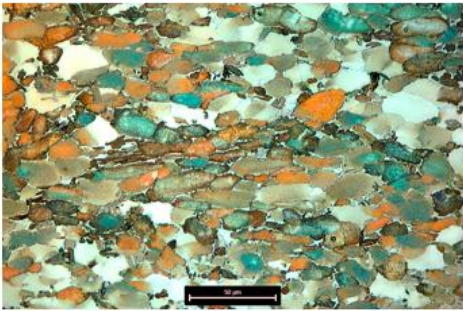
- Feine Gefüge erhöhen die Festigkeit, die Duktilität, verzögern die Rissbildung und sind Voraussetzung für superplastisches Verhalten.
- Grobe Gefüge sind beständiger gegen Kriechen und Rissausbreitung.
- Lamellare Gefüge haben höhere Widerstände gegen Kriechen und Ermüdungsrissausbreitung und führen zu einer höheren Bruchzähigkeit.
- Globulare Gefüge haben häufig höhere (Dauer-)Festigkeiten sowie Bruchdehnungen und werden bei superplastischer Verformung bevorzugt.
- Bimodale Gefüge vereinen die guten Eigenschaften von lamellaren und globularen Gefügen und weisen ein sehr ausgewogenes mechanisches Verhalten auf.

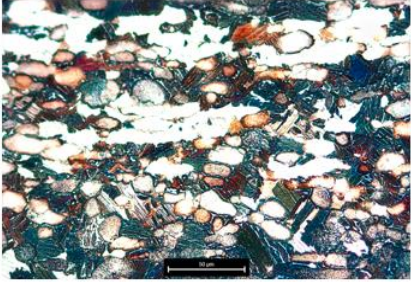


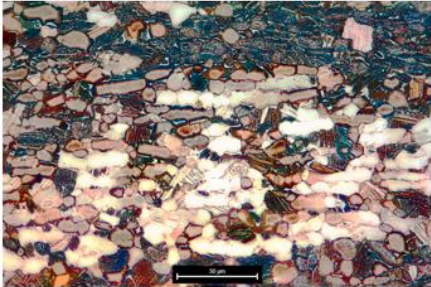
Wie im Einsatz sich die Unterschiede auf die mechanischen Eigenschaften auswirken, sollten die Untersuchungen aufzeigen. Dabei kamen folgende Verfahren zum Einsatz:

- Analyse mittels (Resonant and Damping Analyser) RFDA-Verfahren zur Bestimmung des E-Moduls
- Licht und Rasterelektronenmikroskopie zur Sichtbarmachung der Gefügestruktur
- Härteprüfung mittels Vickers-Klein Härteprüfung
- Proben 7: eine Dichtebestimmung nach dem archimedischen Prinzip

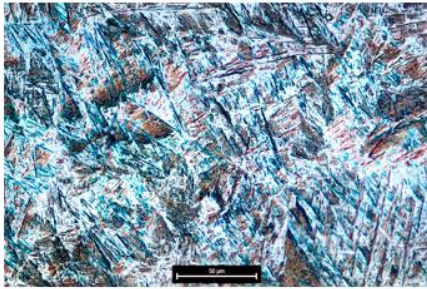
### Lichtmikroskopische Untersuchung

<p><u>Probe 1.2.1 x 500</u></p> 	
Werkstoff / Gefügestruktur	TiAl6V4 Grade 23 / Globular
Hersteller / Fertigungsverfahren	Christmann / gewalzt + geätzt
Erkenntnisse Mikroskopie	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ <math>\beta</math>-Ausscheidungen an Korngrenze</li> <li>○ In <math>\beta</math>-Phase ist Vanadium geseigert</li> <li>○ <math>\alpha</math>-Korn wächst nicht mehr, wenn Sekundärausscheidung an Korngrenze → je mehr Ausscheidungen, desto kleiner die <math>\alpha</math>-Körner</li> <li>○ Klinge in anderer Richtung als Probe 2 &amp; 3, aus Blech getrennt</li> </ul>
Hypothese Schallübertragung	Nicht geeignet, Zeiligkeit in falscher Richtung
Vergleich Querschliff nach ISO 20160 mit Probe 1.1.1	Bedingt geeignet

<p><u>Probe 2.1.1 x 500</u></p> 	
Werkstoff / Gefügestruktur	TiAl6V4 Grade 23 / Globular
Hersteller / Fertigungsverfahren	Sonotronic / gewalzt + gefräst
Erkenntnisse Mikroskopie	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Weniger Seigerungen in Querrichtung bei Probe 2.2.1</li> <li>○ Beide Proben weisen längliche Orientierung auf</li> <li>○ Bei Probe 2.1.1 ist sie stärker ausgeprägt</li> <li>○ Seigerungen sind vermutlich nicht gut für die Schallübertragung</li> </ul>
Hypothese Schallübertragung	Geeignet
Vergleich Querschliff nach ISO 20160 mit Probe 2.2.1	Geeignet

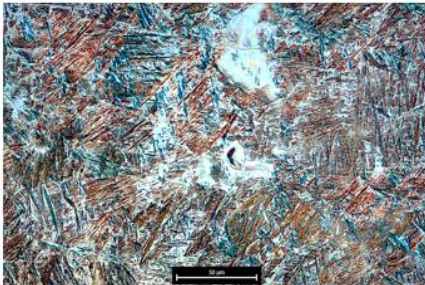
<p><u>Probe 3.2.1 x 500</u></p> 	
Werkstoff / Gefügestruktur	TiAl6V4 Grade 23 / Globular
Hersteller / Fertigungsverfahren	Christmann / gewalzt + gefräst
Erkenntnisse Mikroskopie	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Große Seigerungen an Korngrenze</li> <li>○ Beide Proben weisen längliche Orientierung auf</li> <li>○ Bei Probe 3.1.1 ist sie stärker ausgeprägt</li> </ul>
Hypothese Schallübertragung	Schlecht, $\beta$ ringsum um $\alpha$ -Körner
Vergleich Querschliff nach ISO 20160 mit Probe 3.2.1	Geeignet

Probe 4.2.1 x 500



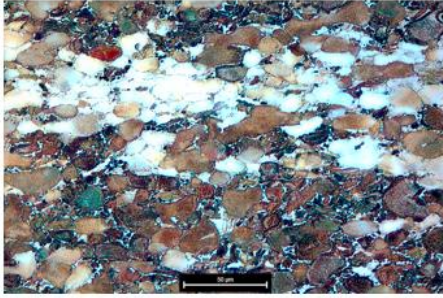
Werkstoff / Gefügestruktur	Ti6Al4V Grade 5 / Lamellar
Hersteller / Fertigungsverfahren	Trumpf / SLM + ungeglüht + gefräst
Erkenntnisse Mikroskopie	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Keine klare Orientierung</li> <li>○ Nadeln klein und feiner sowie unstrukturierter als bei geglühtem Werkstoff</li> <li>○ Feinnadeliges Gefüge</li> <li>○ Verwaschene Struktur</li> </ul>
Hypothese Schallübertragung	Nicht geeignet
Vergleich Querschliff nach ISO 20160 mit Probe 4.2.1	Nicht geeignet

Probe 5.1.1 x 500



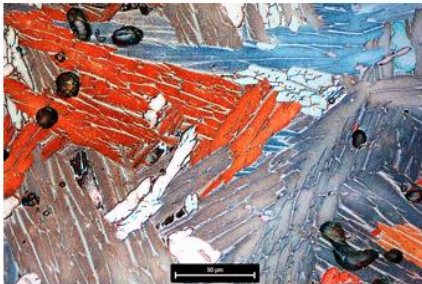
Werkstoff / Gefügestruktur	Ti6Al4V Grade 5 / Lamellar
Hersteller / Fertigungsverfahren	Trumpf / SLM + ungeglüht + ungefräst
Erkenntnisse Mikroskopie	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Fein nadelige Struktur aus <math>\alpha</math>- und <math>\beta</math>-Titan</li> <li>○ Geringere Seigerungen</li> <li>○ Mehr Seigerungen, wo Laserstrahl anfängt mit Aufschmelzen von Pulver (Probe 5.1.1)</li> <li>○ Linsenbildung aufgrund von zu geringem Wärmeeintrag durch Laserstrahl (Probe 5.1.1)</li> </ul>
Hypothese Schallübertragung	Nicht geeignet
Vergleich Querschliff nach ISO 20160 mit Probe 5.2.1	Nicht geeignet

Probe 6.1.1 x 500



Werkstoff / Gefügestruktur	Ti6Al4V Grade 5 / Globular
Hersteller / Fertigungsverfahren	Weber / Ronde stranggepresst
Erkenntnisse Mikroskopie	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Erst Stranggepresst daher weniger Seigerungen, danach Kalibrierzug</li> <li>○ Homogenes Material mit gleichmäßiger <math>\alpha</math>- und <math>\beta</math>-Verteilung</li> <li>○ Nusschaleneffekt, <math>\beta</math> ringsum um <math>\alpha</math>-Körner, führt zur schlechteren Schallübertragung</li> </ul>
Hypothese Schallübertragung	Schlecht, $\beta$ ringsum um $\alpha$ -Körner
Vergleich Querschliff nach ISO 20160 mit Probe 6.2.1	Geeignet

Probe 7.2.1 x 500



Werkstoff / Gefügestruktur	Ti6Al4V Grade 5 / Bimodal
Hersteller / Fertigungsverfahren	MetShape / LMM + gesintert
Erkenntnisse Mikroskopie	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Stängelkristallgefüge</li> <li>○ Grobe, abgerundete Nadeln</li> <li>○ Gefüge in Längs- und Querrichtung identisch</li> <li>○ Poren in Gefüge durch Druck- und Sinterprozess</li> </ul>
Hypothese Schallübertragung	Nicht geeignet
Vergleich Querschliff nach ISO 20160 mit Probe	



<u>Probe 0.1.1 x 500</u>	
	
Werkstoff / Gefügestruktur	Ti6Al4V Grade 5 / Lamellar
Hersteller / Fertigungsverfahren	Trumpf / SLM + geblüht + gefräst
Erkenntnisse Mikroskopie	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Klar getrennte Nadelstruktur</li> <li>○ Keine Textur zu erkennen</li> </ul>
Hypothese Schallübertragung	Geeignet
Vergleich Querschliff nach ISO 20160 mit Probe 0.2.1	Nicht geeignet

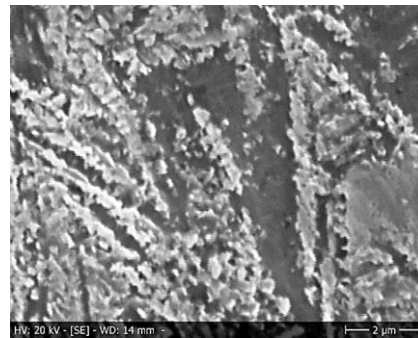
### Rasterelektronenmikroskopische Schliifuntersuchung

Von verschiedenen Proben wurden die Gefüge noch im Rasterelektronenmikroskop untersucht und analysiert. Die Aufnahmen bei 15.000-facher Vergrößerung machen die unterschiedlichen Ausscheidungsmechanismen in Abhängigkeit von Herstellung und Glühbehandlung deutlich.

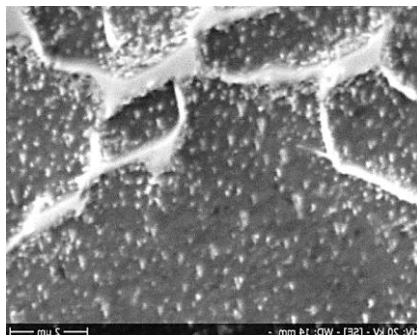
Probe 2



Probe 5



Probe 7



Probe 0

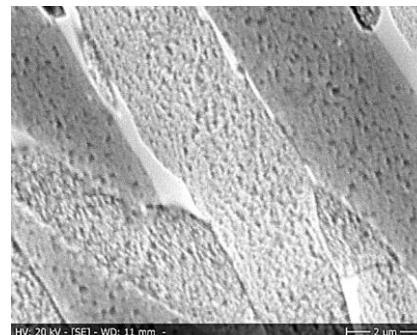


Abb. 1: Rasterelektronenmikroskopische Schliifuntersuchung – verschiedene Proben

## E-Modul-Bestimmung und Härtemessung

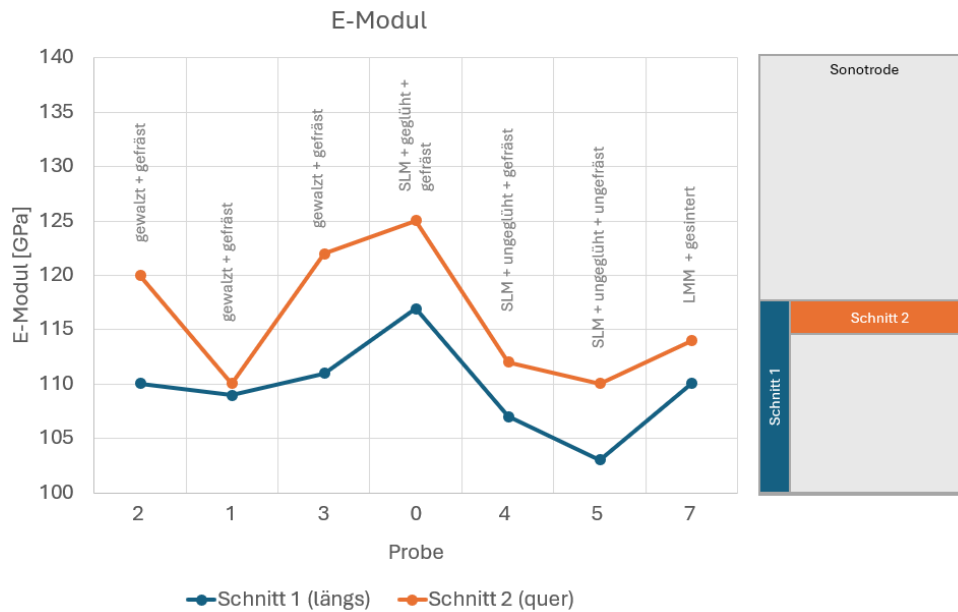


Abb. 2: Das E-Modul

Es ist erkennbar, dass alle gemessenen E-Module in Längsrichtung unter denen in Querrichtung liegen. Dieses Verhalten belegt die angenommene Anisotropie des Werkstoffs. Die größte Differenz zeigen dabei die konventionell gefertigten Proben mit  $\Delta 11$  GPa, was auf ihre stark gerichteten Gefüge durch das Walzen zurückzuführen ist. Ein Ausreißer stellt dabei Probe 1 dar, welcher nur  $\Delta 1$  GPa aufweist. Aus der Gefügeuntersuchung geht hervor, dass die Zeiligkeit des Gefüges quer zur Längsrichtung vorliegt. Die Probe 1 ist in einer anderen Richtung aus dem Blech entnommen worden als Proben 2 und 3. Da das RFDA-Gerät bei einer anisotropen Probe nur in Längsrichtung misst, wird kein vergleichbarer E-Modul zu den anders gerichteten Proben gemessen.

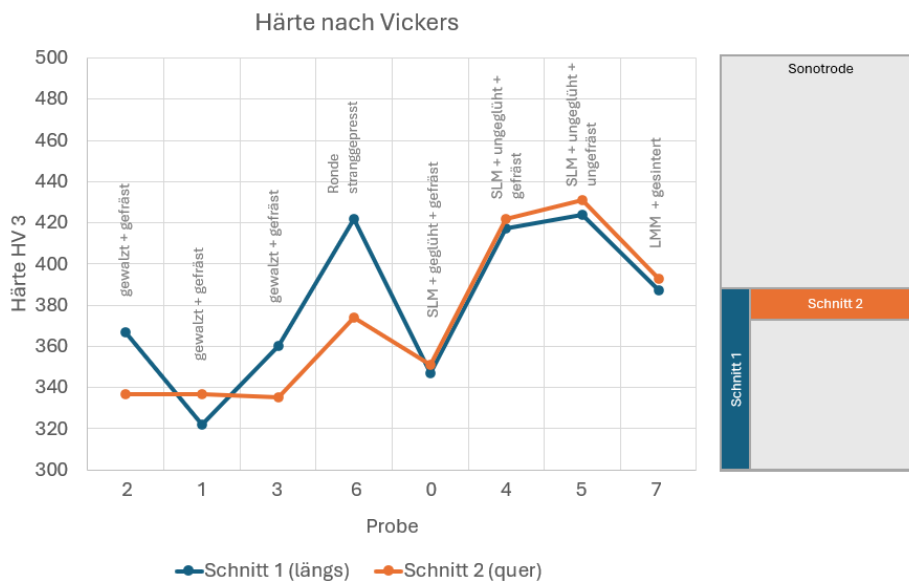


Abb. 3: Härtemessung

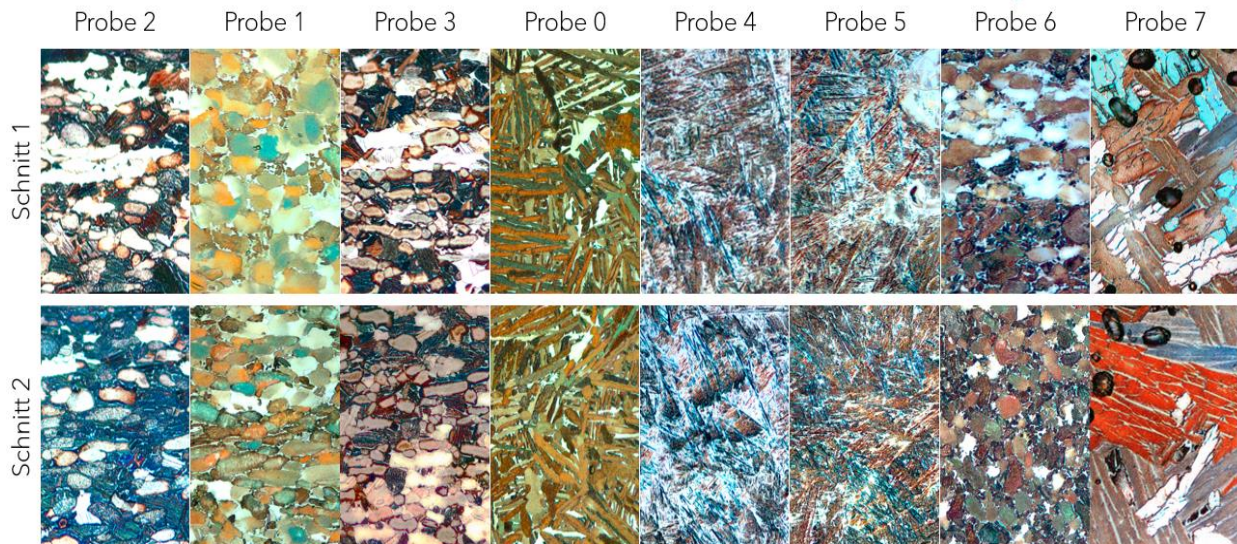


Abb. 4: Übersicht der Proben

Wie die Übersicht aller Gefüge dokumentiert, zeigen sich signifikante Unterschiede zwischen den Proben. Es wird angenommen, dass lamellare und feine Gefügestrukturen tendenziell eine bessere Dauerfestigkeit aufweisen als grobkörnige, globulare Gefüge. Aus der Literatur heraus wird ebenso vermutet, dass feinere Gefügestrukturen auch einen geringeren Widerstand gegen Rissbildung aufweisen.

Generell wird Schall besser von Gefügen mit weniger  $\beta$ -Körnern, Korngrenzen und Poren übertragen, sowie von in Schallrichtung ausgerichtete zeilige Strukturen.

Konventionell gefertigte Klingen sind grundsätzlich geeignet, jedoch aufgrund des hohen Materialverlusts bei der spanenden Bearbeitung wirtschaftlich nicht optimal. Eine wichtige Überlegung ist die Ausrichtung des Walzguts, um die Zeiligkeit entlang der Schallrichtung sicherzustellen. Glühverfahren können  $\beta$ -Ansammlungen reduzieren und so die Schalleigenschaften und Lebensdauer verbessern.

## 2. Kunststoffe und Fertigungstechnologien (Prof. Dr. Gerhard Frey)

Keine berichtenswerten Ereignisse.

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

Keine berichtenswerten Ereignisse.

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

Im Mai 2024 wurde in Valencia durch den spanischen Projektleiter AIMPLAS das REWIND-Konsortium gegründet. Das Akronym REWIND steht für „**Efficient decommissioning, repurposing and recycling to increase the circularity of end-of-life wind energy systems**“ und vereint europaweit 14 Unternehmen und Organisationen aus insgesamt sieben Nationen, die sich im Rahmen eines europäischen Projektes eines wichtigen Themas der Kreislauf- und Energiewirtschaft widmen.





Abb. 5: Vertreter des Vorhabenskonsortiums beim REWIND-Kickoff in Valencia. Foto: REWIND

Das Projekt verfolgt den Ansatz, die Kreislaufführung von Verbundwerkstoffen aus Flügeln von Windkraftanlagen, die das Ende ihres Lebenszyklus erreicht haben, durch Entwicklung grundlegender Demontage-Technologien und Erprobung neuer Methoden für Wiederverwendung und Recycling zu verbessern, um hochwertige Kreisläufe für Rotorblattmaterialien schließen zu können. Der Stand der Verwertungstechnik dieser Produkte ist die Verwertung als Ersatzbrennstoff in der Zementherstellung, bei der sowohl der Heizwert der Matrix als auch der Glasanteil als Teil des Zementklinkers genutzt werden. Dieser Ansatz ist aufgrund der mineralogischen Eigenschaften der jeweiligen Lagerstätte jedoch nur für einen Teil der Zementwerke geeignet und nutzt auch die Fasereigenschaften der Glasfasern nicht. Darüber hinaus verschlechtert der steigende Anteil von Carbonfasern im Verbundwerkstoff die Verwertbarkeit. Neben der Schaffung der statistischen Grundlagen zur Mengenabschätzung untersucht daher das REWIND-Konsortium Schneidtechniken, die Wiederverwendung von Abschnitten des Rotorblattes, werkstoffliche und chemische Verwertungsansätze sowie die Umweltauswirkungen der verschiedenen Ansätze.

Die Arbeitsgruppe Werkstoffkreisläufe führt in diesem Rahmen eine Stoffstromanalyse der Verbundwerkstoffe durch. Bisherige Ergebnisse zeigen, dass das mittlere Alter von Windenergieanlagen bei ihrer Außerbetriebsetzung bei etwa 22 Jahren liegt. Dieses Alter liegt der Abfallmengenprognose in Abbildung 14 zugrunde, die zeigt, dass in Europa in den kommenden Jahren mit bis zu 200.000 Mg Rotorblattabfall pro Jahr zu rechnen sein wird. Im weiteren Projektverlauf erfolgen noch praktische Untersuchungen zur Verbundauftrennung sowohl von Muster- als auch von Altmaterial aus Rotorblättern mittels Elektropulstechnik.



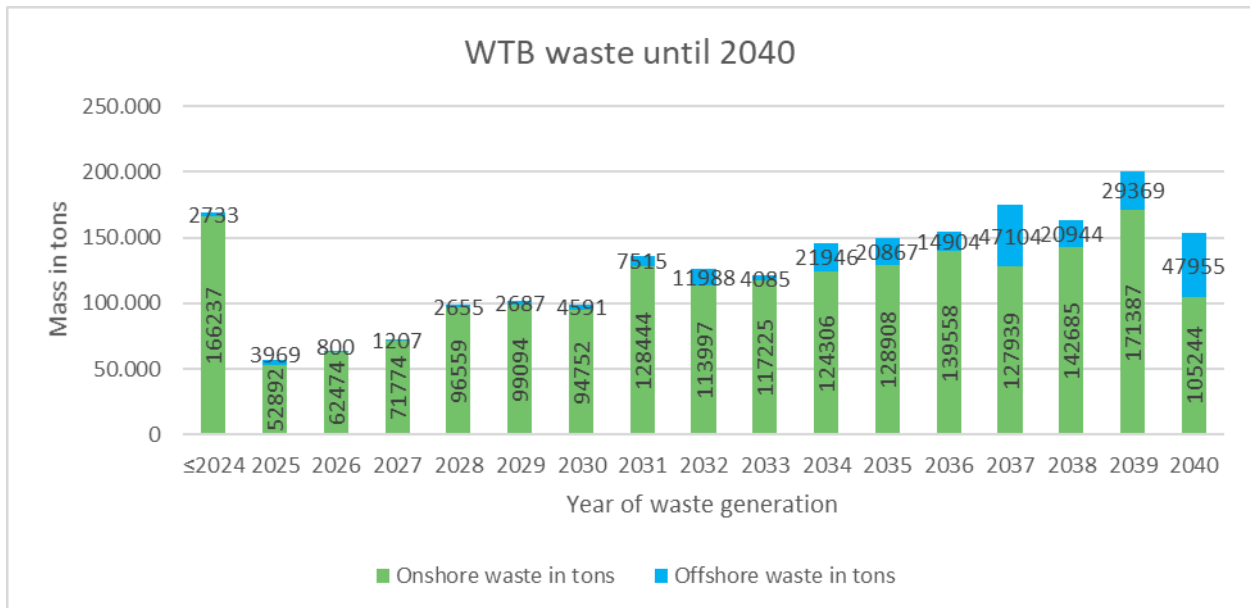


Abb. 6: Abfallanfall-Prognose aus Rotorblättern der Windenergieerzeugung in Europa bis 2040

Das Projekt hat eine Laufzeit von vier Jahren ab dem 01.05.2024 und wird unter der Fördervereinbarung Nr. 101147226 von Horizon Europe und CINEA (European Climate, Infrastructure and Environment Executive Agency) finanziert.

Im Rahmen des Verbundforschungsvorhabens „**PMMA in der Circular Economy**“ (PACE) entwickelt die Arbeitsgruppe für nachhaltige Produktentwicklung seit Anfang 2023 ein Konzept zur Wiederverwertung für gebrauchtes Acrylglas. Ausgangspunkt sind folien- und plattenförmige PMMA-Halbzeuge sowohl aus Post-industrial- als auch aus Post-Consumer-Quellen, von denen deutschlandweit derzeit erst 10% recycelt werden. 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 Anforderungen an die Optik, lange Nutzungszeiten von teils über 20 Jahren. Daher sind für eine funktionierende Kreislaufführung höchste Reinheitsanforderungen an die verwendeten Rezyklate einzuhalten.

Das Acrylglas-Recyclingunternehmen Pekutherm Kunststoffe GmbH erarbeitet 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.

Die Haupttrennaufgabe bei Pekutherm ist die Sortierung von meist glasklaren PMMA-Platten entsprechend der PMMA-Varianten Guss, Extrusion, schlagzähmodifiziert und kratzfest beschichtet, die untereinander nicht recyclingkompatibel sind. Reinheiten von mehr als 99% müssen erreicht werden, damit rezyklathaltige Werkstoffe den Produktspezifikationen entsprechen können. Ein wesentlicher Projektbestandteil ist daher die systematische Prüfung von Erkennungsverfahren für diese kritische Trennaufgabe. Hierzu wurden Lösungsansätze wie die sichtbare Kennzeichnung mit Bilderkennungssoftware oder der Einsatz von Fluoreszenzmarkern erfolgreich getestet. Die anorganischen Fluoreszenzmarker werden als Kennzeichnung in ppm-Konzentrationen den PMMA-Produkten zugegeben und ermöglichen in der Herstellungs-, Nutzungs- und Nachnutzungsphase die eindeutige Materialerkennung. Der Einsatz von Verfahren der Bilderkennung und künstlichen Intelligenz wurde im Rahmen eines Austauschaufenthaltes eines tunesischen Masterstudenten realisiert.

Zur abfallwirtschaftlichen, ökonomischen und ökologischen Bewertung der Erkennungsverfahren wurde der Stoffstrom von PMMA in Deutschland gesamtheitlich analysiert und eine ergänzende Feldstudie beim Projektpartner Pekutherm durchgeführt. Die Ergebnisse des PMMA-Stoffstrombilds für Deutschland wurden im Rahmen eines Postervortrags im Februar 2024 an der TU Wien vorgestellt.

Im Rahmen einer umfangreichen Feldstudie beim Projektpartner Pekutherm (Abb. 7) wurden rund 1.100 Einzelproben mit einer Gesamtmasse von 600 kg nach deren Geometrie, Farben, Polymerausführungen und Schutzfolie charakterisiert und fotografiert. Basierend auf diesen Ergebnissen wird bis zum Projektende im Januar 2025 ein Gesamtkonzept entwickelt, wodurch die Menge von hochwertigen PMMA-Extrusion-Rezyklaten erhöht werden kann.



Abb. 7: Sortierprüfstand für PMMA-Plattenware für den Feldversuch

Das Verbundprojekt „**Kreislaufsystem für funktionales Aluminium-Neuschrottreycling aus der Automobilproduktion mittels LIPS**“ (KANAL) verfolgt das Ziel der Entwicklung einer durchgängigen Prozesskette für Aluminium-Neuschrotte aus der Kfz-Herstellung. Von der Anfallstelle (Mercedes-Benz) über die Identifikation und Sortierung (Lang Recycling und Tomra) bis hin zum Schmelzwerk bzw. Halbzeughersteller (Novelis) und Wiedereinsatz in Kfz-Leichtbauteilen (Mercedes-Benz) wird ein geschlossener Materialkreislauf angestrebt. Wissenschaftlich begleitet wird das Projekt durch die Arbeitsgruppe Werkstoffkreisläufe.

Neben der organisatorischen Innovation, die die Zusammenarbeit aller relevanten Stakeholder in der Wertschöpfungskette des Aluminium-Recyclings umfasst, stellt die durchsatz- und qualitätsoptimierte LIPS-Sortieranlage die technische Innovation des Vorhabens dar. Als zentrales Element zur Kreislaufschließung identifiziert und trennt diese die in der Produktion gemischt anfallenden Aluminiumschrotte der Legierungsgruppen 5xxx und 6xxx.

Der Aufbau der LIPS-Anlage wurde im zweiten Quartal 2024 abgeschlossen, was umfangreiche Einfahrversuche mit zuvor vorbereiteten Modellmaterialien ermöglichte.



Abb. 8: Zerkleinerte und lackierte Aluminium-Stanzschrotte für Einfahrversuche

Im Fokus der Untersuchungen stand die Identifikation und Quantifizierung des Einflusses der Anlagenparameter Durchsatz, Blechdicke, Austragungslogik und Wertstoffgehalt des Inputmaterials, da bei diesen ein signifikanter Einfluss auf das Sortierergebnis der Anlage vermutet wird. Für jeden Sortierversuch wurden eine Korngrößenanalyse durchgeführt und eine Massenbilanz erstellt sowie die stoffstrombeschreibenden Parameter Masseausbringen, Wertstoffausbringen und Produktreinheit ermittelt. Erste Ergebnisse zeigen, dass die Sortierqualität der LIPS-Anlage bei einem Mischungsverhältnis des Inputmaterials von 50 Gew.-% zu 50 Gew.-% eine angepeilte Reinheit von  $< 95\%$  erfüllt.

Im Rahmen einer studentischen Arbeit an der Hochschule Pforzheim wurde die Umweltauswirkung des Aluminium-Neuschrottrecyclings unter Verwendung einer LIPS-Sortieranlage durch den Vergleich mit dem bestehenden Neuschrott-Recyclingprozess bewertet. Innerhalb aller Szenarien führt das Erreichen einer Sortierreinheit  $> 90\%$  zu einer erheblichen Reduktion des Anteils an Primäraluminium, welches zum Erreichen der gewünschten Spezifikation zugemischt werden muss.

Darüber hinaus qualifizierte sich das KANAL-Konsortium als Finalist des NEO-Innovationspreises 2024 der Technologieregion Karlsruhe. Der NEO-Innovationspreis der Technologieregion Karlsruhe zeichnet zukunftsweisende Projekte aus, die durch ihren Innovationsgrad, ihre Nachhaltigkeit und ihren gesellschaftlichen Mehrwert überzeugen, und stärkt dadurch die Innovationskraft der gesamten Region.

Zum Wintersemester 2024/25 wurde die neue **Studienrichtung „Wirtschaftsingenieurwesen/Circular Economy Engineering“** mit insgesamt 10 Erstsemester-Studierenden begonnen. 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 2024 auf das funkenerosive Feinbohren sowie die elektrochemische Metallbearbeitung mittels Drahtelektrode (Draht-ECM).

### Funkenerosives Feinbohren

Unter dem Titel „Neuartiges, miniaturisiertes, energieeffizientes Pulsgeneratormodul für Funkenerosionsmaschinen. Teilprojekt: Sensorik-, Prozess- und Regelungsentwicklung für ein Pulsgeneratormodul für die Funkenerosionsbearbeitung (Bohr- und Senkerodiermaschinen)“ (**Pulsgenerator**) wurde zum 01.01.2024 ein neues ZIM-Projekt gestartet. Es handelt sich

bereits um das zweite Projekt, das gemeinsam mit Fa. AGEMA Germany in Straubenhard Conweiler durchgeführt wird.

Ziel des Projekts ist die Entwicklung und Qualifizierung eines sogenannten Generators, also einer elektronischen Einheit, die die Funkenentladungen herbeiführt. Das Teilprojekt der Hochschule befasst sich unter anderem mit den entstehenden Phänomenen während des Erodierprozesses. Beispielhaft ist in Abbildung 9 die Abschätzung des frontalen Erodier spalts während der funkenerosiven Bearbeitung gezeigt, wie sie im Rahmen des Projekts entwickelt wurde. Dieser Spalt ist entscheidend für einen produktiven Fertigungsprozess.

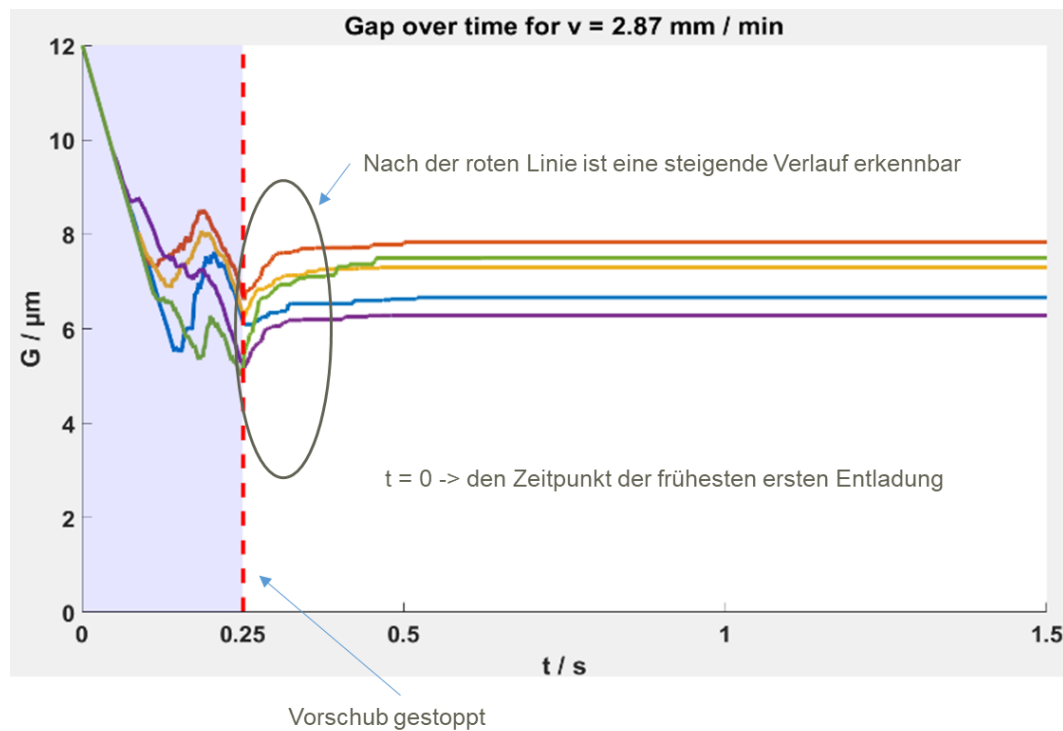


Abb. 9: Abschätzung des Frontalspalts beim funkenerosiven Feinbohren. Vor  $t=0,25$  s wurde die Werkzeugelektrode mit konstanter Vorschubgeschwindigkeit auf das Werkstück zugefahren, danach wurde sie gestoppt.

### Elektrochemische Metallbearbeitung mit Drahtelektrode (WECM)

Ein Vorteil der elektrochemischen Metallbearbeitung liegt darin, dass sie keinerlei Schädigungen im Material des Werkstücks hinterlässt. Die Variante, einen Draht als Werkzeugelektrode zu verwenden, ist bisher wegen praktischer Schwierigkeiten nicht industriereif entwickelt worden. Gemeinsam mit der Firma Hoffmann Räumtechnik konnte durch die Förderung im Programm „Invest BW“ das Projekt „Elektrochemischer Schneidprozess zur Vorbearbeitung von Schaufelfußnuten“ (WECM) begonnen werden, um eine industrielle Nutzung des Verfahrens zu ermöglichen. Eine Skizze der zu entwickelnden Versuchsanlage ist in Bild 10 gezeigt. Im Rahmen des Forschungssemesters von Prof. Dr. Oßwald am MTI der RWTH Aachen beschäftigt er sich außerdem mit anderen Varianten des WECM-Prozesses.



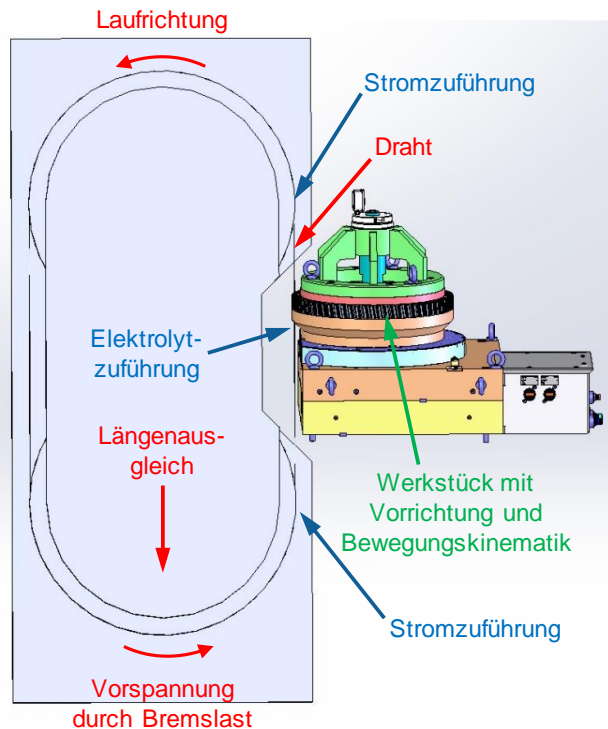


Abb. 10: Skizze der geplanten WECEM-Versuchsanlage zur Weiterentwicklung des Draht-ECM-Prozesses

## Sonstige Aktivitäten

Gemeinsam mit dem Zentrum für Präzisionstechnik (ZPT) wurde am 05.12.2024 eine Veranstaltung mit dem Titel „Funkenerosion – noch immer unkonventionell“ im Rahmen der Reihe „Industrie trifft Hochschule“ durchgeführt. Ca. 40 Teilnehmende konnten sich hier zu den neuesten Entwicklungen in diesem Bereich informieren.

## 6. Materialwissenschaften in der medizinischen Anwendung

### **Bildgebungssysteme für Forschung und Lehre: Magnetpartikelbildung mit mechanischer Signalanregung und -ortskodierung (Eric Eenhuis, Prof. Dr. Ulrich Heinen)**

Das laufende Forschungsprojekt strebt die prototypische Realisierung eines neuartigen Bildgebungssystems für die Magnetpartikelbildung (*Magnetic Particle Imaging, MPI*) an, bei der flüssiges oder festes Tracermaterial aus superparamagnetischen Eisenoxid-Nanopartikeln (*Super-Paramagnetic Iron Oxide Nanoparticles, SPIONs*) durch ein spezielles Messverfahren orts aufgelöst detektiert wird.

Nachdem im Vorjahr der Nachweis des MPI-Messsignals von tracergefüllten Probengefäßen geglückt war, die mit hoher Geschwindigkeit durch ein magnetisches Kodierfeld samt einer Detektionsspule bewegt wurden, wurde im Berichtszeitraum durch Herrn Eric Eenhuis im Rahmen seiner Bachelorarbeit ein revidierter Versuchsaufbau realisiert, mit dem nun erstmalig echte Bilder von Partikelverteilungen erfasst werden sollen.

Dazu wurden zunächst würfelförmige Phantomobjekte mit einer Kantenlänge von jeweils 1 cm entworfen, die aus Teflonscheiben und Silikondichtungen zusammengestapelt sind. Das Tracermaterial kann dabei beim Zusammenbau in definierte Mulden der Teflonscheiben eingefüllt werden und bleibt dort dampfdicht versiegelt. Die Phantomwürfel können dann in variabler Orientierung in eine passende Öffnung einer runden Plexiglasscheibe eingesetzt werden, die durch einen Antriebsmotor mit bis zu 50 Umdrehungen pro Sekunde rotiert wird, was zu einer Tangentialgeschwindigkeit von ca. 60m/s führt.

Mit dieser Geschwindigkeit bewegen sich die Testobjekte durch eine spezielle Anordnung von 6 Permanentmagneten, deren Kern zwei Magnete in Gradientenanordnung bilden, die ein Kodierfeld mit einem zentralen Feldfreien Punkt (FFP) bilden. Sie werden durch 4 weitere Magnete in Halbach-Anordnung flankiert, die den magnetischen Rückschluss nach außen verlängern und bei der Passage der Tracer-beladenen Phantome für eine Vormagnetisierung der Nanopartikel sorgen. Bei der Passage des FFP werden die dort befindlichen Nanopartikel schlagartig ummagnetisiert, während sie außerhalb des FFP nur langsam reorientiert bzw. vollständig in magnetischer Sättigung verbleiben. Die Ummagnetisierung der Nanopartikel bei der FFP-Passage induziert einen Spannungsimpuls in einer zwischen den Magneten angeordneten Detektionsspule, dessen Amplitude direkt proportional zur lokalen Menge an Tracer-material ist. Aufgrund der Drehung der Scheibe wird die Tracerverteilung entlang einer tangentialen Linie durch das Probenobjekt aufgezeichnet, wobei aufgrund des vergleichsweise großen Durchmessers der rotierenden Scheibe eine im Vergleich zu den Würfeldimensionen effektiv nahezu gerade Linie aufgezeichnet wird.

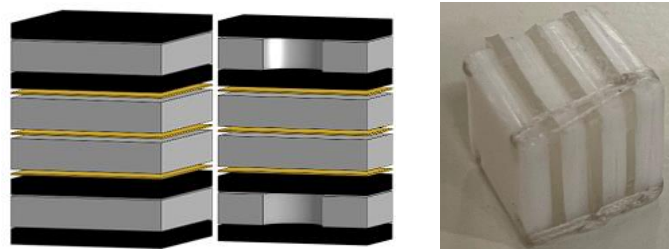


Abb. 11: Links: Aufbau eines mehrschichtigen Testobjekts (Phantoms) mit innenliegenden Kavitäten, die mit flüssigen Lösungen magnetischer Nanopartikel gefüllt werden können. Rechts: Außenansicht des würfelförmigen Phantomobjekts mit einer Kantenlänge von 1 cm. Quelle: Bachelorthesis E. Eenhuis, Pforzheim 2025

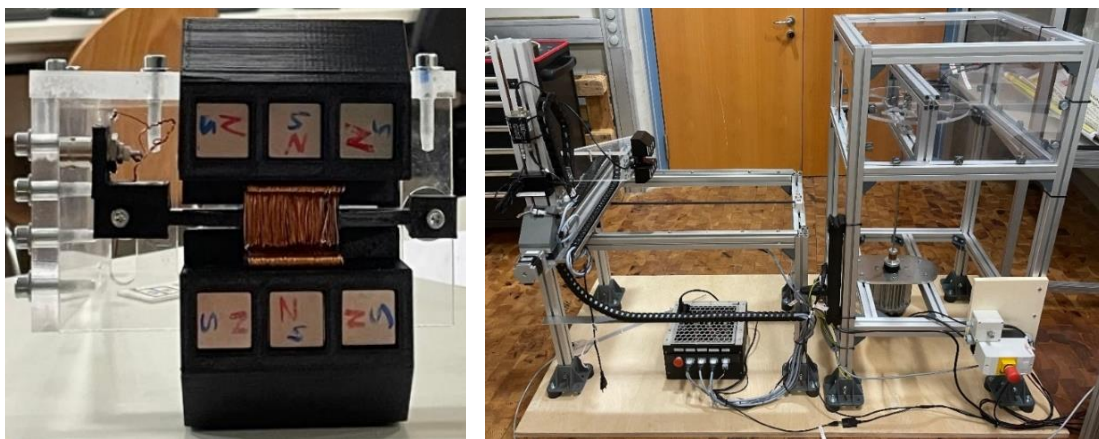


Abb. 12: Links: Messkopf bestehend aus 6 würfelförmigen NdFeB-Permanentmagneten (verkapselt und nicht direkt sichtbar; die Anordnung und Polarität ist auf der Einhausung markiert) mit einer dazwischen angeordneten Detektionsspule. Im Verlauf des Projekts wurden unterschiedliche Spulengeometrien erprobt. Rechts: Gesamtaufbau mit 3-Achs-Lineareinheit links und Rotoreinheit rechts. Quelle: Bachelorthesis E. Eenhuis, Pforzheim 2025

Im neuen Versuchsaufbau ist der Messkopf bestehend aus Magneten und Detektionsspule auf einer 3-Achs-Lineareinheit montiert, die eine schrittweise Verschiebung der FFP-Position relativ zur Trajektorie des Phantomobjekts gestattet, wodurch die Aufzeichnung von 2D-Schnittbildern und 3D-Volumendatensätzen möglich wird.

Im Rahmen der Abschlussarbeit von Herrn Eenhuis wurden viele Störquellen der Versuchsanordnung eliminiert und es wurde insbesondere die Spulengeometrie schrittweise optimiert, so dass nun ein sehr robuster Aufbau für weitere Untersuchungen zur Verfügung steht. Die genaue messtechnische Charakterisierung steht im Detail noch aus, aber vorläufige erste Messergebnisse zeigen, dass von einem Probenwürfel mit zwei tracergefüllten Kavitäten tatsächlich auch ein Messsignal mit zwei Peaks direkt aufgezeichnet werden kann. Die Empfindlichkeit und die Ortsauflösung entsprechen dabei aber noch nicht dem technisch Möglichen, so dass hier weitere Untersuchungen notwendig sind, bis ein echtes Bild gewonnen werden kann.

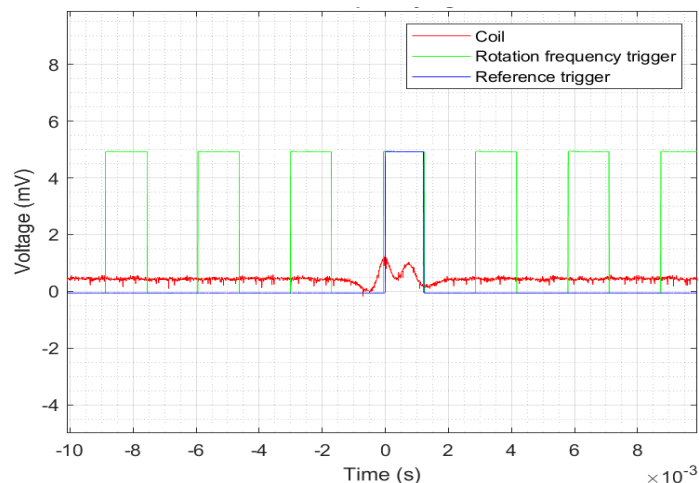


Abb. 13: Detektionssignal eines Testobjekts mit zwei Kavitäten, die mit Synomag D70 (mikromod Partikeltechnologie GmbH, Rostock) befüllt wurden. Trotz der noch relativ geringen Ortsauflösung sind die zwei Signalmaxima klar erkennbar. Quelle: Bachelorthesis E. Eenhuis, Pforzheim 2025

Im November wurde im Labor für medizinische Bildgebung zudem das drittmittelgeförderte Projekt **iMagIm** gestartet (Laufzeit 2 Jahre), in dessen Rahmen die Hochschule Pforzheim als Technologiepartner der Unternehmen uppolux und KLS Martin (beide in Tuttlingen) Demonstratoren für neue Anwendungen von magnetischen Nanopartikeln in der Therapie entwickelt und Vorstudien durchführt.

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

Im Zellkultur-Labor werden u.a. Untersuchungen zur Biokompatibilität potenzieller Implantat-Werkstoffe durchgeführt. Die Biokompatibilität von Materialien ist eine zentrale Anforderung bei der Entwicklung von Medizinprodukten. Sie bezieht sich auf die Fähigkeit von Materialien, in direktem oder indirektem Kontakt mit dem menschlichen Körper zu existieren, ohne schädliche Auswirkungen auf biologisches Gewebe oder Zellen auszuüben. Die Einführung neuer Herstellungsverfahren und Materialien im Bereich der Medizin birgt Potenziale für die Entwicklung fortschrittlicher Produkte und Therapien. Gleichzeitig muss jedoch die Biokompatibilität gewährleistet sein.

In der Bewertung der biologischen Kompatibilität von Medizinprodukten spielen spezifische Richtlinien und Normen eine entscheidende Rolle. Die Notwendigkeit, Zytotoxizität in biomedizinischen Anwendungen zu bewerten, hat dazu geführt, dass In-vitro-Methoden vermehrt akzeptiert und angewandt werden. Die Beurteilung der Zytotoxizität erfolgt durch verschiedene Testverfahren, die auf vielfältigen chemischen und zellulären Grundlagen beruhen. Die fortschreitende Entwicklung von Zytotoxizitätstests umfasst Methoden wie die qualitative Detektion veränderter Morphologie von Zellen durch Mikroskopie sowie die quantitative Analyse von Parametern wie Zellwachstum und Stoffwechselaktivitäten.

2024 wurde im Zellkulturlabor erstmals eine größere Studie zur Prüfung eines Materials auf Biokompatibilität durchgeführt. Hierbei handelte es sich um additive gefertigte Metallteile aus nichtrostendem, austenitischem Chrom-Nickel-Molybdän-Stahl (AISI 316L). In der Studie wurde der Einfluss der Lithographie-basierten Metallfertigung (LMM) auf eine mögliche Zytotoxizität von AISI 316L untersucht.

Um den Einfluss von Produktionsrückständen und sonstigen Kontaminationen auszuschließen, wurden sämtliche Test- und Kontrollkörper vor der Durchführung der Zytotoxizitätstests gereinigt und anschließend in einem Autoklav sterilisiert.

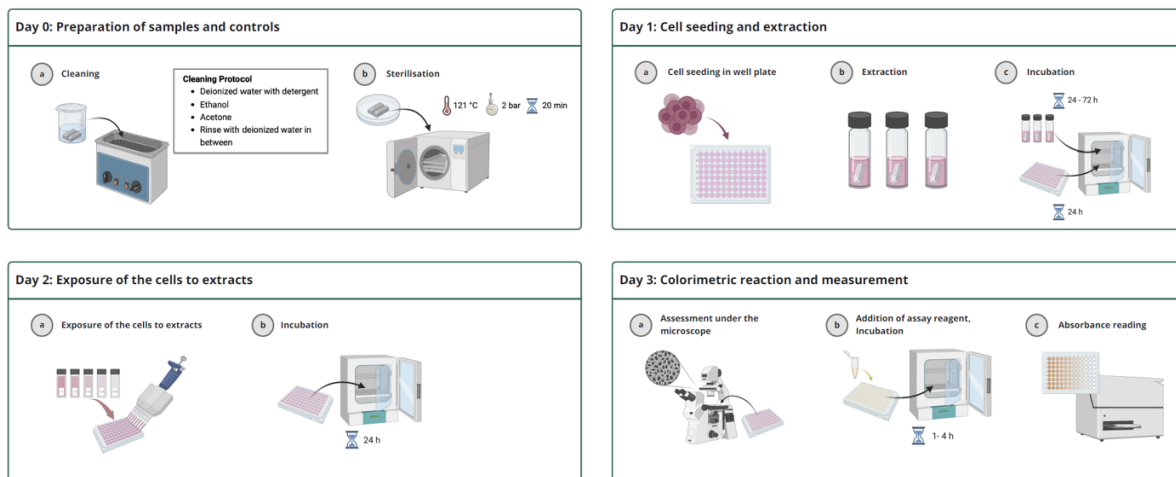


Abb. 14: Schematischer Testablauf der Zytotoxizitätsprüfung

Zytotoxische Auswirkungen wurden zum einen qualitativ am Mikroskop überprüft. Quantitative Tests erfolgten zum anderen mittels zweier Formazan-Tests (XTT-Test & WST-8-Test).

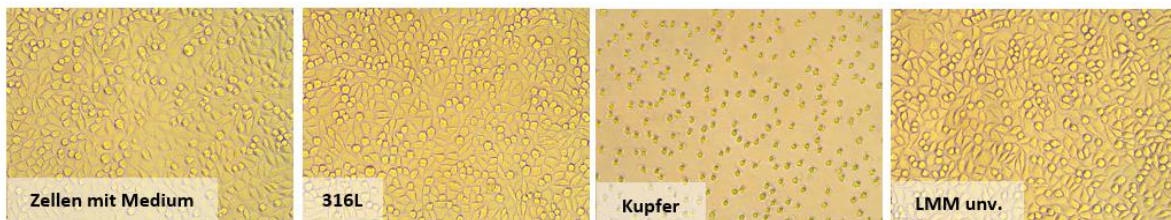


Abb. 15: Mikroskopische Überprüfung der Zellen nach Inkubation mit Extrakten verschiedener Prüfkörper (Inkubationsdauer 24h, Zelllinie L-929, XTT-Test), 316L: AISI 316L-Stahl, Kupfer: Positivkontrolle, LMM unv.: unverdünnter Extrakt des additiv gefertigten Materials

Die Ergebnisse der Studie zeigen, dass die verwendeten additiv gefertigten Teile aus AISI-316L-Stahl keine zytotoxische Wirkung in der Zellkultur aufweisen. Jedoch zeigt sich bei gestrahltem Material ein deutlicher konzentrationsabhängiger und reproduzierbarer Trend, der zeigt, dass Zellen auf gestrahltes Material empfindlicher reagieren.

Die Ergebnisse der Studie legen nahe, dass der LMM-3D-Druck ein vielversprechendes Verfahren zur Herstellung von Bauteilen, Hilfsmitteln oder sogar Implantaten für die Anwendung in der Medizintechnik sein kann.

Die Studienergebnisse wurden im Oktober 2024 veröffentlicht.

**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)



## 1.2.6 Institut für Personalforschung – IfP

---

Das Institut für Personalforschung im Human Resources Competence Center (HRCC) an der Hochschule Pforzheim arbeitete im Jahr 2024 an zwei Forschungsprojekten. Zum einen im Themenbereich Nachhaltigkeit und Berichtspflicht und zum anderen im Bereich Employee Listening.

Im Themenbereich **ESG-Berichterstattung, Nachhaltigkeit und HR** startete unser Projekt **ESG-HR** im Herbst 2023. Das Projekt lief bis Ende 2024 und wurde 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. Das Forschungsprojekt verfolgt vier zentrale Ziele, welche nach Start des Forschungsprojekts adaptiert wurden, nachdem während des laufenden Forschungsprojekts die ESRS veröffentlicht wurden und eher die bestehenden Voraussetzungen in Unternehmen und HR-Bereichen bzgl. dieser Standards relevant erschienen. Daher lauteten die vier zentralen Ziele des Forschungsprojekts wie folgt:

- Analyse der IST-Situation auf HR-Ebene: Ziel ist es, die gegenwärtige IST-Situation auf Unternehmens-HR-Ebene bei der ESG-Berichterstattung zu erfassen und zu analysieren.
- Umgang von HR mit ESG-Anforderungen: Es wird untersucht, wie HR mit den Anforderungen der ESG-Berichtspflicht umgeht und welche Maßnahmen bereits umgesetzt oder geplant sind.
- Konkretisierung von Aufgaben und Verantwortlichkeiten. Ein weiterer Schwerpunkt liegt auf der Definition und Klarstellung der spezifischen Aufgaben und Verantwortlichkeiten innerhalb von HR im Kontext von ESG.
- Ermittlung der HR-Readiness in Bezug auf ESG. Mithilfe des ESG-HR-Barometers soll die aktuelle HR-Readiness hinsichtlich der Umsetzung der ESG-Berichtspflicht erhoben und analysiert werden

Im Rahmen des Projektes war 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.

Um ein umfassendes Verständnis der Rolle von HR im Kontext von ESG zu entwickeln, wurde das Projekt konkret in drei aufeinander aufbauende Phasen gegliedert:

### Phase 1 – Exploration der Inhalte von ESG und deren Bezug zu HR

In der ersten Phase erfolgte mithilfe der Literatur sowie der aktuellen Gesetzeslage eine Bestandsaufnahme der ESG-Inhalte und -Prozesse sowohl auf operativer als auch auf strategischer Ebene.

## **Phase 2a – Qualitative Phase: Exploration der Umsetzung von ESG im Unternehmen (Fokus auf HR)**

In Phase 2 erfolgte eine qualitative Analyse anhand von strukturierten Experteninterviews bei den drei Praxispartnern sowie zwei moderierten Gruppendiskussionen mit den Forschungspartnern. Hierbei wurden neben der Frage, wie Unternehmen bei der Umsetzung der EU-Richtlinie vorgehen und welche Rolle HR dabei einnimmt oder einnehmen könnte, auch aktuelle (HR-)Themenfelder beim Thema ESG sowie strukturelle und personale Anforderungen der Position von HR im Unternehmen untersucht.

## **Phase 2b – Quantitative Phase: Entwicklung & Anwendung des ESG-HR-Barometers**

In der letzten Phase wurde ein Messinstrument, das sogenannte **ESG-HR-Barometer**, entwickelt und angewendet. Dieses Barometer dient der quantitativen Erfassung des aktuellen Stands von HR beim Thema ESG und ermöglicht beispielsweise Aussagen zur aktuellen HR-Readiness, HR-Fokusthemen oder auch Herausforderungen beim Thema ESG.

### **Qualitative Phase**

Den Kern der ersten Forschungsphase bildeten qualitative Experteninterviews innerhalb der drei Praxispartner, da diese Unternehmen sich bereits länger mit dem Thema ESG beschäftigen bzw. bereits eigene Strukturen etabliert haben. Um das Thema aus verschiedenen Blickwinkeln zu erfassen, wurden Interviewte mit unterschiedlichen Positionen ausgewählt. Diese waren: Top-Management, ESG-Verantwortliche, Personalleitung bzw. Personalverantwortliche, Reporting sowie Betriebsrat. Insgesamt wurden im Zeitraum von Dezember 2023 bis Februar 2024 14 leitfadengestützte Experteninterviews geführt, welche eine Dauer von durchschnittlich 52 Minuten hatten und per Videokonferenz erfolgten. Alle Interviews wurden aufgezeichnet, wörtlich transkribiert und vollständig anonymisiert. Die Auswertung der Interviews erfolgte mittels der Datenanalysesoftware MAXQDA in Anlehnung an die qualitative Inhaltsanalyse nach Mayring. Die Kategorienbildung erfolgte sowohl deduktiv (abgeleitet aus dem Interviewleitfaden) als auch induktiv (abgeleitet aus den Inhalten der Transkripte).

Ergänzt wurden die Ergebnisse der qualitativen Experteninterviews durch zwei moderierte Gruppendiskussionen im Januar sowie April 2024 mit den vier Forschungspartnern. Die Gruppendiskussionen wurden ebenfalls per Videokonferenz durchgeführt und hatten eine Dauer von drei und zwei Stunden.

### **Ergebnisse der qualitativen Phase**

Die Ergebnisse der qualitativen Phase verdeutlichen, dass die Verantwortung für die ESG-Berichterstattung häufig bei den bestehenden Nachhaltigkeitsexperten liegt, was aufgrund unveränderter Kapazitäten zu Überlastung und Frustration führen kann. Dadurch erfolgt eine Reduktion der Nachhaltigkeitsexperten von inhaltlichen Projekttreibern auf Reporting-Verantwortliche. Zudem können Spannungsverhältnisse zwischen dem offiziellen Netzwerk (formal benannte ESG-Verantwortliche) und dem inoffiziellen Netzwerk (selbsternannte ESG-Akteure) entstehen und es besteht die Gefahr von Schattenorganisationen. Betrachtet man die verschiedenen Unternehmen, zeigt sich, dass es eine große Uneinheitlichkeit gibt, an welcher Rolle ESG aufgehängt ist. Zusätzlich gibt es Uneinheitlichkeit innerhalb der Aufgaben, Anforderungen und Kompetenzen, die ein ESG-Verantwortlicher haben kann/soll/muss. Es gilt daher eine klare Struktur und Rollendefinition, möglichst von Beginn an, sicherzustellen.

Für HR bietet die ESG-Berichterstattung die Chance, zentrale HR-Aufgaben wie Mitarbeiterbindung, Betriebliches Gesundheitsmanagement (BGM) oder Diversity zu stärken. Durch die Steuerung von Mitarbeiterverhalten kann HR ökologische Ziele unterstützen, auch wenn HR

im Unternehmen keinen zentralen Steuerungsauftrag erhält. Im globalen Kontext könnte HR beispielsweise Standards für Arbeitsbedingungen etablieren und so ihre traditionelle Rolle weiterentwickeln. Damit HR beim Thema ESG im Unternehmen als bedeutsam erlebt wird, muss HR in diesem Thema zwingend sichtbar Verantwortung übernehmen.

Positiv ist hervorzuheben, dass die ESG-Berichtspflicht die interne Transparenz fördert und Bewusstsein für die Nachhaltigkeitsleistung des Unternehmens schafft. Dies weckt steigende Erwartungen und Forderungen seitens der Mitarbeitenden, was in internen Diskussionen zu Geschäftsentscheidungen resultiert, welche als nicht-nachhaltig wahrgenommen werden. Zugleich fördern die ESG-Vorgaben die unternehmensweite Kollaboration und ermöglichen Synergien, um Nachhaltigkeitsmaßnahmen effizient umzusetzen. Extern eröffnet die ESG-Berichtspflicht dem Unternehmen die Möglichkeit, seine ESG-Daten mit denen von Wettbewerbern zu vergleichen und sich durch ein starkes Nachhaltigkeitsprofil positiv am Markt zu positionieren. Kunden, Bewerber und Kapitalgeber legen vermehrt Wert auf nachhaltige Unternehmenspraktiken, was ESG zu einem entscheidenden Faktor für die Unternehmensattraktivität und Reputation macht. Gleichzeitig stellt die Komplexität der Regulatorik eine erhebliche Belastung für viele Unternehmen dar. Die Fülle an Daten, die begrenzte Aussagekraft von KPIs sowie fehlende Marktstandards erschweren eine effiziente Umsetzung der ESG-Berichtspflicht. Unterstützend wirken jedoch die Transparenz und zu erwartende Vergleichbarkeit, die durch die ESG-Berichtspflicht geschaffen werden, sowie das zunehmende Momentum für Nachhaltigkeitsthemen. Diese Entwicklungen bieten die Grundlage, ESG nicht nur als Compliance-Thema zu behandeln, sondern auch als strategisches Differenzierungsmerkmal.

Das ESG-Reporting stellt Unternehmen vor erhebliche Herausforderungen in den Bereichen Daten, Ressourcenbedarf und Regulatorik. Ein zentrales Problem liegt in der Datenqualität und Verfügbarkeit, da fragmentierte Datenquellen und eine nicht-konstante Datenbasis die Harmonisierung der Daten erschweren. Hinzu kommt, dass fehlende Standards zu mangelnder Vergleichbarkeit zwischen Unternehmen führen und unklare sowie umfangreiche regulatorische Vorgaben eine einheitliche Umsetzung erschweren und Interpretationsspielräume schaffen. Zudem ist der Ressourcenbedarf für die ESG-Berichterstattung durch die umfassenden gesetzlichen Anforderungen hoch, wofür jedoch oft nur begrenzte personelle und finanzielle Mittel zur Verfügung stehen, was zu Überlastung führt. Der große Bürokratieaufwand lässt kaum Zeit für die Maßnahmenableitung und -umsetzung. Übergeordnete Themen wie Datenschutz, unzureichende Datenqualität und komplexe Konzernstrukturen belasten zudem den gesamten Reporting-Prozess und verdeutlichen die Notwendigkeit eines einheitlichen und klar definierten Rahmens für die ESG-Berichterstattung.

Inhaltlich konnten in der qualitativen Phase zum einen verschiedene Beweggründe der Unternehmen identifiziert werden, sich mit der ESG Reportingpflicht zu befassen. Zum anderen konnten inhaltliche Rollen für HR korrespondierend zu den dominierenden Beweggründen beschrieben werden:

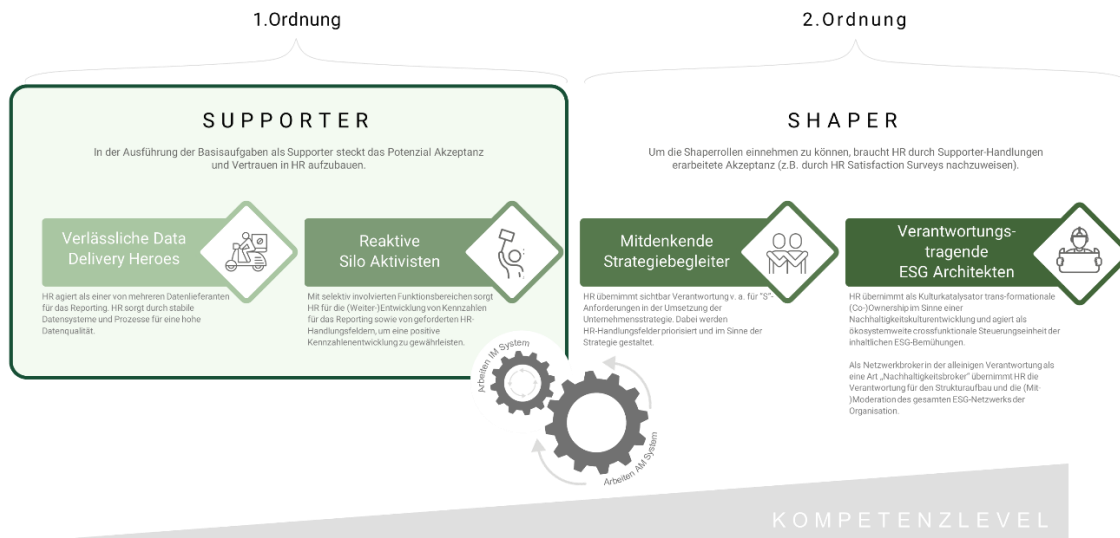


Abb. 1: HR-Rollen

- HR**
- Beim Thema ESG-Berichtspflicht ist es für HR von zentraler Bedeutung zunächst die **eigene Rolle zu klären** (Supporter vs. Shaper)
  - Denn durch die ESG-Berichtspflicht bietet sich HR eine **strategische Chance**:  
→ Die eigene Rolle so definieren, dass sie zum leitenden Beweggrund des Unternehmens passt

**Das erfordert:**

- die Entwicklung neuer Kompetenzen
- neue Themen, wie etwa die Vertiefung der Datenkompetenz (Sustainalytics)
- ggf. eine neue Rolle als Netzwerk-Broker
- Verlässliche Daten, die eine strategische Positionierung von HR rechtfertigen & Glaubwürdigkeit bei anderen Unternehmensfunktion herstellen

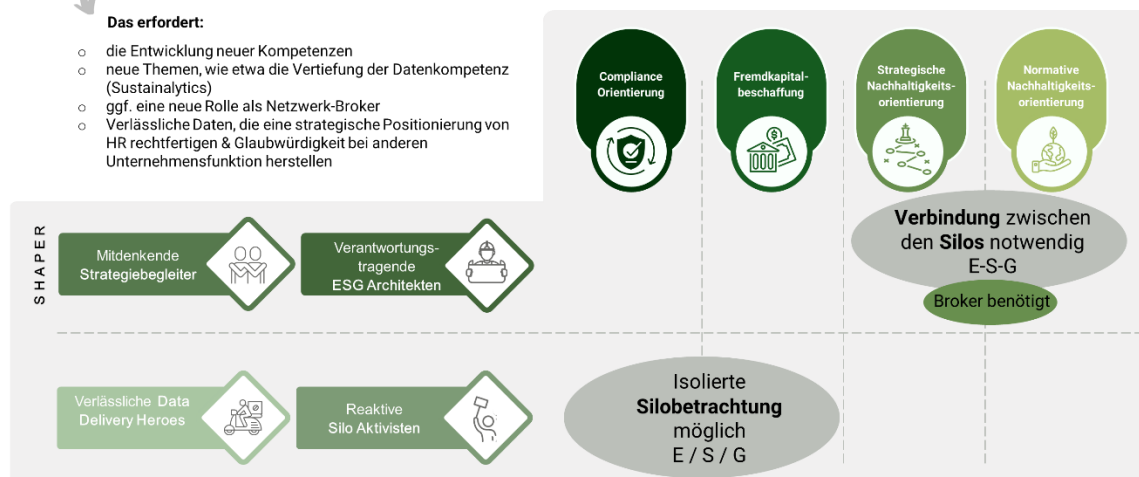


Abb. 2: ESG-Berichtspflicht und HR im Unternehmen

**Quantitative Phase**

In der zweiten Phase wurde mit dem ESG-HR-Barometer ein quantitatives Messinstrument zur Erfassung des aktuellen Stands von HR beim Thema ESG aus den Erkenntnissen der qualitativen Phase entwickelt.

Das ESG-HR-Barometer wurde im Zeitraum von Juni bis Juli 2024 als Online-Befragung durchgeführt. Am Barometer haben insgesamt 232 Unternehmensvertreter teilgenommen.

**Ergebnisse der Qualitativen Phase**

Die Ergebnisse des ESG-HR-Barometers 2024 zeigen, dass viele HR-Abteilungen sich noch in der Anfangsphase der Auseinandersetzung mit dem Thema ESG befinden: Fast die Hälfte (48%) der befragten Unternehmen haben entweder noch nicht begonnen oder beschäftigen sich erst seit weniger als sechs Monaten intensiv mit ESG. Aufgrund des entstehenden Zeitdrucks durch die ESG-Berichtspflicht reagiert HR eher und kann nicht proaktiv und strategisch vorgehen.



Es wird deutlich, dass HR-Abteilungen überwiegend nicht gut auf die Anforderungen der ESG-Berichtspflicht vorbereitet sind. Lediglich 6% der Befragten sehen HR als sehr gut vorbereitet, während 13% berichten, dass HR noch überhaupt nicht vorbereitet ist.

Der Mangel an Prozessen und Routinen sowie fehlendes Wissen über konkrete ESG-Anforderungen verstärken die Wahrnehmung von ESG als Stressfaktor. Knapp 1/5 (18%) sehen ESG explizit als Stressor, wohingegen nur weniger als 4% zum jetzigen Zeitpunkt eine Chance in dem Thema sehen. In kleineren Unternehmen stellt allein das Zusammentragen und Aufbereiten der großen Anzahl an geforderten Kennzahlen eine Mammutaufgabe dar und verursacht Stress, der kaum Raum für eine strategische Diskussion lässt. Größere Unternehmen tun sich dagegen leichter mit dem Sehen von ESG als Chance. Dies könnte an bereits stärker etablierten Kompetenzen, Strukturen & Routinen für eine Berichterstattung oder auch mehr vorhandenen Ressourcen und einer größeren Spezialisierung liegen.

Derzeit legen HR-Abteilungen ihren Fokus hauptsächlich auf die durch die ESG-Berichtspflicht geforderten sozialen Nachhaltigkeitsthemen (S-Kriterien) wie z.B. Diversity (42%), Equal Pay (37%), Gesundheitsmanagement (32%) oder auch Personalentwicklung (29%). Strategische Themen wie HR-Analytics, Organisationsentwicklung oder auch Personalmarketing stehen aktuell weniger im Vordergrund, so dass die Chance, ESG auch für eine strategische Weiterentwicklung der HR-Abteilung zu nutzen, weitgehend ungenutzt bleibt.

Zentrale Herausforderung für HR bei der Umsetzung der ESG-Berichtspflicht sind Ressourcen (personelle & zeitliche), Kompetenzen (Wissen über Anforderungen) und Integration (fehlende Positionierung & Themenintegration). Betrachtet man die Ergebnisse, zeigen sich hier vor allem fehlende Daten und fehlende Best Practices als aktuelle Herausforderungen.

Beim Blick auf die Beweggründe wird deutlich, dass der Fokus zurzeit auf der Compliance-Orientierung liegt (59%), gefolgt von der Normativen Nachhaltigkeitsorientierung (18%), der Strategischen Nachhaltigkeitsorientierung (13%) und der Fremdkapitalbeschaffung (10%). Die Ergebnisse deuten darauf hin, dass es neben der reinen Pflichterfüllung auch inhaltliche Gründe für die Umsetzung der ESG-Berichtspflicht im Unternehmen geben könnte. Die Dominanz der Compliance-Orientierung zeigt jedoch, dass für viele Unternehmen aktuell die Erfüllung der ESG-Berichtspflicht im Vordergrund steht. Es bleibt daher abzuwarten, ob dies eine bewusste Entscheidung für diesen Beweggrund war oder es dem aktuellen Stress oder auch Vorbereitungsstand bei der ESG-Berichtspflicht geschuldet ist.

Bei der Analyse der Rolle von HR im Rahmen der ESG-Berichterstattung zeigt sich, dass alle vier Rollen laut den Teilnehmenden bereits ausgeübt werden, wobei der verlässliche Data Delivery Hero mit 73% am häufigsten vertreten ist (reaktiver Silo-Aktivist 53%, mitdenkender Strategiebegleiter 45%, verantwortungstragender ESG-Architekt 31%). Auffällig ist jedoch, dass die Ergebnisse nicht mit der selbstgeäußerten HR-Readiness übereinstimmen. Hier sollte HR auch den „Blick von außen“ bei den eigenen internen Kunden einbeziehen, um die passende Rolle zu finden.

Die wichtigsten Ergebnisse im Überblick:

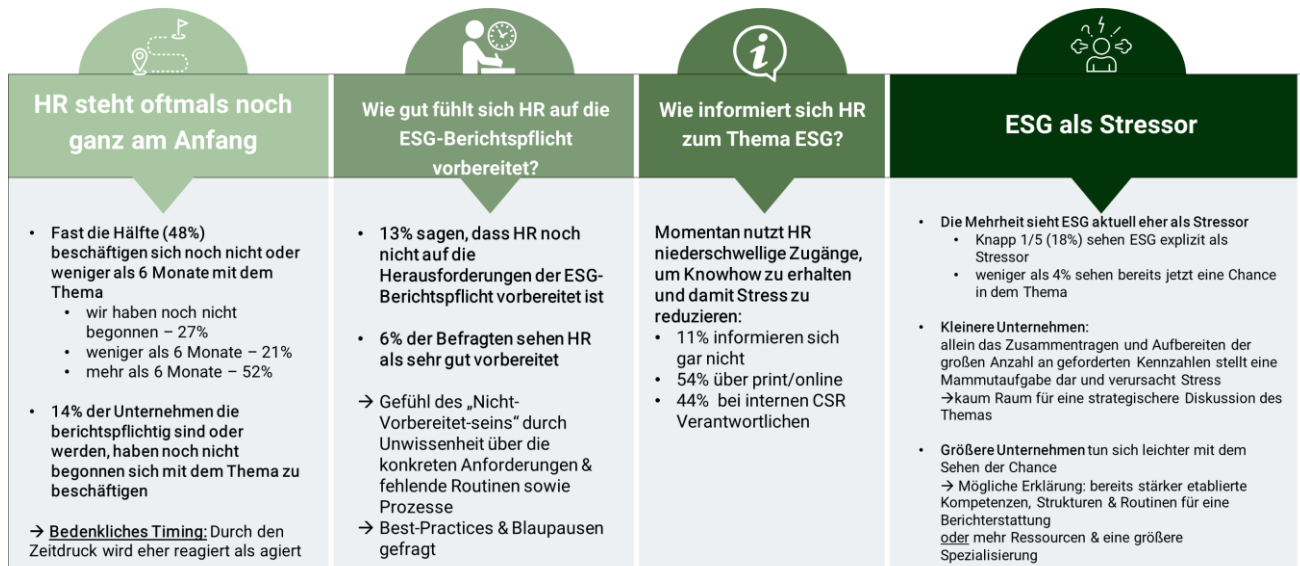


Abb. 3: Ergebnisse

## Ableich der Ziele des Forschungsprojektes

### 1. Analyse der IST-Situation auf HR-Ebene

- Bisherige Nachhaltigkeitsexperten tragen meist die Gesamt-ESG-Verantwortung (oftmals mit unveränderten Ressourcen und Kapazitäten).
- Es zeigt sich kein Steuerungsauftrag für ESG-Gesamt an HR. Es gibt unterschiedlichste Formen der Zusammenarbeit bzw. Zuarbeit.

### 2. Umgang von HR mit ESG-Anforderungen

- HR kann im Rahmend der ESG-Berichterstattung verschiedene Rollen einnehmen.
- Viele HR-Bereiche stehen aktuell erst am Anfang der Auseinandersetzung mit der ESG-Berichtspflicht und sind oftmals nicht gut vorbereitet.
- ESG wird zum aktuellen Zeitpunkt eher als Stressor denn als Chance gesehen.

### 3. Konkretisierung von Aufgaben und Verantwortlichkeiten

- Durch ESG gibt es meist keine neuen Themen für HR, es erfolgt jedoch eine Stärkung der HR-Kernaufgaben.
- HR fokussiert sich vor allem auf die durch die ESG-Berichtspflicht geforderten Themen (Themen der S-Kriterien – z.B. Diversity, Equal Pay etc.).

### 4. Ermittlung der HR-Readiness in Bezug auf ESG

- Für einen Großteil der HR-Bereiche lässt sich die HR-Readiness wie folgt zusammenfassen: gestresst, unvorbereitet, am Anfang stehend.
- Einige HR-Bereiche haben ESG jedoch als Chance erkannt und beschäftigen sich bereits intensiver mit dem Thema.

## Fazit und Ausblick

Das Projekt unterstreicht somit die Notwendigkeit für HR, der ESG-Berichtspflicht einen strategischen Rahmen zu geben und die Potenziale für eine aktiv gestaltende Rolle zu erkennen und auszuschöpfen. Ein bislang untererforschter Aspekt ist die Frage, wie HR als Role Model im Bereich Wertschätzung agieren kann und somit nicht nur die Kultur der Organisation prägt, sondern auch die langfristige Bindung und Motivation der Mitarbeitenden stärkt. Wertschätzung ist eine Kernkomponente des sozialen Aspekts von ESG und beeinflusst maßgeblich die Zufriedenheit, das Engagement und die Produktivität der Mitarbeitenden. Künftige Forschung sollte untersuchen, welche konkreten Ansätze und Praktiken HR entwickeln kann, um Wert-

schätzung nicht nur zu fördern, sondern aktiv vorzuleben. Ein weiterer wichtiger Forschungsstrang betrifft die Zusammenarbeit von HR mit Organen der Mitbestimmung, wie Betriebsräten und Gewerkschaften. Diese Organe spielen eine entscheidende Rolle bei der Sicherstellung sozialer Gerechtigkeit und der Wahrung von Arbeitnehmerrechten. Eine stärkere Bündelung der Kräfte zwischen HR und diesen Institutionen könnte die Umsetzung von ESG-Strategien erheblich fördern. Hierbei sollte die Forschung untersuchen, wie Kooperationsmodelle ausgestaltet sein könnten, um Synergien zu schaffen und potenzielle Interessenkonflikte zu minimieren. Fragen der Machtverteilung, der Entscheidungsfindung und der gemeinsamen Zielsetzung sind dabei von zentraler Bedeutung.

Im zweiten Projekt ging es um den **Einsatz von Employee-Listening-Methoden in unterschiedlichen organisationalen Kontexten (ELMoK)**. Das Projekt hatte eine Laufzeit vom 01.06.2023 bis 31.05.2024. Die Finanzierung erfolgte durch die Effactory Deutschland GmbH. Projektbeteiligte am IfP waren Prof. Dr. Stephan Fischer und Dr. Sabrina Weber.

In der Praxis vieler Unternehmen kommen 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 die 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 Projektes lautete daher: Sind Employee-Listening-Methoden universell einsetzbar oder ist es erforderlich, sie jeweils an den Organisationstyp anzupassen? Ziel des Forschungsprojektes war 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 kamen, neben einer Literaturanalyse, qualitative und quantitative Methoden der empirischen Sozialforschung zum Einsatz: Zunächst wurden neun **explorative Interviews** mit Expertinnen und Experten aus unterschiedlichen Unternehmen in Deutschland geführt. Die Ergebnisse weisen darauf hin, dass

- unternehmensweiten Surveys eine große Rolle im Employee Listening zukommt,
- Pulse Surveys zunehmend genutzt werden (im Sinne eines Continuous Listening),
- offenere und/oder teambezogene Listening-Formate insbesondere in agilen Unternehmen eine Rolle spielen,
- sowohl Anlässe als auch Zielsetzungen des Employee Listening unterschiedlich sein können,
- bei der Einbettung des Employee Listening Herausforderungen bestehen können,
- Folgeprozessen und ihrer Gestaltung eine wichtige Rolle zukommt, wobei die Organisationskultur zu beachten ist.

Die Erkenntnisse der qualitativen Interviews wurden für eine quantitative Studie genutzt. An einer Online-Befragung von März bis Mai 2024 konnten Personen aus dem HR-Bereich ebenso wie Führungskräfte oder Teammitglieder teilnehmen. Aufgrund der geringen Fallzahl (n=30) sind alle Ergebnisse mit der gebotenen Vorsicht zu interpretieren. Die Ergebnisse der

Befragung deuten eine Unterstützung der leitenden Hypothesen an, dass sich zwei grundlegende Organisationstypen (klassisch vs. agil) unterscheiden lassen, die tendenziell jeweils unterschiedliche Employee-Listening-Methoden einsetzen und dann auch unterschiedlich mit den Ergebnissen aus dem Employee Listening umgehen. Zudem ergab die Befragung Hinweise darauf, dass sich auch die Gründe für den Einsatz von Employee-Listening-Methoden zwischen den beiden Organisationstypen unterscheiden.

Für eine zukunftsgerichtete Unterstützung von Unternehmen bei der Ausrichtung ihrer Employee-Listening-Methoden könnte es auf Basis der Ergebnisse der beiden Teilstudien angebracht sein, folgende Punkte besonders zu beachten bzw. ihnen künftig (größere) Bedeutung zuzumessen:

- Sowohl die Ansprache von Unternehmen als auch die Ausgestaltung des Employee Listening selbst sollten berücksichtigen, ob es sich um eher agile oder eher klassische Unternehmen handelt.
- Hierbei ist insbesondere auf den üblichen Grad der Partizipation von Mitarbeitenden zu achten bzw. sind die für die Entwicklung des Kurz-Inventars benannten Faktoren „Vernetzung und Beteiligung“, „Kooperation“ und „Offenheit und Vertrauen“ zu berücksichtigen.
- Weiterhin sind die Zielsetzung bzw. die unterliegenden Gründe für den Einsatz von Employee-Listening-Methoden zu eruieren.

Forschungspraktisch ist festzuhalten, dass die Rekrutierung von geeigneten Teilnehmenden für die qualitative Teilstudie (qualitative Online-Interviews) sehr gut gelang, wohingegen sich die Rekrutierung von Teilnehmenden für die quantitative Teilstudie (Online-Befragung) schwieriger gestaltete (trotz des wesentlich geringeren benötigten Zeitaufwands für die Teilnehmenden). Die Rekrutierungskanäle bestanden jeweils in den Netzwerken der Projektpartner. Der entscheidende Unterschied ist in der direkten persönlichen Ansprache potenzieller Teilnehmenden im Rahmen der qualitativen Teilstudie zu vermuten.



**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

\*ausgeschieden am 31.05.24

**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)

## 1.2.7 Institut für Verbraucherforschung und nachhaltigen Konsum – vunk

### vunk-Institutsgründung

Mit Beschluss des Hochschulsenats wurde am 7. Februar 2024 das Institut für Verbraucherforschung und nachhaltigen Konsum – vunk – als Institut der Fakultät für Wirtschaft & Recht an der Hochschule Pforzheim im Sinne des § 15 Abs. 7 LHG BW eingerichtet. Das 2017 zunächst als Kompetenzzentrum gegründete vunk betreibt angewandte Forschung zu Fragestellungen, die den Verbraucher und Nutzer in einer zunehmend digitalen Gesellschaft der Zukunft in den Mittelpunkt stellen. In den bisherigen Projekten des vunk ging es zum Beispiel um den vorzeitigen Verschleiß von Produkten, die Streitbeilegung zwischen Verbrauchern und Unternehmen, den Schutz vor falschen Bewertungen im Internet sowie neuerdings die Nutzung von Künstlicher Intelligenz, z.B. für die Durchsetzung von Verbraucherrechten. Dabei arbeiten regelmäßig Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler unterschiedlicher Disziplinen zusammen – aus dem Recht, der Ethik, der Ökonomie, der Informatik, Technik und Gestaltung. Die Ergebnisse ihrer Forschung trägt das vunk sodann in Wissenschaft, Wirtschaft, Medien und Politik, aber auch in ihre eigene Lehre an der Hochschule Pforzheim hinein. Fachgruppen des vunk bündeln seitdem die Forschung zu „Digitalisierung und IT“, „Nachhaltigkeit“, „Verbraucherrecht“ und „Streitbeilegung“, „Konsumentenforschung & Market Insights“, „Lehre“ und „Werte“. Die Arbeit des vunk wird laut seiner Satzung begleitet von Forschungsfellows und einem Beirat. Die Leitung des vunk-Instituts obliegt in einer initialen Amtszeit Prof. Dr. Tobias Brönneke und Prof. Dr. Steffen Kroschwald.



Abb. 1: Die beiden Leiter des vunk: Professor Dr. Steffen Kroschwald (links) und Professor Dr. Tobias Brönneke.  
Foto: Michael Karalus

### Personelle Veränderungen

Nach Gründung wurden teilweise Mitglieder des vormaligen Zentrums im neuen Institut aufgenommen. Im Laufe des Jahres 2024 wurden darüber hinaus neu als Mitglieder des Instituts aufgenommen, jeweils aus der Fakultät Wirtschaft und Recht, Prof. Dr. Margarita Bidler, Prof. Dr. Svenja Buckstegge, Prof. Dr. Ulrich Föhl, Prof. Dr. Yasmin Merz, Prof. Dr. Anja Spilski. Das vunk-Institut hat damit insgesamt 20 professorale Mitglieder (Stand 31.12.2024).

In den Beirat des Instituts neu aufgenommen wurden Stefan Ebelt, UBA-Verbändeprojekt We-WaWi und Vorstandsmitglied ReUse e.V. Berlin, Jutta Gurkmann, Leiterin Geschäftsbereich Verbraucherpolitik, Verbraucherzentrale Bundesverband e.V. (vzbv) sowie Prof. Dr. Tobias

Keber, Landesbeauftragter für den Datenschutz und die Informationsfreiheit Baden-Württemberg (LfDI BW).

Als neue Forschungsfellow benannt wurde Prof. Dr. phil. Christa Wehner, die mit Eintritt in den Ruhestand als aktives Mitglied des vunk-Instituts ausgeschieden war.

In Projekten des vunk sind aktuell eine wissenschaftliche Mitarbeiterin (Frau Zina Al-Washash, LL.M.) sowie drei studentische Hilfskräfte (Carmen Di Marco, Vanessa Schweikert, Annalena Secci) beschäftigt.



Abb. 2: Das Team: Vanessa Schweikert (studentische Mitarbeiterin), Professor Dr. Steffen Kroschwald (Leiter des vunk), Marta Kast (Sekretariat des vunk), Professor Dr. Tobias Brönneke (Leiter des vunk) und die Wissenschaftlichen Mitarbeiter/-innen Zina Al-Washash, Patrik Schmidt und Lukas Waidelich

### Entwicklungen in den Fachgruppen

Das Forschungsinteresse in der Fachgruppe „**Digitalisierung und IT**“ ist es, Menschen in einer digitalen, allumfassend vernetzten Welt zu schützen sowie Transparenz, Selbstbestimmung und Teilhabe zu fördern und sicherzustellen. In der Fachgruppe „Digitalisierung & IT“ werden aktuell die Projekte „KIVEDU“ und „EVIDENTT“ bearbeitet (hierzu nachfolgend). Vortrags- und Publikationstätigkeiten bezogen sich unter anderem auf Privacy-Aware and -Compliant Design of Data-Driven Digital Products auf Grundlage sogenannter „Legal and Technical Patterns“ (Vásquez/Schuster/Kroschwald, 2024). Ferner auf die Frage der (Produkt-)Haftung bei der Verarbeitung personenbezogener Daten (Vásquez/Al-Washash/Kroschwald, 2024).



Abb. 3: Sheila Vásquez, LL.M., Zina Al-Washash, LL.M., und Prof. Dr. Steffen Kroschwald in der DuD-Ausgabe 9/2024 unter dem Titel „(Produkt-)Haftung bei der Verarbeitung personenbezogener Daten – die Verbraucherperspektive“

Die im Herbst 2024 gegründete Fachgruppe „**Konsumentenforschung & Market Insights**“ unter der Leitung von Prof. Dr. Anja Spilski (Mitglieder: Prof. Dr. Margarita Bidler, Prof. Dr. Thomas Cleff, Prof. Dr. Ulrich Föhl, Prof. Dr. Yasmin Merz, Prof. Gabriele Naderer) befasst sich mit den Beziehungen zwischen Konsumentinnen und Konsumenten zu Unternehmen, Marken und Produkten. Sie erforscht einerseits das Erleben und Verhalten von Menschen in unterschiedlichen Phasen des Konsumprozesses. Andererseits werden die Marketingstrategien (national und international), Geschäftsmodelle (in der Verknüpfung von analogen und digitalen Welten) und nachhaltigen Verhaltensweisen von Unternehmen untersucht. Die Beziehungen zwischen Konsumentenverhalten und Unternehmensverhalten werden durch empirische Untersuchungen beleuchtet.

Die Fachgruppe „**Nachhaltigkeit**“ befasst sich interdisziplinär mit der ökologisch, ökonomisch und sozial nachhaltigen Gestaltung von Produkten und Konsumverhalten. Ein zentraler Schwerpunkt liegt auf der Lebensdauerplanung von Hardware- und Softwareprodukten, um vorzeitiges und unerwartetes Unbrauchbarwerden zu verhindern. Hierbei werden Erwartungen von Verbraucherinnen und Verbrauchern sowie ihre unbewussten Wahrnehmungen in Bezug auf Lebensdauer und Nachhaltigkeit untersucht. Ebenso wird der nachhaltige Konsum, insbesondere von Energie, im Kontext globaler und nationaler Ziele erforscht. Die Fachgruppe trägt durch wissenschaftliche Analysen und Konzeptentwicklungen zur nachhaltigen Transformation von Konsum und Produktion bei.

Die Fachgruppe „**Verbraucherrecht**“ beschäftigt sich mit den Rechtsregeln, die speziell für private Endverbraucher von Bedeutung sind. Dazu gehören sowohl Regelungen, die das Verhältnis zwischen kommerziellen Unternehmern und Verbrauchern betreffen, als auch solche, die für Verbraucher von besonderem Interesse sind, obwohl sie auch im professionellen Geschäftsverkehr Anwendung finden. Ein besonderer Fokus liegt auf der rechtspolitischen Weiterentwicklung der Verbraucherrechte auf nationaler und europäischer Ebene.

Die Fachgruppe „**Verbraucherstreitbeilegung**“ erforscht Möglichkeiten zur effektiven Durchsetzung von Verbraucherrechten. Im Mittelpunkt stehen dabei die Verbraucherstreitbeilegungsstellen, die durch das Verbraucherstreitbeilegungsgesetz von 2016 flächendeckend eingeführt wurden. Diese bieten eine kostengünstige und niederschwellige Alternative zu gerichtlichen Verfahren. Die wissenschaftliche Begleitung des Aufbaus und Betriebs dieser Streitbeilegungsstellen ist essenziell, um deren Wirksamkeit und Effizienz zu gewährleisten.

Die Fachgruppe „**Werte**“ untersucht die gesellschaftlichen Werte, die in demokratischen Prozessen in Gesetzen und Rechtsakten verankert sind. Besondere Aufmerksamkeit gilt Zielkonflikten zwischen diesen Werten, beispielsweise zwischen Nachhaltigkeit und Wettbewerb im Wettbewerbsrecht oder zwischen Klimaschutz und monetären Zielen in der Geldpolitik der Europäischen Zentralbank. Darüber hinaus werden Normen und Werte im zeitlichen Wandel analysiert, um eine fundierte Diskussion über wünschenswerte gesellschaftliche Ziele zu fördern.

Die Fachgruppe „**Lehre**“ konzentriert sich auf die didaktische Vermittlung von Wissen im Bereich Verbraucherforschung und nachhaltiger Konsum. Ziel ist es, Studierende für aktuelle Herausforderungen in Verbraucherpolitik, Recht, Nachhaltigkeit und Digitalisierung zu sensibilisieren und praxisorientierte Kompetenzen zu vermitteln. Durch interaktive Lehrformate und die Integration von Forschungsergebnissen in die Lehre wird ein ganzheitlicher Bildungsansatz verfolgt, der die Studierenden auf ihre zukünftigen Aufgaben in Wissenschaft, Wirtschaft und Gesellschaft vorbereitet.





Abb. 4: Die vunk-Leitung Professor Dr. Tobias Brönneke und Professor Dr. Steffen Kroschwald, mit einigen Mitgliedern des vunk im Sommer 2023: Professorin Dr. Christa Wehner (Forschungsfellow des vunk), Professorin Gabriele Naderer (Konsumentenpsychologie), Rektor Professor Dr. Ulrich Jautz, Prorektor Professor Dr. Frank Niemann, Dekan Professor Dr. Thomas Cleff und Professor Dr. Felix Buchmann (Fachanwalt für IT-Recht sowie Urheber- und Medienrecht). Foto: Axel Grehl

### **vunk-Projekte**

#### **EVIDENTT – Einsatz verteilter Technologien zur beweissicheren Dokumentation von Verbraucherschutzverstößen auf Online-Plattformen (Prof. Dr. Steffen Kroschwald, Prof. Dr. Thomas Schuster)**

Im Jahr 2024 neu hinzugekommen ist das Projekt „Einsatz verteilter Technologien zur beweissicheren Dokumentation von Verbraucherschutzverstößen auf Online-Plattformen, EVIDENTT“. Die Machbarkeitsstudie „EVIDENTT“ beschäftigt sich mit der Frage, wie Rechtsverstöße auf Online-Plattformen, darunter zum Beispiel Hassrede oder unlauterer Wettbewerb, zuverlässig und rechtssicher dokumentiert werden können. In digitalen Räumen sind rechts-, insbesondere verbraucherschutzrechtsverletzende Inhalte oft schnell wieder verschwunden oder werden verändert, was es für Betroffene und Schutzverbände sowie die Justiz schwierig macht, diese Verstöße nachzuweisen und das Recht entsprechend durchzusetzen. Diese Entwicklung wird durch neue technologische Möglichkeiten, insbesondere der Künstlichen Intelligenz (bspw. Deep Fakes) verstärkt. Das bisher gängige Mittel, Beweise in Form von Screenshots zu sichern, reicht nicht aus, da diese leicht manipuliert oder gelöscht werden können.

Ziel der Studie ist es, herauszufinden, ob verteilte Technologien wie die sogenannte Distributed Ledger Technology (DLT), eine Technologie, die zum Beispiel Blockchains zugrunde liegt, zur beweissicheren Dokumentation von Verstößen beitragen können. Im Projekt wird erforscht, ob DLT und vergleichbare Technologien die bestehenden Schwächen bei der Beweissicherung beheben können. Hierbei handelt es sich um eine interdisziplinäre Untersuchung, bei der nicht nur technische Aspekte, sondern vor allem auch rechtliche und wirtschaftliche Fragen analysiert werden.

Für eine rechtskonforme Gestaltung des Lösungsansatzes werden insbesondere die jüngeren umfassenden Regulierungsaktivitäten der Europäischen Union – unter anderem zur Verantwortlichkeit auf Online-Plattformen – sowie das beim Einsatz von DLT sensible Datenschutz- und KI-Recht im Sinne einer Rechtmäßigkeit „by Design“ berücksichtigt.

Ziel des Projektes ist die Erstellung einer Machbarkeitsstudie und die Abgabe konkreter Empfehlungen entsprechender Technologien für die Verwendung als rechtssicheres und gerichts-festes Erfassungs- und Dokumentationsmedium.

Die Projekt- und Konsortialleitung liegt beim vunk-Institut (Prof. Dr. Steffen Kroschwald). Neben dem vunk beteiligte Forschungseinrichtungen sind das IoS<sup>3</sup> – Institut für Smart Systems und Services, Hochschule Pforzheim, Prof. Dr. Thomas Schuster sowie das Institut AIFB des Karlsruher Instituts für Technologie (KIT), Forschungsgruppe Digital Privacy, Dr.-Ing. Gunther Schiefer. Die Projektlaufzeit ist von Dezember 2024 bis August 2025. Das Projekt wird gefördert von der Baden-Württemberg Stiftung.

### **KIVEDU – Künstlich-intelligente Verbraucherdurchsetzung (Prof. Dr. Steffen Kroschwald)**

Im laufenden Projekt, „Künstlich-intelligente Verbraucherdurchsetzung“ (KIVEDU) (2023–2025), gefördert durch das Förderprogramm Invest BW des Ministeriums für Wirtschaft, Arbeit und Tourismus des Bundeslands Baden-Württemberg, Förderkennzeichen BW1\_3092/03, soll ein KI-basiertes System entwickelt werden, das im Bereich des sogenannten „Private Enforcement“ unter anderem Unterlassungsgläubiger in die Lage versetzt, ihre Rechte und die Durchsetzung ihrer Ansprüche automatisiert sicherzustellen.



2024 wurden Arbeiten an der datenschutz- und urheberrechtlichen Analyse, der Softwareentwicklung und dem KI-Finetuning maßgeblich vorangetrieben bzw. abgeschlossen. Für verbleibende Arbeiten, darunter das Testing und die Evaluation sowie die Untersuchung neuer gesetzlicher Regelungen (z.B. zum KI-Recht), konnte eine Projektverlängerung bis August 2025 erfolgreich beantragt werden.

Abb. 5: KIVEDU Projekttreffen in den Räumlichkeiten von XPACE GmbH im November 2024. Foto: vunk

## Medi-PI – Mehrwert der Bereitstellung von Nutzerdaten zur Personalisierung und Individualisierung von Medienangeboten (Prof. Dr. Steffen Kroschwald)

Das bereits 2023 bewilligte Projekt „Mehrwert der Bereitstellung von Nutzerdaten zur Personalisierung und Individualisierung von Medienangeboten“ (Medi-PI) ist mittlerweile abgeschlossen. Gegenstand dieses Projekts für eine öffentlich-rechtliche Medienanstalt war die Analyse technischer und rechtlicher Rahmenbedingungen des Einsatzes datenbasierter Empfehlungssysteme im öffentlich-rechtlichen Rundfunk sowie die Entwicklung von Gestaltungsansätzen, die einen Einsatz solcher Verfahren nicht nur rechtskonform, sondern auch verantwortungsvoll und vertrauensfördernd ermöglichen. Hierzu wurde ein umfassendes Gutachten vorgelegt.

### Wichtige Publikationsleistungen

Die Publikationen des vunk 2024 spiegeln seine interdisziplinäre Ausrichtung und die verschiedenen Aktivitäten der Fachgruppen wider. Hier kann nur eine Auswahl genannt werden.

Einer der Schwerpunkte lag auf rechtlichen und technischen Fragestellungen, insbesondere im Kontext des Datenschutzes und der Digitalisierung. Ein im *European Journal of Consumer Law* erschienener Beitrag (Kroschwald, Schuster und Vásquez, 2024) thematisiert die Gestaltung datengestützter digitaler Produkte unter Berücksichtigung von Datenschutzerfordernissen. Ergänzend wurde im Beitrag in der Fachzeitschrift *Datenschutz und Datensicherheit* die (Produkt-)Haftung bei der Verarbeitung personenbezogener Daten aus der Perspektive der Verbraucher untersucht (Vásquez, Al-Washash und Kroschwald, 2024). Darüber hinaus widmet sich ein Kapitel im Lehrbuch *Internationale Handelsgeschäfte* den Herausforderungen internationaler IT-Projektverträge (Kroschwald, in: Gildeggen et al., 2024).

Im Bereich der Konfliktbewältigung und des Verbraucherschutzes analysiert ein Beitrag kritisch die Vorschläge der EU-Kommission zur Reform der Verbraucherstreitbeilegung in der *Zeitschrift für Konfliktmanagement (ZKM)* (Brönneke, 2024), während vunk-Forschungsfellow Röthemeyer, 2024, ebenfalls in der *Zeitschrift für Konfliktmanagement (ZKM)* offene Fragen zur neuen Verordnung über die Aus- und Fortbildung von zertifizierten Mediatoren beleuchtete.

Im technischen Bereich steuerte das vunk einen praxisorientierten Beitrag zum *Symposium Elektromagnetismus* zum Design einer elektrischen Traktionsmaschine und deren Kühlung bei, die in Bezug auf nachhaltigen Konsum einen besonderen Fokus auf nachhaltige Stoffeinsätze legte, Heidrich (2024).

Die mit einer eigenen Fachgruppe nunmehr vertretene Konsumentenforschung war ebenfalls publikationsaktiv. Mit Beitrag im *Journal of Cleaner Production* wurden die Kaufabsichten junger Konsumenten in Bezug auf nachhaltige Produkte analysiert (Cleff et al., 2024). Mit Beitrag auf der *AMA Winter Academic Conference* wurden die Rolle von Statuskonsum bei Maximieren und dessen medienvermittelnde und moderierende Variablen untersucht (Kienzler und Föhl, 2024). Im *Journal of Current Issues and Research in Advertising* beleuchteten unter anderem vunk-Mitglieder den Einfluss von Mikro- und Mega-Influencern auf deren Erfolg (Walter, Föhl und Zagermann, 2024). Im *Journal of Business Research* erschien sodann ein Beitrag zur Wirkung eines authentischen Markenversprechens im Vergleich zu sogenanntem „Woke Washing“ (Walter, Föhl, Sader und Nies, 2024).

## Veranstaltungen, Vorträge und Highlights

Im Jahr 2024 war das vunk-Institut über Publikationen und Projekte hinaus auch in weiteren Bereichen aktiv und konnte seine Expertise in den Bereichen Verbraucherrecht, Nachhaltigkeit und Digitalisierung einbringen.

Eine besondere Anerkennung erhielt das Institut durch die Berufung eines Mitglieds in die Verbraucherkommission Baden-Württemberg, ein unabhängiges Expertengremium, das die Landesregierung in Fragen der Verbraucherpolitik berät, durch Minister Hauk. Dabei soll insbesondere Expertise im Bereich digitaler Teilhabe, des fairen Zugangs und digitaler Selbstbestimmung eingebracht werden (Kroschwald).

Das vunk war auf mehreren Fachkonferenzen mit Vorträgen vertreten. Auf dem Göttinger Forum IT-Recht wurde das Projekt „KIVEDU“ zur datenschutzfreundlichen Gestaltung KI-basierter Systeme vorgestellt, das sich mit der Verbraucherrechtsdurchsetzung durch Künstliche Intelligenz befasst (AI-Washash, Kroschwald). Ein weiterer Beitrag zur Gestaltung von KI-Systemen wurde auf der Wissenschaftstagung des Bunds der Versicherten e.V. präsentiert, wobei rechtssichere und vertrauensfördernde Ansätze beleuchtet wurden (Kroschwald). Das vunk war überdies mit einem Vortrag beim Verbrauchersforschungsforum 2024 zur „Verbraucherbildung in der digitalen Welt“ des Forschungszentrums Verbraucher, Markt und Politik (CCMP) vertreten.

Im Rahmen des Nachhaltigkeitsdialogs der Mercedes-Benz-Gruppe wurde ein Vortrag zu Teilhabe und fairer Datenverteilung in digitalen Gesellschaften gehalten, der einen Diskurs über Datenverantwortung in der Automobilindustrie anregte (Kroschwald). Zudem wurde auf dem Verbrauchertag Baden-Württemberg des Ministeriums für Ernährung, Ländlichen Raum und Verbraucherschutz BW ein Beitrag zum Schutz von Verbrauchern durch das Recht Künstlicher Intelligenz eingebracht (Kroschwald).



Abb. 6: Professor Dr. Steffen Kroschwald mit einem Beitrag zum Schutz der Verbraucher durch das Recht Künstlicher Intelligenz beim MLR BW. Bildquelle: MLR BW

Auch im Bereich der technischen Innovation wurden Ergebnisse präsentiert. Auf dem Symposium Elektromagnetismus wurde ein Konzept zur Wiederverwendung von Seltene-Erde-Permanentmagneten in Traktionsmaschinen vorgestellt, das einen nachhaltigen Umgang mit Ressourcen demonstrierte (Heidrich). Der Beitrag fand auch Eingang in ein neu geschaffenes For-



mat „vunk.Reallabore“: Ein Reallabor ist eine innovative Einrichtung, die als Schnittstelle zwischen Wissenschaft und Zivilgesellschaft fungiert. Hier werden experimentelle Umgebungen geschaffen, die es ermöglichen, gemeinsam an Problemlösungen für die Gesellschaft der Gegenwart und der Zukunft zu arbeiten und voneinander zu lernen. Im konkreten Fall wurde ein studentisches Projekt zum Re-Use von Permanentmagneten beschrieben.

Studierende des vunk wurden auch in vunk-eigenen Projekten eingebunden. Im Rahmen des Forschungsprojekts KIVEDU wurde ein Einblick in die Arbeit der Wettbewerbszentrale in Bad Homburg ermöglicht, wodurch das Projekt unterstützt und praktische Erfahrungen gesammelt wurden (Speidel, Maaß-Ducteil).

Ein Beitrag einer studentischen Mitarbeiterin des vunk widmet sich der Veröffentlichung von Kinderfotos im Internet unter Berücksichtigung der DSGVO, der sowohl in der vunk-Schriftenreihe veröffentlicht als auch mit einem Preis ausgezeichnet wurde (Secci). Ergänzend wurde eine vom vunk betreute Thesarbeit zur CE-Kennzeichnungspflicht im Kontext des neuen Sachmangelbegriffs veröffentlicht (Flattich).

Zusätzlich fand eine praxisorientierte Veranstaltung zur Konfliktlösung statt, in der alternative Methoden wie Mediation und Schlichtung als effektive Alternativen zu Gerichtsverfahren diskutiert wurden (Braun, Kayser). Dr. Christoph Schmon, International Policy Director der US-amerikanischen NGO Electronic Frontier Foundation EFF, San Francisco, und Forschungsfellow des vunk, referierte ferner in einer vom vunk organisierten Vorlesung zur europäischen Internetregulierung.

Am Tag der Nachhaltigkeit der Hochschule Pforzheim wurden Forschungsprojekte des vunk in diesem Bereich der Hochschulöffentlichkeit präsentiert (Heidrich). Darüber hinaus wurde im Rahmen eines neuen Debattenformats (Flur.vunk) eine Diskussion über nachhaltige und verbraucherfreundliche Geschäftsmodelle, konkret, ob sogenannte Secret Pack-Automaten „nachhaltig oder kurzlebig“ sind, angestoßen (Kroschwald).

**Institutsleitung: Prof. Dr. Tobias Brönneke und Prof. Dr. Steffen Kroschwald**

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

## 1.2.8 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 drei Professoren und drei Mitarbeiter/-innen.

Im folgenden Bericht werden die beiden Forschungsschwerpunkte (1.) Kreativität und Spiel (2.) sowie Innovation und Interdisziplinarität, die im Jahr 2024 am HEED maßgeblich bearbeitet worden sind, näher dargestellt.

### 1. Forschungsschwerpunkt: Kreativität und Spiel

Zum Forschungsschwerpunkt „Spiel“ konnte im Frühjahr die Konzeption und Implementierung eines Live Adventure Games im Technischen Museum der Pforzheimer Schmuck- und Uhrenindustrie abgeschlossen werden. Unter dem Titel „Das verschwundene Vermächtnis“ (<https://www.technisches-museum.de/fuehrungenworkshops/adventure-game.html>) wurde das Projekt über drei Jahre hinweg von Prof. Dr. Thomas Hensel gemeinsam mit Studierenden der HfG Karlsruhe sowohl curricular als auch extracurricular realisiert (zum Medienecho siehe beispielsweise <https://open.spotify.com/episode/6sZMTND2UcBYbknBjOT2IJ>).

Des Weiteren konnte zum selben Forschungsschwerpunkt von Prof. Dr. Thomas Hensel eine kleine Monographie über Albrecht Dürers „Traumgesicht“ aus dem Jahr 1525 abgeschlossen werden, die im Jahr 2025 erscheinen soll. Ein Preprint wurde bereits auf Academia.edu unter dem Titel „Albrecht Dürers *Traumgesicht* von 1525. Ein Bildexperiment zwischen Kontingenz und Kalkül“ veröffentlicht ([https://www.academia.edu/116397503/Albrecht\\_Du\\_rers\\_Traumgesicht\\_von\\_1525\\_Ein\\_Bildexperiment\\_zwischen\\_Kontingenz\\_und\\_Kalku\\_l](https://www.academia.edu/116397503/Albrecht_Du_rers_Traumgesicht_von_1525_Ein_Bildexperiment_zwischen_Kontingenz_und_Kalku_l)).

Ebenfalls zum Forschungsschwerpunkt „Spiel“ wurde Prof. Dr. Thomas Hensel für das Wintersemester 2024/25 als Senior Fellow an die Kolleg-Forschungsgruppe „Imaginarien der Kraft“ der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG) an die Exzellenz-Universität Hamburg eingeladen. Hier schreibt er an einer Monografie zum Thema „Das Spielen des Bildes. Zur Ikonizität des Computerspiels“ (<https://www.imaginarien-der-kraft.uni-hamburg.de/fellows/fellows-2023-2027/senior-fellows/hensel.html>).

### 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 sowohl zwischen Disziplinen als auch zwischen Sektoren, gesellschaftlichen Schichten oder geografischen Regionen.

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

Die bisherigen Arbeiten an der Schnittstelle zwischen Innovation und Science-Fiction wurden fortgeführt und weiterentwickelt. 2024 wurde die Einordnung Science-Fiction-basierter metho-

discher Ansätze in den Innovationsprozess verfeinert und präzisiert und für die Veröffentlichung in der Zeitschrift Futures eingereicht. Parallel wurde an weiteren Themen gearbeitet wie beispielsweise der Identifikation möglicher Anwendungsfelder für Quantentechnologien inspiriert aus der Science-Fiction und eines Science-Fiction-inspirierten Workshops zur Zukunft der Innovation.

Das durch die Volkswagen Stiftung finanzierte Scoping-Projekt zum Themenfeld des Science-Fiction Thinking wurde 2024 in Form einer empirischen Umfrage ausgewertet, um Erkenntnisse zu den Effekten dieser Form der interdisziplinären Zusammenarbeit zu gewinnen.

*Vortrag zum Thema:*

Schimpf, S. (2024) The unimaginable future of R&D and innovation unveiled with the help of science fiction and artificial intelligence. Proceedings of the R&D Management Conference 2024, June 17<sup>th</sup> to 19<sup>th</sup>. Stockholm: KTH Royal Institute of Technology.

### **Interdisziplinarität als Enabler ambitionierter Innovationen**

Die Ergebnisse der Studie mit Unternehmen zu den Rahmenbedingungen und Herausforderungen der interdisziplinären Zusammenarbeit in Unternehmen konnte 2024 im Journal of Innovation and Entrepreneurship veröffentlicht werden.

Dazu wurde an einem methodischen Ansatz gearbeitet, um potenziell disruptive Innovationen frühzeitig über Muster in Patenten zu identifizieren.

Um eine Brücke zwischen früheren und heutigen methodischen Ansätzen zu schlagen, konnte auch die Arbeit zur Schnittstelle zwischen der Bauhaus-Bewegung und dem Management von Innovationen zu einer Veröffentlichung im Journal of Technology Management gebracht werden.

### **Roadmapping in der Praxis**

Die Weiterentwicklung des Themas „Roadmapping in der Praxis“ ist mit dem Schwerpunkt der Interdisziplinarität und aufbauend auf der explorativen Studie zum Umgang von Unternehmen mit Interdisziplinarität in Innovationsprojekten im Forschungssemester (SS2025) von Prof. Sven Schimpf vorgesehen.

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

Im Oktober 2023 ist das durch das Bundesministerium für Bildung und Forschung geförderte Forschungsprojekt **QOI** gestartet. 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.

*Vortrag zum Thema:*

Burghardt, J. & Schimpf, S. (2024) Overcome the technological valley of death with the help of maker toolkits: an analysis of maker-toolkits. Proceedings of the R&D Management Conference 2024, June 17<sup>th</sup> to 19<sup>th</sup>. Stockholm: KTH Royal Institute of Technology.

**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
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. Hendrik Lambrecht	Wirtschaft und Recht
(3)	Prof. Dr. Claus Lang-Koetz (Stellvertretender Leiter)	Wirtschaft und Recht
(4)	Prof. Dr. Mario Schmidt (Leiter)	Wirtschaft und Recht
(5)	Prof. Dr. Ingela Tietze	Wirtschaft und Recht
(6)	Prof. Dr. Tobias Viere	Wirtschaft und Recht
(7)	Prof. Dr.-Ing. Jörg Woidasky	Technik

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

---

(1)	Prof. Dr. Rebecca Bulander	Technik
(2)	Prof. Dr. Benno Dömer	Technik
(3)	Prof. Dr.-Ing. Rainer Drath	Technik
(4)	Prof. Dr. Thomas Greiner (Leiter)	Technik
(5)	Prof. Dr. Alexander Hetznecker	Technik
(6)	Prof. Dr. Bernhard Kölmel (Stellvertretender Leiter)	Technik
(7)	Prof. Dr. Stefan Kray	Technik
(8)	Prof. Dr. Ansgar Kühn	Technik
(9)	Prof. Dr. Steffen Reichel	Technik



## 4 Publikationen

### 4.1 Peer-Review-Publikationen (=82)

#### 4.1.1 Beiträge aus Journals in Master Journal List (Clarivate), Scopus, DOAJ und COPE (=50)

---

1. **Barchet, M., & Biehl, V.** (2024). Laboratory Setup and Exercise to Evaluate the Characteristics of Different Earthing Systems: A Practical Introduction for Medical Engineering Students. *Current Directions in Biomedical Engineering*, 10(4), 53–56. <https://doi.org/10.1515/cdbme-2024-2013>
2. **Bezerra De Araujo, J., Dieterle, M., Schell, L., Herrmann, T., Haug, M., & Viere, T.** (2024). How Do LCA Studies Support CE? A Systematic Case Study Review. *Circular Economy*, 2(3), insg. 39 Seiten. <https://doi.org/10.55845/RWWL9003>
3. **Blankenbach, K., & Reichel, S.** (2024). Switchable Privacy Displays for Automotive Applications. *Information Display*, 40(6), 20–23. <https://doi.org/10.1002/msid.1534>
4. **Burkhardt, C.,** Ortiz, F., Daoud, K., Björnfort, T., Ahrentorp, F., Blomgren, J., & Walton, A. (2024). Automated High-Speed Approaches for the Extraction of Permanent Magnets from Hard-Disk Drive Components for the Circular Economy. *Magnetism*, 4(3), 295–304. <https://doi.org/10.3390/magnetism4030019>
5. Tauchnitz, T., Maurer, F., Barth, M., Schüller, A., & **Drath, R.** (2024). Engineering in der Prozessindustrie mit der Verwaltungsschale: Teil 1: Zukunftsbild und Konzeption eines durchgehenden Informationsflusses am Beispiel des Engineerings von PLT-Einrichtungen. *atp magazin*, 66(6–7), 88–99. <https://doi.org/10.17560/atp.v66i6-7.2734> oder [https://ojs.di-verlag.de/index.php/atp\\_edition/article/view/2734](https://ojs.di-verlag.de/index.php/atp_edition/article/view/2734)
6. **Drath, R.,** Barth, M., Tauchnitz, T., Schüller, A., & Maurer, F. (2024). Engineering in der Prozessindustrie mit der Verwaltungsschale: Teil 2: Evolutionäres Konzept zur schrittweisen Implementierung. *atp magazin*, 66(11–12), 84–95. <https://doi.org/10.17560/atp.v66i11-12.2765>
7. **Echle, E.** (2024). Maintaining the Free Flow of Information. A Manifesto-like Intervention for Practice-Based Research in Academic Training Programs for Multimedia Journalism. *VIEW Journal of European Television History and Culture*, 13(25), 1–8. <https://doi.org/10.18146/view.314>
8. Felix, B., Brandão, M. C., **Mahadevan, J., Schmitz, A.,** Vaz, S. L., & Irigaray, H. A. R. (2024). Strangers in a strange land: How diversity professionals navigate their marginal leadership identity. *Frontiers in Psychology*, 15, 1484472, insg. 14 Seiten. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2024.1484472>
9. **Gerlich, M., Schmid, A., Greiner, T., & Kray, S.** (2024). Background Light Suppression for Multispectral Imaging in Surgical Settings. *Sensors*, 25(1), 141, insg. 16 Seiten. <https://doi.org/10.3390/s25010141>

10. Gidaković, P., Zabkar, V., Zečević, M., Sagan, A., Wojnarowska, M., Sołtysik, M., Arslanagic-Kalajdzic, M., Dlacic, J., Askegaard, S., & **Cleff, T.** (2024). Trying to buy more sustainable products: Intentions of young consumers. *Journal of Cleaner Production*, 434, 140200, insg. 10 Seiten. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2023.140200>
11. **Grau, L., Fleissner, P.,** Kobe, S., & **Burkhardt, C.** (2024). Processability and Separability of Commercial Anti-Corrosion Coatings Produced by In Situ Hydrogen-Processing of Magnetic Scrap (HPMS) Recycling of NdFeB. *Materials*, 17(11), 2487, insg. 12 Seiten. <https://doi.org/10.3390/ma17112487>
12. **Grau, L., Moreno López, R., Kubelka, P.,** Burkhardt, F., **Tomše, T.,** Kobe, S., & **Burkhardt, C.** (2024). Effects of Thermal Demagnetization in Air on the Microstructure and Organic Contamination of NdFeB Magnets. *Materials*, 17(22), 5528, insg 12 Seiten. <https://doi.org/10.3390/ma17225528>
13. **Handrich, M.,** & Otterbach, M. (2024). Digital Employee Training With Digital Adoption Platforms Boost Learning and Knowledge Management of Corporate IT Systems. *International Journal of Knowledge Management*, 20(1), insg. 19 Seiten. <https://doi.org/10.4018/IJKM.358005>
14. Henle, R., **Kött, S., Jost, N.,** Nandi, G., Dölling, J., Zilly, A., & Prah, U. (2024). Investigation of the Solid Solution Hardening Mechanism of Low-Alloyed Copper–Scandium Alloys. *Metals*, 14(7), 831, insg. 22 Seiten. <https://doi.org/10.3390/met14070831>
15. **Hildebrandt, G.,** Dittler, D., **Habiger, P., Drath, R.,** & Weyrich, M. (2024). Data Integration for Digital Twins in Industrial Automation: A Systematic Literature Review. *IEEE Access*, 12, 139129–139153. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2024.3465632> oder <https://ieeexplore.ieee.org/document/10685354>
16. Höfling, T. T. A., **Walter, N., Kuhlenkasper, T.,** & Alpers, G. W. (2024). What I Like! The Joint Impact of Attitude, Perceived Quality, and Experience on Brand Loyalty: Semi-Parametric Additive Mixed Modeling. *Review of Marketing Science*. Insg. 30 Seiten. <https://doi.org/10.1515/roms-2024-0005>
17. Indihar Štemberger, M., Bosilj Vuksic, V., **Morelli, F.,** & Jaklič, J. (2024). Exploring the role of new and enhanced BPM capabilities in customer experience management: Does BPM matter? *Business Process Management Journal*, 30(8), 120–143. <https://doi.org/10.1108/BPMJ-10-2023-0838>
18. Kádár, C., Gorejová, R., **Kubelka, P.,** Oriňaková, R., & Orbulov, I. N. (2024). Mechanical and Degradation Behavior of Zinc-Based Biodegradable Metal Foams. *Advanced Engineering Materials*, 26(15), 2301496, insg. 9 Seiten. <https://doi.org/10.1002/adem.202301496>
19. **Klein, T.,** Aue, R., & Ortega, J. (2024). School choice with independent versus consolidated districts. *Games and Economic Behavior*, 147, 170–205. <https://doi.org/10.1016/j.geb.2024.07.003>
20. **Kober, K., Secovic, E.,** Vogel, L., **Biehl, V., Preckel, T.** (2024). Einfluss eines Lithographie-basierten Metalldruck-Verfahrens auf die Zytotoxizität von korrosionsbeständigem Stahl AISI 316L. Biokompatibilität von 3D-gedruckten Metallen. *Medizintechnik*, 5, 29-35. [https://www.wiso-net.de/document/MTME\\_\\_604be9c4b0ba401c5535cdf84daa687031220ac9](https://www.wiso-net.de/document/MTME__604be9c4b0ba401c5535cdf84daa687031220ac9)

21. **Kölmel, B., Fischer, L., Juraschek, E., Peuker, L., Stemmler, N., Vielsack, A., Bulander, R., Hinderer, H., Kilian-Yasin, K., Brugger, T., Kühn, A., & Brysch, T.** (2024). Navigating the Challenges of Commodity Traps and Platform Economies: An Assessment in the Context of the Northern Black Forest Region and Future Directions. *Commodities*, 3(3), 314–333. <https://doi.org/10.3390/commodities3030018>
22. **Kölmel, B., Haug, T., Klein, L., Schwab, L., Bulander, R., Hinderer, H., Weyer, M., Brugger, T., Kühn, A., & Brysch, T.** (2024). Are German Automotive Suppliers in the Commodity Trap? Risks and Potentials of the Taiwanese Platform MIH EV Open. *Commodities*, 3(4), 389–420. <https://doi.org/10.3390/commodities3040022>
23. **Kraus, P., Fißler, E., & Schlegel, D.** (2024). A typology of challenges in the context of robotic process automation implementation projects. *International Journal of Organizational Analysis*, 32(11), 60–73. <https://doi.org/10.1108/IJOA-11-2023-4100>
24. **Kraus, P., Kappl, J., & Schlegel, D.** (2024). To invest or not to invest in digital initiatives? An exploratory examination of procedures, evaluation criteria and barriers. *Digital Transformation and Society*, 3(4), 410–423. <https://doi.org/10.1108/DTS-02-2024-0004>
25. Kumar, M., Sen, S., Kulkarni, H., Badiger, S., **Varma, G. R.,** & Krishnaswamy, J. (2024). Ecohydrological and hydrogeological dynamics of groundwater springs in Eastern Himalaya, India. *Groundwater for Sustainable Development*, 27, 101311, insg. 21 Seiten. <https://doi.org/10.1016/j.gsd.2024.101311>
26. **Kurz, R.** (2024). Demokratie ohne Wachstum und Kultur des Wandels. *Wirtschaftsdienst*, 104(9), 626–630. <https://doi.org/10.2478/wd-2024-0162> oder <https://www.wirtschaftsdienst.eu/inhalt/jahr/2024/heft/9/beitrag/demokratie-ohne-wachstum-und-kultur-des-wandels.html>
27. **Kurz, R.** (2024). Finanzierung von Staatsaufgaben: Nachhaltige Finanzpolitik und Schuldenbremse. *Wirtschaftsdienst*, 104(1), 29–32. <https://doi.org/10.2478/wd-2024-0011> oder <https://www.wirtschaftsdienst.eu/pdf-download/jahr/2024/heft/1/beitrag/finanzierung-von-staatsaufgaben-nachhaltige-finanzpolitik-und-schuldenbremse.html>
28. **Lewerenz, S., Lambrecht, H., Tietze, I., & Lazar, L.** (2024). Can an ecological scarcity method for Germany support robust decisions? – Analysing the effect of uncertain target values on the impact assessment of energy generation technologies. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 29(4), 614–631. <https://doi.org/10.1007/s11367-023-02266-7>
29. **Mahadevan, J.** (2024). How language power, white subalternity and compressed modernity frame highly-skilled non-Western migrants in an East-German company: Insights from multi-sited ethnography. *Journal of Global Mobility: The Home of Expatriate Management Research*, 12(3), 394–416. <https://doi.org/10.1108/JGM-11-2023-0081>
30. **Mahadevan, J.** (2024). Migration, ethnic otherness and the ‘refugee crisis’ in Germany: Why more conflict is better integration, and how this reconfigures positive cross-cultural management scholarship. *International Journal of Cross Cultural Management*, 24(1), 41–58. <https://doi.org/10.1177/14705958241234568>

31. **Mahadevan, J.** (2024). 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*, 24(2), 215–234. <https://doi.org/10.1177/14705958231223874>
32. **Mahadevan, J., Reichert, T., Steinmann, J., Stärkle, A., Metzler, S., Bacher, L., Diehm, R., & Goroll, F.** (2024). COVID-induced virtual teams: A phenomenon-based framework and methodological advice for studying novel events. *Central European Management Journal*, 32(2), 262–283. <https://doi.org/10.1108/CEMJ-12-2022-0244>
33. **Pfirrmann, M., & Eichner, K.** (2024). How activist investors value target firms: Evidence from hedge fund presentations. *Journal of Corporate Accounting & Finance*, 35(2), 357–374. <https://doi.org/10.1002/jcaf.22689>
34. **Pruhs, A., Kusch, A., Woidasky, J., & Viere, T.** (2024). Design for circularity in manufacturing industries—operationalisation and decision support. *Resources, Conservation and Recycling*, 202, 107376, insg. 11 Seiten. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2023.107376>
35. **Rathfelder, S., Schuschnigg, S., Kukla, C., Holzer, C., & Burkhardt, C.** (2024). Production of Permanent Magnets from Recycled NdFeB Powder with Powder Extrusion Moulding. *Journal of Manufacturing and Materials Processing*, 8(2), 81, insg. 19 Seiten. <https://doi.org/10.3390/jmmp8020081>
36. **Reichel, S., Blankenbach, K., Civanlar, B.** (2024). Switchable Privacy Displays for Safe Driving. *Optics and Photonics News*, 34(10), 22-24. <https://digitaleditions.sheridan.com/publication/?i=831259&p=4&view=issueViewer> oder [https://www.optica-opn.org/home/articles/volume\\_35/october\\_2024/departments/switchable\\_privacy\\_displays\\_for\\_safe\\_driving/](https://www.optica-opn.org/home/articles/volume_35/october_2024/departments/switchable_privacy_displays_for_safe_driving/)
37. **Schätter, F., Hansen, O., & Haas, F.** (2024). Impact-oriented risk management: Guiding practitioners towards a resilient supply chain design. *Sustainable and Resilient Infrastructure*, 9(3), 262–277. <https://doi.org/10.1080/23789689.2023.2296202>
38. **Schimpf, S., Weber, H., & Gerlach, T.** (2024). Enabling radical and potentially disruptive innovations through interdisciplinarity: Challenges and practices in industrial companies. *Journal of Innovation and Entrepreneurship*, 13(45), insg. 15 Seiten. <https://doi.org/10.1186/s13731-024-00402-7>
39. **Schimpf, S., Wussow, K., & Zeh, M.** (2024). Back to the roots: Imagining the application of Bauhaus methodologies in design thinking. *International Journal of Technology Management*, 95(3/4), 335–360. <https://doi.org/10.1504/ijtm.2024.138847>
40. Schlegel, D., Rosenberg, B., Fundanovic, O., & **Kraus, P.** (2024). How to conduct successful business process automation projects? An analysis of key factors in the context of robotic process automation. *Business Process Management Journal*, 30(8), 99–119. <https://doi.org/10.1108/BPMJ-06-2023-0465>
41. **Schmidt, J., Auer, M., Grammel, L., & Woidasky, J.** (2024). Recycling of Thermoplastic Glass Fiber-Reinforced Composites Using High-Voltage Fragmentation. *Chemie Ingenieur Technik*, 96(7), 976–986. <https://doi.org/10.1002/cite.202300208>



42. **Schmidt, J., Auer, M.,** Maletz, R., **Galler, V., & Woidasky, J.** (2024). Consumer influence on lightweight packaging waste generation in Germany. *Cleaner and Responsible Consumption*, 12, 100185, insg. 11 Seiten. <https://doi.org/10.1016/j.clrc.2024.100185>
43. **Schmidt, M.,** Heinrich, J., & Huensche, I. (2024). Carbon Footprint of Additively Manufactured Precious Metals Products. *Resources*, 13, 162, insg. 14 Seiten. <https://doi.org/10.3390/resources13110162>
44. Steinberg, H. S., Schüller, S., Öztürk, Y., **Klein, T.,** & Schober, P. (2024). Alleinerziehende in der Betreuungsplatzvergabe: Status quo und Handlungsempfehlungen. *Wirtschaftsdienst*, 104(5), 336–342. <https://www.wirtschaftsdienst.eu/inhalt/jahr/2024/heft/5/beitrag/alleinerziehende-in-der-betreuungsplatzvergabe-status-quo-und-handlungsempfehlungen.html> oder <https://doi.org/10.2478/wd-2024-0090>
45. **Steiner, P., Lasslop, N., Weller, F., Auer, M., Schmidt, J., & Woidasky, J.** (2024). Kreislauffähigkeit von Kunststoff-Wahlplakaten. *Österreichische Wasser- und Abfallwirtschaft*, 76(9–10), 427–434. <https://doi.org/10.1007/s00506-024-01070-3>
46. **Thimm, H.,** & Rasmussen, K. B. (2024). ChatGPT Discovery of Green Image Damaging Information for Large Production Companies. *Journal of Cleaner Production*, 143978. Insg. 14 Seiten. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2024.143978>
47. **Tomše, T., Kubelka, P., Moreno López, R., Fleissner, P., Grau, L., Zaplotnik, M., & Burkhardt, C.** (2024). Magnetic Performance and Anticorrosion Coating Stability of Thermally Demagnetized Nd-Fe-B Permanent Magnets for Reuse Applications. *Materials*, 17(23), 5927, insg. 11 Seiten. <https://doi.org/10.3390/ma17235927>
48. **Viere, T., Lehmann, J.,** Miao, Z. C., Harding, K., Strothmann, P., Weyand, S., Wright, L., Chitaka, T. Y., & Sonnemann, G. (2024). Global state of the art of teaching life cycle assessment in higher education. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 29, 1290-1302. <https://doi.org/10.1007/s11367-024-02319-5>
49. **Walter, N., Föhl, U., & Zagermann, L.** (2024). Big or Small? Impact of Influencer Characteristics on Influencer Success, with Special Focus on Micro- Versus Mega-Influencers. *Journal of Current Issues & Research in Advertising*, 1–23. <https://doi.org/10.1080/10641734.2024.2366198>
50. **Walter, N., Föhl, U., Sander, F., & Nies, A.** (2024). Act as you preach! Authentic brand purpose versus “woke washing’s” impact on brand credibility: The moderating role of cause involvement and consumer skepticism. *Journal of Business Research*, 184, 114868, insg. 14 Seiten. <https://doi.org/10.1016/j.jbusres.2024.114868>

#### 4.1.2 Beiträge aus Journals in AGQ-Liste (=2)

---

51. **Kurz, R.,** Spangenberg, J., & Zahrnt, A. (2024). CMS: Deponieren statt reduzieren? Carbon Management Strategie. *Ökologisches Wirtschaften*, 39(3), 8–11. <https://doi.org/10.14512/OEW390308>
52. **Kurz, R.,** & Zahrnt, A. (2024). Suffizienz als strategische Option gewinnt an Bedeutung: Die Strategie des Genug. *Ökologisches Wirtschaften*, 39(4), 30–34. <https://doi.org/10.14512/OEW390430>

#### 4.1.3 Beiträge mit Aufnahmeantrag in die AGQ-Liste (=16)

---

53. **Binder, B. C. K.** (2024). WPPM Index Reporting – How can the key figure of women's quota be appropriately integrated into a reporting system? *European Accounting and Management Review*, 10(1), 26-42. <https://eamr-accid.eu/wp-content/uploads/Volume-10-Issue-1-2.pdf>
54. **Brönneke, T.** (2024). Kommissionsvorschläge zur Reform der Verbraucherstreitbeilegung – Eine kritische Betrachtung. *Zeitschrift Für Konfliktmanagement*, 27(1), 13–18. <https://doi.org/10.9785/zkm-2024-270104>
55. **Fischer, S., Eireiner, C., & Rucktäschel, A.** (2024). ESG-Berichte mithilfe von Nachhaltigkeitsbrokern erstellen. Studie zur ganzheitlichen Umsetzung der ESG-Berichtspflicht. *zfo - Zeitschrift Führung + Organisation*, 6, 365-370. [https://www.wiso-net.de/document/ZFO\\_\\_e6796dabf126ede3d7895b7836ad97dc080063f8](https://www.wiso-net.de/document/ZFO__e6796dabf126ede3d7895b7836ad97dc080063f8)
56. **Haas, F., & Eccard, Y.** (2024). Anwendung von Blockchain im PCF-Datenmanagement der Supply Chain. *Anwendungen und Konzepte der Wirtschaftsinformatik*, 19, 25–33. <https://doi.org/10.26034/lu.akwi.2024.4886>
57. **Haas, F., Araya, S., & Schätter, F.** (2024). Identifikation von Einsatzmöglichkeiten, Potenzialen und Herausforderungen bei der Anwendung von Künstlicher Intelligenz im Verhandlungsprozess für direktes Material. *Anwendungen und Konzepte der Wirtschaftsinformatik*, 19, 34–38. <https://doi.org/10.26034/lu.akwi.2024.5523>
58. Karch, S., **Bertagnolli, F.**, & Lüder, A. (2024). Lean Empowerment in the Digital Ecosystem – Translating cultural values into technical requirements. *Industry 4.0 Science*, 2024(2), 32–39. <https://doi.org/10.30844/I4SE.24.2.32>
59. **Kölmel, B., Brugger, T., Kühn, A., Borsch, M., Rath, M., Maier, M., Peter, M., Kilian-Yasin, K., & Galler, V.** (2024). Exploring Innovation Success Factors and Strategies for B2B Platforms in the Manufacturing Sector in Germany. *Modern Economy and Management*, 3(12), insg. 15 Seiten. <https://doi.org/10.53964/mem.2024012> oder <https://image.innovationforever.com//file/20240708/f0d59c85140f4d48a21dba7b10875040/MEM20230336.pdf>
60. **Kusch, A., Pruhs, A., Woidasky, J., & Brinker, J.** (2024). Circularity Navigator – Digitale Entscheidungsunterstützung zur Verankerung des Design for Circularity in der Produktentwicklung. *Industry 4.0 Science*, 2024(1), 6–13. <https://doi.org/10.30844/i4sd.24.1.6> oder [https://library.gito.de/wp-content/uploads/2024/02/Kusch\\_I4SD\\_24\\_1\\_6.pdf](https://library.gito.de/wp-content/uploads/2024/02/Kusch_I4SD_24_1_6.pdf)
61. **Nothhelfer, R.** (2024). ESRS für KMU. Eine erste Kommentierung der Standardentwürfe ESRS LSME ED und ESRS VSME ED. *KoR: Internationale und kapitalmarktorientierte Rechnungslegung*, 6, 242–248. [https://www.wiso-net.de/document/KOR\\_\\_5db07d74accf31d7b16fc40d723b013b8df79d3c](https://www.wiso-net.de/document/KOR__5db07d74accf31d7b16fc40d723b013b8df79d3c)
62. **Nothhelfer, R., & Sander, F.** (2024). Die neue Berichterstattung über immaterielle Ressourcen. Ansätze aus dem Strategischen Management zur Wesentlichkeitsprüfung. *KoR: Internationale und kapitalmarktorientierte Rechnungslegung*, 24(11–12), 421–427. [https://www.wiso-net.de/document/KOR\\_\\_fa0fa09d0d0c7057b3c50cd784a77bcf4759c359](https://www.wiso-net.de/document/KOR__fa0fa09d0d0c7057b3c50cd784a77bcf4759c359)

63. Pintarič, N., **Morelli, F.**, Elkanawati, A., Manfreda, A., & Radziszewski, P. (2024). The Impact of Object-Centric Process Mining on Business Efficiency: A Case Study Approach. *Anwendungen und Konzepte der Wirtschaftsinformatik*, 20, 83-92. <https://doi.org/10.26034/lu.akwi.2024.6228>
64. Schipani, C. A., Morehead Dworkin, T., & **Binder, B. C. K.** (2024). Women in Power: Clearing Pathways for Women to Rise to Positions of Organizational Leadership. *University of Pennsylvania Journal of Business Law*, 26(1), 138–188. <https://doi.org/10.58112/JBL.26-1.3>
65. **Schwaab, M.-O.**, & **Mongioj, F. A. K.** (2024). Die Hochschule Pforzheim als Arbeitgeber: Mit einem klaren Profil regional verwurzelt, interdisziplinär aufgestellt, international ausgerichtet. *Personal- und Organisationsentwicklung in Einrichtungen der Lehre und Forschung (P-OE)*, 19(1), 12–16. [https://www.universitaetsverlagwebler.de/\\_files/ugd/7bac3c\\_aa7598570cb246968e67900badeba198.pdf](https://www.universitaetsverlagwebler.de/_files/ugd/7bac3c_aa7598570cb246968e67900badeba198.pdf)
66. **Sekulovska, A.**, **Morelli, F.**, & **Schätter, F.** (2024). Dashboard use case for supply chain resilience management and future research direction. *Anwendungen und Konzepte der Wirtschaftsinformatik*, 19, 85-91. <https://doi.org/10.26034/lu.akwi.2024.5948> oder <https://akwi.hswlu.ch/article/view/5948/5225>
67. **Sprikut, S.**, **Walter, N.**, & **Cleff, T.** (2024). Boycott or buycott? An empirical study of political consumerism and the impact of negative and positive information on purchase intention. *The IUP Journal of Brand Management*, 21 (3), 5-34. ISSN: 0972-9097. [https://iupindia.in/Brand\\_Management.asp](https://iupindia.in/Brand_Management.asp)
68. Vasquez, S., **Schuster, T.**, & **Kroschwald, S.** (2024). Privacy-Aware and -Compliant Design of Data-Driven Digital Products Based on Legal and Technical Patterns. *European Journal of Consumer Law / Revue européenne de droit de la consommation*, 1, 131–153. ISSN: 2566-2139 <https://www.jurisquare.be/en/journal/redc/index.html#search/eyJxdWVyeSl6lilsmZhY2V0UXVlcmlIcyl6WyJzdGFydFlIYXl6XClyMDl0XCliXSwic3RhcnQiOjAsIm9yZGVyIjoiZGF0ZSIsInNlYXJjaEluQ29kZXgiOmZhbnHNILCJzZWZyY2hJbkFyY2hpdmUiOnRydWV9> oder [https://www.larcier-intersentia.com/media/wysiwyg/extras/viewer/download.html#../9782802774587/TDM\\_REDC\\_24\\_1\\_Web.pdf?1710983158](https://www.larcier-intersentia.com/media/wysiwyg/extras/viewer/download.html#../9782802774587/TDM_REDC_24_1_Web.pdf?1710983158)

#### 4.1.4 Beiträge aus Proceedings mit einem h5-Index $\geq 30$ bei Google Scholar oder mit A\*, A oder B im ICORE-Index gerankt (=9)

---

69. Decius, J., Kortsch, T., & **Schmitz, A.** (2024). Does Combination Matter? A Latent Profile Analysis of Experiences with (Non-)Digital Learning Offers and Basic Need Satisfaction at Work. In *Proceedings of the 57th Hawaii International Conference on System Sciences*, 5287–5296. <https://hdl.handle.net/10125/107019>
70. Dittler, D., Bodenstein, F., **Hildebrandt, G.**, Jazdi, N., & Weyrich, M. (2024). Automated Configuration of Behavior Models in Digital Twins based on a Knowledge-Graph. *Procedia CIRP*, 130, 683–688. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2024.10.148>
71. **Hildebrandt, G.**, **Habiger, P.**, **Greiner, T.**, & **Drath, R.** (2024). Integrating Robots in Modular Production Environments via the Module Type Package. In *2024 IEEE 29th International Conference on Emerging Technologies and Factory Automation (ETFA)*, S. 1–7. IEEE. <https://doi.org/10.1109/ETFA61755.2024.10710818>

72. **Hottenroth, H., & Viere, T.** (2024). Comparative life cycle assessment of photovoltaic systems: An evaluation of environmental impacts over time. *Procedia CIRP*, 122, 79–84. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2024.02.005>
73. **Mächtlen, S.,** Baumgarten, Y., Müller, A., **Woidasky, J.,** & Miehe, R. (2024). Towards a sustainability-oriented development of biointelligent products. *Procedia CIRP*, 125, 201–206. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2024.08.035>
74. **Oßwald, K.,** Klink, A., Schneider, S., & Bergs, T. (2024). Residual Stress Effects of Multiple Thermal Material Loads due to a Roughing-Finishing Sequence of Electrical Discharge Machining Processes. *Procedia CIRP*, 123, 232–237. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2024.05.042>
75. Schlegel, D., Fundanovic, O., & **Kraus, P.** (2024). Rating Risks in Robotic Process Automation (RPA) Projects: An Expert Assessment Using an Impact-Uncontrollability Matrix. *Procedia Computer Science*, 239, 185–192. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2024.06.161>
76. **Waidelich, L., & Schuster, T.** (2024). Exploring the Maturity of Privacy Patterns: A Case Study. In *Americas Conference on Information Systems (AMCIS) 2024 Proceedings*, 15. Insg. 5 Seiten. <https://aisel.aisnet.org/amcis2024/security/security/15/>
77. **Waidelich, L., & Schuster, T.** (2024). Privacy Patterns Analysis: A Classification by Types, Strategies and Tactics of existing Patterns. In *Americas Conference on Information Systems (AMCIS) 2024 Proceedings*, 16. Insg. 10 Seiten. <https://aisel.aisnet.org/amcis2024/security/security/16>

#### 4.1.5 Monografien in anerkannten Fachverlagen (DOAB, Web of Science, Scopus, ARSV, Fachportal Pädagogik) (=5)

---

78. **Bayer, M.** (2024). Strategische CEO-Haltungskommunikation: Entwicklung und Validierung eines Managementtools für Kommunikationsverantwortliche. Wiesbaden: Springer Gabler. Insg. 201 Seiten. eBook ISBN: 978-3-658-46949-8. <https://doi.org/10.1007/978-3-658-46949-8>
79. **Britzelmaier, B.,** & Olfert, K. (2024). Kompakt-Training Investition (9., überarbeitete und erweiterte Auflage), insg. 320 Seiten. Herne: NWB Verlag GmbH & Co. KG. ISBN: 978-3-470-49759-4. <https://d-nb.info/1338503553>
80. **Felleisen, M.** (2024). Elektrotechnik für Dummies. Das Lehrbuch (1. Auflage). Weinheim: Wiley-VCH. Insg. 914 Seiten. ISBN: 978-3-527-72026-2, <https://d-nb.info/1307768857>
81. **Krebber, F.,** & Stobbe, R. (2024). Unternehmensgeschichte kommunizieren: Marken differenzieren – Identität stärken – Verantwortung zeigen – Erfolg messen. Wiesbaden: Springer Gabler. Insg. 53 Seiten. eBook ISBN: 978-3-658-46785-2. <https://doi.org/10.1007/978-3-658-46785-2>
82. **Mahadevan, J.** (2024). Virtual Team Collaboration: A Guide for Individual Team Members. Wiesbaden: Springer Gabler. Insg. 318 Seiten. eBook ISBN: 978-3-658-44969-8. <https://doi.org/10.1007/978-3-658-44969-8>



## 4.2 Dissertationen (=4)

---

83. **Dieterle, O.** (2024). Modellbildung, Parameteridentifikation und Regelung fehlertoleranter Antriebe mit multi-3-phasigen Permanenterregten Synchronmaschinen. Düren: Shaker Verlag. ISBN: 978-3-8440-9426-8. Insg. 248 Seiten. <https://dnb.info/1319458696> Betreuer: Prof. Dr. Oliver Bringmann, Eberhard-Karls-Universität Tübingen und **Prof. Dr. Thomas Greiner, Hochschule Pforzheim. Oliver Dieterle - Stipendiat des Promotionskollegs EAES/HSPF und Mitarbeiter der HSPF**
84. **Hanakam, Y.** (2024). Querstabilisierung elektrisch unterstützter Fahrräder bei niedrigen Geschwindigkeiten. Insg. 232 Seiten. München: Verlag Dr. Hut. ISBN: 978-3-8439-5433-4. <https://d-nb.info/1323615113>. Betreuer: Prof. Dr.-Ing. Cristoph Woernle, Universität Rostock, Prof. Dr.-Ing. Harald Aschemann, Universität Rostock und **Prof. Dipl. Ing. Jürgen Wrede - Hochschule Pforzheim. Yannick Hanakam - Mitarbeiter der Hochschule Pforzheim**
85. **Jaroudi, I.** (2024). Mobility externalities and sustainable urban development: the case of Shared Automated Vehicles. Insg. 230 Seiten. Université Paris-Saclay. <https://theses.fr/2024UPAST031>. **Betreuer: Prof. Dr. Guy Fournier, Hochschule Pforzheim** und Julie Bulteau, Université Paris-Saclay. **Ines Jaroudi – Mitarbeiterin der Hochschule Pforzheim**
86. **Schmidt, J.** (2024). Kreislaufwirtschaftliche Tiefencharakterisierung des Leichtverpackungs-Abfallanfalls in Deutschland. Insg. 101 Seiten. Technische Universität Dresden. <https://tud.qucosa.de/api/qucosa%3A91335/attachment/ATT-0/> oder <https://nbn-resolving.org/html/urn:nbn:de:bsz:14-qucosa2-913353>. **Betreuer: Prof. Dr.-Ing. habil. Christina Dornack, Technische Universität Dresden, Prof. Dr.-Ing Jörg Woidasky, Hochschule Pforzheim** und Prof. Dr. David Laner, Universität Kassel. **Jannick Schmidt - Mitarbeiter der Hochschule Pforzheim**

## 4.3 Weitere wissenschaftliche Publikationen (=105)

### 4.3.1 Beiträge in wissenschaftlichen Zeitschriften und Proceedings (=58)

#### 4.3.1.1 Beiträge in wissenschaftlichen Zeitschriften und Proceedings (ohne Nachweis) (=12)

---

87. Bach, M., **Klein, T.**, Mcnamara, S. (2024). Access, Achievements, and Aspirations: The Impacts of School Tracking on Student Outcomes. ZEW Discussion Paper No. 24-076, insg. 43 Seiten. <https://ftp.zew.de/pub/zew-docs/dp/dp24076.pdf>
88. **Berbig, D.** (2024). Utilization, Standardized Moments and Their Effect on Waiting. In G. Wagner, F. Werner, & F. De Rango (Hrsg.), Simulation and Modeling Methodologies, Technologies and Applications (Bd. 1211, S. 125–138). Springer Nature Switzerland. [https://doi.org/10.1007/978-3-031-77603-8\\_7](https://doi.org/10.1007/978-3-031-77603-8_7)
89. **Blankenbach, K.**, & **Bhatti, F.** (2024). Evaluation of the Performance of Gaming Monitors and Visual Fatigue. SID Symposium Digest of Technical Papers, 55(1), 1504–1507. <https://doi.org/10.1002/sdtp.17839>

90. **Blankenbach, K., Mann, I., Forster, F., & Reichel, S.** (2024). Reflective and bistable e-paper for smart and AI-controlled escape route signage. In J.-H. Lee & Q.-H. Wang (Hrsg.), *Advances in Display Technologies XIV*. (Proceedings Volume 12908), insg. 11 Seiten. SPIE. <https://doi.org/10.1117/12.3001777>
91. **Hildebrandt, S., & Sand, G.** (2024). Hyperparameter Optimization of Matheuristics for Hoist Scheduling. In *Computer Aided Chemical Engineering. 34th European Symposium on Computer Aided Process Engineering / 15th International Symposium on Process Systems Engineering*, Hrsg. F. Manenti & G. V. Reklaitis (Bd. 53, S. 2923–2928). Elsevier. ISSN: 1570-7946. <https://doi.org/10.1016/B978-0-443-28824-1.50488-9>
92. **Khan, A., Hetznecker, A., Drath, R., & Greiner, T.** (2024). Enhanced Symbolic Artificial Intelligence Mechanism for External Magnetic Interference Classification in Magnetostrictive Position Sensors. *2024 IEEE International Conference on Industrial Technology (ICIT)*, 1–6. <https://doi.org/10.1109/ICIT58233.2024.10540815> oder <https://ieeexplore.ieee.org/document/10540815>
93. **Klein, T.** (2024). Matching for Credit: Identifying Information Asymmetries in Joint-Liability Lending. *ZEW Discussion Paper*, No. 24-070, insg. 60 Seiten. <https://ftp.zew.de/pub/zew-docs/dp/dp24070.pdf>
94. **Reichel, S., Frank, P., & Blankenbach, K.** (2024). Reliable and “good” camera calibration based on machine learning inspired workflow: Parameter study and experimental results. In V. J. Sorger & K. Kitayama (Hrsg.), *AI and Optical Data Sciences V*. (Proceedings Volume 12903), insg. 12 Seiten. SPIE. <https://doi.org/10.1117/12.3000846>
95. Rotscholl, I., Schmidt, M., Ayasli, R., Thiele, T., Schwanengel, C., **Blankenbach, K.**, Xu, C., & Schaffer, D. (2024). Reproducible Characterization of Automotive Full Area Local Dimming (FALD) LCDs. *SID Symposium Digest of Technical Papers*, 55(1), 781–784. <https://doi.org/10.1002/sdtp.17644>
96. Schaffer, D., & **Blankenbach, K.** (2024). Standardization Efforts and Measurement Procedures by Displayforum (DFF). *SID Symposium Digest of Technical Papers*, 55(1), 909–912. <https://doi.org/10.1002/sdtp.17681>
97. **Waidelich, L., Lambert, M., & Schuster, T.** (2024). Evaluating Privacy Patterns Within Collaborative Frameworks for AI Ecosystem Development. In L. M. Camarinha-Matos, A. Ortiz, X. Boucher, & A.-M. Barthe-Delanoë (Hrsg.), *Navigating Unpredictability: Collaborative Networks in Non-linear Worlds* (Bd. 726, S. 189–206). Springer Nature Switzerland. [https://doi.org/10.1007/978-3-031-71739-0\\_13](https://doi.org/10.1007/978-3-031-71739-0_13)

#### 4.3.1.2 Beiträge in wissenschaftlichen Zeitschriften und Proceedings (mit Nachweis) (=46)

---

98. Baetzgen, A., Fitzner, M., & **Tropp, J.** (2024). Vielen Werbetreibenden ist völlig der Mut abhandengeklommen. *Markenartikel*, 6, 12-15.

99. **Benzenhöfer, N., Kraus, P., Buchner, M.,** & Schlegel, D. (2024). Beyond Traditional Budgeting: A Critical Analysis of Contemporary Practices in German Corporations. In D. Vrontis, Y. Weber & E. Tsoukatos (Hrsg.), 17th Annual Conference of the EuroMed Academy of Business. Global Business Transformation in a Turbulent Era. S. 95-111. ISSN: 2547-8516. <https://emrbi.org/wp-content/uploads/2024/09/euromed2024-book-of-proceedings-2024-09-08.pdf>
100. **Binder, B. C. K.,** & Günthner, S. (2024). Digitales Dashboard-Reporting in der Automotive-Branche. Controller Magazin, 6, 37-41. [https://www.wiso-net.de/document/COWI\\_\\_cc8882e8e894fb7a6b407b701bcac180b33ba460](https://www.wiso-net.de/document/COWI__cc8882e8e894fb7a6b407b701bcac180b33ba460)
101. **Binder, B. C. K.,** & Morelli, F. (2024). Innovative Controlling-Instrumente: Agil und stimmig eingesetzt. Controller Magazin, 1, 70–76. [https://www.wiso-net.de/document/COWI\\_\\_ce56015903731a984a51f73b9f582eb81d4bfac9](https://www.wiso-net.de/document/COWI__ce56015903731a984a51f73b9f582eb81d4bfac9)
102. **Binder, B. C. K.,** Engelhart, L., & Wurst, H. (o. J.). Sterndiagramme als innovative Controlling-Instrumente bei der Bosch-Gruppe. Controller Magazin, 2, 38–43. [https://www.wiso-net.de/document/COWI\\_\\_b3957692b40b80474132bfb76785d362f1482441](https://www.wiso-net.de/document/COWI__b3957692b40b80474132bfb76785d362f1482441)
103. **Blankenbach, K., Civanlar, B., Alauddin, A.,** & Reichel, S. (2024). Automotive Switchable Privacy Displays: Measurements and Evaluations. In Eurodisplay 2024 Conference, insg 4 Seiten. <https://eurodisplay2024.inviteo.fr/data/onglet16/module1/modalPreview.php?langue=fr&paramProjet=15295>
104. **Blankenbach, K.,** Tarabay, N., Yoo, H. & Rothscholl, I. (2023). Improvements for Automotive LCDs: Image Enhancement and Local Dimming (FALD). In Proceedings of the International Display Workshops, 30, 341-344. ISSN: 1883-2490. [https://confit.atlas.jp/guide/event-img/idw2023/FMC4-02/public/pdf\\_archive?type=in](https://confit.atlas.jp/guide/event-img/idw2023/FMC4-02/public/pdf_archive?type=in)
105. **Buchmann, F.** (2024). Aktuelle Entwicklungen im Fernabsatzrecht 2023/2024. Kommunikation & Recht (K&R), 10, 632-638. <https://online.ruw.de/suche/pdf/kur/kur-10-2024-632-7bd1d38d9a256eb6fdbb32504461929f.pdf>
106. **Buchmann, F.,** & Panfili, C. (2024). Quo vadis Unterlassungserklärung? WRP – Wettbewerb in Recht und Praxis, 11, 1303-1311. <https://www.ruw.de/suche/pdf/wrp/wrp-11-2024-1303-ffb4c4bf132aae4a0fa4a6cefc14413.pdf>
107. **Buchmann, F.,** Fritsche, A., & Nardone, S. (2024). Haftungsrisiken beim Einsatz von Open-Source-Software in der Supply Chain von Unternehmen. Kommunikation & Recht (K&R), 2, 85-92. <https://online.ruw.de/suche/pdf/kur/kur-02-2024-85-a588eddb4f3110ded79d1f750dcaed5b.pdf>
108. Cohen, Y., Address, A., **Burkhardt, C., Vogel, L.,** Baum, A., Mitteramskogler, G., Glass, B., Rabkin, E., Shilo, D., & Faran, E. (2024). Sinter-Based Additive Manufacturing of Ni-Ti Shape Memory Alloy. SMST 2024: Extended Abstracts from the International Conference on Shape Memory and Superelastic Technologies, 27–28. <https://doi.org/10.31399/asm.cp.smst2024p0027>
109. **Eidel, U.** (2024). Wo man vor Anker geht—Der schmale Grat zwischen Hilfe und Hürde. WiSt Wirtschaftswissenschaftliches Studium – Zeitschrift für Studium und Forschung, 53(10), 12–17. <https://www.beck-elibrary.de/10.15358/0340-1650-2024-10/wist-wirtschaftswissenschaftliches-studium-jahrgang-53-2024-heft-10>

110. **Eireiner, C., & Fischer, S.** (2024). Die passende Rolle finden. Personalmagazin, 10, 20-24. [https://www.wiso-net.de/document/PEMA\\_\\_19090c84201c24c2147e-baca0dddcc3bdf559407](https://www.wiso-net.de/document/PEMA__19090c84201c24c2147e-baca0dddcc3bdf559407) oder [https://mwonline.s3.eu-west-1.amazonaws.com/material/PM1024\\_020-025\\_ESG-HR-Barometer\\_Vier\\_HR-Rollen.pdf](https://mwonline.s3.eu-west-1.amazonaws.com/material/PM1024_020-025_ESG-HR-Barometer_Vier_HR-Rollen.pdf)
111. **Eireiner, C., Fischer, S., & Habighorst, L. M.** (2024). Nachhaltigkeit fördern. Personalmagazin - neues lernen, 5, 14–21. [https://www.wiso-net.de/document/PNL\\_\\_211eb129c1af0a73489444dfcfa6975876222b77](https://www.wiso-net.de/document/PNL__211eb129c1af0a73489444dfcfa6975876222b77)
112. **Fischer, S., Eireiner, c., & Rucktäschel, A.** (2024). Keine Zeit mehr zu zaudern. Personalmagazin, 10, 26–29. [https://www.wiso-net.de/document/PEMA\\_\\_0bc44c8d6c05a43710cc15ed0f734a86c523752a](https://www.wiso-net.de/document/PEMA__0bc44c8d6c05a43710cc15ed0f734a86c523752a) oder [https://mwonline.s3.eu-west-1.amazonaws.com/material/PM1024\\_026-029\\_ESG-HR-Barometer\\_Ergebnisse.pdf](https://mwonline.s3.eu-west-1.amazonaws.com/material/PM1024_026-029_ESG-HR-Barometer_Ergebnisse.pdf)
113. **Harriehausen, S.** (2024). Die aktuellen Entwicklungen im Leasingrecht. Neue Juristische Wochenschrift (NJW), 21, 1471-1479. <https://beck-online.beck.de/?vpath=bib-data%2Fzeits%2FNJW%2F2024%2Fcont%2FNJW%2e2024%2eH21%2eNAMEINHALTSVERZEICHNIS%2ehtm>
114. **Heidrich, P.** (2024). Entwicklung des elektro-magneto-mechanischen Designs der von der Rennschmiede Pforzheim e.V. verwendeten elektrischen Traktionsmaschine und der zugehörigen Kühlung. In J. Ulm (Hrsg.), Symposium Elektromagnetismus. Tagungshandbuch 2024 (S. 51–61). ISBN: 978-3-943563-54-2.
115. **Hildebrandt, G., Habiger, P., Dittus, I., Blaich, J., & Drath, R.** (2024). Anforderungen an die Integration modularer Simulationsmodelle zu einer Anlagensimulation basierend auf Konzepten von Multiplayer-Spielen der Spiele-Industrie. In VDI Wissensforum GmbH (Hrsg.), Automation 2024. 25. Leitkongress der Mess- und Automatisierungstechnik. AI beats Automation? S. 925-936. Print ISBN: 978-3-18-092437-3. [doi.org/10.51202/9783181024379](https://doi.org/10.51202/9783181024379)
116. Hochmuth, U., **Kurz, R.**, & Mangold, M. (2024). Verteilungsgerechtigkeit und Suffizienz. Planerin, 1, 43–44. <https://www.srl.de/publikationen/planerin/artikelverzeichnis/7922-planerin-1-2024-br-einsamkeit-gesellschaftliche-herausforderung-und-planungsaufgabe.html>
117. Hüsigg, S., Bucher, J., Fields, Z., & **Schimpf, S.** (2024). Editorial: Special Issue on: Art and Imagination for Responsible and Disruptive Innovation: Foresight, Fiction, and Narratives and Their Influence, Exploitation, and Potential. International Journal of Technology Management, 95(3/4), 253–268. <https://www.inderscience.com/info/inarticletoc.php?jcode=ijtm&year=2024&vol=95&issue=3/4>
118. **Kienzler, T., & Krüger, S.** (2024). Adoption criteria for AR shopping apps. The role of maximizing tendencies in the adoption intention of AR shopping apps. In S. Cross & A. Saboo (Hrsg.), 2024 AMA Winter Academic Conference. Unlocking Our Potential (Bd. 35, S. 162–165). ISBN: 978-0-87757-018-9. [https://www.ama.org/wp-content/uploads/2024/02/2024-Winter-AMA-Proceedings\\_Feb-28-2024.pdf](https://www.ama.org/wp-content/uploads/2024/02/2024-Winter-AMA-Proceedings_Feb-28-2024.pdf)



119. **Kienzler, T., & Föhl, U.** (2024). When showing off is the best. Mediator and Moderator Variables for Status Consumption of Maximizers. In S. Cross & A. Saboo (Hrsg.), 2024 AMA Winter Academic Conference. Unlocking Our Potential (Bd. 35, S. 446–460). ISBN: 978-0-87757-018-9. [https://www.ama.org/wp-content/uploads/2024/02/2024-Winter-AMA-Proceedings\\_Feb-28-2024.pdf](https://www.ama.org/wp-content/uploads/2024/02/2024-Winter-AMA-Proceedings_Feb-28-2024.pdf)
120. **Kraus, P., Morelli, F.,** Schlegel, D., Monauni, M., Ertem, U., & **Strommer, S.** (2024). Benefits, Challenges and Trends of Business Intelligence Solutions in the Context of Management Accounting. In EURAM 2024. Fostering Innovation to Address Grand Challenges, insg. 32 Seiten. ISSN: 2466-7498 und ISBN: 78-2-9602195-6-2
121. Schlegel, D., Reiff, J., Feierabend, D., **Kraus, P.,** & Monauni, M. (2024). Inter-team coordination in large-scale agile approaches: A systematic literature review. In EURAM 2024. Fostering Innovation to Address Grand Challenges, insg. 36 Seiten. ISSN: 2466-7498 und ISBN: 78-2-9602195-6-2
122. **Kray, S., Blechschmidt, F., & Gerlich, M.** (2024). Low-cost, multispectral light field camera for medical applications. In Deutsche Gesellschaft für angewandte Optik (DGaO) Proceedings 2024, insg. 2 Seiten. ISSN: 1614-8436. urn:nbn:de:0287-2024-B035-2 oder [https://www.dgao-proceedings.de/download/125/125\\_b35.pdf](https://www.dgao-proceedings.de/download/125/125_b35.pdf)
123. **Krebber, F.** (2024). Erwartungen an Beteiligung verantwortungsvoll managen. Innovative Verwaltung, 6, 12–15. <https://www.springerprofessional.de/erwartungen-an-beteiligung-verantwortungsvoll-managen/27229338>
124. Kühne, C., **Lang-Koetz, C.,** Hutschek, U., & Heil, M. (2024). Mit KI zum brauchbaren PFAS-Ersatz? Erkenntnisse, jedoch keine Lösung. *Plastverarbeiter*, 75(6), 12–16. ISSN: 0032-1338. [https://emagazin.plastverarbeiter.de/de/profiles/5c7b794a1f10-plastverarbeiter/editions/plastverarbeiter-06-2024/preview\\_pages](https://emagazin.plastverarbeiter.de/de/profiles/5c7b794a1f10-plastverarbeiter/editions/plastverarbeiter-06-2024/preview_pages)
125. **Kurz, R.** (2024). Am Ende des Wachstumszeitalters. Stand der sozial-ökologische Transformation. *politische ökologie*, 177(2), 116–119. <https://www.oekom.de/ausgabe/planetare-gesundheit-81004>
126. **Mahadevan, J.,** & Primecz, H. (2024). Investigating otherness, not difference: Should saming and othering be the focus of the discipline? Implications for a contemporary cross-cultural management studies. *International Journal of Cross Cultural Management*, 24(1), 3–11. <https://doi.org/10.1177/14705958241237891>
127. **Mann, I, Forster, F., Blankenbach, K., & Reichel, S.** (2024). Advanced Escape Route System using Bistable E-Paper Displays and Dynamic Rerouting. In Deutsche Gesellschaft für angewandte Optik (DGaO) Proceedings 2024, insg. 2 Seiten. ISSN: 1614-8436. urn:nbn:de:0287-2024-P011-0 oder [https://www.dgao-proceedings.de/download/125/125\\_p11.pdf](https://www.dgao-proceedings.de/download/125/125_p11.pdf)
128. Martini, M., Tietze, F., John, M., Aristodemou, L., Schönmann, A., & **Schimpf, S.** (2024). Conceptualizing disruptive innovation paths, patent zero and patent-data based operationalization. Insg. 15 Seiten. In Proceedings of the XXXV ISPIM Innovation Conference "Local Innovation Ecosystems for Global Impact". ISBN: 978-952-65069-6-8. <https://doi.org/10.17863/CAM.111428> oder <https://publica-rest.fraunhofer.de/server/api/core/bitstreams/2d4527f7-af92-47a0-b0d4-3873859ee50f/content>

129. **Nothhelfer, R.** (2024). Berichterstattung über immaterielle Ressourcen – Umfang und Grenzen der neuen Berichtspflicht. In S. Behringer (Hrsg.), Konferenzband CARF Luzern 2024 Controlling. Accounting. Risiko. Finanzen, S. 133–142. ISBN: 978-3-907379-39-4. <https://www.hslu.ch/de-ch/wirtschaft/forschung/konferenzen/carf-luzern/carf-konferenzbeitraege/>
130. **Nothhelfer, R.** (2024). Neue Anforderungen in der Nachhaltigkeitsberichterstattung. WiSt Wirtschaftswissenschaftliches Studium – Zeitschrift für Studium und Forschung, 53(4), 4–10. <https://doi.org/10.15358/0340-1650-2024-4-4>
131. **Popirtac, A. & Sand, G.** (2024). Multi-Robot Routing by Engineered Mixed-Integer Programming. In Proceedings of the 50th International Conference on Computers and Industrial Engineering (CIE50), Sustainable Digital Transformation. Dubai, United Arab Emirates. S. 169-177. ISBN: 978-1-7138-8695-2 <https://www.proceedings.com/content/072/072579webtoc.pdf>
132. **Pruhs, A., Kusch, A., Viere, T., & Woidasky, J.** (2024). Entwicklung einer Entscheidungsmethodik für die zirkuläre Produktgestaltung. In A. Bockreis et al (Hrsg.), 13. Wissenschaftskongress Kreislauf- und Ressourcenwirtschaft (S. 51–55). innsbruck university press. ISBN: 978-3-99106-120-5. <https://doi.org/10.15203/99106-120-5>
133. **Auer, M., Glaser, K., Schmidt, J., & Woidasky, J.** (2024). Was passiert mit den Hygiene-Schutzscheiben? PMMA-Stoffstromanalyse für Deutschland. In A. Bockreis et al (Hrsg.), 13. Wissenschaftskongress Kreislauf- und Ressourcenwirtschaft (S. 181–186). innsbruck university press. ISBN: 978-3-99106-120-5. <https://doi.org/10.15203/99106-120-5>
134. **Vielsack, A., & Woidasky, J.** (2024). Ansätze zur Materialcharakterisierung und -quantifizierung infektiöser Krankenhausabfälle durch bildgebende Verfahren. In A. Bockreis et al (Hrsg.), 13. Wissenschaftskongress Kreislauf- und Ressourcenwirtschaft (S. 429–434). innsbruck university press. ISBN: 978-3-99106-120-5. <https://doi.org/10.15203/99106-120-5>
135. **Reichel, S., Blankenbach, K., Link, C., & Winkle, M.** (2024). Geometry measurements with image processing and forward projection. In Deutsche Gesellschaft für angewandte Optik (DGaO) Proceedings 2024, insg. 2 Seiten. ISSN: 1614-8436. urn:nbn:de:0287-2024-A037-6 oder [https://www.dgao-proceedings.de/download/125/125\\_a37.pdf](https://www.dgao-proceedings.de/download/125/125_a37.pdf)
136. Richter, A.N., **Hansch, A.**, & Wrobel, M. (2024). From Local Beginnings to Global Reach: The Importance of Micromarket Strategies for Platform Startups - An Empirical Study. In 13th International Symposium Region Entrepreneurship Development (RED), S. 247-259. ISSN: 1848-9559. <https://www.efos.unios.hr/wp-content/uploads/2023/06/Zbornik-2024.pdf>
137. **Schmitz, A.**, & Foelsing, J. (2024). Peer Learning effektiv gestalten. Lessons Learned aus der Durchführung unternehmensübergreifender Learning Circles. HR Performance, 2, 58–61. [https://www.datakontext.com/media/archive/a0/e0/55/epaper-HRP\\_2\\_2024\\_Hauptheft\\_eMage9fIVgLIby6gq/index.html#58](https://www.datakontext.com/media/archive/a0/e0/55/epaper-HRP_2_2024_Hauptheft_eMage9fIVgLIby6gq/index.html#58)
138. **Schmitz, A.**, & Fölsing, J. (2024). L&D 2030 – wer wollt ihr sein? Personalmagazin, 9, 44-48.

139. **Steiner, P., Lasslop, N., Weller, F., Auer, M., Schmidt, J., & Woidasky, J.** (2024). Circular-Economy-Ansätze für Kunststoff-Außenwerbungsplakate. In R. Pomberger et al (Hrsg.), Recy & DepoTech 2024. POSTER-Konferenzband zur 17. Recy & DepoTech-Konferenz (S. 73-78). ISBN: 978-3-200-09989-0. [https://www.recydepo-tech.at/media/Poster\\_inkl.\\_Umschlag.pdf](https://www.recydepo-tech.at/media/Poster_inkl._Umschlag.pdf)
140. **Thierry, C., Sander, F., Walter, N., & Cleff, T.** (2024). The Effect of Brand Activism on Advertising Success and Purchase Intention - Analyzing Female Empowerment and Anti-Racism Advertising. In Glavaš, J., Papac, N., & Erceg, A. (Hrsg.), Interdisciplinary Management Research XX (S. 503-521). ISSN: 1847-0408. <https://nx15738.your-storage.de/s/koTLXbrsS8ycqtP>
141. Vásquez, S., **Al-Washash, Z., & Kroschwald, S.** (2024). (Produkt-)Haftung bei der Verarbeitung personenbezogener Daten: Die Verbraucherperspektive. Datenschutz und Datensicherheit - DuD, 48(9), 577–582. <https://doi.org/10.1007/s11623-024-1978-y>
142. **Weiß, P.**, Warg, M. & Zolnowski, A. (2024). Service Design Patterns for Transforming Business with Service Dominant Architecture (SDA): Insights from a Longitudinal Case Study. In 33rd RESER International Conference, Sierre, Switzerland. S. 162-181. [https://reser.net/wp-content/uploads/2024/06/RESER-2023\\_BookOfAbstract\\_NEW.pdf](https://reser.net/wp-content/uploads/2024/06/RESER-2023_BookOfAbstract_NEW.pdf)
143. **Wienert, H.** (2024). Der Einfluss der Migration auf die regionalen Bevölkerungsschätzungen der Vereinten Nationen. WiSt Wirtschaftswissenschaftliches Studium – Zeitschrift für Studium und Forschung, 53(6), 27-33. ISSN: 0340-1650. <https://www.beck-elibrary.de/10.15358/0340-1650-2024-6/wist-wirtschaftswissenschaftliches-studium-jahrgang-53-2024-heft-6> oder <https://doi.org/10.15358/0340-1650-2024-6-27>
144. **Wienert, H.** (2024). Der Informationsgehalt von Abschlussnoten sinkt weiter. WiSt Wirtschaftswissenschaftliches Studium – Zeitschrift für Studium und Forschung, 53(5), 45-50. ISSN: 0340-1650. <https://www.beck-elibrary.de/10.15358/0340-1650-2024-5/wist-wirtschaftswissenschaftliches-studium-jahrgang-53-2024-heft-5> oder <https://doi.org/10.15358/0340-1650-2024-5-45>

#### 4.3.2 Herausgeberschaft, Buchveröffentlichungen, Monographien und Beiträge in Fachbüchern (=47)

---

145. Bardt, H., & **Wentzel, D.** (Hrsg.). (2024). Ordnungstheorie, Ordnungspolitik und Soziale Marktwirtschaft: Grundbegriffe und Konzeptionen. Wiesbaden: Springer Gabler. eBook ISBN: 978-3-658-44951-3. Insg. 240 Seiten. <https://doi.org/10.1007/978-3-658-44951-3>
146. Bardt, H., & **Wentzel, D.** (2024). Allgemeine Grundbegriffe. In H. Bardt & D. Wentzel, Ordnungstheorie, Ordnungspolitik und Soziale Marktwirtschaft (S. 1–19). Springer Gabler. [https://doi.org/10.1007/978-3-658-44951-3\\_1](https://doi.org/10.1007/978-3-658-44951-3_1)
147. Leschke, M., & **Wentzel, D.** (2024). Kulturvergleichende Institutionenökonomik. In H. Bardt & D. Wentzel, Ordnungstheorie, Ordnungspolitik und Soziale Marktwirtschaft (S. 83–87). Springer Gabler. [https://doi.org/10.1007/978-3-658-44951-3\\_3](https://doi.org/10.1007/978-3-658-44951-3_3)

148. Bardt, H., & **Wentzel, D.** (2024). Wirtschaftssysteme. In H. Bardt & D. Wentzel, Ordnungstheorie, Ordnungspolitik und Soziale Marktwirtschaft (S. 129–148). Springer Gabler. [https://doi.org/10.1007/978-3-658-44951-3\\_5](https://doi.org/10.1007/978-3-658-44951-3_5)
149. **Fournier, G., Boos, A.,** Konstantas, D., & Attias, D. (Hrsg.). (2024). Automated Vehicles as a Game Changer for Sustainable Mobility: Learnings and Solutions. Springer Nature Switzerland. eBook ISBN: 978-3-031-61681-5. Insg. 509 Seiten. <https://doi.org/10.1007/978-3-031-61681-5>
150. **Fournier, G., Boos, A.,** Konstantas, D., & Attias, D. (2024). Introduction. In G. Fournier, A. Boos, D. Konstantas, & D. Attias (Hrsg.), Automated Vehicles as a Game Changer for Sustainable Mobility (S. 1–12). Springer Nature Switzerland. eBook ISBN: 978-3-031-61681-5. [https://doi.org/10.1007/978-3-031-61681-5\\_1](https://doi.org/10.1007/978-3-031-61681-5_1)
151. **Duffner-Korbee, D., Nemoto, E. H., Jaroudi, I., van den Boom, N., Viere, T., Naderer, G., & Fournier, G.** (2024). Stakeholder Analysis and AVENUE Strategies. In G. Fournier, A. Boos, D. Konstantas, & D. Attias (Hrsg.), Automated Vehicles as a Game Changer for Sustainable Mobility (S. 201–234). Springer Nature Switzerland. eBook ISBN: 978-3-031-61681-5. [https://doi.org/10.1007/978-3-031-61681-5\\_9](https://doi.org/10.1007/978-3-031-61681-5_9)
152. **Nemoto, E. H., van den Boom, N.,** Thalhofer, M., & **Fournier, G.** (2024). Research Approach: Introduction to SUMP and AVENUE Methodology. In G. Fournier, A. Boos, D. Konstantas, & D. Attias (Hrsg.), Automated Vehicles as a Game Changer for Sustainable Mobility (S. 237–245). Springer Nature Switzerland. eBook ISBN: 978-3-031-61681-5. [https://doi.org/10.1007/978-3-031-61681-5\\_10](https://doi.org/10.1007/978-3-031-61681-5_10)
153. **Beye, C.,** Zinckernagel, C., & **Fournier, G.** (2024). Technical Impact Assessment: Obstacles and Developments of Automated Minibuses for Public Transport. In G. Fournier, A. Boos, D. Konstantas, & D. Attias (Hrsg.), Automated Vehicles as a Game Changer for Sustainable Mobility (S. 247–260). Springer Nature Switzerland. eBook ISBN: 978-3-031-61681-5. [https://doi.org/10.1007/978-3-031-61681-5\\_11](https://doi.org/10.1007/978-3-031-61681-5_11)
154. **Viere, T., Boos, A., van den Boom, N.,** Benyahya, M., Moussa, M. B., & **Fournier, G.** (2024). Environmental Impact Assessment: Automated Minibuses for Public Transport. In G. Fournier, A. Boos, D. Konstantas, & D. Attias (Hrsg.), Automated Vehicles as a Game Changer for Sustainable Mobility (S. 279–314). Springer Nature Switzerland. eBook ISBN: 978-3-031-61681-5. [https://doi.org/10.1007/978-3-031-61681-5\\_13](https://doi.org/10.1007/978-3-031-61681-5_13)
155. **Jaroudi, I., Boos, A., Viere, T., & Fournier, G.** (2024). Environmental Impact Assessment: Externalities of Automated Electric Vehicles for Public Transport. In G. Fournier, A. Boos, D. Konstantas, & D. Attias (Hrsg.), Automated Vehicles as a Game Changer for Sustainable Mobility (S. 315–360). Springer Nature Switzerland. eBook ISBN: 978-3-031-61681-5. [https://doi.org/10.1007/978-3-031-61681-5\\_14](https://doi.org/10.1007/978-3-031-61681-5_14)
156. **Duffner-Korbee, D., Naderer, G.,** Liebhauser, N., & **Fournier, G.** (2024). Social Impact Assessment: Changing Mobility Behaviour by Understanding Customer Needs and Attitudes. In G. Fournier, A. Boos, D. Konstantas, & D. Attias (Hrsg.), Automated Vehicles as a Game Changer for Sustainable Mobility (S. 361–391). Springer Nature Switzerland. eBook ISBN: 978-3-031-61681-5. [https://doi.org/10.1007/978-3-031-61681-5\\_15](https://doi.org/10.1007/978-3-031-61681-5_15)



157. **Nemoto, E. H., Jaroudi, I., Duffner-Korbee, D., Viere, T., Naderer, G., Boos, A., van den Boom, N., & Fournier, G.** (2024). Sustainability Assessment of the Integration of Automated Minibuses in Urban Mobility Systems: Learnings from the AVENUE Project. In G. Fournier, A. Boos, D. Konstantas, & D. Attias (Hrsg.), *Automated Vehicles as a Game Changer for Sustainable Mobility* (S. 413–426). Springer Nature Switzerland. [https://doi.org/10.1007/978-3-031-61681-5\\_17](https://doi.org/10.1007/978-3-031-61681-5_17)
158. **Fournier, G.,** Thalsofer, M., Klarmann, J., Chrétien, P., **Duffner-Korbee, D., Boos, A., Jaroudi, I., Nemoto, E. H.,** Binz, L., **Naderer, G.,** Konstantas, D., & **Viere, T.** (2024). System Innovation in Passenger Transportation with Automated Minibuses in ITS: The Citizen-Centric Approach of AVENUE. In G. Fournier, A. Boos, D. Konstantas, & D. Attias (Hrsg.), *Automated Vehicles as a Game Changer for Sustainable Mobility* (S. 429–474). Springer Nature Switzerland. eBook ISBN: 978-3-031-61681-5. [https://doi.org/10.1007/978-3-031-61681-5\\_18](https://doi.org/10.1007/978-3-031-61681-5_18)
159. Thalsofer, M., **Boos, A., Nemoto, E. H., Duffner-Korbee, D.,** Dubielzig, M., Zinckernagel, C., **Jaroudi, I.,** Konstantas, D., & **Fournier, G.** (2024). Transition Planning Towards a Sustainable Urban Mobility Ecosystem. In G. Fournier, A. Boos, D. Konstantas, & D. Attias (Hrsg.), *Automated Vehicles as a Game Changer for Sustainable Mobility* (S. 475–506). Springer Nature Switzerland. eBook ISBN: 978-3-031-61681-5. [https://doi.org/10.1007/978-3-031-61681-5\\_19](https://doi.org/10.1007/978-3-031-61681-5_19)
160. **Fournier, G.,** & Konstantas, D. (2024). Conclusion. In G. Fournier, A. Boos, D. Konstantas, & D. Attias (Hrsg.), *Automated Vehicles as a Game Changer for Sustainable Mobility* (S. 507–509). Springer Nature Switzerland. eBook ISBN: 978-3-031-61681-5. [https://doi.org/10.1007/978-3-031-61681-5\\_20](https://doi.org/10.1007/978-3-031-61681-5_20)
161. **Echle, E.** (2024). STREAMING GENDER: Mode, Maske und Identität am Beispiel von Sex Education. In A.-B. Schlittler & K. Tietze (Hrsg.), *Mode und Gender* (S. 113–120). transcript Verlag. <https://doi.org/10.1515/9783839468111-010>
162. **Gildeggen, R., Willburger, A., Kroschwald, S.,** Rühmkorf, A., & Sendmeyer, S. (2024). *Internationale Handelsgeschäfte: Das Recht des Grenzüberschreitenden Handels* (6. überarbeitete Auflage). Insg. 287 Seiten. München: Verlag Franz Vahlen. E-Book ISBN: 978-3-8006-7386-5. <https://doi.org/10.15358/9783800673865>
163. **Gildeggen, R.** (2024). Die internationale Produkthaftung. In R. Gildeggen, A. Willburger, S. Kroschwald, A. Rühmkorf & S. Sendmeyer, *Internationale Handelsgeschäfte: Das Recht des Grenzüberschreitenden Handels* (S. 88-98). München: Verlag Franz Vahlen. E-Book ISBN: 978-3-8006-7386-5. <https://doi.org/10.15358/9783800673865>
164. **Kroschwald, S.** (2024). Der internationale IT-(Projekt-)Vertrag. In R. Gildeggen, A. Willburger, S. Kroschwald, A. Rühmkorf & S. Sendmeyer, *Internationale Handelsgeschäfte: Das Recht des Grenzüberschreitenden Handels* (S. 157-194). München: Verlag Franz Vahlen. E-Book ISBN: 978-3-8006-7386-5. <https://doi.org/10.15358/9783800673865>
165. **Willburger, A.** (2024). Der internationale Warenkauf. In R. Gildeggen, A. Willburger, S. Kroschwald, A. Rühmkorf & S. Sendmeyer, *Internationale Handelsgeschäfte: Das Recht des Grenzüberschreitenden Handels* (S. 5-87 und S. 99-127). München: Verlag Franz Vahlen. E-Book ISBN: 978-3-8006-7386-5. <https://doi.org/10.15358/9783800673865>

166. **Willburger, A.** (2024). Einleitung internationale Handelsgeschäfte. In R. Gildeggen, A. Willburger, S. Kroschwald, A. Rühmkorf & S. Sendmeyer, Internationale Handelsgeschäfte: Das Recht des Grenzüberschreitenden Handels (S. 1-4). München: Verlag Franz Vahlen. E-Book ISBN: 978-3-8006-7386-5.  
<https://doi.org/10.15358/9783800673865>
167. **Häfele, M.** (2024). Aufsichtsrat im öffentlichen Beteiligungscontrolling. Herausforderungen und Verantwortung. S. 677- 688. Haufe Finance Office Professional Online, HI2029550. Freiburg: Haufe.
168. **Huck-Sandhu, S.** (2024). Interkulturelle und transnationale Kommunikation. In P. Szyszka, R. Fröhlich, & U. Röttger (Hrsg.), Handbuch der Public Relations (S. 841–859). Springer Fachmedien Wiesbaden. [https://doi.org/10.1007/978-3-658-28034-5\\_46](https://doi.org/10.1007/978-3-658-28034-5_46)
169. **Krebber, F.** (2024). Kommunikationsethik der Bürgerbeteiligung. Was die PR-Ethik-Richtlinie ‚Bürgerbeteiligung und Kommunikation‘ für Unternehmen und Agenturen bedeutet. In G. Bentele, M. Piwinger & G. Schönborn (Eds.), Kommunikationsmanagement. Strategien. Wissen. Lösungen. (S. 1-46). Hürth: Luchterhand. ISBN: 978-3-472-04906-7. Loseblattsammlung. <https://d-nb.info/1231809973>
170. **Krebber, F.** (2024). Strategische Geschichtskommunikation zwischen historischer Wahrheit und intendierter Wirkung. In O. Hoffjann, L. Seeber, & I. Von Der Wense (Hrsg.), Strategische Wahrheiten (S. 155–177). Springer Fachmedien Wiesbaden. ISBN: 978-3-658-43830-2. [https://doi.org/10.1007/978-3-658-43831-9\\_9](https://doi.org/10.1007/978-3-658-43831-9_9)
171. **Krebber, F.**, & Sandhu, S. (2024). Legitimität und Akzeptanz. In P. Szyszka, R. Fröhlich, & U. Röttger (Hrsg.), Handbuch der Public Relations (S. 383–401). Springer Fachmedien Wiesbaden. [https://doi.org/10.1007/978-3-658-28034-5\\_22](https://doi.org/10.1007/978-3-658-28034-5_22)
172. **Lang-Koetz, C.**, Hutschek, U., & Heil, M. (2024). PFAS: Anwendung, technische Funktionen und Substitutionsmöglichkeiten in der Industrie. In C. Kühne (Hrsg.), PFAS: Anwendung, technische Funktionen und Substitutionsmöglichkeiten in der Industrie (S. 1–30). Stuttgart: THINKTANK Industrielle Ressourcenstrategien. <https://doi.org/10.60846/6hf7-nh56>
173. **Kilian-Yasin, K.**, & Apaydın, M. (2024). Middle East and North Africa (MENA): A German-Arab team. In B. Gehrke, M.-T. Claes, D. Pauknerová, I. Aust, & R.-M. Bell Lambert (Hrsg.), Global Leadership Practices (S. 210–229). Edward Elgar Publishing. e-Book ISBN: 978-1-035-30808-8. <https://doi.org/10.4337/9781035308088.00022>
174. **Mahadevan, J.** (2024). India: The many faces of IT India. In B. Gehrke, M.-T. Claes, D. Pauknerová, I. Aust, & R.-M. Bell Lambert (Hrsg.), Global Leadership Practices (S. 175–192). Cheltenham: Edward Elgar Publishing. eBook ISBN: 978-1-0353-0808-8. <https://doi.org/10.4337/9781035308088.00020>
175. **Mahadevan, J.** (2024). Southeast Asia: A kaleidoscope of cultural diversity. In B. Gehrke, M.-T. Claes, D. Pauknerová, I. Aust, & R.-M. Bell Lambert (Hrsg.), Global Leadership Practices (S. 230–249). Cheltenham: Edward Elgar Publishing. eBook ISBN: 978-1-0353-0808-8. <https://doi.org/10.4337/9781035308088.00023>

176. **Marx, U. C., Morelli, F., Schuster, T.,** & Döring, N. (2024). Infektionsdaten effizient melden. Datenstrategie zur Erfassung und Bereitstellung meldepflichtiger Infektionsdaten. In NEGZ - Nationale E-Government e.V. (Hrsg.), insg. 36 Seiten. ISSN: 2626-6032. <https://doi.org/10.30418/2626-6032.2024.33> oder <https://negz.org/publikation/infektionsdaten-effizient-melden/>
177. Schebek, L., Dosch, K., Faulstich, M., Hagelüken, C., Jaeger-Erben, M., Nuss, P., & **Schmidt, M.** (2024). Indikatoren im Themenfeld Ressourcenschonung und Circular Economy. Grundlagen und Anforderungen für die Entwicklung konsistenter Indikatorensysteme, insg. 34 Seiten. Dessau-Roßlau: Ressourcenkommission am Umweltbundesamt (Herausgeber). <https://doi.org/10.60810/OPENUMWELT-7418> oder <https://openumwelt.de/server/api/core/bitstreams/f18b8892-e6d1-4f40-8242-d6b1c766ad68/content>
178. **Schengel, L., & Goehlich, V.** (2024). Adaptation of the Doughnut Economics Model to a Rural Community in Germany. In D. Vrontis, A. Thrassou, L. Efthymiou, Y. Weber, S. M. R. Shams, & E. Tsoukatos (Hrsg.), Business for Sustainability, Volume II (S. 261–284). Springer International Publishing. eBook ISBN: 978-3-031-37365-7. [https://doi.org/10.1007/978-3-031-37365-7\\_12](https://doi.org/10.1007/978-3-031-37365-7_12)
179. **Schmidt, S. W.** (2024). Topology of Nostalgia. In T. Becker & D. Trigg, The Routledge Handbook of Nostalgia (1. Aufl., S. 391–401). Routledge. <https://doi.org/10.4324/9781003364924-36> oder <https://www.routledge.com/The-Routledge-Handbook-of-Nostalgia/Becker-Trigg/p/book/9781032429205>
180. **Schmitz, A.,** & Bruns, B. (2024). Faszinierende Welt der KI – So bereit ist HR in DACH für eine effektive KI-Nutzung! In T. Köhler (Hrsg.), Handbuch E-Learning, insg. 20 Seiten. Loseblattwerk. Fachverlag Deutscher Wirtschaftsdienst, ISBN: 978-3-87156-298-3. <https://www.lehmanns.de/shop/wirtschaft/3400787-9783871562983-handbuch-e-learning>
181. **Schmitz, A.,** & Foelsing, J. (2024). Partizipations- und lernförderliche Unternehmenskultur als Umsetzungenabler neuer Lernansätze. In S. Freigang (Hrsg.), Smart Learning Design (S. 1–12). Freiburg: Haufe. Print ISBN: 978-3-648-15122-8. <https://dnb.info/1232518816> und <https://www.beck-elibrary.de/10.34156/9783648151242/smart-learning-design>
182. **Scholz, M.** & Schlarb, P. (2024). Änderung im Steuer- und Gesellschaftsrecht 2023/2024. StB Buch 67. Band 30. Insg. 718 Seiten. Mainz: StB - Steuerberaterverlag Rheinland-Pfalz GmbH. ISBN: 3-926638-58-3
183. **Scholz, M.,** & Stark, L.C. (2024). Praxisrelevante Steuergestaltungen 2024. StB Buch 18, Band 18. Insg. 312 Seiten. Mainz: StB-Steuerberaterverlag Rheinland-Pfalz GmbH. ISBN: 3-9226638-59-1
184. **Stobbe, T.,** & Hamacher, K. (2024). Steuern kompakt: 2024/25 (18., wesentlich überarbeitete und erweiterte Auflage), insg. 264 Seiten. SteuernRep Verlag. ISBN: 978-3-9824903-6-6. <https://steuernkompREP.de/produkt/steuern-kompakt-2024-2025/>

185. **Stobbe, T.** (2024). Kommentierung zu § 6 Abs. 1 Nr. 1 EStG Bewertung abnutzbarer Wirtschaftsgüter des Anlagevermögens (Abs. 1 Nr. 1), Anm. 150-286. In Herrmann/Heuer/Raupach EStG KStG Kommentar, S. 114-204. ISBN: 978-3-504-23063-0. <https://www.otto-schmidt.de/estg-kstg-kommentar-grundwerk-mit-fortsetzungsbezug-fur-mindestens-2-jahre-9783504230630>
186. **Stobbe, T.** (2024). Kommentierung zu § 6 Abs. 1 Nr. 1a EStG Anschaffungsnahe Aufwendung, Anm. 480-488. In Herrmann/Heuer/Raupach EStG KStG Kommentar, S. 325-333. ISBN: 978-3-504-23063-0. <https://www.otto-schmidt.de/estg-kstg-kommentar-grundwerk-mit-fortsetzungsbezug-fur-mindestens-2-jahre-9783504230630>
187. **Stobbe, T.** (2024). Kommentierung zu § 6 Abs. 1 Nr. 1b EStG, Wahlrechte für Verwaltungskosten und Aufwendungen für soziale Leistungen bei den Herstellungskosten (Abs. 1 Nr. 1b), Anm. 490 - 497. In Herrmann/Heuer/Raupach EStG KStG Kommentar, S. 333-340. ISBN: 978-3-504-23063-0. <https://www.otto-schmidt.de/estg-kstg-kommentar-grundwerk-mit-fortsetzungsbezug-fur-mindestens-2-jahre-9783504230630>
188. **Thimm, H. H., & Rasmussen, K. B.** (2024). Disclosure of Environmental Compliance Management on Corporate Websites: Literature Review and Future Research Foundation. In Information Resources Management Association (Hrsg.), Research Anthology on Business Law, Policy, and Social Responsibility (S. 472–487). IGI Global. <https://doi.org/10.4018/979-8-3693-2045-7.ch025>
189. **Tropp, J., & Baetzgen, A.** (2024). Wider, Deeper, More Oblique: Diversification of Media Company. In J. Krone & T. Pellegrini (Hrsg.), Handbook of Media and Communication Economics (S. 529–554). Springer Fachmedien Wiesbaden. eBook ISBN: 978-3-658-39909-2. [https://doi.org/10.1007/978-3-658-39909-2\\_28](https://doi.org/10.1007/978-3-658-39909-2_28)
190. **Tropp, J., & Weinacht, S.** (2024). Media Brand Management. In J. Krone & T. Pellegrini (Hrsg.), Handbook of Media and Communication Economics (S. 615–639). Springer Fachmedien Wiesbaden. eBook ISBN: 978-3-658-39909-2. [https://doi.org/10.1007/978-3-658-39909-2\\_21](https://doi.org/10.1007/978-3-658-39909-2_21)
191. **Woidasky, J., Lang-Koetz, C., & Fimpeler, S.** (2024). Betriebliches Abfall- und Nachhaltigkeitsmanagement. In M. Kranert (Hrsg.), Einführung in die Kreislaufwirtschaft (S. 803–823). Springer Vieweg Wiesbaden. eBook ISBN: 978-3-658-41711-6. [https://doi.org/10.1007/978-3-658-41711-6\\_13](https://doi.org/10.1007/978-3-658-41711-6_13)

#### 4.4 Vormerkungen für 2025

---

- VM 1 **Auer, M., Schmidt, J., & Woidasky, J.** (2024). Effects of Fluorescent Tracer Additives on PET During Material Recycling. Journal of Applied Polymer Science, e56574, insg. 12 Seiten. <https://doi.org/10.1002/app.56574>
- VM 2 Bausch, M., & **Mahadevan, J.** (2024). A phenomenon-based approach to handling multiple paradigms: Investigating power in international knowledge transfer through active categorization. International Journal of Cross Cultural Management, 14705958241289218. <https://doi.org/10.1177/14705958241289218>



- VM3 Cascadden, M., Heales, K., Kingston, M., **Heidak, P.**, & Jennings, P. D. (2024). Hybridizing sustainability metric applications with local stakeholder inputs: A life cycle assessment (LCA) with a co-design demonstration. *Organization Studies*. <https://doi.org/10.1177/01708406241310004>
- VM4 **Häfele, M.**, Söhner, T. (2024). *Bewertungseinheit*. Haufe Finance Office Professional, Freiburg i. Br. Deutschland.
- VM5 Kumar, M., Bhutia, Y., **Varma, G. R.**, Joseph, G., & Krishnaswamy, J. (2024). Role of transpiration in modulating ecosystem services in secondary tropical montane forests of Eastern Himalaya in India. *Ecohydrology & Hydrobiology*, S1642359324000417. <https://doi.org/10.1016/j.ecohyd.2024.04.001>
- VM6 **Mahadevan, J.** (2024). Intercultural training as paradigm juxtaposition, and the need to differentiate critical cross-cultural management studies: The example of 'managing Muslim minorities at work'. *International Journal of Cross Cultural Management*, 14705958241287702. <https://doi.org/10.1177/14705958241287702>
- VM7 **Mahadevan, J.**, Stärkle, A., Bacher, L., Bernhardt, E., Burghardt, R., Hammer, M., Mohaupt, M., Seifert, J., Vögele, J. A., Bensel, F., Diehm, R., Goroll, F., Metzler, S., & Schoss, T. (2024). Have German leaders become 'sentimental'? A qualitative study of novel leadership practices and expectations since COVID. *International Journal of Cross Cultural Management*, 14705958241297534. <https://doi.org/10.1177/14705958241297534>
- VM8 **Martin, L.**, Weller, M.-A. (2024). Assessing contexts of inventions: An explorative study in South Korea. *IAMOT 2024*. <https://link.springer.com/book/9783031724893>
- VM9 Primecz, H., & **Mahadevan, J.** (2024). Intersectionality as a conceptual lens for advancing diversity, equity and inclusion in international business studies: Newer developments from critical cross-cultural management studies and their insights for the business case. *Critical Perspectives on International Business*. <https://doi.org/10.1108/cpoib-04-2022-0034>
- VM10 **Rudolf, M.**, & **Schmidt, M.** (2025). Efficiency, sufficiency and consistency in sustainable development: Reassessing strategies for reaching overarching goals. *Ecological Economics*, 227, 108426, insg. 10 Seiten. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2024.108426>
- VM11 **Sander, F.**, **Bacher, U.**, **Foschiani, S.**, & **Walter, N.** (2024). *Femvertising - Chancen und Risiken frauenfokussierter Werbung in der Finanzindustrie*. Hohenheimer Genossenschaftsforschung 2024. Universität Hohenheim - Forschungsstelle für Genossenschaftswesen.

## 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 2024.

Datum	Presseartikel
30.01.2024	<a href="#">Professor Jörg Woidasky als Jurymitglied für deutschen Umweltpreis der DBU berufen</a>
	<a href="https://engineeringpf.hs-pforzheim.de/detailansicht/news/professor_joerg_woidasky_als_jurymitglied_fuer_deutschen_umweltpreis_der_dbu_berufen">https://engineeringpf.hs-pforzheim.de/detailansicht/news/professor_joerg_woidasky_als_jurymitglied_fuer_deutschen_umweltpreis_der_dbu_berufen</a>
01.02.2024	<a href="#">SUSMAGPRO endet als großes Erfolgsprojekt</a>
	<a href="https://www.hs-pforzheim.de/news_detailansicht/news/susmagpro_endet_als_grosses_erfolgsprojekt">https://www.hs-pforzheim.de/news_detailansicht/news/susmagpro_endet_als_grosses_erfolgsprojekt</a>
16.02.2024	<a href="#">Wie ökologisch ist das Recycling von Kunstrasen?</a>
	<a href="https://businesspf.hs-pforzheim.de/detailansicht/news/wie_oekologisch_ist_das_recycling_von_kunstrasen">https://businesspf.hs-pforzheim.de/detailansicht/news/wie_oekologisch_ist_das_recycling_von_kunstrasen</a>
23.02.2024	<a href="#">MEiK bringt die Kreislaufwirtschaft ins Krankenhaus</a>
	<a href="https://engineeringpf.hs-pforzheim.de/detailansicht/news/meik_bringt_die_kreislaufwirtschaft_ins_krankenhaus">https://engineeringpf.hs-pforzheim.de/detailansicht/news/meik_bringt_die_kreislaufwirtschaft_ins_krankenhaus</a>
20.02.2024	<a href="#">Stiftungsprofessur für INEC</a>
	<a href="https://businesspf.hs-pforzheim.de/detailansicht/news/stiftungsprofessur_fuer_inec">https://businesspf.hs-pforzheim.de/detailansicht/news/stiftungsprofessur_fuer_inec</a>
27.02.2024	<a href="#">Zina Al-Washash und Prof. Dr. Steffen Kroschwald mit einem Vortrag zum Projekt KIVEDU auf dem Göttinger IT-Recht-Forum</a>
	<a href="https://www.hs-pforzheim.de/forschung/aktuelles/detailansicht/news/zina_al_washash_und_prof_dr_steffen_kroschwald_mit_einem_vortrag_zum_projekt_kivedu_auf_dem_goettinger_it_recht_forum">https://www.hs-pforzheim.de/forschung/aktuelles/detailansicht/news/zina_al_washash_und_prof_dr_steffen_kroschwald_mit_einem_vortrag_zum_projekt_kivedu_auf_dem_goettinger_it_recht_forum</a>
27.02.2024	<a href="#">Erfolgreiches Nachwuchsforscher-Team der Hochschule Pforzheim beim Wissenschaftskongress der Deutschen Gesellschaft für Abfallwirtschaft (DGAW) an der TU Wien</a>
	<a href="https://engineeringpf.hs-pforzheim.de/detailansicht/news/erfolgreiches_nachwuchsforscher_team_der_hochschule_pforzheim_beim_wissenschaftskongress_der_deutschen_gesellschaft_fuer_abfallwirtschaft_dgaw_an_der_tu_wien">https://engineeringpf.hs-pforzheim.de/detailansicht/news/erfolgreiches_nachwuchsforscher_team_der_hochschule_pforzheim_beim_wissenschaftskongress_der_deutschen_gesellschaft_fuer_abfallwirtschaft_dgaw_an_der_tu_wien</a>
25.03.2024	<a href="#">Minister Hauk beruft Prof. Dr. Steffen Kroschwald in die Verbraucherkommission Baden-Württemberg</a>
	<a href="https://www.hs-pforzheim.de/forschung/aktuelles/detailansicht/news/minister_hauk_beruft_prof_dr_steffen_kroschwald_in_die_verbraucherkommission_baden_wuerttemberg">https://www.hs-pforzheim.de/forschung/aktuelles/detailansicht/news/minister_hauk_beruft_prof_dr_steffen_kroschwald_in_die_verbraucherkommission_baden_wuerttemberg</a>
26.03.2024	<a href="#">Startschuss für Forschungsprojekt ZIRU. Zirkuläre und ressourcenschonende Produktentwicklungsprozesse in der industriellen Umsetzung</a>
	<a href="https://businesspf.hs-pforzheim.de/detailansicht/news/startschuss_fuer_forschungsprojekt_ziru">https://businesspf.hs-pforzheim.de/detailansicht/news/startschuss_fuer_forschungsprojekt_ziru</a>
27.03.2024	<a href="#">Vom „Zentrum vunk“ zum „vunk-Institut“</a>

	<a href="https://www.hs-pforzheim.de/forschung/aktuelles/detailansicht/news/vom_zentrum_vunk_zum_vunk_institut">https://www.hs-pforzheim.de/forschung/aktuelles/detailansicht/news/vom_zentrum_vunk_zum_vunk_institut</a>
10.04.2024	<a href="#">Substitute für PFAS-Chemikalien in der Industrie gesucht</a> <a href="https://www.hs-pforzheim.de/news_detailansicht/news/substitute_fuer_pfas_chemikalien_in_der_industrie_gesucht">https://www.hs-pforzheim.de/news_detailansicht/news/substitute_fuer_pfas_chemikalien_in_der_industrie_gesucht</a>
04.06.2024	<a href="#">Klimaneutralität erreichen durch Emissions-Kompensation? Viertes Symposium Nachhaltigkeit und Ressourceneffizienz an der Hochschule Pforzheim</a> <a href="https://www.hs-pforzheim.de/news_detailansicht/news/klimaneutralitaet_erreichen_durch_emissions_kompensation_das_inec_laedt_zum_symposium">https://www.hs-pforzheim.de/news_detailansicht/news/klimaneutralitaet_erreichen_durch_emissions_kompensation_das_inec_laedt_zum_symposium</a>
24.05.2024	<a href="#">INEC an Ressourcenkommission des UBA beteiligt</a> <a href="https://www.hs-pforzheim.de/forschung/aktuelles/detailansicht/news/ressourcenkommission_des_uba">https://www.hs-pforzheim.de/forschung/aktuelles/detailansicht/news/ressourcenkommission_des_uba</a>
20.06.2024	<a href="#">Mehr Sicherheit durch Kombibremse bei Fahrrädern und E-Bikes</a> <a href="https://www.hs-pforzheim.de/news_detailansicht/news/mehr_sicherheit_durch_kombibremse_bei_fahrraedern_und_e_bikes">https://www.hs-pforzheim.de/news_detailansicht/news/mehr_sicherheit_durch_kombibremse_bei_fahrraedern_und_e_bikes</a>
12.07.2024	<a href="#">Hochschule Pforzheim zeichnet herausragende Forschung aus. Verleihung des Research Excellence Awards 2024</a> <a href="https://www.hs-pforzheim.de/news_detailansicht/news/hochschule_pforzheim_zeichnet_herausragende_forschung_aus">https://www.hs-pforzheim.de/news_detailansicht/news/hochschule_pforzheim_zeichnet_herausragende_forschung_aus</a>
22.07.2024	<a href="#">Automatisierte Mobilität: Europas Zukunft wird Realität</a> <a href="https://www.hs-pforzheim.de/news_detailansicht/news/automatisierte_mobilitaet_europas_zukunft_wird_realitaet">https://www.hs-pforzheim.de/news_detailansicht/news/automatisierte_mobilitaet_europas_zukunft_wird_realitaet</a>
01.08.2024	<a href="#">Europäisches REWIND-Forschungskonsortium etabliert</a> <a href="https://www.hs-pforzheim.de/news_detailansicht/news/europaeisches_rewind_forschungskonsortium_etabliert">https://www.hs-pforzheim.de/news_detailansicht/news/europaeisches_rewind_forschungskonsortium_etabliert</a>
02.08.2024	<a href="#">Normungsroadmap Wasserstoff veröffentlicht: INEC-Expertin bringt Nachhaltigkeitsaspekte ein</a> <a href="https://www.hs-pforzheim.de/forschung/aktuelles/detailansicht/news/normungsroadmap_wasserstoff_veroeffentlicht_inec_expertin_bringt_nachhaltigkeitsaspekte_ein">https://www.hs-pforzheim.de/forschung/aktuelles/detailansicht/news/normungsroadmap_wasserstoff_veroeffentlicht_inec_expertin_bringt_nachhaltigkeitsaspekte_ein</a>
21.08.2024	<a href="#">Kreislaufwirtschaft im Gesundheitswesen: Studie zur Abfallentstehung in Krankenhäusern</a> <a href="https://www.hs-pforzheim.de/news_detailansicht/news/kreislaufwirtschaft_im_gesundheitswesen_studie_zur_abfallentstehung_in_krankenhaeusern">https://www.hs-pforzheim.de/news_detailansicht/news/kreislaufwirtschaft_im_gesundheitswesen_studie_zur_abfallentstehung_in_krankenhaeusern</a>
26.09.2024	<a href="#">Fortschritte im Projekt greenProd auf der SDEWES-Konferenz in Rom vorgestellt</a> <a href="https://www.hs-pforzheim.de/forschung/aktuelles/detailansicht/news/fortschritte_im_projekt_greenprod_auf_der_sdewes_konferenz_in_rom_vorgestellt">https://www.hs-pforzheim.de/forschung/aktuelles/detailansicht/news/fortschritte_im_projekt_greenprod_auf_der_sdewes_konferenz_in_rom_vorgestellt</a>
31.10.2024	<a href="#">Das vunk-Institut auf dem Verbrauchertag BW 2024</a> <a href="https://www.hs-pforzheim.de/forschung/aktuelles/detailansicht/news/das_vunk_institut_auf_dem_verbrauchertag_bw_2024_prof_dr_steffen_kroschwald_mit_einem_beitrag_zum_schutz_der_verbraucher_durch_das_recht_kuenstlicher_intelligenz">https://www.hs-pforzheim.de/forschung/aktuelles/detailansicht/news/das_vunk_institut_auf_dem_verbrauchertag_bw_2024_prof_dr_steffen_kroschwald_mit_einem_beitrag_zum_schutz_der_verbraucher_durch_das_recht_kuenstlicher_intelligenz</a>
12.11.2024	<a href="#">Wasserstoff in der chemischen Industrie</a>



	<a href="https://www.hs-pforzheim.de/forschung/aktuelles/detailansicht/news/wasserstoff_in_der_chemischen_industrie">https://www.hs-pforzheim.de/forschung/aktuelles/detailansicht/news/wasserstoff_in_der_chemischen_industrie</a>
18.11.2024	<a href="#">Ausgezeichnete Präsentation in Japan</a>
	<a href="https://www.hs-pforzheim.de/forschung/aktuelles/detailansicht/news/ausgezeichnete_praesentation_in_japan">https://www.hs-pforzheim.de/forschung/aktuelles/detailansicht/news/ausgezeichnete_praesentation_in_japan</a>
22.11.2024	<a href="#">KANAL-Projekt als Finalist für den NEO-Innovationspreis der Technologieregion Karlsruhe nominiert</a>
	<a href="https://www.hs-pforzheim.de/forschung/aktuelles/detailansicht/news/kanal_projekt_als_finalist_fuer_den_neo_innovationspreis_der_technologieregion_karlsruhe_nominiert">https://www.hs-pforzheim.de/forschung/aktuelles/detailansicht/news/kanal_projekt_als_finalist_fuer_den_neo_innovationspreis_der_technologieregion_karlsruhe_nominiert</a>
26.11.2024	<a href="#">Abschlusstreffen des Projekts IRMa: Hochschule Pforzheim unterstützt Mittelstand bei nachhaltiger Transformation</a>
	<a href="https://www.hs-pforzheim.de/forschung/aktuelles/detailansicht/news/abschlusstreffen_des_projekts_irma_hochschule_pforzheim_unterstuetzt_mittelstand_bei_nachhaltiger_transformation">https://www.hs-pforzheim.de/forschung/aktuelles/detailansicht/news/abschlusstreffen_des_projekts_irma_hochschule_pforzheim_unterstuetzt_mittelstand_bei_nachhaltiger_transformation</a>
09.12.2024	<a href="#">Energiewende: Haussanierung oder Herz-OP?</a>
	<a href="https://www.hs-pforzheim.de/news_detailansicht/news/energiewende_haussanierung_oder_herz_op">https://www.hs-pforzheim.de/news_detailansicht/news/energiewende_haussanierung_oder_herz_op</a>
18.12.2024	<a href="#">Neues Forschungsprojekt: Systematische Erschließung des kreislaufwirtschaftlichen Potentials von Beatmungssystemen</a>
	<a href="https://www.hs-pforzheim.de/forschung/aktuelles/detailansicht/news/forschungsprojekt">https://www.hs-pforzheim.de/forschung/aktuelles/detailansicht/news/forschungsprojekt</a>