

# forschung im fokus

## [KINCHI]

Intelligente Digitalisierung  
der Auftragsabwicklung im Handwerk | 43

## [FlexTwin]

Zwillingskonzept für Klimaschutz | 92

## [„Smart Meter Inclusif“]

Sicherheit für intelligente Zähler | 98

HERRENKNECHT



Tunnelvortriebstechnik

**„INNOVATIVE TECHNIK,  
GROSSE KRÄFTE, SCHWERE  
TEILE – DAS FASZINIERT  
MICH BIS HEUTE.“**

**Johannes Tröndle, Projektleiter Forschung und Entwicklung**

Der Hauptgrund für meine Bewerbung bei Herrenknecht war die Begeisterung für den Sondermaschinenbau. Unsere Aufgabe ist es innovativ zu sein, Produkte weiterzuentwickeln und kontinuierlich besser zu werden. In diesem Nischenmarkt ist kein Tag wie der andere.



**WILLST AUCH DU DIE WELT DES TUNNELBAUS HAUTNAH ERLEBEN?  
DANN BEWIRB DICH!**

[herrenknecht.com/karriere](https://herrenknecht.com/karriere)

# Liebe Leserschaft

Das derzeit viel diskutierte Thema „Nachhaltige Gebäude-energie-technik“ beschäftigt auch die Forschenden der Hochschule Offenburg. Prof. Dr. Thomas Seifert und Dr. Ira Pawlowski besprechen im zum energieautarken Tiny-House umgebauten Seecontainer vor dem RIZ Energie die neuesten Ergebnisse ihrer Arbeit.



die Hochschule Offenburg steht für Neugier und Pioniergeist. Daher spielen Wissenschaft und anwendungsorientierte Forschung an unserer Hochschule eine elementare Rolle: als Voraussetzung für eine moderne Ausbildung von Fachkräften für die Region, als eine hochwertige Qualifikation des wissenschaftlichen Nachwuchses sowie als Beitrag zur Lösung großer gesellschaftlicher Herausforderungen wie Klimawandel, Gesundheit oder die digitale Produktions- und Arbeitswelt.

Unsere Forschungsbilanz 2022 zeugt von diesem Selbstverständnis: Mit einem Drittmitteleinsatz von 6,9 Millionen Euro und mehr als 140 Forschungs- und Entwicklungsprojekten ist die Hochschule Offenburg wieder eine der forschungsstärksten Hochschulen für Angewandte Wissenschaften (HAW) in Baden-Württemberg.

Mit der diesjährigen Ausgabe des Forschungsmagazins „forschung im fokus“ geben wir Ihnen Einblicke in unsere aktuellen Forschungsaktivitäten. Wir berichten auch über ein innovatives Hitzewarn- und -managementsystem in Gebäuden („heatGUIDe“, Seite 86) und über die Entwicklung eines überregionalen open-source Elektrizitätssystemmodells für Deutschland („MyPyPSA-Ger“, Seite 74). Neue

Anwendungen von Methoden der Künstlichen Intelligenz zeigen wir Ihnen für den Bereich der nachhaltigen Lebensmittelproduktion („KINLI“, Seite 112) aber auch für künstlerische Aktivitäten („Puppeteering AI“, Seite 31).

Damit die Ergebnisse und Erkenntnisse aus den Forschungsaktivitäten schneller in die praktische Anwendung und in die Wertschöpfung kommen, verstärkt die Hochschule Offenburg zudem ihre Transferaktivitäten gemeinsam mit Partnern aus Wirtschaft, Wissenschaft, öffentlichem Sektor und der Zivilgesellschaft. Mit dem neu gestarteten Multi-Stakeholder-Transferprojekt move.mORe im Rahmen der Förderinitiative „Innovative Hochschule“ (Seite 7) arbeitet die Hochschule Offenburg zusammen mit der Hochschule Karlsruhe an der Realisierung einer gemeinsamen Vision nachhaltiger Mobilität von Menschen und Waren im ländlichen Raum der Oberrheinregion.

Gern sind wir für Sie als Forschungs-, Entwicklungs- und Transferpartnerin immer offen und jederzeit ansprechbar.

Wir wünschen Ihnen eine spannende Lektüre!

*Prof. Dr. Thomas Seifert, Prorektor Forschung und Transfer; Dr. Ira Pawlowski, Leitung CRT*

# Denken wird Machen.

In den vergangenen zwei Jahren hat die Hochschulleitung die strategische Ausrichtung der Hochschule Offenburg geschärft. Eine wichtige Aufgabe sieht die Hochschule darin, die Innovationskraft der Region gemeinsam mit den Unternehmen zu stärken. Diese Überzeugung spiegelt sich in einem neuen Markenauftritt.

Mit einem prägnanten Logo, einem frischen Corporate Design und dem Markenmotto „Denken wird Machen“ vertieft die Hochschule Offenburg den Dialog mit der Wirtschaft und Gesellschaft. „Wir möchten unsere Region durch Lehre, Forschung und Transfer positiv weiterentwickeln“, sagt Rektor Prof. Dr. Stephan Trahasch. „Damit wir unsere Zukunft kreativ und mutig gestalten können, braucht es ein klares Werteverständnis und den Willen, alle gesellschaftlichen Akteure aus unserer Region zusammenzubringen. Dafür steht die Hochschule Offenburg.“

Das Motto „Denken wird Machen“ fasst diese Positionierung zusammen. In dem Slogan verbindet sich die Verankerung der Hochschule Offenburg in der Wissenschaft mit dem Anspruch, Innovationen zu fördern und konkreten Fortschritt zu ermöglichen. Welche Grundhaltungen der Hochschule wichtig sind oder welche Leistungen sie verspricht – über diese elementaren Themen informiert der Markenauftritt. Er transportiert die Identität der Hochschule Offenburg. Die Gestaltung in Form und Farbe ermöglicht es, zentrale Botschaften zu vermitteln.

Beispiel Logo: Die neue Wort-Bildmarke deutet zum einen auf die regionale Verankerung hin, etwa durch den Bezug zum Stadtwappen von Offenburg. Zum anderen weisen das offene Tor, der nach vorn gerichtete Pfeil sowie der rote Farbton darauf hin, dass die Hochschule Innovationen fördert, die den Menschen in der Region nutzen. Auch die Kernwerte Offenheit und Zukunftsmut spiegeln sich im Logo wider, beispielsweise in der modernen Schriftgestaltung.

Bundesweit nimmt der Wettbewerb unter den Hochschulen weiter zu. Ein Grund dafür liegt in den rückläufigen Studierendenzahlen, insbesondere in technisch-ingenieurwissenschaftlichen Fächern. Die Hochschule Offenburg misst daher der Gewinnung von Studierenden oberste Priorität bei.

Die Markenkommunikation soll dazu beitragen, die Hochschule als erste Anlaufstelle für junge Menschen zu etablieren, die über ihre berufliche Zukunft entscheiden. Mit den aktuellen Werbemotiven orientiert sich die Hochschule am Kommunikationsstil der Generation Z.

Kreative Icons machen die Botschaften intuitiv erfassbar und gehören zur modernen Designsprache der Hochschule. Durch das Zusammenspiel von Bildern und Texten entstehen grundlegende Aussagen über die Hochschule, verbunden mit Leistungsversprechen, etwa einer hohen Qualität in Lehre und Forschung oder sehr guter Berufsaussichten nach einem erfolgreichen Abschluss.

Mit dem neuen Markenauftritt trägt die Kommunikation zur erfolgreichen Entwicklung der Hochschule Offenburg bei. Spannende Projekte sind in der Planung. Dabei geht es stets darum, Bewegung zu erzeugen, die allen nutzt – Forschenden, Unternehmen, Hochschule und der regionalen Gesellschaft.



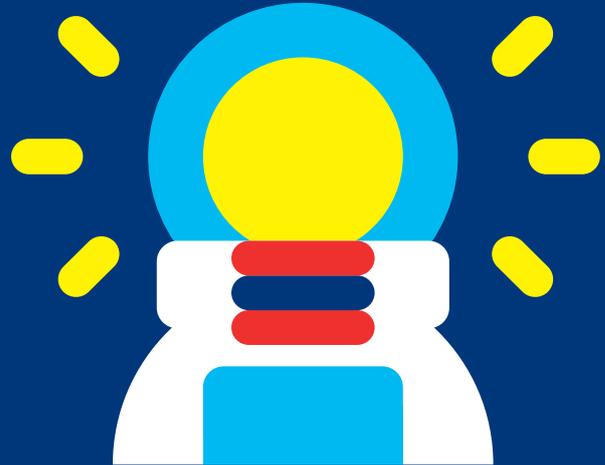
Das Bildzeichen zitiert das Stadtwappen Offenburgs. Aus dem H der Hochschule und dem offenen Tor entsteht ein Zeichen für Offenheit und Zukunftsmut, wichtige Werte der Hochschule.

**WIR SUCHEN  
KEINE FOLLOWER.  
WIR SUCHEN  
PIONIERE.**

In Rankings, Studienprojekten  
oder Roboter-WM ganz vorne.  
Mehr unter [hs-offenburg.de](https://hs-offenburg.de) 

Bewirb dich bis

**15.7.**



DENKEN WIRD MACHEN.

**MIT UNSEREM  
STUDIUM KANN MAN  
WAS ANFANGEN.  
Z. B. DEN TRAUMJOB.**

Beste Karrierechancen für alle,  
die bei uns studieren.  
Mehr unter [hs-offenburg.de](https://hs-offenburg.de) 

Bewirb dich bis

**15.7.**



DENKEN WIRD MACHEN.

Zwei Motive der Kampagne zum WS 2023/24, mit der die Hochschule Offenburg Studierende gewinnen möchte. Die Kampagne läuft regional auf Großflächen und City-Light-Postern sowie im Internet.

# 1 Grußwort

# 2 Denken wird Machen.

## Neues aus Hochschule und Fakultäten

- 7 move.mORe: Transfer in Bewegung  
*Ein Projekt im Rahmen der Initiative „Innovative Hochschule“*
- 11 Entrepreneurship  
*Stand der Entwicklung an der Hochschule Offenburg*
- 14 Was macht Start-ups tragfähig?
- 16 Unterstützung unternehmerischer Entscheidungen als Herausforderung
- 20 Emotionale Kommunikation mit Zielgruppen  
*Beispiel öffentliche Bildungseinrichtungen*
- 24 Die pädagogische Wende
- 28 Vertrauen ist gut, ist Kontrolle besser?  
*Kalibriertes Vertrauen in KI-Systeme*
- 31 Puppeteering AI  
*Künstliche Intelligenz und Tanz*
- 36 Einsatz von chatGPT zur Unterstützung des Datenbanklabors
- 39 KMU: Digitalisierungshürden  
*Erkenntnisse des DIGIHUB Südbaden*
- 43 KINCHI  
*Intelligente Digitalisierung der Auftragsabwicklung im Handwerk*
- 46 LogIKTram  
*Konzepte für den regionalen Gütertransport per Stadtbahn*
- 50 Kreislaufwirtschaft  
*Einfluss auf Sustainable Development*
- 55 Wie von Geisterhand bewegt: 4-D-gedruckte „Smart Materials“
- 61 Was tun gegen Betonkrebs?

- 64 Laser-Druckverfahren zur Herstellung funktionaler Schichten auf Glas
- 68 Recycling von Kunststoff-Abfällen durch Desktop-Spritzgussmaschinen

## F&E in den Instituten

- 73 Institut für nachhaltige Energiesysteme [INES]**
- 74 MyPyPSA-Ger  
*Transformationspfade für das deutsche Energiesystem*
- 78 Batterie, wie sehr bist Du schon gealtert?
- 82 BUiLD.DIGITIZED  
*Digitale Inbetriebnahme*
- 86 heatGUlde  
*Entwicklung eines innovativen Messsystems zur Erfassung der Wärmebelastung, deren Simulation und Feldmessung*
- 90 Projektorientiertes Lernen  
*Studierende planen ein energieautarkes Tiny House*
- 92 FlexTwin  
*Zwillingskonzept für Klimaschutz*
- 97 Institut für verlässliche Embedded Systems und Kommunikationselektronik [ivESK]**
- 98 „Smart Meter Inclusif“  
*Sicherheit für intelligente Zähler*
- 103 Zertifikatsverwaltung für Geräte auf der Feldebene
- 107 TestKomm4.0  
*Testumgebung für LPWAN- und 5G-Technologien*

## **111 Institute for Machine Learning and Analytics [IMLA]**

112 KINLI  
*Künstliche Intelligenz  
für nachhaltige Lebensmittelqualität*

114 Neuronale Netze  
*Mangelnde Robustheit erschwert  
Praxiseinsatz*

## **117 Affective and Cognitive Institute [ACI]**

118 Geschüttelt, nicht gerührt  
*VR Studie*

121 A Gamified App to Combat  
Students' Loneliness

## **125 Institute for Trade and Innovation [IfTI]**

126 The „safe haven“ for export credits

130 Financing the Green Transition  
in Times of Crisis

## **133 Institute for Unmanned Aerial Systems [IUAS]**

134 Pseudo-Noise basiertes  
Ultrabreitband Radar System

## **Publikationen**

139 Dissertationen 2022

141 Patente 2022

142 Auszeichnungen 2022

143 Kontakt

## **Impressum**

Herausgeber:  
Campus Research & Transfer [CRT]  
Hochschule Offenburg  
Badstraße 24 · 77652 Offenburg  
crt@hs-offenburg.de  
<https://crt.hs-offenburg.de>

Redaktion, Projektkoordination, Layout:  
Sandra Lutz-Vogt, Hochschule Offenburg

Verantwortlich für den Inhalt:  
Autoren / Projektleiter der jeweiligen Projekte

Bildnachweis: Hochschule Offenburg  
Titelbild: Marc Doradzillo, Freiburg

Druckerei: Druckhaus Franz Seibert GmbH &  
CO. KG, Osthofen

Auflage: 2500 Exemplare – ISSN 1866-9352

**MEIKO MISSION**

# VIELE FORTSCHRITTE FÜR EINE SAUBERE WELT – MADE BY MEIKO.

MEIKO bringt Sauberkeit und Hygiene in die Welt - mit ausgereiften Lösungen zum Spülen, Reinigen, Desinfizieren und Reste verwerten in Gastronomie, Pflege und Feuerwehren. Unsere Wurzeln liegen im Schwarzwald, unser Weg ist global. Wir setzen technische Meilensteine, etwa beim Mehrwegspülen oder bei der Energiegewinnung aus Speiseresten. Machen Sie mit und arbeiten Sie in der MEIKO Familie an den sauberen Innovationen von morgen - für eine saubere und nachhaltige Welt.

[www.meiko-global.com/karriere](http://www.meiko-global.com/karriere)



# move.mORe: Transfer in Bewegung

## Ein Projekt im Rahmen der Initiative „Innovative Hochschule“



Thomas Seifert  
Prof. Dr.-Ing.

Fakultät M+V, Prorektor  
Forschung, Direktorium  
move.mORe

„Nachhaltige Mobilität in der Oberrheinregion – move.mORe“ heißt das gemeinsame Projekt der Hochschulen Offenburg (HSO) und Karlsruhe (HKA), das in der zweiten Förderrunde der Bund-Länder-Initiative „Innovative Hochschule“ bewilligt wurde und Januar 2023 startete. Ziel des auf fünf Jahre angelegten Projekts ist, gemeinsam mit anderen regionalen Partnern ein Innovationsökosystem zu schaffen, das dazu beiträgt, die gemeinsame Vision einer nachhaltigen Mobilität für Menschen und Güter in den ländlichen Räumen der Oberrheinregion zu verwirklichen.

*„Sustainable Mobility in the Upper Rhine Region - move.mORe“ is the name of the joint project of Offenburg University of Applied Sciences (HSO) and Karlsruhe University of Applied Sciences (HKA) granted in the second funding round of the federal-state initiative „Innovative University“ and finally starts in January 2023. The five-year project aims to work with other regional partners to create an innovation ecosystem that will help realize a shared vision of sustainable mobility for people and goods in the rural areas of the Upper Rhine region.*



Kerstin Breuer  
Dipl. theol.

Transfermanagerin  
move.mORe

**Innovative  
Hochschule**

EINE GEMEINSAME INITIATIVE VON



Bundesministerium  
für Bildung  
und Forschung



Gemeinsame  
Wissenschaftskonferenz  
GWK

## Schwerpunkt Nachhaltige Mobilität

Getragen wird die inhaltliche Ausrichtung des Vorhabens von der Vision „Nachhaltige Mobilität 2030+“, die sich die beiden Verbundhochschulen und ihre Partner\*innen im Einklang mit den Prioritäten der Trinationalen Metropolregion Oberrhein (TMO) und der Innovationsstrategie Baden-Württembergs gegeben haben. Die Vision fokussiert folgende fünf Punkte, die alle jeweils auf Regionalität und Nachhaltigkeit abzielen: Die Verkürzung und Vermeidung von Arbeits- und Versorgungswegen bereits in der Bauplanung, die Nutzung effizienter und emissionsfreier Mobilitätstechnologien, eine bedarfsgerechte Energieversorgung mit lokal zur Verfügung stehenden regenerativen Energien für die Mobilität von Personen und Waren, multimodale

Logistikkonzepte mit ganzheitlicher Betrachtung des nachhaltigen Gütertransports sowie vernetzte IoT-Systeme und Datenbanken für agile Verkehrsplanung und digitale Nutzerdienste.

Diese Aspekte sind zentrale Bestandteile der gesellschaftlich notwendigen und hochaktuellen Mobilitäts- und Energiewende. Sie reflektieren zudem die profilbildenden Forschungsschwerpunkte beider Hochschulen: „Nachhaltige Mobilität“, „Energie“ und „Intelligente Systeme“. Dabei ergänzen sich beide Hochschulen in ihrer fachlichen Kompetenz und teilen sich dementsprechend die Verantwortung für jeweils drei an diesen Schwerpunkten ausgerichteten Teilvorhaben



Judith Früh  
Dr. phil.

StrategieIn. Wissenschafts-  
kommunikation move.mORe

des Gesamtvorhabens move.mORe (Abbildung 1): An der HKA, die auch die Gesamtsteuerung des Projekts in einem eigenen Teilvorhaben verantwortet, adressiert das Teilvorhaben „Region der kurzen Wege“ die Raumstruktur als Ursache des Verkehrs und hat die Förderung einer Region der kurzen Wege als Basis für eine nachhaltige Mobilität zum Ziel. Beim Teilvorhaben „Mobilitätsmanagement“ steht die stärkere Nutzung von Fuß-, Rad- und Öffentlichem Personennahverkehr und die Befähigung der Kommunen, dies durch geeignete Maßnahmen in hohem Maße zu stimulieren, im Mittelpunkt. Im Teilvorhaben „Radverkehrsinfrastruktur“ geht es schließlich darum, die Entwicklungspotenziale des Radverkehrs für längere Wege in der Region und auch in Hügel- und Bergregionen durch eine datenorientierte Qualitätsbewertung der Radverkehrsnetze zu heben.

Die HSO verantwortet das Teilvorhaben „Nachhaltige Energiesysteme“, das sich mit der klimaneutralen Bereitstellung von Energie und deren effizienten Nutzung durch E-Autos und E-Bikes beschäftigt, da Mobilität nur dann emissionsfrei sein kann, wenn das Gesamtsystem optimiert ist. Geleitet wird es von Prof. Dr. Wolfgang Bessler (INES – Institut für nachhaltige Energiesysteme). Im Teilvorhaben „Multimodale Logistik“ geleitet von Prof. Dr. Theo Lutz, geht es darum, regionale und lokale Ende-zu-Ende-Konzepte zu entwickeln, um kollaborative Logistikinnovationen in die lokal agierenden Unternehmen und in die Region zu transferieren. Das Teilvorhaben „Daten und Vernetzung“ unter der Leitung von Prof. Dr. Axel Sikora (ivESK – Institut für verlässliche Embedded Systems und Kommunikationselektronik) stellt schließlich als Querschnittvorhaben allen Akteur\*innen und Partner\*innen eine flexible und sichere Dateninfrastruktur zur Verfügung, die für existierende sowie neu zu entwickelnde Anwendungen und Umsetzungsprojekte genutzt werden kann.

## Erweiterter Transferansatz

Neben diesen auf den ausgewählten thematischen Bereich „Nachhaltige Mobilität in der Oberrheinregion“ ausgerichteten Teilvorhaben setzt sich das Vorhaben move.mORe mit der Profilierung der Leistungsdimension Transfer ein weiteres wichtiges Ziel, das dem Förderschwerpunkt der „Innovativen Hochschule“ entspricht. Die „Innovative Hochschule“ nimmt explizit die Dimensionen Transfer und Innovation als sogenannte „dritte Mission“ der Hochschulen – neben anwendungsbezoge-



Abb. 1:  
Die acht Teilvorhaben von move.mORe im Hochschulverbund

ner Forschung und Entwicklung sowie Lehre und Weiterbildung – in den Fokus. Ihr Förderanliegen ist es, die strategische Rolle der Hochschulen im regionalen Innovationssystem zu stärken und dabei insbesondere jene Hochschulen zu unterstützen, die bereits über Strategien, Strukturen und Erfahrungen im Ideen-, Wissens- und Technologietransfer in der Interaktion mit Wirtschaft und Gesellschaft verfügen.<sup>1</sup> Die zu fördernden Vorhaben müssen in eine kohärente Transferstrategie der Hochschulen eingebunden sein.

An der HSO sind schon lange vielfältige und erfolgreiche Transferaktivitäten in unterschiedlichsten Transferbereichen zu verzeichnen. Diese wurden Anfang 2023 in einer formulierten Transferstrategie harmonisiert und in die Gesamtstrategie der Hochschule eingebettet.<sup>2</sup> Neben dem klassischen, zumeist bilateralen Technologietransfer, der an der Hochschule eine lange Tradition hat, wird zukünftig verstärkt Wert auf eine enge Zusammenarbeit mit verschiedenen gesellschaftlichen Interessensgruppen, politischen Entscheidungsträger\*innen und regionalen Gebietskörperschaften gelegt. Transfer wird also nicht (vordringlich) unter Verwertungsaspekten, sondern vielmehr im Hinblick auf die Einbettung der Hochschule in das regionale und thematische Umfeld verstanden. Das Ziel ist, drängende gesellschaftliche Herausforderungen gemeinsam einer wissenschaftsbasierten Diskussion und Lösung zuzuführen.

Auch in der gemeinsamen Transferstrategie von HKA und HSO, die dem Vorhaben move.mORe zugrunde liegt, wird die Notwendigkeit eines erweiterten Transferansatzes betont, der den klassischen Transferbereich um regionale Multi-Stakeholder-Ansätze mit weiteren Partner\*innen und Intermediären ergänzt. Im Projekt kommt den regionalen Praxispart-

ner\*innen eine wichtige Rolle zu, da sie um die Bedarfe der Region wissen und über die Zugänge zur Zivilgesellschaft verfügen: Der Landkreis Rastatt, die Städte Rastatt, Lahr, Offenburg, Gengenbach, die Gemeinde Baiersbronn sowie das Aktionsbündnis TechnologieRegion Karlsruhe sind als Kooperationspartner des Projekts benannt. Hinzu kommen weitere Partner\*innen aus Wirtschaft und Gesellschaft für die verschiedenen Umsetzungsprojekte innerhalb der einzelnen Teilvorhaben.

## Transferfelder

Der erweiterte Transferansatz, dem das Vorhaben move.mORE verpflichtet ist, beinhaltet daher neben der Adressierung neuer Zielgruppen und Partner\*innen die Erprobung neuer Transferformate. Dabei rücken drei Transferfelder – von acht möglichen (Abbildung 2)<sup>3</sup> – besonders in den Vordergrund, da vor allem sie den Dialog mit der Zivilgesellschaft und weiteren Akteur\*innen des Innovationssystems fördern: So richten sich Aktivitäten im Feld „Wissenschaftliche Beratung für Entscheider\*innen und Betroffene“ an Entscheider\*innen in öffentlichen und privaten Einrichtungen und bieten diesen wissenschaftlich fundierte Entscheidungsunterstützung – eine Aktivität, die im engeren Sinne auch als „Politikberatung“ bezeichnet werden kann. Im Teilvorhaben „Region der kurzen Wege“, verantwortet von der HKA, sollen in diesem Sinne laufende Planverfahren bei den Projektpartner\*innen wissenschaftlich begleitet und auf Grundlage eines Agentenmodells für die Region beurteilt werden.

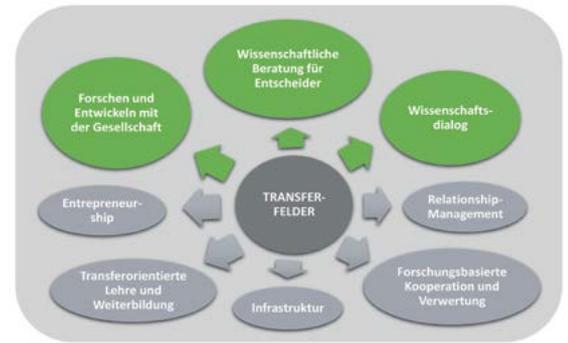


Abb. 2:

Mögliche und priorisierte Transferfelder im Projekt move.mORE

Das zweite priorisierte Transferfeld „Forschen und Entwickeln mit der Gesellschaft“ umfasst gemeinwohlorientierte Projekte, in denen Partner\*innen aus allen Teilen der Gesellschaft in den Forschungsprozess einbezogen und an der Entwicklung von Lösungen beteiligt werden. Neben Citizen-Science-Formaten, bei denen Forschung unter aktiver Beteiligung interessierter Bürger\*innen durchgeführt wird, fallen darunter auch Formate wie Reallabore als transdisziplinäre Forschungs- und Entwicklungsräume, in denen Wissenschaft und Gesellschaft gemeinsam an Lösungen arbeiten. An der HSO werden im Rahmen des Teilvorhabens „Nachhaltige Energiesysteme“ Methoden zur intelligenten Bereitstellung und Nutzung von Energie demonstriert. So soll im Reallabor und mit Demonstratoren auf dem Campus der HSO (Abbildung 3) gezeigt werden, wie mit intelligenten Ladealgorithmen und bidirektionalen Ladesäulen der Netzausbau begrenzt werden kann und wie sich Fahrverhalten in Elektrofahrzeugen auf den Energieverbrauch auswirkt.



Abb. 3:

Ladestationen für intelligentes Lademanagement auf dem Parkplatz der HSO

Das dritte Transferfeld, dem sich move.mORe in besonderer Weise widmet, ist der „Wissenschaftsdialog“, der auf einen direkten Dialog von Wissenschaftler\*innen und Menschen außerhalb der Scientific Community zielt und dialogorientierte Formate der Wissenschaftskommunikation umfasst – so wie öffentliche Konferenzen, Kinder-Uni- und Diskussionsveranstaltungen, aber auch eine Reihe digitaler Aktivitäten und Formaten. Ihnen gemeinsam ist, dass stets der Dialog, also der bidirektionale Austausch mit einer wissenschafts-externen Zielgruppe als dialogorientierte „Übersetzungsleistung“ im Vordergrund steht. Das im Teilvorhaben „Nachhaltige Energiesysteme“ geplante Social-Media-Format „Oberrhein-Energiekanal“ ist ebenso wie der „Tag der klimaneutralen Mobilität“ ein solches Format, das explizit die Zivilgesellschaft in der Region anspricht, um sie für das Thema nachhaltige Mobilität zu sensibilisieren, mit ihr darüber in Austausch zu treten und dieses bürgernah und niedrigschwellig zu vermitteln.

## Transferstruktur / Transferkultur

Die Etablierung der notwendigen Kapazitäten, Strukturen und Prozesse für einen erweiterten Transfer nebst Entwicklung und Begleitung damit zusammenhängender Formate und Instrumente wird in dem zentralen Teilvorhaben „Transferstrukturen“ von der HSO verantwortet. Operativ wird dies durch einen Ausbau von Transfer- und Innovationsmanagement sowie von dialogorientierter Wissenschaftskommunikation umgesetzt. Dazu werden in den jeweils an den Hochschulen angesiedelten „Transfer Thinking Labs“ (TTL) Anfragen von innen und außen gebündelt, Kontakte geschaffen und vernetzt, Ideen und Impulse generiert und gewichtet wie auch prototypische Konzepte und innovative Lösungen entwickelt. So sind an der HSO bereits Personen für Strategieplanung, Wissenschaftskommunikation, für die Social-Media-Redaktion sowie für das Transfermanagement aktiv. In den Kommunen Rastatt und Lahr werden zudem dezentrale Transferbüros beider Hochschulen mit sogenannten „Transfer-Scouts“ oder „Innovationsmanagern“ installiert, die durch starke Präsenz in den Gemeinden vor Ort die Bedarfe und Entwicklungen im Bereich nachhaltiger Mobilität erfassen und einfach erreichbar sein sollen (Abbildung 4). Damit stellen diese Personen eine wichtige Schnittstelle zwischen den Transferpartnern – Kommunalverwaltungen, Unternehmen und Fachcluster, lokaler Bevölkerung sowie Hochschulen mit Fachexpertise – dar.

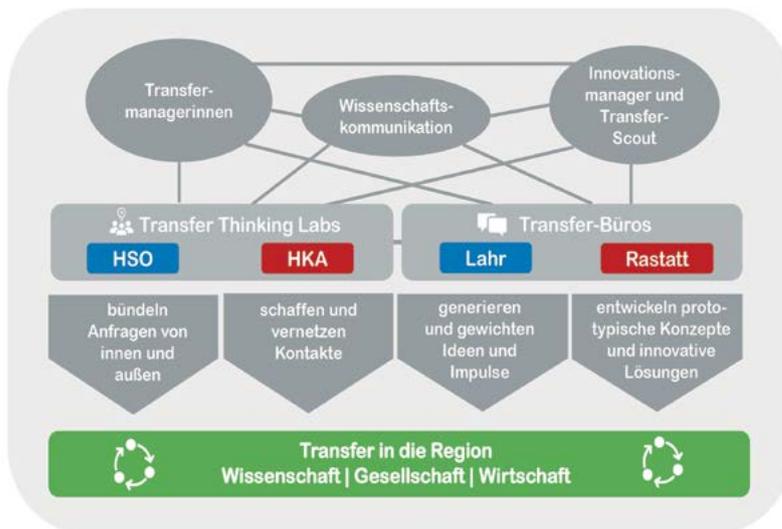


Abb. 4: Operative Transferstrukturen im Projekt move.mORe

Grundsätzlich will der Hochschulverbund im Rahmen des Vorhabens move.mORe seine Transferaktivitäten quantitativ und qualitativ ausbauen und im Themenfeld „Nachhaltige Mobilität“ regional erproben und verstetigen. Damit wird eine verbesserte Rückkopplung zwischen Hochschule und Gesellschaft angestrebt und den Transferaktivitäten vorhabenspezifisch und generell zu mehr Sichtbarkeit außerhalb, aber auch innerhalb der Hochschule verholfen. Ein wichtiger Wirkungsbereich des Projekts richtet sich nämlich nach innen in die Hochschule: Die Forschenden selbst sollen für Transfer sensibilisiert und begeistert werden und so die Transferkultur weiterentwickelt werden.

Das Projekt ist gefördert vom BMBF im Rahmen der Bund-Länder-Initiative „Innovative Hochschule“; Förderkennzeichen 03IHS233B.

### Referenzen/References:

- [1] Vgl. gemeinsame Wissenschaftskonferenz (Hrsg.): Bekanntmachung der Verwaltungsvereinbarung zwischen Bund und Ländern gemäß Artikel 91b Absatz 1 des Grundgesetzes zur Förderung des forschungsbasierten Ideen-, Wissens- und Technologietransfers an deutschen Hochschulen – „Innovative Hochschule“, 19. Oktober 2016 (<https://www.gwk-bonn.de/fileadmin/Redaktion/Dokumente/Papers/Verwaltungsvereinbarung-innovative-Hochschule-2016.pdf>, Abruf am 4.4.2023)
- [2] Vgl. hierzu und im Folgenden Hochschule Offenburg (Hrsg.): Transferstrategie 2022/23, 2022 ([https://www.hs-offenburg.de/fileadmin/images/Transfer/Transferstrategie\\_HSO\\_final.pdf](https://www.hs-offenburg.de/fileadmin/images/Transfer/Transferstrategie_HSO_final.pdf), Abruf am 4.4.2023)
- [3] Vgl. Stifterverband für die Deutsche Wissenschaft e.V. (Hrsg.): Transferbarometer, (<https://www.stifterverband.org/transferbarometer>, Abruf am 5.4.2023)

# Entrepreneurship

## Stand der Entwicklung an der Hochschule Offenburg



Thomas  
Breyer-Mayländer  
Prof. Dr. phil.

Fakultät M  
Medienmanagement, Innovation & Entrepreneurship

Dieser Beitrag gibt einen Einblick in aktuelle Projekte der Lehre, Beratung und Förderung im Bereich Unternehmensgründung (Entrepreneurship Education). Die Analyse des Ist-Zustands zeigt einigen Handlungsbedarf, dem zum Teil die aktuellen Entwicklungen bereits Rechnung tragen. Die grundlegenden Erhebungen und Analysen verdeutlichen zugleich die Wechselwirkungen zwischen Lehre, Weiterbildung sowie Forschung und Begleitforschung im Bereich Gründung und Entrepreneurship.

*At Offenburg University entrepreneurial education is part of the academic transfer strategy. There are several initiatives and labs which are involved in this process. This article shows that there are some ideas like a basic lecture series which are quite successful in motivating students to think about their own entrepreneurial future, while other activities still lack awareness. Entrepreneurial activities also integrate research activities and the entrepreneurial education also address practitioners of regional firms which are interested in establishing more self-responsibility and entrepreneurial spirit in their organizations.*



Julia Reichwein  
M.A.

Institut ACI  
Projektleitung Organisation & Kommunikation  
Gründungszentrum OGFLab

## Corporate Entrepreneurship in der wissenschaftlichen Weiterbildung

Wie in der jüngsten Ausgabe des fif (forschung im fokus) der Hochschule Offenburg bereits dargestellt wurde [1], gibt es in allen Unternehmen, unabhängig von der Eigentümerstruktur und Unternehmenshistorie, einen Bedarf an unternehmerischen Kompetenzen, das einen Qualifizierungsbedarf seitens der Fach- und Führungskräfte zur Folge hat. Entrepreneurship als grundsätzliche Form des unternehmerischen Denkens in jungen Unternehmen wie Start-ups mit Wachstumspotenzial oder in bestehenden Organisationen wie etwa Unternehmen des Mittelstands ist aus diesem Grund eine Schlüsselkompetenz für die Entwicklungsfähigkeit unserer Gesellschaft [2]. Es ist daher nur folgerichtig, dass im Rahmen der Ausweitung des Angebotsspektrums im Weiterbildungsbereich der Hochschule auch testweise erste Angebote im Bereich von Corporate Entrepreneurship mit den Lehrveranstaltungen Entrepreneurial Culture sowie Corporate Ventures und Geschäftsmodelle angeboten wurden. Eingebettet waren die Veranstaltungen in dem berufsbegleitenden Masterstudiengang „Digitale Wirtschaft/Industrie 4.0“

Sie waren jedoch auch direkt als einzelne Module für Externe buchbar.

Um den Themenbereich Corporate Entrepreneurship konsequent in einem Unternehmen voranzubringen, ist zunächst der grundlegende Ansatz in Sachen „Entrepreneurial Culture“ von besonderer Bedeutung. Hier geht es darum festzustellen, was jede\*r Einzelne benötigt, um in seinem System unternehmerisch erfolgreich aktiv zu sein. Dies wiederum setzt eine Fähigkeit zur Selbstanalyse sowie zur analytischen Betrachtung der eigenen Arbeitsumgebung voraus. Die dabei sichtbare Entrepreneurial Culture ist sehr vielschichtig, wie eine Betrachtung der zentralen Modelle zeigt. Dabei lohnt es sich, die Voraussetzungen auf Seiten der Akteure als Personen (die einzelnen Entrepreneur\*innen) und der Akteure als Institutionen (z. B. Start-ups oder Mittelständler) getrennt zu betrachten. Ersteres wird im Rahmen der Entrepreneurial Orientation und Letzteres im Rahmen der Entrepreneurial Organisation beschrieben (Abbildung 1).

<b>Entrepreneurial Organisation</b>	<b>Core object: organisation as an institution. Examples of subcategories: Requirements for EO (Stevenson &amp; Jarillo-Mossi, 2007); EO and intrapreneurship (Criado-Gomis <i>et al.</i>, 2018); general definition (Burger-Helmchen, 2020).</b>
<b>Entrepreneurial Orientation</b>	<b>Core object: individual as actors. Examples of subcategories: Model of antecedent and dependent variables (Wales <i>et al.</i>, 2011); International aspect of EO and culture (Lee <i>et al.</i>, 2011); Family Business and EO (Halder, 2016); CEO EO (Zhang <i>et al.</i>, 2020); culture affecting EO (Ling <i>et al.</i>, 2020); EO affecting firm performance (Kim, 2018).</b>

Abb. 1: Entrepreneurial Organisations und Entrepreneurial Orientation [3]

Im Rahmen des Weiterbildungsangebots geht es darum, die Anforderungen an die Entrepreneurial Organisation zu klären, aber vor allem an der Entrepreneurial Orientati-on mitzuwirken. Hier lohnt sich ein Blick auf das Gesamtmodell der Voraussetzungen für unternehmerisches Denken und Handeln. Es geht dabei einerseits um die Analyse der Voraussetzungen auf der Ebene der Talente beispielsweise mithilfe der „34 Talente des Gallup-Strengthsfinders“. Deren Umsetzung als Stärke in Gründungsszenarien oder unternehmerisch eigenverantwortlichen Auf-gaben kann im Rahmen eines Coachings analysiert werden. Andererseits geht es um unternehmerische Kompetenzen, die ge-zielt weiterentwickelt werden (Abbildung 2).

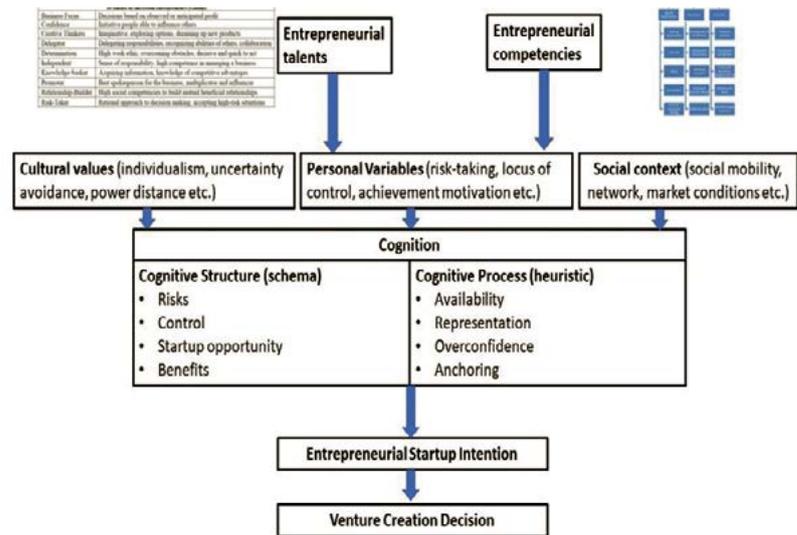


Abb. 2: Gründungspersönlichkeiten [3]

Für die Umsetzung dieser Anforderungen im Rahmen der Hochschulweiterbildung gilt dabei die Maßgabe, möglichst individualisiert mit einem hohen Anwendungsbezug für eine erste intensivere Auseinandersetzung mit dem Thema Entrepreneurship zu sorgen, und/oder bei den bereits aktiveren Personen und Unternehmen die gewählten Strukturen, Prozesse und Geschäftsmodellideen auf ihre Robustheit hin zu untersuchen.

Ein wichtiger Schritt in der Weiterentwicklung der Entrepreneurship-Forschung an der Hochschule ist der Start der Erfolgsfaktorenforschung von Frank Habann, der im Wintersemester 2022/2023 damit begonnen hat, ein Sample ausgewählter Start-ups in Baden-Württemberg näher zu analysieren und zu begleiten (Sehen Sie hierzu auch den Beitrag „Was macht Start-ups tragfähig?“ von Frank Habann in dieser Ausgabe auf Seite 14).

### Entrepreneurship Education: Gründungsausbildung im Rahmen des grundständigen Studiums

Um die persönlichen Fähigkeiten im Bereich Entrepreneurship zu entwickeln, wurde neben den bestehenden Beratungs- und In-

formationsangeboten der Hochschule im Wintersemester 2022/2023 eine fakultätsübergreifende Ringvorlesung ins Leben gerufen, bei der neben Impulsvorträgen von Gründer\*innen und Beratungsinstitutionen auch Phasen mit Gruppenarbeiten Studierende dazu anregt, eigene Gründungsideen zu entwickeln, Methoden der Gründungsvorbereitung zu trainieren und gegebenenfalls Gründungsteams zu bilden. Basierend auf den Befunden einer 2022 von der School of International Business and Entrepreneurship (SIBE) veröffentlichten Studie wurden die Teilnehmenden der Ringvorlesung der Hochschule Offenburg zu ihrer Sichtweise auf den Gründungsbereich befragt. Da es sich um eine fakultätsübergreifende Ringvorlesung handelt und 110 Personen an der Umfrage teilnahmen, gibt sie ein recht verlässliches Abbild der Sichtweisen der Personen wieder, die sich als Studierende der Hochschule besonders für das Thema Unternehmensgründung und Entrepreneurship interessieren. Der Vergleich der Antworten der Gründungsexpert\*innen der SIBE-Befragung mit den Antworten der Studierenden der Ringvorlesung zu Beginn des Semesters zeigt, dass es keine signifikanten Abweichungen in der Einschätzung der erforderlichen Kompetenzen von Gründer\*innen gibt (Abbildung 3).

Studierende mit Interesse an Unternehmensgründungen verfügen damit bereits vor den ersten Trainingsmaßnahmen über eine recht solide Vorstellung, was Gründer\*innen an Kompetenzen mitbringen sollten.

Eine studentische Projektarbeit im Rahmen der Masterveranstaltung «Marketing-Projekte» bei Larissa Greschuchna zeigt zugleich, dass die Beratungs- und Informationsangebote innerhalb der Hochschule bei den Studierenden nur begrenzt bekannt sind (das Gründungsbüro und das Open Game & FabLab Offenburg (OGFLab) sind mit 37 % der Bekanntheit unter den Antwortenden die Spitzenreiter) ([6]. Die Befragten hatten jedoch klare Vorstellungen, welche Unterstützungsangebote für die weitere Entwicklung ihrer Gründungskompetenz vorteilhaft sein könnten (Abbildung 4).

### Gründungsprojekte und Pre-Seed-Förderung: Erfahrungen aus dem OGFLab

Das OGFLab sieht sich selbst als Startrampe für eine Unternehmensgründung an der Hochschule Offenburg. Es hat unterschiedliche Funktionen und dient unter anderem als Co-Working Space, MakerSpace und Inkubator. Ziel des Labs ist, den Gründungsteams der Hochschule Offenburg einen fakultätsübergreifenden Ort zu schaffen, an dem sie ein Semester lang professionell unterstützt werden, um das Geschäftsmodell zu erproben und weiterzuentwickeln. Dazu gehört auch die Erstellung erster Prototypen oder gar minimal funktionsfähiger Produkte im Sinne von MVPs (Minimal Viable Products). Damit haben die im Auswahlprozess erfolgreichen Teams die Chance ihre Gründung weiter voranzutreiben und so die Preseed-Phase erfolgreich abzuschließen. Aktuell ist das OGFLab in der dritten Runde. Dabei konnten von zehn Bewerbungen im November 2022 sechs zusätzliche Teams nominiert werden. Seit dem Start im Juni 2021 konnten damit 13 Teams gefördert werden. Zwölf davon sind noch in Betreuung.

Referenzen/References:

[1] Breyer-Mayländer, T.: Entrepreneurship: Hochschulweiterbildung für das Unternehmertum. In: HSO/IAF (Hrsg.): Forschung im Fokus 25/2022, S. 26-29, ISSN 1866-9352  
 [2] Breyer-Mayländer, T.: Die deutsche Wirtschaftselite auf "Heldenreise": Narrative für Managerinnen und Entrepreneure. Zeitschrift Führung+ Organisation (ZFO), (5), 2022 313-318.  
 [3] Breyer-Mayländer, T., & Zerres, C. (2022). An approach to the phenomenon of corporate entrepreneurial culture. International Journal

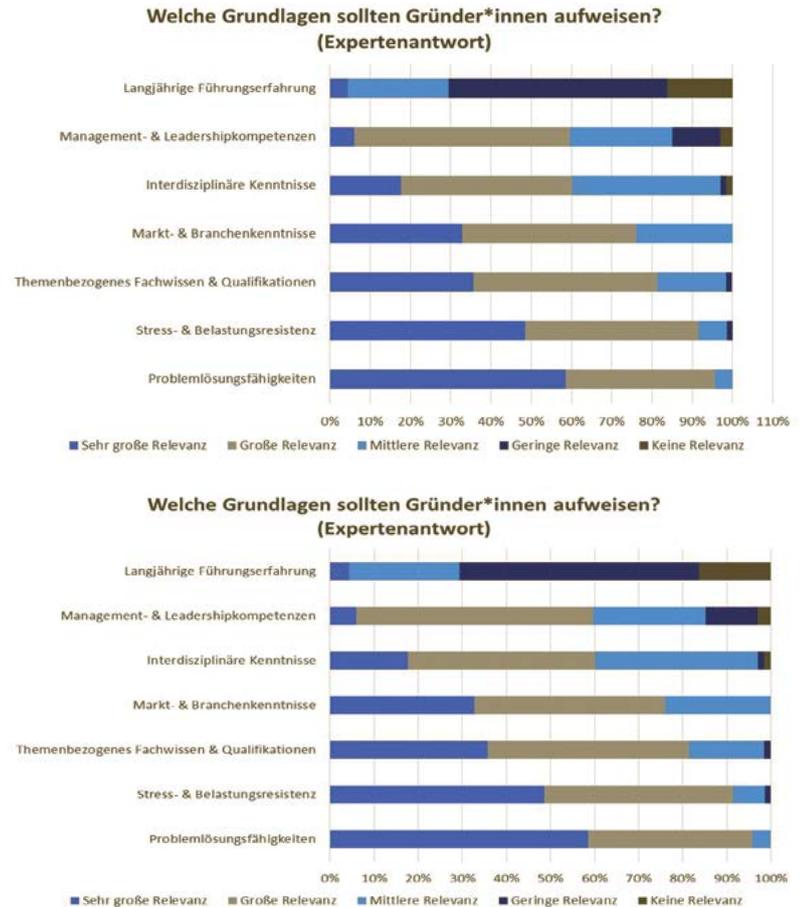


Abb. 3: Grundlagen für Gründer\*innen ([4], S. 3; [5])



Abb. 4: Gewünschte Hilfestellung für den Schritt in die Selbstständigkeit ([6], S. 26)

of Entrepreneurial Knowledge, 10(2).  
 [4] Roth, P. (2022). SIBE Start-up-Studie. Berlin: School of International Business and Entrepreneurship (SIBE).  
 [5] Breyer-Mayländer, T.: Befragung der Teilnehmenden der fakultätsübergreifenden Ringvorlesung. 2022. Offenburg: HSO  
 [6] Geiger, S.; Heck, B.; Matenda, V.; Parpart, J.; Raab, H. & Tömmes, R. (2023). Entrepreneurship an der HSO, Projektbericht, Marketing-Projekt, Masterstudiengang Betriebswirtschaft, WS 2022/2023

# Was macht Start-ups tragfähig?

*Die Gründe der dauerhaften Tragfähigkeit von Unternehmensgründungen sind vielfältig und für Forschende oft schwer erkennbar. Dieser Beitrag stellt erste Ergebnisse einer Studie vor, die seit Herbst 2022 als Langzeitforschungsprojekt junge Start-Ups in Baden-Württemberg begleitet.*

*The reasons for the sustainability of new ventures are multifaceted and hard to reveal by traditional research designs. This article presents first results of a longitudinal research approach combined with the investigation of non-obvious causal structures and observes Start-Ups in Baden-Wuerttemberg since autumn 2022.*



Frank Habann  
Prof. Dr. rer. pol. habil.  
Fakultät M  
Co-Direktor Gründungszentrum  
OGF-Lab

Kerngedanke der langfristig angelegten Studie ist, bei jungen Start-Ups in Baden-Württemberg (BW) auf Basis qualitativer Interviews kritische Hürden und Lösungsansätze in der Unternehmenshistorie aufzudecken. Das Defizit bestehender Studien soll hierbei geschlossen werden. Dieses besteht in oftmals quantitativen Ein-Zeitpunkt-Forschungsdesigns, zumeist ohne Untersuchung der einzelfallbezogenen Kausalstruktur von Erfolgsfaktoren. Beides führt im hier erörterten Forschungsthema zu keinen aussagekräftigen Ergebnissen.

Die Auswahlbasis der qualitativen Untersuchung bildeten 125 Start-ups, die die Zulassung des seit 2018 existierenden Start-up PreSeed Förderprogramms des Wirtschaftsministeriums des Landes BW erreicht hatten. Die Gründungsjahre 2016-2020 waren für die Aufnahme in die Studie zulässig, um eine ausreichend aussagekräftige Gründungshistorie zu explorieren. Insgesamt konnten 85 Start-Ups, strukturiert nach einem zweidimensionalen Quotenschlüssel für die Untersuchung adressiert werden. Der in der Basis dominierende Start-Up-Typ sind digitale Geschäftsmodelle im B2B (Business-to-Business)-Sektor, was entsprechend in der Befragung berücksichtigt wurde.

Die in der 1. Welle von November 2022 bis Januar 2023 befragten Gründer repräsentieren die in Tabelle 1 aufgeführten Start-ups. Die aus den Interviews und bestehenden Forschungsergebnissen abgeleiteten und untersuchten Kategorien waren: Team, Geschäftsmodell/Produkt, Strategie/Prozesse, Partner/Umfeld sowie Zielgruppen/Markt.

Einschließlich der abgeleiteten Subkategorien umfasst die Studie bislang 25 erfolgsrelevante Kategorien, die durch eine qualitative Inhaltsanalyse mehrstufig ausgewertet wurden. Zur ergänzenden Verifikation dienten sekundäre Daten zu den Analyseeinheiten (sogenannte Triangulation).

Unternehmen	Gründeranzahl	Gründungsjahr	Geschäftstyp
alphaben	1	2021	B2B/B2C
auvisus	2	2019	B2B
Become-a-pro	1	2016	B2B
chargelQ	3	2020	B2B
Famigo	1	2020	B2B
flinkback	1	2019	B2B
Happy Hotel	3	2018	B2B
skinmade	2	2018	B2C
The floox	2	2020	B2C
The Hempany	4	2016	B2C

Tab. 1:  
Befragung einzelner Start-Ups-Gründer von 11/22 bis 1/23

## Erste Ergebnisse

Ein vermutlich zentraler Erfolgsfaktor ist die Bildung eines tragfähigen Gründerteams. Ein „builder-seller“ Team, bei der ein Gründer das Produkt technologisch entwickelt und der andere Gründer die Marketing- und Vertriebs-expertise mitbringt, wobei beide ein Grundverständnis des jeweils anderen Kompetenzfeldes mitbringen, kann als erfolgsförderlich gelten. Eine Reihe von Start-ups sind hier dennoch anders aufgestellt.

Die Interviews zeigten auf, dass Acceleratorprogramme und Gründungs-Labs durch den Austausch mit anderen Gründern das Finden passender Co-Founder ermöglichen können. Kritische Phasen wie die Corona-Pandemie, führen oftmals zur Reduktion des Gründerteams, das sich danach aber als besonders stabil wahrnimmt. Simulierte Ausnahmesituationen wie ein Hackathon, können diese Resilienz fördern.

Ein weiterer potenzieller Erfolgsfaktor ist die frühzeitige Gewinnung eines ersten Referenzkunden mit Zahlungsbereitschaft. Dies verdeutlicht ein Interviewzitat: „...wenn niemand bereit ist, Geld zu bezahlen, hat man das falsche Geschäftsmodell!“ Start-ups laufen Gefahr, zu lange ihre Ressourcen in die Produktentwicklung zu investieren, das die Einholung erster Kundenfeedbacks hinauszögert.

Hierbei ist es sinnvoll, einen MVP (Minimum Viable Product) – Produktentwicklungsansatz, das heißt eine nicht-perfektionistische, iterative Entwicklung in Kooperation mit einem Pilotkunden, mit anschließender Marktforschung im anvisierten Zielmarkt zu kombinieren. Insbesondere, um die Zielgruppen präzise zu identifizieren.

## Ausblick

Um die erfolgsbezogene Wirkung von Erfolgsfaktorenkombinationen abschätzen zu können, die erst im Zeitablauf erkennbar sind, wurde ein langfristiges Forschungsdesign gewählt. Dieses Design wird von weltweit führenden Case Study-Experten der Entrepreneurship-Forschung favorisiert. (Ott/Eisenhardt 2020).

Insbesondere im Rahmen der sogenannten Skalierung, in der das Geschäftsmodell sich im Markt etablieren muss, sind potenzielle Erfolgsfaktorkombinationen zu vermuten. Zunächst muss dabei nach erfolgter Pre Seed-Förderung eine deutlich höhervolumige Folgefinanzierung erreicht werden. Sogenannte strategische Investoren (Corporate Venture Capital) wurden hier als hilfreicher Hebel wahrgenommen, der zugleich Expertise und Marktzugang einbringt. Die befragten Gründer äußern einvernehmlich, dass das Finanzierungs-Fundraising hohe Expertise und Zeiteinsatz verlangt, und daher die Inanspruchnahme externen Coachings als sehr hilfreich empfunden werde. Hier können Acceleratoren, wie der Black Forest Innovation Accelerator, mit dem die Hochschule in enger Verbindung steht, die Kontaktanbahnung zu Investoren herstellen.

Neben den hinreichend bekannten organisatorischen Anforderungen des Mitarbeiterwachstums, bestehen bei der Skalierung externe Herausforderungen. So muss oftmals eine Anpassung des Geschäftsmodells von den frühen „Early Adopters“ hin zu den differierenden Bedürfnissen nachfolgender Kundensegmente im Massenmarkt („Early/Late Majority“) vorgenommen werden – was aber die Kenntnis der Kundenpräferenzen voraussetzt. Aus Sicht befragter Gründer eine große unternehmensinterne wie -externe Herausforderung mit Marktforschungsbedarf, die von der Studie noch näher untersucht werden wird.

### Referenzen/References:

Dörner, K. et al: Europe's innovation wunderkinds: The rising B2B start-up ecosystem, in: McKinsey Insights ; New York (Apr 14, 2021)  
Osterwalder, A./ Pigneur, Y.: Business model generation - a handbook for visionaries, game changers, and challengers, Wiley 2010  
Ott, T.E. / Eisenhardt, K.M.: Decision weaving: Forming novel, complex strategy in entrepreneurial settings, in: Strategic

Management Journal, 2020, Vol.41, pp. 2275–2314

Sevilla-Bernardo, J. et al: Success Factors of Startups in Research Literature within the Entrepreneurial Ecosystem, in: administrative sciences, 2022, Vol. 12, pp.102 ff

Yin, R.K.: Case Study Research: Design and Methods, Sage, 5th Ed., 2013

# Unterstützung unternehmerischer Entscheidungen als Herausforderung

In Unternehmen sind ständig Entscheidungen zu treffen. Ihre Qualität ist wesentlich von der Qualität des verwendeten Wissens abhängig. Da liegt es nahe, dass die Wissenschaft, deren genuine Aufgabe die Erzeugung von Wissen ist, einen Beitrag zur Entscheidungsunterstützung leistet. Wie dies konkret geschehen kann und welche Herausforderungen sich dabei stellen, wird von der Fakultät Wirtschaft in verschiedenen Forschungsprojekten untersucht.

*In corporations numerous decisions are made every day. Their quality strongly depends on the quality of the knowledge used. Science generates knowledge with high quality and has, therefore, a natural obligation to support practical decision-making. The Faculty of Business Department currently investigates into various means of decision-making support and will present its findings in a book which is to be published in 2024.*

## Business / Innovation / Hightech

Die Fakultät Wirtschaft (W) bündelt Teile ihrer Forschungsaktivitäten seit einigen Jahren unter dem Generalthema „Business – Innovation – Hightech“ und veröffentlicht die hier entstehenden Ergebnisse regelmäßig in Sammelbänden. Nach Publikationen, in denen Innovationen und Digitalisierung im Vordergrund standen, lautet das gegenwärtige Generalthema „Anforderungen an unternehmerische Entscheidungen in einer turbulenten Welt“. Die Veröffentlichung der Forschungsergebnisse ist für Anfang 2024 geplant.

## Anforderungen an unternehmerische Entscheidungen

Ausgangspunkt unserer Forschung ist die Überlegung, dass unternehmerische Entscheidungen entweder intuitiv oder sorgfältig und gewissenhaft getroffen werden können. Der Vorteil der Intuition ist ihre Schnelligkeit und die anstrengungslose Auswahl einer bestimmten Handlungsmöglichkeit aus existierenden Alternativen. Die Erfolgswahrscheinlichkeit intuitiver Entscheidungen ist allerdings an die vorhandene Erfahrung gebunden. Nur wenn ein Entscheider schon sehr oft ähnliche Entscheidungen getroffen hat, ist die Erfolgswahrscheinlichkeit hoch. Der für Intuition zuständige Teil des Gehirns vergleicht

dann die vorliegende Situation mit den gespeicherten Erfahrungen und identifiziert augenblicklich diejenige Handlungsmöglichkeit, die sich bislang in ähnlichen Situationen bewährt hat (vgl. Kahnemann, 2003, S. 1450 f.).

Eine solide Erfahrungsgrundlage ist mithin die zentrale Anforderung des erfolgreichen intuitiven Entscheidens. Was aber, wenn diese Anforderung immer seltener erfüllt werden kann, weil der technische Fortschritt rasant fortschreitet und sowohl die politische als auch die natürliche Umwelt eine hohe Veränderlichkeit aufweisen? In diesen Fall wird empfohlen, die Intuition durch ein sorgfältiges und gewissenhaftes Entscheiden zu ersetzen (vgl. Kahnemann, 2003, S. 1450 ff.). Gekennzeichnet ist diese Art des Entscheidens dadurch, dass die Entscheidung kein Ad hoc-Ereignis ist wie beim Rückgriff auf Intuition. Vielmehr wird die Entscheidung als Prozess begriffen, in dessen Phasen eine gewisse Menge an Zeit erforderlich ist, um die folgenden Fragen zu beantworten (vgl. Janis/ Mann, 1977, S. 11):

1. Was ist das Thema der Entscheidung?
2. Welche Ziele sollten gesetzt werden?
3. Welche Handlungsmöglichkeiten lohnen eine nähere Analyse?
4. Wie werden diese Handlungsmöglichkeiten die Ziele beeinflussen?
5. Wie sind die prognostizierten Zielbeeinflussungen zu bewerten?



Philipp Eudelle  
Prof. Dr.

Dekan Fakultät W  
Volkswirtschaftslehre,  
Wirtschaftspolitik und  
Analytische Statistik



Matthias Graumann  
Prof. Dr. rer. pol. habil.

Fakultät W  
Unternehmensführung und  
Organisation

Erst wenn die letzte der genannten Fragen beantwortet ist, kann eine begründete Auswahl aus der Menge der unter dem dritten Punkt vorausgewählten Handlungsmöglichkeiten erfolgen: Als beste Handlungsmöglichkeit wird diejenige angesehen, deren Zielbeeinflussungen am besten bewertet werden.

Die Beantwortung der Fragen eins bis fünf erfordert separate Unter-Entscheidungen, denn weder der Entscheidungsinhalt noch die Ziele, weder die Handlungsmöglichkeiten noch die Prognosen oder die Bewertungen sind dem Entscheider vollständig vorgegeben – sonst läge gar keine Entscheidung vor. Aus dieser Perspektive ist der gesamte Entscheidungsprozess nichts anderes als eine Abfolge spezieller Unter-Entscheidungen, sodass die Ausgangsentscheidung ihre Einheit lediglich darin besitzt, koordinierende Synthese eben dieser Unter-Entscheidungen zu sein (vgl. Luhmann, 1978, S. 20).

Im Unterschied zum intuitiven Entscheiden werden beim sorgfältigen und gewissenhaften Entscheiden die Anforderungen an eine hohe Entscheidungsqualität nicht mehr durch die vorhandene Erfahrung markiert, sondern durch die Qualität des verarbeiteten Entscheidungswissens. Da aber die Ausgangsentscheidung nichts anderes ist als eine Abfolge spezieller Unter-Entscheidungen, hängt die Qualität der Ausgangsentscheidung von den Qualitäten desjenigen Entscheidungswissens ab, auf dem die Unter-Entscheidungen basieren. Und an dieser Stelle kommt die Wissenschaft ins Spiel.

## Entscheidungsunterstützung durch Wissenschaftler

Die Wissenschaft ist ein Sozialsystem und damit Teil der modernen Gesellschaft. Die Gesellschaft enthält über die Wissenschaft hinaus noch andere Sozialsysteme, und jedes dieser Systeme hat spezielle Aufgaben zu bearbeiten: Die Wirtschaft besorgt den Gütertausch gegen Geld, die Politik trifft Entscheidungen zur Regelung des Gemeinwesens, das Rechtswesen stellt die Beachtung dieser Regeln sicher, die Kunst bricht die Erwartungen des Alltäglichen, Familien spenden Liebe, die Religion bemüht sich um Trost im Angesicht des Todes, und die Wissenschaft ist für die Erzeugung wahren Wissens zuständig (vgl. Luhmann, 1997, S. 332 ff.).

Akzeptiert man diesen soziologischen Denkansatz, können Wissenschaftler unternehmerische Entscheidungen dadurch unterstützen, dass sie Praktikern ein Wissen zur Verfügung stellen, das (1) nicht nur als wahr angesehen wird, sondern (2) auch entscheidungsrelevant ist. Die Entscheidungsrelevanz lässt sich durch den Bezug zu den Unter-Entscheidungen nachweisen und als Wissen um Entscheidungsinhalte, um Ziele, um Handlungsmöglichkeiten, um Zielbeeinflussungen oder um Werte spezifizieren. Die Wahrheit des Wissens darf vermutet werden, wenn sich das Wissen widerspruchsfrei in Beziehung setzen lässt zu anderem Wissen, das als wahr angesehen wird, wenn das Wissen zuverlässige Prognosen ermöglicht und es aus diesen beiden Gründen einen Konsens unter sachkundigen, vernünftigen und nicht sanktionsbedrohten Diskursteilnehmern erwarten lässt (vgl. v. Werder, 1994, S. 256). Wie Abbildung 1 zeigt, kann ein als wahr und entscheidungsrelevant angesehenes Wissen in der Form von Methoden-, Beschreibungs- oder Prognosewissen vorliegen (siehe näher Graumann, 2023).

Abb. 1:  
Entscheidungsunterstützung durch wissenschaftliches Wissen

Inhalte der Unter-Entscheidungen	Hilfreiches Methodenwissen	Hilfreiches Beschreibungs- oder Prognosewissen
Bestimmung des Entscheidungsinhalts	Methode zur Ableitung von Entscheidungsinhalten aus betriebswirtschaftlichen Theorien	Beschreibung möglicher Entscheidungsinhalte
Setzung der Ziele	Methode zur Vermeidung von Fehlern bei der Zielsetzung	Beschreibung möglicher Ziele
Vorauswahl der Handlungsmöglichkeiten	Methode zur Erzeugung aussichtsreicher Handlungsmöglichkeiten	Beschreibung möglicher Handlungen
Prognose der Zielbeeinflussungen	Methode zur Erzeugung zuverlässiger Prognosen	Prognose möglicher Zielbeeinflussungen
Bewertung der Zielbeeinflussungen	Methode zur Bewertung von Zielbeeinflussungen (insbes. bei Mehrfachzielsetzung)	Beschreibung möglicher Bewertungsergebnisse

Methodenwissen enthält Aussagen, die auf jede unternehmerische Entscheidung anwendbar sind (siehe näher Eisenführ/ Weber/ Langer, 2010). Erkauft wird die hohe Allgemeingültigkeit mit einem nur indirekten Bezug zu den Unter-Entscheidungen einer konkreten Entscheidung. Die Bereitstellung von Methodenwissen lässt sich daher nur als eine indirekte Entscheidungsunterstützung begreifen.

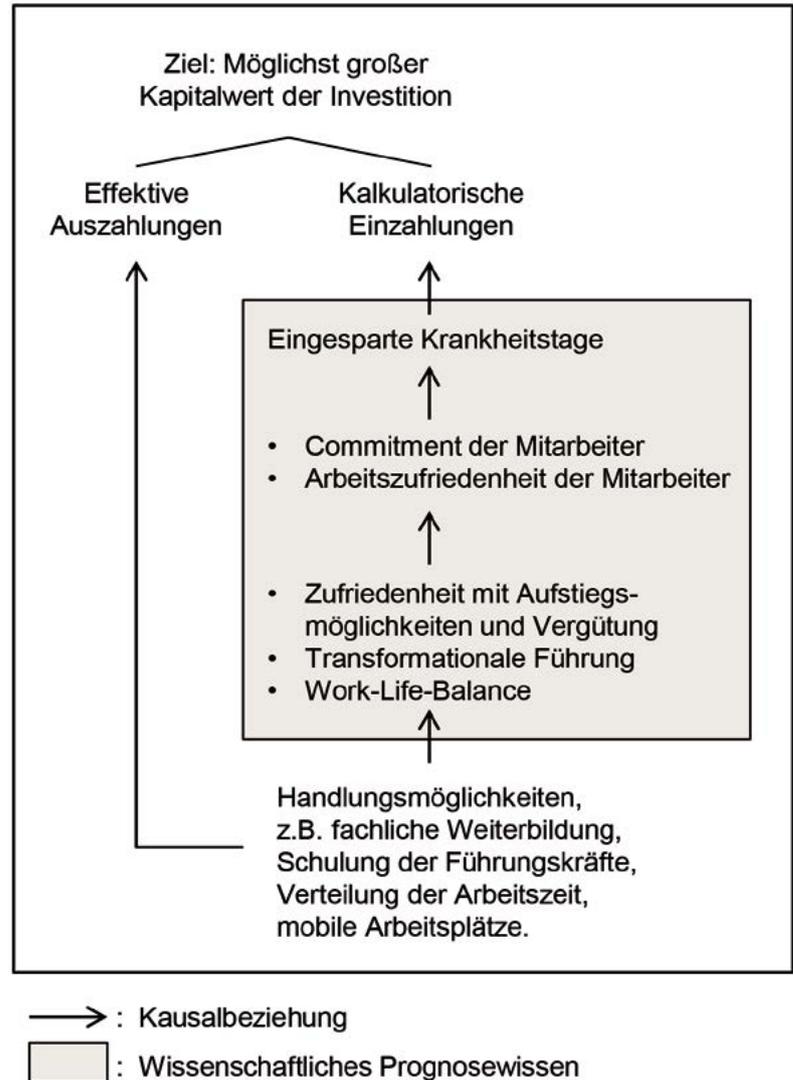
Eine direkte Entscheidungsunterstützung liegt vor, wenn man wissenschaftliches Wissen in konkrete Unter-Entscheidungen einsteuert. So kann beispielsweise die Prognose konkreter Zielbeeinflussungen dadurch

erleichtert werden, dass Wissenschaftler eine allgemeingültige Kausalbeziehung zur Verfügung stellen, die vom Entscheider als Prognosewissen genutzt wird. Manager, die zum Beispiel den Krankenstand ihrer Unternehmen senken wollen, könnten von Wissenschaftlern darauf hingewiesen werden, dass ein steigendes Commitment und eine steigende Arbeitszufriedenheit der Mitarbeiter den Krankenstand senken (siehe Graumann et al., 2017). Abbildung 2 illustriert die Nutzung entsprechender Kausalbeziehungen als Prognosewissen bei der Investitionsentscheidung, ob es sich finanziell lohnt, in die Förderung von Commitment und Arbeitszufriedenheit zu investieren.

### Grenzen der Unterstützung

Die wissenschaftliche Entscheidungsunterstützung kann zwar einen Beitrag zur Verbesserung der Entscheidungsqualität leisten, die Unterstützungsleistung ist indes begrenzt. Max Weber hat dieses Phänomen so formuliert, dass die Wissenschaft niemanden zu lehren vermag, „was er soll, sondern nur, was er kann und – unter Umständen – was er will“ (zitiert nach Radnitzky, 1994, S. 385). Wer eine Arbeitsgruppe, eine Abteilung oder gar ein Unternehmen lenkt, muss Entscheidungen treffen, die nicht nur Wissen, sondern auch Bewertungen erfordern. Und hier sind die Wissenschaftler nicht kompetenter als die Entscheider selbst. Warum ist das so?

Dem Methoden-, Beschreibungs- und Prognosewissen können unterschiedliche Qualitäten zugeordnet werden, indem man das Wissen mit dem Kriterium „wahr oder falsch“ kombiniert. Bewertungen hingegen sind nicht wahrheitsfähig, sondern basieren auf der Leitunterscheidung von „gut oder schlecht“ (vgl. Radnitzky, 1994, S. 381). Begründet wird der Mangel an Wahrheitsfähigkeit mit der ontologischen Annahme, dass bewertenden Aussagen ein reales Gegenstück in der denkunabhängig-existierenden Außenwelt fehlt. Zwar ist diese Annahme kaum zu überprüfen (sie hat den Charakter eines Axioms); allerdings markiert die Annahme die gängige Auffassung heutzutage. Wer behaupten würde, dass etwas ‚an sich‘ gut oder schlecht sei, könnte bei seinen Mitmenschen nicht nur nicht auf Zustimmung rechnen. Seiner Behauptung würde wohl nicht einmal ein diskutabler Sinn zuerkannt, denn Bewertungen werden in der modernen Gesellschaft als Ergebnisse subjektiver Denkprozesse angesehen, die auch anders erfolgen können und dürfen. Eine Ma-



nagerin zum Beispiel, die für eine Produktivitätssteigerung von 2 % eine Reorganisation durchführt und hierfür drei Mitarbeiter entlässt, bewertet den Wert dieser Maßnahme größer als den Wert ihrer Unterlassung. Ein Beobachter kann (und darf) die beiden Handlungsmöglichkeiten zwar anders bewerten und die Unterlassungsalternative vorziehen; er darf indes nicht behaupten, dass die Bewertung der Managerin falsch ist.

Vor diesem Hintergrund ist es grundsätzlich problematisch, wenn Wissenschaftler, die entscheidungsunterstützend tätig werden, Handlungsempfehlungen abgeben. Denn jede Empfehlung setzt Bewertungen im Sinne eines besser/ schlechter voraus. Bei Bewertungen aber haben Wissenschaftler keinen Wissensvorsprung gegenüber Nichtwissenschaftlern, denn der Wissensvorsprung, auf den sich die besondere Reputation der Wissenschaft stützt, betrifft nur das wahrheitsfähige Wissen. Handlungsempfehlungen durch Wissenschaftler lassen sich daher nur recht-

Abb. 2: Beispiel für einen Problemraum. Knoten sind Zustände, Kanten entsprechen den Operatoren.

fertigen, wenn davon ausgegangen werden darf, dass die Wissenschaftler die gleichen Bewertungen vornehmen wie die Entscheider selbst (vgl. Graumann, 2004, S. 627). Die Wahrscheinlichkeit, inwieweit dies der Fall ist, hängt von der Art des Wissens ab, das in den Entscheidungsprozess eingesteuert wird (vergleiche noch einmal Abbildung 1):

- Unkritisch ist eine Empfehlung zur Verwendung eines bestimmten Methodenwissens, sofern diesem Methodenwissen ein positiver Einfluss auf die Qualität der Unter-Entscheidungen zuerkannt wird. Da dies für die Methoden der Entscheidungslehre angenommen wird, (vgl. nur v. Nitzsch, 2019, S. 27 ff.), darf von gleichen Bewertungen ausgegangen werden, denn sowohl Wissenschaftler als auch Entscheider präferieren eine hohe Qualität der Unter-Entscheidungen.
- Unkritisch ist auch der Fall, dass die Verwendung eines zuverlässigen Prognosewissens empfohlen wird. Sind doch sowohl Wissenschaftler als auch Entscheider an zuverlässigen Prognosen interessiert.
- Problematisch hingegen sind Empfehlungen, die auf Beschreibungswissen basieren. Wenn Wissenschaftler die Bearbeitung bestimmter Entscheidungsinhalte empfehlen, die Setzung bestimmter Ziele, die Vorauswahl bestimmter Handlungsmöglichkeiten oder die Vornahme bestimmter Bewertungen (z. B. Zielgewichtungen), darf man nicht notwendigerweise davon ausgehen, dass Wissenschaftler und Entscheider die gleichen Interessen verfolgen. Daher ist es in solchen Fällen erforderlich, die Bewertungen der Wissenschaftler offen zu legen, damit die Entscheider diese Bewertungen mit ihren eigenen vergleichen können.

## Implikationen für die Fakultät Wirtschaft

Der neue Sammelband der Fakultät soll ein breites Spektrum praxisrelevanter Forschungsergebnisse enthalten. Dafür werden unter anderem folgende Fragen untersucht:

- An welchen Stellen lässt sich die Methode des sorgfältigen und gewissenhaften Entscheidens für unternehmerische Entscheidungen vereinfachen, jedoch ohne größere Abstriche an die Entscheidungsqualität zu machen?
- Können Selbstorganisation und Komplexitätsreduktion unter dynamischen Bedingungen als Entscheidungshilfen genutzt werden?

- Sollen strategische Entscheidungen über die Erfolgsfaktoren kleiner Unternehmen auch auf die Förderung des Commitment der Mitarbeiter abstellen?
- Lassen sich durch User Experience Testings die Wünsche der Zielkunden zuverlässig ermitteln?
- Wie kann die Methode der Nutzenmessung unternehmerische Entscheidungen zur Einführung digitaler Angebote im Handel unterstützen?

Die Beiträge des Sammelbandes sollen bewertende Aussagen vermeiden und sich bei den Handlungsempfehlungen auf Methoden- und Prognosewissen fokussieren. Für die Fälle, in denen Empfehlungen auf Beschreibungswissen basieren, wird darauf geachtet, diejenigen Bewertungen explizit zu machen, denen die Empfehlungen aufrufen. Dieses Vorgehen soll eine wirksame Entscheidungsunterstützung der Praxis gewährleisten.

### Referenzen/References:

- Eisenführ, F./ Weber, M./ Langer, T. (2010): Rationales Entscheiden, 5. Aufl., Berlin u.a. 2010
- Graumann, M. (2004): Ziele für die betriebswirtschaftliche Theoriebildung, Berlin 2004
- Graumann, M./ Foit, K./ Burkhardt, A./ Venohr, D. (2017): Entscheidung über Maßnahmen zur Senkung des Krankenstands. In: Zeitschrift Führung + Organisation, 2017, S. 298-305
- Graumann, M. (2023): Entscheidungsunterstützung durch Wissenschaftler. Erscheint in: WiSt – Wirtschaftswissenschaftliches Studium, 2023
- Janis, I.L./ Mann, L. (1977): Decision Making, New York u.a. 1977
- Kahneman, D. (2003): Maps of Bounded Rationality: Psychology for Behavioral Economics. In: American Economic Review, 2003, S. 1449-1475
- Luhmann, N. (1978): Organisation und Entscheidung. In: Rheinisch-Westfälische Akademie der Wissenschaften (Hrsg.): Vorträge G 232, Opladen 1978, S. 5-71
- Luhmann, N. (1997): Die Gesellschaft der Gesellschaft, Erster Teilband, Frankfurt am Main 1997
- Nitzsch, R. v. (2019): Entscheidungslehre – Wie Menschen entscheiden und wie sie entscheiden sollten, 11. Aufl., Wiesbaden 2019
- Radnitzky, G. (1994): Wert. In: Seiffert, H./ Radnitzky, G. (Hrsg.): Handlexikon zur Wissenschaftstheorie, 2. Aufl., München 1994, S. 381-387
- Werder, A. v. (1994): Unternehmungsführung und Argumentationsrationalität, Stuttgart 1994

# Emotionale Kommunikation mit Zielgruppen

## Beispiel öffentliche Bildungseinrichtungen

Zunehmend werden öffentliche Bildungseinrichtungen mit dem Rückgang von Bewerberzahlen konfrontiert, wodurch auch der Wettbewerb zwischen Hochschulen und Universitäten verstärkt wird. Aus diesem Grund ist die Position der eigenen Institution wichtig, um von den verschiedenen Zielgruppen wahrgenommen zu werden und sich vom Wettbewerb abzugrenzen. Die Marke, ihre Wahrnehmung und ihre Wirkung spielen hierbei eine entscheidende Rolle, insbesondere angesichts der gewünschten Vermittlung eigener Werte und des Selbstbildes der Markenidentität. Hierzu dienen Emotionen als Ansatz zu einer positiven Aktivierung und zum Schaffen einer Markenbindung.

*Public educational institutions are more and more faced with a decline in the number of applicants, as a result of increasing competition between universities and colleges. Therefore, the position of one's own institution is important in order to be perceived by the various target groups and to differentiate oneself among the competition. The brand, its perception and its impact are essential in this regard, especially in view of the desired communication of the institution's own values and its self-image, the brand identity. For this purpose, emotions serve as an approach to a positive arousal and the creation of brand loyalty.*

## Relevanz der emotionalen Wirkung

Zur Untersuchung der Wirkung einer Marke und deren Übereinstimmung mit der innerhalb der Institution gelebten Identität spielen Emotionen eine wesentliche Rolle. Befragungen und Interviews mit den verschiedenen Zielgruppen sollen innerhalb der Untersuchung Informationen zur emotionalen Wirkung der Marke einer öffentlichen Bildungseinrichtung liefern. Darüber hinaus ist es das Ziel, Fragen zur Wahrnehmung, Emotionalität oder der Position von Bildungseinrichtungen im Umfeld zu beantworten und die verschiedenen Empfindungen der einzelnen Zielgruppen für eine bestmögliche Kommunikationseinordnung zu erfassen.

Der Wettbewerb zwischen Hochschulen intensiviert sich seit einigen Jahren, weshalb ein konkurrenzfähiges und auch intensives Verhalten sowie eine entsprechende Kommunikation nach außen zunehmend wichtiger werden. Die Notwendigkeit wird sowohl aufgrund leistungsgebundener Vergaben finanzieller Mittel als auch bestehender Konsequenzen

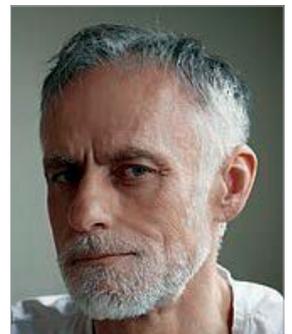
in Bezug auf die verschiedenen Zielgruppen erkannt. Akzeptanz und Stellung einer Hochschule in der Gesellschaft werden tiefgreifend von der Wahrnehmung vorhandener und potenzieller Zielgruppen beeinflusst. [1] Dies veranlasst Hochschulen, sich vermehrt mit ihrer Marke, deren positiven Wahrnehmung und einer stärkeren Wettbewerbsfähigkeit zu befassen. Dabei ist neben der Profilbildung auf unterschiedlichen Ebenen die strategische Positionierung ein Bestandteil, um sich vom Wettbewerb abzugrenzen. Als Voraussetzung für den Aufbau einer Hochschulmarke und folglich ihren Erfolg gelten Gestaltung, Kommunikation und das Leben der Leitsätze, der Strategie und des Markengefühls [2].

Als Kennzeichen oder Markierung eines Produkts, eines Unternehmens oder einer Institution spiegelt die Marke eine spezifische Qualität oder funktionale Eigenschaft wider und stellt Selbstaussdruck, -präsentation bzw. -bestätigung dar. [3] Das Selbstbild, die sogenannte Markenidentität als Verkörperung



**Bernhard Denne**  
Prof. Dr. Ing.

Fakultät W  
Vertrieb, Innovationsmanagement, Strat. Management, Werkstoffkunde



**Josef Nerb**  
Prof. Dr. phil.

PH FR, Prodekan Fakultät  
Bildungswissenschaften  
Pädagogische Psychologie



Christina Miclau  
M.A.

Fakultät W, Doktorandin

der Handlungen einer internen Zielgruppe, und das Fremdbild, das heißt Markenimage als externe Wahrnehmung, stehen in Wechselwirkung zueinander [4]. Die Markenbedeutung hat Einfluss darauf, wie Informationen verarbeitet werden, wie Zielgruppen diese beurteilen und wie sie sich in Folge der Markenwahrnehmung verhalten. Deshalb bilden Wahrnehmung und Wirkung die Grundlage für Akzeptanz und Bekanntheit [3], weswegen Selbstbild und Image konform sein sollten, um die Markenbotschaft und den Markenauftritt zu vermitteln [5]. Das Markenmanagement beschäftigt sich somit mit der positiven Markenvorstellung und der Erkennung erforderlicher Anpassungen im Zuge des zeitlichen Wandels [3].

Die Wirkung einer Marke zu erfassen, kann Personen vor eine Herausforderung stellen, weshalb es häufig leichter fällt, eine Marke anhand von selbstrelevanten Funktionen der Markenpersönlichkeit, sprich den Eigenschaften zu beschreiben [3] und so die empfundenen Emotionen, die eine Reflexion der Wirkung des Fremdbilds wiedergeben, in Worte zu fassen.

## Emotionen und Einsatz für eine zielgruppenorientierte Kommunikationspolitik

Emotionen sind Veränderungen des Nervensystems in Folge einer Verarbeitung innerer und äußerer Reize. [6] Aufgrund dessen sind Emotionen allgegenwärtig und beschreiben starke Bewegungssysteme innerhalb der automatischen Einschätzung einer Situation und Reaktion [7], sodass sie sogar auf über 70 % unserer Entscheidungen Einfluss nehmen [8].

Die individuellen Interpretationen der Wahrnehmungen resultieren aus der mentalen Verarbeitung von Eindrücken. Je nach emotionalem Zustand verändert sich auch die Interpretation der aufgenommenen Reize und Informationen, wie Geräusche, Licht, Temperatur. Diesen Eindrücken werden Bedeutungen zugeschrieben, indem das Gehirn vergangene Erfahrungen oder Veranlagungen auf die Wahrnehmung überträgt, sodass die dabei entstehenden Emotionen Teil der Interpretation jeglicher Welteindrücke sind. [11]

Da Emotionen sowohl passiv als auch aktiv hervorgerufen und damit auch vermieden werden können, können Medien als Auslöser eingesetzt werden. Hier sollen die beiden Ansätze, das Konstrukt der (Tele-) Präsenz und die Drei-Faktoren-Theorie nach Zillmann

(2004) Einblick verschaffen. Mit der Telepräsenz ist es möglich, Empfänger an einen Ort der virtuellen Realität zu versetzen, indem anhand von vergleichbar realen Situationen Emotionen erzeugt werden [9]. Demgegenüber weist die Drei-Faktoren-Theorie auf Erinnerungen als wesentliche Komponente bei emotionalen Reaktionen, sprich Reiz-Reaktions-Verbindungen, hin, weshalb ikonische oder symbolische beziehungsweise sprachliche Repräsentationen als Auslöser eingesetzt werden können. Emotionale Bildelemente dienen beispielsweise dem Hervorrufen von Wirkungen wie sogenannter Klima- oder Erlebniswirkungen. Die Nutzung zur Schaffung emotionaler Wirkungen anhand von Kommunikationsmitteln erfolgt durch einen fließenden Einsatz der Bildelemente [10].

Kommunikation ist jedoch nicht nur die Konzentration aller Handlungen auf ein bestimmtes Produkt, eine bestimmte Dienstleistung und einen bestimmten potenziellen Kunden. Die richtige Kommunikation umfasst ebenso den Einbezug der komplexen Umwelt, „mit der ein Unternehmen in ständiger Kommunikation steht“ und die einen erheblichen Einfluss auf die Art der Kommunikation und letztlich die Wahrnehmung des Unternehmens und deren Angebote haben kann. Kern soll stets das Schaffen optimaler Voraussetzungen sein, um die Kundenbedürfnisse befriedigen zu können, wie die Markttransparenz oder die Schaffung von Entscheidungsgrundlagen [12].

Hier spielt die Kenntnis über die Zielgruppe(n), also Menschen und Organisationen, die vom eigenen Unternehmen erreicht und deren Bedürfnisse durch das Angebot befriedigt werden sollen, eine wesentliche Rolle. Für eine zielgruppenorientierte Ansprache ist es in vielen Fällen hilfreich, die Gesamtheit der Anspruchsgruppen in kleinere Gruppen zu gliedern, die sich beispielsweise in deren Verhaltensweisen, Bedürfnissen, Interessen oder Eigenschaften ähneln. Dabei ist es sinnvoll, sich nicht nur auf soziodemografische Kriterien wie Alter, Geschlecht, Wohnort zu fokussieren, sondern Merkmale und Charaktereigenschaften, die eng verwoben mit der emotionalen Verarbeitung sind, miteinzubeziehen und zudem eine klare Abgrenzung zu Nicht-Kunden zu definieren. Es können folgende Merkmale unterschieden und auch kombiniert werden: demografische Merkmale, geografische Merkmale, psychische Merkmale, gruppenspezifische Merkmale [12].

Zu beachten ist jedoch, dass sich im Bereich der Werbung Gruppen auch überlappen können und zudem gewisse Streuverluste nicht ausgeschlossen werden können, da keine vollumfängliche Sicherheit besteht, dass die gesamte Zielgruppe mit der gewählten Werbung erreicht wurde. Dank der Nutzung des Onlinemarketings (Online-Werbung, Social Media Marketing etc.) ist es allerdings möglich, die Streuverluste deutlich zu verringern und durch das Sammeln kundenindividueller Daten den Zielgruppen spezifische Botschaften, das heißt personalisierte Werbung an einzelne Kunden zu vermitteln [12].

### Messung der emotionalen Wirkung einer öffentlichen Bildungseinrichtung

Die Untersuchung umfasst die Betrachtung emotionaler Kommunikation und Erkenntnisse aus zwei empirischen Studien zur Einordnung der emotionalen Wirkung der Hochschule Offenburg. Dabei wurde die Vorgehensweise nach Peters und Slovic als Gestaltungsrahmen verwendet [13].

Studie eins diente der Sammlung von Begrifflichkeiten zur Beschreibung öffentlicher Bildungseinrichtungen. Auf diese Weise zeigte sich ein erstes Bild der Wahrnehmung auf die verschiedenen Zielgruppen, das heißt Schüler\*innen, Student\*innen, Mitarbeiter\*innen und Professor\*innen, Unternehmen und Gesellschaft. Die Befragung, die mit dem Online-Tool LimeSurvey durchgeführt wurde, beinhaltete zu Beginn die Abfrage darüber, ob der Befragte die Hochschule kenne, um eventuelle spätere Zusammenhänge zwischen Kenntnis und Wahrnehmung untersuchen zu können. Daraufhin war die Person aufgefordert, an die Einrichtung zu denken, sie mit drei Wörtern zu beschreiben und mitzuteilen, welche Emotionen beim Gedanken an die Hochschule mit dieser in Verbindung gebracht würden. Insgesamt wurden bisher Daten von 108 Unternehmenskontakten mit 314 genann-

ten Begriffen, 168 Schüler\*innen mit 304 genannten Begriffen, 106 Student\*innen mit 189 genannten Begriffen, 147 Mitarbeiter\*innen und Professor\*innen und aktuell 91 Personen der Gesellschaft betrachtet.

Anschließend wurden die acht häufigsten genannten Begriffe einer jeden Zielgruppe bestimmt und als Grundlage für Studie zwei verwendet, die sich mit der emotionalen Zuordnung dieser Begriffe befasst, um Rückschlüsse auf eine emotionale Wirkung ziehen zu können. Dabei sollten die Begriffe jeweils als positiv oder negativ bewertet, in ihrer Intensität eingeordnet und verschiedenen Emotionen zugeordnet werden. Studie 2 spiegelt demgegenüber den Aufbau von Peters und Slovic wieder, lediglich die Fragen wurden ausführlicher eingeleitet und formuliert. Das hatte den Hintergrund, dass die Umfrage online und nicht persönlich stattfand und so auf eventuelle Unsicherheiten und Rückfragen nicht eingegangen werden konnte. Überdies besteht ein erhöhtes Risiko, dass die Befragten wegen der Fachfremde die Intention der Frage nicht verstehen und somit nicht beantworten können.

Zwar werden die Daten dieser Studie aktuell noch gesammelt und ausgewertet, jedoch zeigen sich bereits zum Zeitpunkt der Befragungen einige Herausforderungen und Schwierigkeiten, die im Folgenden betrachtet werden.

### Fazit und Herausforderungen bei der Erfassung der emotionalen Markenwirkung

Um ein passendes Angebot zu schaffen, den Bedürfnissen der Kunden gerecht zu werden und ein Fremdbild zu kreieren, das mit dem Selbstbild, der eigenen Identität, übereinstimmt, muss ein Verständnis über den Markt und vielmehr über die Zielgruppe geschaffen werden. Der vorliegende Beitrag weist auf die Relevanz einer emotionalen Aus-

Abb. 1:  
Sammlung der  
Begrifflichkeiten zur  
Beschreibung der HSO



richtung der Kommunikationspolitik und den aktiven Einbezug der Zielgruppe hin. Jede einzelne Anspruchsgruppe nimmt die öffentliche Bildungseinrichtung wahr und beeinflusst die Wirkung dieser. Für die Wahl der passenden Kommunikationspolitik ist es somit notwendig, ein Verständnis über die einzelnen, doch so unterschiedlichen Zielgruppen, ihre Bedürfnisse und ihr Verhalten aufzubauen. Darüber hinaus ermöglicht der Einsatz verschiedener Methoden und Modelle eine zielgruppenorientierte Kommunikation, einen passenden Werbeauftritt und eine persönlichere Interaktion mit Kund\*innen.

Um die Vielzahl an Personen erreichen zu können, wurde eine schriftliche Online-Befragung für beide Studien in Anlehnung an Peters und Slovic durchgeführt. In der ersten Studie wurden die verschiedenen Zielgruppen, wie Schüler\*innen, Student\*innen, das Personal der Hochschule, Unternehmen (Umfeld und Zusammenarbeit) und die Gesellschaft um deren Bild hinsichtlich der Einrichtung gebeten, indem sie Adjektive zur Beschreibung nutzen sollten. Begriffe zur Beschreibung des Bildes zu finden, das sie von der Einrichtung hatten (Fremdbild der Marke), fiel ihnen nicht schwer. Die Ergebnisse zeigten zudem eine erhöhte Ähnlichkeit in der Wahl der Begrifflichkeiten und ermöglichen erste Annahmen hinsichtlich einer zielgruppenübergreifenden Einordnung des Fremdbildes.

Die zweite Studie gestaltete sich jedoch komplexer, in der es um die emotionale Einordnung der Begriffe ging. Aufgrund der schriftlichen und damit unpersönlichen Befragung bestanden Probleme seitens der Teilnehmenden beim Verständnis der Fragen und damit einer Einordnung. In Gesprächen mit einigen Befragten zeigte sich, dass es ihnen schwerfiel, den Begriffen bzw. einem Objekt Emotionen und emotionale Ausrichtungen zuzuschreiben. Hierfür hätte es näherer Erklärungen und einer Begleitung bei der Beantwortung bedurft. Dieses Wagnis liegt allerdings bei einer Online-Durchführung und damit nicht persönlichen Befragungen vor und muss bei der Interpretation der Ergebnisse beachtet werden.

Im Falle öffentlicher Bildungseinrichtungen, die über eine Vielzahl unterschiedlicher Zielgruppen verfügen, die in ihren Eigenschaften und Faktoren äußerst verschieden sind, könnte die Konzentration auf eine oder zwei wesentliche Zielgruppen, die maßgeblich für den unternehmerischen Erfolg sind, erfolgen. Durch einen Fokus auf weniger Zielgruppen ist eine abschließende Untersuchung der Wirkung durchgeführter Kommunikationsmaßnahmen, die basierend auf den Ergebnissen zu dieser Zielgruppe entstanden, einfacher und zielführend für die Entwicklung optimaler Marketingaktivitäten.

#### Referenzen/References:

- (1) Erhardt, D. (2011). Hochschulen im strategischen Wettbewerb. Empirische Analyse der horizontalen Differenzierung deutscher Hochschulen. Zugl.: Karlsruhe, Karlsruher Institut für Technologie, Diss., 2011. 1. Aufl. Wiesbaden: Gabler Verlag / Springer Fachmedien Wiesbaden GmbH Wiesbaden. Online verfügbar unter <http://dx.doi.org/10.1007/978-3-8349-7114-2>, Zugriff am: 21.02.2023
- (2) Boos, M.; Grubendorfer, C.; Mey, D. (2013). Hochschule als Marke. In: Organisationsberat Superv Coach 20 (1), S. 5–15.
- (3) Wänke, M.; Florack, A. (2015). Markenmanagement. In: Klaus Moser (Hg.): Wirtschaftspsychologie. 2. Aufl.: Springer, S. 101–117
- (4) Burmann, C.; Halaszovich, T. F.; Schade, M.; Hemmann, F. (2015). Identitätsbasierte Markenführung. Grundlagen - Strategie - Umsetzung - Controlling. 2., vollständig überarbeitete und erweiterte Auflage. Wiesbaden: Springer Gabler. Online verfügbar unter <http://dx.doi.org/10.1007/978-3-658-07506-4>, Zugriff am: 21.02.2023
- (5) Esch, F. (2006). Corporate Brand Management. Wiesbaden: Springer Fachmedien
- (6) Izard, Carroll E. (1981): Die Emotionen des Menschen. Eine Einfüh-

- rung in die Grundlagen der Emotionspsychologie. Weinheim: Beltz
- (7) Pontes, Ulrich (2011): Was ist Emotion? Von Mimik bis Hormon. Online verfügbar unter <https://www.dasgehirn.info/denken/emotion/was-sind-emotionen>, Zugriff am: 21.02.2023
- (8) Häusel, Hans-Georg (2002): Limbic success. So beherrschen Sie die unbewussten Regeln des Erfolgs; die besten Strategien für Sieger. 1. Aufl. Freiburg im Breisgau [u.a.]: Haufe
- (9) Batinic, B.; Appel, M. (2008): Medienpsychologie: Springer Verlag
- (10) Kroeber-Riel, Werner (1996): Bildkommunikation. Imagerystrategien für die Werbung. München: Vahlen
- (11) Schwender, Clemens (2003): Medien u. Emotionen. In: OSC 10 (1), S. 5–16
- (12) Thommen, J.-P./Achleitner, A.-K./Gilbert D. U./Hachmeister, D./Jarchow, S./Kaiser, G. (2020): Allgemeine Betriebswirtschaftslehre. Umfassende Einführung aus managementorientierter Sicht, 9. Auflage, Wiesbaden
- (13) Peters, E.; Slovic, P. (2007). Affective asynchrony and the measurement of the affective attitude component. In: Cognition & Emotion 21 (2), S. 300–329

# Die pädagogische Wende

Das Projekt „Die pädagogische Wende“ stellt das pädagogische Berufsethos und Selbstverständnis als Erziehende und Lehrende in den Mittelpunkt. Erarbeitet werden pädagogisch begründete, alternative Positionen des aktuellen Primats der Lernleistungsvermessung und Technikfixierung. Das Ziel sind Konzepte und Praxisbeispiele für Schule und Unterricht, die sich an den Bedürfnissen der Lernenden gemäß den Entwicklungsstufen (anthropologische Ontogenese) des Menschen ausrichten.

*The project „The Pedagogical Turn“ focuses on the pedagogical professional ethos and self-image as educators and teachers in the context of social transformation processes. Pedagogically justified, alternative positions to the current primacy of measuring learning performance and technology fixation are being developed. The aim is to develop concepts and practical examples for schools and teaching that are geared to the needs of learners in accordance with the developmental stages (anthropological ontogenesis) of human beings. In parallel, the relationship between digitalization, education and teaching will be discussed from a critically reflective perspective.*



Ralf Lankau  
Prof. Dr. phil.

Fakultät M  
Digitaldesign, Mediengestaltung und -theorie

## Notwendige Rückbesinnung auf Erziehung und Unterricht

Im Zuge umgreifender Transformationsprozesse des staatlichen Bildungs- und Erziehungswesens, verstärkt seit dem sogenannten „Pisa-Schock“ 2001, lässt sich eine Schwächung des Erziehungsgedankens und Monokultivierung des Unterrichts im Sinne eines Imperativs der Selbstregulierung und Digitalisierung beobachten. Bildungseinrichtungen stehen seitdem unter stetig zunehmendem Einfluss von neoliberalen Steuerungslogiken, was sich zum Beispiel an der Zunahme außerschulischer Interessenvertreter und Partikularinteressen ablesen lässt. Richard Münch analysiert diese Logiken und Strategien der Einflussnahme in seinem Buch „Der bildungsindustrielle Komplex“ (Münch 2018). Er zeigt auf, wie internationale Organisationen und privatwirtschaftliche Stiftungen über Think Tanks, die Organisation von Veranstaltungen, über Agenda Settings und Projektmittel Einfluss auf die Bildungspolitik und Forschungsfragen nehmen. Als diskursmächtige Sprechorgane für permanente Bildungsreformen und Stichwortgeber für (private) Bildungsforscher arbeiten sie mit Hochschulen und Unternehmen zusammen und haben Anteil an der umfassenden Transformation von Bildungsprozessen an Kitas, Schulen und Hochschulen. Sie nehmen, ohne demokratische Legitimation, Einfluss auf politische Entscheidungen und dominieren durch

Lobby- und Pressearbeit sowohl die fachliche wie auch die öffentliche Diskussion.

Permanente Reformen, immer neue Methoden und Techniken führen dabei auf der Ebene der pädagogischen Praxis zu einer beschleunigten Erosion von Bildungs- und Erziehungsprozessen, während das Belastungserleben der pädagogischen Fachkräfte zunimmt und gemeinsame Zeiten und Räume für eine mündigkeitsorientierte Erziehung sowie eine auf das Begreifen von gesellschaftlichen und lebensweltlichen Strukturen hin angelegte Bildung zu verschwinden drohen. Diese Tendenzen finden auch in der immer noch andauernden widerspruchsvollen Bewegung von Zentralisierung und Dezentralisierung im Rahmen des Umbaus der schulischen Steuerung von der Input- zur Outputperspektive ihren unmittelbaren Ausdruck.

Ein wichtiger Taktgeber dieser Dynamiken – und notwendige Infrastruktur zum Erfassen personalisierter Lern- und Verhaltensdaten für die empirische Bildungsforschung – ist die Digitalisierung. Formal wird argumentiert, der Einsatz von Informationstechnologie (IT) sei innovativ, motivierend und lernförderlich. Exemplarisch sei hierzu aus der Eröffnungsansprache von PISA-Koordinator Andreas Schleicher auf dem Global Education & Skills

Forum zitiert: „Technologie könne innovativen Unterricht zwar verstärken, aber in der Praxis gelinge das nicht, die häufige Nutzung verschlechtere die Lernleistung sogar.“ Schleicher weiter: „Wir müssen es als Realität betrachten, dass Technologie in unseren Schulen mehr schadet als nützt.“ Als Technizist, der das Scheitern von IT im Unterricht nicht als generelles, sondern nur für ein vorläufiges Konfigurationsproblem hält, begründet er dies mit den Worten: „[...] weil es uns nicht gelungen ist, sie gut zu integrieren (because we have not succeeded in integrating well)“ (Schleicher 2016). Dabei verkennt Schleicher, dass der fehlende Nutzen durch Digitaltechnologie weniger technische als vielmehr grundsätzlich menschliche, pädagogische und (lern-)psychologische Ursachen hat. Sinnvoller wäre zu schlussfolgern: Das Prinzip der Digital- als Automatisierungstechnik zur Standardisierung von Lernprozessen und automatisierten Abprüfen ist für den Kontext Lehre, Lernen und Unterricht ungeeignet, sobald es nicht nur um Repetition, sondern um Verstehensprozesse geht. Die Charakterisierung des Scheiterns von IT im Unterricht als Anpassungs- und Konfigurationsproblem entspricht dabei exakt dem Muster, das Jesper Balslev in seiner Dissertation „Evidence of a Potential“ nennt: Ein immerwährendes, nie eingelöstes, vor allem nicht einzulösendes Versprechen (Balslev, 2020).

Erfüllt die Technik die an sie gestellten Erwartungen nicht, ändert man diskursstrategisch die Begrifflichkeit und definiert Digitaltechnik und computergenerierte Projektionen zur neuen Leitkultur. Von der Digitalisierung über „digitale Transformation“ führt der Weg zur Phrase der „Kultur der Digitalität“ (Stalder 2016). Auf diese Weise wird eine Verschränkung von physischer und digitaler Welt entworfen, bei der Menschen nur noch als mehr oder weniger selbstbestimmte Akteure im Kontext digitaler Infrastruktur gesehen werden. Dass Menschen aber weiterhin in einer physischen Welt leben, wenn sie vor Bildschirmen sitzen oder sich eine 3-D-Brille aufsetzen, um sogenannte „virtuelle Realitäten“ (VR) zu betrachten, wird ausgeblendet.

Das Forum Bildung Digitalisierung e.V., ein Zusammenschluss privater Stiftungen, die sich für eine systemische digitale Transformation im Bildungsbereich einsetzen, stellt als Antwort auf das jahrzehntelange Scheitern von Digitaltechnik im Unterricht das Lehren und Lernen daher vorsorglich komplett unter das „Vorzeichen der Kultur der Digitalität“ und fordert, Lehr-Lern-Settings generell danach

auszurichten. Technik wird nicht mehr auf ihren Nutzwert hin befragt, sondern als Prämisse gesetzt. Man müsse zudem „die Diskussion um den Mehrwert digitaler Medien und Tools für Unterricht und Didaktik“ überwinden und stattdessen eine „offene Haltung gegenüber der schulischen Transformation“ einnehmen (FBD 2021). Nicht nur das Unterrichten und die eingesetzten Medien seien zu ändern, sondern auch die Haltung, denn: „Die Kultur der Digitalität stellt neue Anforderungen an das professionelle Selbstverständnis aller Akteure im Bildungsbereich“ (ebd.).

Haltungen ändern zu wollen, ist bereits als Anspruch ein massiver Eingriff in die Persönlichkeitsrechte der Lehrenden und Lernenden. In diesem Zusammenhang weist Armin Bernhard (2021) auf die manipulative Kraft der (auch) hier anvisierten kulturindustriellen Sozialisation hin, die auf eine Ausnutzung der inneren Sozialnatur des Menschen als Absatzmarkt hin ausgerichtet ist und in deren Folge das selbstreflexive Potenzial des Menschen über entpersönlichte Disziplinarangebote unterworfen wird (vgl. ebd., S. 247). Die der Software der Computerindustrie zugrunde gelegte Kommandostruktur, so Bernhard weiter, „[...] ist der Prototyp dieser neuen Form der Vergesellschaftung.“ (ebd.), insofern auf diese Weise eigensinnige Subjektstrukturen eingegeben und so letztlich der Vorgang des Mündigwerdens, der einer Grundlegung durch Erziehung, nicht aber digitaler Selbstoptimierung bedarf, verhindert wird.

Für den Bildungsbereich sind deshalb andere Diskussionen zu führen: Die Auslagerung der Vermittlungsprozesse von Unterricht auf Digitaltechnik funktioniert nicht, weil auf diese Weise nicht Lernprozesse analysiert und kritisch reflektiert werden, wie es die originäre Aufgabe von Schulen und Lehrkräften ist, sondern eine generelle positive Einstellung zu Digitaltechnik eingefordert wird. Klaus Zierer hat die Möglichkeiten und Grenzen von digitalen Medien bereits 2021 im Detail aufgezeigt (Zierer, 2021). Zu korrespondierenden Ergebnissen kommt Karl-Heinz Dammer in seinem Gutachten zur Digitalstrategie der KMK in NRW (Dammer 2022). Nicht die eingesetzte (Medien)Technik ist entscheidend, sondern der von einer qualifizierten Lehrkraft strukturierte und geleitete Unterricht. Nur so können Schülerinnen, Schüler und Studierende die für Bildungs- und Erziehungsprozesse erforderliche Widerständigkeit erfahren und in mündiger Hinsicht handlungsfähig werden. Digitalisierung

und Selbstregulierung sind für diesen Zweck als Vereinnahmungsversuche jedweder Form des Widerstands zurückzuweisen.

Diese Resultate werden ergänzt und aktualisiert durch Studien aus der Zeit der Pandemie. Die Studie von Engzell et al. (2021) weist nach, dass selbst Schülerinnen und Schüler von technisch sehr gut ausgestatteten niederländischen Schulen, die den Einsatz von Digitaltechnik im Präsenzunterricht gewohnt waren, durch Fernunterricht Lerndefizite entwickeln, die der Zeit der Schulschließung entsprechen. Sind es Kinder aus bildungsfernen Familien, womöglich mit Migrationshintergrund, sind die Lernrückstände deutlich größer. (Maldonado et al.) Eine Frankfurter Forschergruppe formuliert griffig (und durchaus mit Blick auf mögliche Schlagzeilen): Distanzunterricht ist so effektiv wie Sommerferien (Hammerzell et. al., 2021). Die Studien von Andresen (Jugend und Corona) oder Ravens-Sieberer (CoPsy I-III) zeigen neben Lerndefiziten vor allem gravierende Folgen für die sowohl körperliche als auch psychische Entwicklung durch die erzwungene soziale Isolation. Gleiches gilt für Studierende, hier sind es Ängste, Depressionen, psychische Störungen, Studienabbrüche (DZHW 2021).

Die logische Reaktion wäre, die derzeitige Fokussierung auf Digitaltechnik aufzugeben und wieder das angeleitete Unterrichtsgeschehen im Klassenverband als den „Normalfall Schule“ zu begreifen. Für die Praxis fordert die Ständige Wissenschaftliche Kommission, ein Gremium, das nur mit empirischen Bildungsforschern besetzt wurde, stattdessen noch frühere und mehr Digitalisierung für alle (SWK 2021 und als notwendig korrigierende Replik das Positionspapier von Braun et al. 2021). Der wirtschaftsnahe Aktionsrat Bildung schlägt, mit dem Ziel der Sicherung der „Resilienz des Bildungssystems“, die Abschaffung räumlicher und sozialer Strukturen (Schul- und Hochschulgebäude, Präsenzunterricht), den Ausbau „digitalen Lernens“ und die Neugestaltung der Rolle von Lehrerenden (als „ambulante Lehrer“) im Rahmen einer kontinuierlichen Evaluation vor (vgl. vbw 2022, S. 35 f.). Dem muss in Theorie und Praxis widersprochen werden.

### Fragen

Ausgangspunkt dieses Projekts ist die Diskrepanz zwischen pädagogischen Erkenntnissen, Prämissen und Denkweisen und gegenwärtigen Digitalisierungsstrategien im Raum

Schule und Hochschule, die von Bereichen der empirischen Bildungsforschung und wirtschaftsnahen Verbänden unterstützt wird. Damit verbunden ist der Anspruch einer digitalbasierten Transformation des Bildungs- und Erziehungssystems. Dem widersprechend müssen Erziehung und Bildung als pädagogisches Primat mit den (in den Landesverfassungen hinterlegten) Zielen übereinstimmen und dürfen nicht mit den Vorstellungen einer möglichst frühen (und lebenslang andauernden), kleinteiligen Lernleistungsvermessung zum Zwecke einer bildungsökonomischen Nutzung kindlicher Humanressourcen zusammenfallen. Vor diesem Hintergrund werden die pädagogische Theorie und Praxis durch konkrete Fragen in einen produktiven Dialog gebracht:

- Wie lassen sich unter den gegenwärtigen Bedingungen Bildungseinrichtungen an den Bedürfnissen der Lernenden gemäß den Entwicklungsstufen (anthropologische Ontogenese) des Menschen ausrichten?
- Wie lässt sich erkennen und realisieren, dass pädagogisches Arbeiten notwendig personengebunden, individuell und interpersonal ist?
- Wie erreichen wir eine Stärkung der Erziehung, die Widerständigkeit nicht einebnen oder ausschließt, sondern mit dem Fokus der Mündigkeit auf die Entwicklung stabiler Persönlichkeitsstrukturen in sozialen Zusammenhängen abzielt?
- Mit welchen Unterrichtsformen gelingt die Auseinandersetzung mit kulturellen Beständen (zu denen auch die Digitaltechnik zählt), sodass die Schülerinnen und Schüler als Selbstbestimmte daraus hervorgehen?
- Mit welchen Verschiebungen von (schulischen) Bildungs- und Erziehungsvorstellungen geht das digitale Lernen einher?
- Wie stellt sich die Umsetzung einer digitalen Schulorganisation (Klassenbuchführung, Stundenplanung, Kommunikation) aus einer pädagogischen Perspektive dar?
- Inwiefern kommt pädagogischen Reflexionen über das Verhältnis von Bildung, Erziehung und Digitalisierung im Schulalltag Relevanz zu?

Für diese und weitere Fragen werden Grundlagentexte, Erfahrungsberichte, Beispiele aus der Praxis, Werkstattkonzepte (analog und digital mit Open Source-Anwendungen, ohne Learning Analytics und Profilierung), Dokumentationen von Workshops zu Theater, Musik, Kunst, Hackatons und vielem mehr gesucht.

## Machen Sie mit ...

Sie sind Erzieherin oder Erzieher, Erziehungswissenschaftlerin oder -wissenschaftler, studieren für ein Lehramt bzw. sind schon Lehrerin oder Lehrer, arbeiten in der Schulleitung oder bei einem Schulträger und tragen das gemeinsame Ziel dieses Projekts mit: Schulen als Möglichkeitsräume einer mündigkeitsorientierten Erziehung zu gestalten, das Begreifen von gesellschaftlichen und lebensweltlichen Strukturen zu reflektieren und Bildungseinrichtungen als Orte des sozialen Miteinanders zu realisieren? Dann freuen wir uns auf Ihren Beitrag. Reichen Sie eine kurze Beschreibung Ihres Themas und/oder Ihres Projekts ein (redaktion@die-paedagogische-wende.de).

In Vorbereitung ist ein Grundlagenband mit Beiträgen aus der Erziehungswissenschaft, Didaktik, Lernpsychologie, den Fachwissenschaften und der Schulpraxis. Parallel entsteht eine Website mit Online-Beiträgen und digitaler Bibliothek mit Beiträgen und Links. Im Mai oder Juni 2024. findet dazu eine Fachtagung statt. Im Grundlagenband publizieren wir praxisnahe Konzepte für Präsenzunterricht und das Lernen in Gemeinschaft sowie theoriebasierte Grundlagentexte. Medientechnik im Unterricht ist ebenso Thema wie Analysen zu den Dimensionen schulischer Erziehung und des Unterrichtens angesichts digitaler Transformationsprozesse. Die Beiträge der Website können breiter gestreut werden und stehen als „Open Access“ kostenfrei im Netz.

Um sich in die Thematik einzulesen, sei der Text von Klaus Zierer zum Sokratischen Eid des Lehrens (Zierer 2022), die „Texte aus Stans“ des Schweizer Kollegen Carl Bossard als Referenz an den Schweizer Pädagogen Johann Heinrich Pestalozzi (Bossard, o.J.) sowie die zeitlos aktuelle Schrift „Verstehen lehren“ von Andreas Gruschka (2011) empfohlen, da es um die Frage geht, „[...] wie eine Reform der Schule und des Unterrichts erfolgen könnte, die nicht mit der Eigenstruktur des Pädagogischen bricht, sondern ihr erfolgreich zu neuer Geltung verhilft.“ (ebd., S. 19f.).  
Siehe: <https://die-paedagogische-wende.de/>

## Kooperationen

- AG Medienwerkstatt und Stiftung Kind und Jugend (<https://ganz-real.de>)
- Bündnis für humane Bildung (<https://aufwach-s-en.de>)
- Gesellschaft für Bildung und Wissen e.V. (<https://bildung-wissen.eu>)

## Referenzen/References:

- Andresen, Sabine; Heyer, Lea; Lips, Anna; Rusack, Tanja; Schröer, Wolfgang; Thomas, Severine; Wilmes, Johanna (2021) Das Leben von jungen Menschen in der Corona-Pandemie - Erfahrungen, Sorgen, Bedarfe; hrsg. v. d. Bertelsmann-Stiftung
- Bernhard, Armin (2021): Die inneren Besatzungsmächte. Fragmente einer Theorie der Knechtschaft. Weinheim, Basel: Beltz
- Balslev, Jesper (2020) Evidence of a potential. The political arguments for digitizing education 1983 -2015. Ph.Dissertation, Jesper Balslev, Department of Communication and Arts, Roskilde University, 01/2020
- Bossard, Carl (o.J.) Texte aus Stans. Aufsätze zu elementaren Fragen der Pädagogik. <https://llu.futur-iii.de/category/texte/texte-aus-stans/> und <https://bildung-wissen.eu/fachbeitraege/texteaussatz>
- Braun et. al. (2021) Braun, Tom, Andreas Büsch, Valentin Dander, Sabine Eder, Annina Förtschler, Max Fuchs, Harald Gapski, Martin Geisler, Sigrid Hartong, Theo Hug, Hans-Dieter Kübler, Heinz Moser, Horst Niesyto, Horst Pohlmann, Christoph Richter, Klaus Rummler, und Gerda Sieben. 2021. «Positionspapier Zur Weiterentwicklung Der KMK-Strategie «Bildung in Der Digitalen Welt»». MedienPädagogik: Zeitschrift für Theorie Und Praxis Der Medienbildung, Nr. Statements and Frameworks (November):1-7. <https://doi.org/10.21240/mpaed/00/2021.11.29.X>
- Dammer, Karl-Heinz (2022) Gutachten: Die „Digitale Welt im Diskurs2 zur Digitalstrategie der KMK und des Landes NRW aus bildungspolitischer Sicht für den Philologenverband NRW, PDF: <https://phv-nrw.de/wp-content/uploads/2022/09/PhV-NRW-Gutachten-Digitale-Welt-im-Diskurs-150dpi.pdf>
- DZHW (2021) Deutsches Zentrum für Hochschul- und Wissenschaftsforschung: Studieren in Deutschland zu Zeiten der Corona-Pandemie, Rubrik: Publikationen; [https://www.dzhw.eu/forschung/projekt?pr\\_id=665](https://www.dzhw.eu/forschung/projekt?pr_id=665) (30.8.2022)
- Engzell, P., Frey, A., & Verhagen, M. D. (2020, October 29). Learning Inequality During the Covid-19 Pandemic. <https://doi.org/10.31235/osf.io/ve4z7>
- FBD (2021) Forum Bildung Digital, Konferenzankündigung: <https://www.forumbd.de/veranstaltungen/konfbd22/> (24.10.2022)
- Gruschka, Andreas (2011) Verstehen lehren. Ein Plädoyer für guten Unterricht. Ditzingen: Reclam
- Maldonado, Joana & De Witte, Kristof. (2020) The effect of school closures on standardised student test outcomes, <https://bera-journals.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/berj.3754> (7.12.2022)
- Münch, Richard (2018) Der bildungsindustrielle Komplex. Schule und Unterricht im Wettbewerbsstaat. Weinheim: Beltz
- Ravens-Sieberer, U., Kaman, A., Otto, C. et al. (2021) Seelische Gesundheit und psychische Belastungen von Kindern und Jugendlichen in der ersten Welle der COVID-19-Pandemie – Ergebnisse der COPSY-Studie, 01. März 2021; Download PDF (dt.): Copsy Studie Teil I und Link Springer-Verlag: <https://link.springer.com/content/pdf/10.1007/s00103-021-03291-3.pdf>
- Schleicher, Andreas (2016) Making Education Everybody's Business. Eröffnungsansprache auf dem Global Education & Skills Forum 14. 4. 2016; Folien <https://de.slideshare.net/OECD/edu/making-education-everybods-business> (25.10.22); Video ab Minute 30:45: <https://www.youtube.com/watch?v=YArPNqf4nQ> (04.11.2022)
- Stalder, Felix (2016) Kultur der Digitalität. Suhrkamp Verlag, Berlin 2016
- SWK (2021) Digitalisierung im Bildungssystem: Handlungsempfehlungen von der Kita bis zur Hochschule. Gutachten der Ständigen Wissenschaftlichen Kommission der Kultusministerkonferenz (SWK), [https://www.kmk.org/fileadmin/Dateien/pdf/KMK/SWK/2022/SWK-2022-Gutachten\\_Digitalisierung.pdf](https://www.kmk.org/fileadmin/Dateien/pdf/KMK/SWK/2022/SWK-2022-Gutachten_Digitalisierung.pdf) (26.10.2022)
- vbw – Vereinigung der Bayerischen Wirtschaft e.V. (Hrsg.) (2022): Bildung und Resilienz. Gutachten. Münster: Waxmann.
- Zierer, Klaus (2022) Der sokratische Eid. Eine zeitgemäße Interpretation. Münster/Wien, Waxmann
- Zierer, Klaus (2021) Zwischen Dichtung und Wahrheit: Möglichkeiten und Grenzen von digitalen Medien im Bildungssystem, in: Pädagogische Rundschau, 75. Jahrgang, S. 377-392

# Vertrauen ist gut, ist Kontrolle besser?

## Kalibriertes Vertrauen in KI-Systeme

Der Einsatz von künstlicher Intelligenz wirkt sich auf viele Bereiche, Anwendungsgebiete und Menschen aus. Ein wichtiges Thema ist dabei immer wieder die Frage des Vertrauens in KI-Systeme. Insgesamt 29 Wissenschaftler\*innen aus aller Welt haben sich in einem Seminar im renommierten Schloss Dagstuhl – einem Leibniz-Zentrum für Informatik – eine Woche lang intensiv diesem Thema gewidmet.

*The use of artificial intelligence impacts a wide range of domains, application areas, and people. But the results of algorithms still lack interpretability, comprehensibility, responsibility, accountability, and fairness - all of which are crucial factors for increasing people's trust in the systems. 29 scientists from all over the world dedicated themselves intensively to the topic of trust and trust calibration in AI in a week-long seminar at the renowned Schloss Dagstuhl - a Leibniz Centre for Computer Science. The outcome of this seminar is a better understanding of which aspects of trust need to be considered when fostering trust in AI systems.*

Künstliche Intelligenz (KI) und insbesondere Algorithmen des maschinellen Lernens (ML) gewinnen derzeit in vielen Anwendungsbereichen an Bedeutung. Jüngstes Beispiel ist das Sprachsystem ChatGPT [1], das in den Medien Furore gemacht hat und in verschiedensten Bereichen eingesetzt werden kann. Allerdings fehlt es den Ergebnissen der Algorithmen (und ihren Daten) noch weitgehend an Interpretierbarkeit, Nachvollziehbarkeit und garantierter Fairness. Zusätzlich sind Fragen hinsichtlich Verantwortlichkeit und Rechenschaftspflicht für KI-Systeme derzeit noch nicht geklärt. Allesamt entscheidende Faktoren, damit ein verantwortungsvoller Einsatz von KI möglich ist und Nutzer\*innen den Systemen vertrauen können.

Große Industrieunternehmen, darunter Google, Microsoft und Apple, sind sich dieser Lücke bewusst und haben jeweils eine Art Leitfaden für den Einsatz von KI veröffentlicht [2]. Die Europäische Union entwirft mit dem Artificial Intelligence Act (EU AI Act) derzeit eine Regulierungsrichtlinie für KI, die einige dieser Aspekte wie Rechenschaftspflicht, Transparenz oder Verhaltenskodizes für KI-Systeme umfasst [3]. Zudem existieren bereits seit 2018 „Ethik-Leitlinien für eine vertrauenswürdige KI“ der Europäischen Union [4].

Im Dagstuhl-Seminar mit dem Titel „Interactive Visualization for Fostering Trust in ML“

wurde das Thema Vertrauen in Künstliche Intelligenz mit einem Schwerpunkt auf den Einsatz von interaktiven Visualisierungstechniken im Herbst 2022 ausführlich diskutiert [5]. Organisiert wurde das Seminar von Prof. Dr. Daniela Oelke (HS Offenburg) zusammen mit Prof. Dr. Daniel A. Keim (Universität Konstanz), Prof. Dr. Alex Endert und Prof. Dr. Duen Horng Chau (beide Georgia Institute for Technology, Atlanta, USA). Neben Wissenschaftler\*innen der Informatik, darunter auch Prof. Dr. Simone Braun (HS Offenburg), waren weitere namhafte Forscher\*innen aus anderen Fachgebieten wie der Soziologie und Psychologie vertreten. Dadurch wurde es möglich, das Thema „Vertrauen in KI“ ganzheitlich zu betrachten. Denn Vertrauen hängt nicht nur von technischen Aspekten, sondern auch von vielen weiteren Faktoren ab.

Vier Grundsatzreferate von Expert\*innen aus den Bereichen Kognitionspsychologie, Soziologie, KI und Visualisierung gaben den Anstoß für die Diskussionsthemen, die anschließend in kleineren Gruppen erörtert und im weiteren Verlauf vertiefend erarbeitet wurden. So identifizierte man die Einflussfaktoren auf die organisatorischen, soziologischen sowie psychologischen Aspekte von KI und unterteilten sie in beziehungs-basierte und evidenzbasierte Aspekte. Anschließend wurden Messgrößen gesammelt, die zur Annäherung an diese Aspekte verwendet werden können.



Daniela Oelke  
Prof. Dr. rer. nat.

Fakultät EMI, Studiendekanin AKI  
Machine Learning, Natural  
Language Processing, Visual  
Analytics, Erklärbare KI



Simone Braun  
Prof. Dr. rer. pol.

Fakultät W  
Gleichstellungsbeauftragte,  
Leitung Multi-Channel-  
Management, Angewandte  
KI, Digitalisierung,  
E-Commerce

Auch diskutierte man Mechanismen zur Kalibrierung von Vertrauen und deren möglicher Missbrauch. Schließlich wurde die Rolle von Visualisierungen bei der Steigerung des Vertrauens in KI-Systeme betrachtet. Dazu gehören Fragen wie: Welche Mechanismen gibt es, um KI-Systeme vertrauenswürdig zu machen? Wie können interaktive Visualisierungen beitragen? Unter welchen Umständen sind interaktive Visualisierungen der entscheidende Faktor, um verantwortungsvolle KI zu ermöglichen? Und welche Forschungsherausforderungen müssen noch gelöst werden, um dieses Potenzial in realen Anwendungen zu nutzen?

Schlaglichter aus dem Seminar:

- *Beziehungs- vs. evidenzbasiertes Vertrauen*  
In technischen Kreisen wird die Frage, ob einem KI-System vertraut werden kann, häufig nur in Bezug auf evidenzbasierte Faktoren diskutiert, das meint auf faktischen Informationen beruhend wie Statistiken über vergangene Leistungen oder Grenzen der Unsicherheit, die direkt analysiert werden können. Es wird dann darauf hingewiesen, dass mangelnde Interpretierbarkeit der Machine Learning-Modelle ein Hinderungsgrund für Vertrauen ist, aber auch, dass eine ausreichend hohe Qualität und Verlässlichkeit der Ergebnisse vorhanden sein muss. Im Seminar war den Teilnehmenden der Aspekt wichtig, dass Vertrauen bei Menschen häufig an Beziehungen gekoppelt ist. Wir vertrauen den Laborergebnissen der Blutuntersuchung nach einem Arztbesuch nicht in erster Linie, weil das Labor zertifiziert ist oder wir deren Arbeitsweise nachvollziehen können, sondern weil wir den Ärzt\*innen vertrauen, die uns die Ergebnisse der Blutuntersuchung vermitteln. Ähnlich sollte auch bei KI-Systemen davon ausgegangen werden, dass der Ruf eines Systems oder die Einstellung von Menschen unseres Vertrauens dazu von entscheidender Bedeutung sind. Beide Faktoren – evidenzbasiertes wie beziehungs-basiertes Vertrauen – müssen letztlich berücksichtigt werden.
- *Kalibriertes Vertrauen*  
Beim Maschinellen Lernen, das den meisten KI-Systemen zugrunde liegt, werden automatisiert Muster aus Trainingsdaten gelernt. Selbst wenn der Prozess sorgfältig und mit hoher Expertise durchgeführt wird, stehen am Ende Systeme, die nicht in allen erdenklichen Situationen ein perfektes Ergebnis liefern. Insofern kann es auch nicht das Ziel sein, dass Menschen KI-Systemen blind ver-

trauen. Stattdessen ist es wichtig, Menschen zu befähigen, ihr Vertrauen zu kalibrieren, das heißt korrekt einzuschätzen, wann dem System vertraut werden kann und wann die menschliche Kontrolle sowie ein Eingriff in die Prozesse erforderlich sind.

- *Rolle der interaktiven Visualisierung*  
Der zuvor genannte Punkt macht deutlich, dass es Menschen in vielen Bereichen möglich sein muss, Einblick in die Arbeitsweise eines KI-Systems zu nehmen oder sogar Eingriffe in die damit gesteuerten Prozesse nehmen zu können. Dies erfordert KI-Systeme, die diese Einblicke grundsätzlich ermöglichen. Von entscheidender Bedeutung ist aber auch eine geeignete Schnittstelle, die die Verbindung zwischen KI-System und Mensch herstellt. Hier kommt nun die interaktive Visualisierung ins Spiel, die es ermöglicht, Ergebnisse eines KI-Systems so aufzubereiten, dass sie schnell und effektiv von Menschen aufgenommen werden können. Ziel des Seminars war daher auch die Erarbeitung von Gestaltungsrichtlinien und Best Practices für den Aufbau interaktiver Visualisierungssysteme, die die Kalibrierung des Vertrauens in ein KI-System unterstützen können.
- *Manipulation von Vertrauen*  
Leider kann Vertrauen auch manipuliert werden. Gerade die neueren KI-Systeme mit ihren beeindruckenden Fähigkeiten, wie beispielsweise Sprachmodelle wie ChatGPT, schaffen auch neue Möglichkeiten des Missbrauchs. Einem gut formulierten Text wird tendenziell mehr Vertrauen geschenkt und er wird eher ungeprüft übernommen als ein Text in fehlerhaftem Deutsch. Auch über eine entsprechende Wahl von Daten für das Modelltraining, die Art, wie die Ergebnisse den Nutzer\*innen präsentiert werden oder durch Andeutungen, die sozialen Druck aufbauen, kann Vertrauen manipuliert werden. Hierzu wurde ein erstes Framework dieser Aspekte aufgestellt, um deren Bearbeitung in weiteren Forschungsprojekten zu ermöglichen.

Das Ergebnis dieses Seminars ist ein besseres Verständnis dafür, welche Aspekte bei der Förderung des Vertrauens in KI-Systeme berücksichtigt werden müssen und wie interaktive Visualisierungen dazu beitragen können, das Vertrauen in Systeme der künstlichen Intelligenz zu fördern. Darauf aufbauend sollen die verschiedenen Themen nun in innovativen Forschungsprojekten vertieft und weiter erarbeitet werden.

Referenzen/References:

- [1] OpenAI (2022). ChatGPT: Optimizing Language Models for Dialogue. <https://openai.com/blog/chatgpt/>
- [2] Jobin, A., Ienca, M. & Vayena, E. The global landscape of AI ethics guidelines (2019). *Nature Machine Intelligence* 1, 389–399, <https://doi.org/10.1038/s42256-019-0088-2>
- [3] European Commission. A European approach to artificial intelligence. <https://digital-strategy.ec.europa.eu/en/policies/european-approach-artificial-intelligence>, Letzte Aktualisierung 26.01.2023
- [4] High-Level Expert Group on Artificial Intelligence. (2019) Ethics guidelines for trustworthy AI. European Commission, <https://digital-strategy.ec.europa.eu/en/library/ethics-guidelines-trustworthy-ai>
- [5] Dagstuhl-Seminar 22351. Interactive Visualization for Fostering Trust in ML, 28.08.–02.09.2022, <https://www.dagstuhl.de/22351>



# DEIN KARRIERESTART: POWER ON

Power is our Passion. Als einer der führenden Hersteller von Stromversorgungen kombinieren wir High-Tech mit Leidenschaft, um Applikationen weltweit mit Energie zu versorgen – und Dich bringen wir vom Start weg Schritt für Schritt an Dein Karriereziel.

**JETZT  
BEWERBEN**

Praxissemester  
Abschlussarbeit  
Nebenjob



[www.emea.lambda.tdk.com/de](http://www.emea.lambda.tdk.com/de)

**TDK·Lambda**

TDK-Lambda Germany GmbH · Karl-Bold-Str. 40 · 77855 Achern · [tlg.bewerbungen@tdk.com](mailto:tlg.bewerbungen@tdk.com)

Follow us   

# Puppeteering AI

## Künstliche Intelligenz und Tanz



Daniel Fetzner  
Prof. Dipl.-Ing.

Fakultät M  
Labor für Medienökologie,  
Künstlerische Forschung

Das Forschungsprojekt Puppeteering AI arbeitet mit Sonifizierungen und Visualisierungen der Bewegungen von Tänzer\*innen in Echtzeit mit Verfahren der künstlichen Intelligenz und des maschinellen Lernens. Eine Kooperation des Labors für Medienökologie der Hochschule Offenburg mit der Züricher Hochschule der Künste sowie dem Theater Freiburg.

*The research project Puppeteering AI works with sonifications and visualisations of dancers' movements in real time using artificial intelligence and machine learning methods. A cooperation of the Laboratory for Media Ecology at Offenburg University with the Zurich University of the Arts and the Freiburg Theater.*

### Forschungskontext und Vorarbeiten

Wir haben wiederholt zu medialen Körpern in faktischen und fiktiven Kontexten gearbeitet (Fetzner/Dornberg 2015, 2017c, 2020a,d). Seit 2007 auch zunehmend mit professionellen Tänzern in realen, virtuellen und interaktiven Umgebungen (Fetzner 2007). Ziel war es, über diese medienökologischen Beobachtungen zur Zwischenleiblichkeit einen Beitrag zur Phänomenologie des Körpers im Zeitalter der Postmedialität leisten (Fetzner 2010).

In dem Forschungsvorhaben Action Patterns ging es 2008 in Zusammenarbeit mit dem Institut für Bildmedien am ZKM Karlsruhe um die Idee, eine Art kinästhetische Mustersprache nach dem Vorbild von Christopher Alexander (1977) zu entwickeln. Das Vorhaben war auf der Suche nach einer medialen Körpergrammatik für computergestützte Umgebungen. Der phänomenologische Ansatz wollte die Konzepte der Embodied Interaction (Noë 2005) sowie der Active Perception (Dourish 2001) neu ins Verhältnis setzen. Leider kam es damals nicht zur Förderung.

Das hier vorgestellte Transferprojekt Puppeteering AI (2022)<sup>1</sup> in Kooperation mit dem Theater Freiburg und der Züricher Hochschule der Künste knüpft konkret an die weitere Vorarbeit Avatartanz (2017)<sup>2</sup> an. Mit dem Tänzer Graham Smith verbindet uns dabei eine ganz besondere Verbindung radikaler Experimente bis hin zur Selbstverletzung auf situationistischen Streifzügen (PEAU/PLI, 2012)<sup>3</sup>.

### Motivation

In allen Settings unserer Forschung geht es um die reflexive Selbsterkundung der eigenen Körperlichkeit. Puppeteering AI erweitert unsere Erkundungen auf eine audiovisuelle Umgebung, die nunmehr über eine künstliche Intelligenz (KI) gesteuert wird. Das Ziel ist die Erstellung eines autarken Systems zur Erzeugung von Klang und Bild unter Einsatz eines Deep Learning Modells. Bei dem Vorgängerprojekt Granular Dance wurden noch von dem Modell gelernte Tanzbewegungen ineinander überblendet und animiert. Puppeteering AI wurde in zwei Versionen um die Möglichkeit der Interaktion und um ein digitales Instrument erweitert.

Die Autoren forschen an KI- und Deep Learning-Methoden in einem kreativen Kontext und untersuchen die Technik in choreografischen Settings. Hierzu zählt die direkte tänzerische Auseinandersetzung mit dem Bewegungsrepertoire einer digitalen Tanzpuppe und deren Einsatz im Kontext einer festgelegten Tanz-Choreografie in Form einer Videoprojektion. Hierfür wurden unterschiedliche Strategien gewählt, die im folgenden Text genauer ausgeführt sind.

### Granular Dance, Puppeteering AI

Für die Entwicklung einer digitalen Tanzpuppe, die über ein Bewegungsrepertoire verfügt, wurde ein auf Deep-Learning basiertes maschinelles Lernmodell namens „Granular Dance“ entwickelt (Bisig 2021). Dieses Mo-



Daniel Bisig  
Dr.

Fakultät M, Zürcher Hochschule der Künste, Labor für Medienökologie, Generative Kunst, Künstliche Intelligenz, Computer Musik, Zeitgenössischer Tanz



Ephraim Wegner  
Prof. Dipl. KHM Köln

Fakultät M, Hochschule Macromedia, Labor für Medienökologie, Generative Kunst, Künstliche Intelligenz, Computer Musik, Zeitgenössischer Tanz

dell ist in der Lage, kurze Tanzbewegungen zu analysieren und in verschiedenen Variationen zu resynthetisieren. Granular Dance ist als generatives Werkzeug für ChoreographInnen konzipiert. Dieses Werkzeug ermöglicht, bestehendes Bewegungsmaterial als Ausgangspunkt für das Explorieren und Entdecken von überraschenden und neuartigen Tanzbewegungen zu verwenden.

Puppenteering AI baut auf Granular Dance auf und ermöglicht es, durch einen am Körper getragenen Sensor in Echtzeit die synthetisch generierten Tanzbewegungen zu beeinflussen (Bisig/Wegner 2021, 2022). In dieser Anpassung spielt das Modell die Rolle einer Tanzpuppe, mit der mittels gestischer Interaktion gespielt werden kann. Entsprechend erweitert sich die Zielgruppe auf TänzerInnen, die mit „Puppenteering AI“ als Partner experimentieren möchten.

Granular Dance verwendet als Architektur für das maschinelle Lernmodell einen sogenannten Adversarial Autoencoder. Dieses Modell besteht aus zwei Komponenten: einem Encoder, der die Eingangsdaten in eine kodierte Form übersetzt und einem Decoder, der anhand dieser kodierten Form Ausgangsdaten erzeugt. Ein beliebiger kreativer Verwendungszweck von Autoencodern besteht in der Dekodierung von frei gewählten Kodierungen. Granular Dance kodiert und dekodiert kurze Bewegungssequenzen. Zusätzlich besitzt es die Fähigkeit, mehrere dekodierte Bewegungssequenzen zu einem längeren Verlauf zu synthetisieren. Dabei bedient es sich Verfahren, die von Methoden in der Computermusik inspiriert sind, namentlich der Granularsynthese (Roads 2004) und der Konkatenativen Synthese (Schwarz 2000).

### Interaktion

Puppenteering AI bietet eine Form der Interaktion, die von klassischen Marionetten inspiriert ist. Die MarionettenspielerIn kann lediglich direkten Einfluss auf einzelne Gelenke der Marionette ausüben, während die restlichen Gelenke den Gesetzen der klassischen Mechanik folgen. Puppenteering AI ermöglicht es, einzelne Gelenke einer Tanzpuppe direkt zu steuern, während die restlichen Gelenke unter der Kontrolle von Granular Dance verbleiben. Das Zusammenspiel von Interaktion und Autoencoder kann dabei auf zwei unterschiedliche Weisen erfolgen:

In einer ersten Variante wird die Rotation einer oder mehrerer Gelenke der Tanzpuppe interaktiv beeinflusst, während die Rotationen der restlichen Gelenke durch wiederholtes Kodieren und Dekodieren festgelegt werden. Durch die iterative Verwendung des Autoencoders werden die synthetisch erzeugten Bewegungen dahingehend angepasst, dass sie immer stärker einer originalen Bewegungssequenz gleichen, in der die interaktiv gesteuerten Gelenkrotationen mit einer gewissen Ähnlichkeit in Erscheinung treten.

In einer zweiten Variante wird die Zielposition eines oder mehrerer Extremitäten der Tanzpuppe (siehe Abbildung 1) interaktiv beeinflusst, während die Positionen der restlichen Gelenke durch Vektorarithmetik der Kodierungen berechnet werden. Durch diese Arithmetik verändert sich die Bewegung der Tanzpuppe dahingehend, dass sich die interaktiv gesteuerten Extremitäten in Richtung Zielposition bewegen, während die restlichen Extremitäten sich in ihren Positionen einer ursprünglichen Bewegungsaufnahme angleichen, die mit diesen Zielpositionen bis zu einem gewissen Grad vereinbar ist.

**Abb. 1:** Die Tanzpuppe umgeben von Zielpositionen verteilt auf der Oberfläche einer Kugel. Diese Positionen entsprechen den Modi der modalen Klangsynthese.



### Sensorik

Für die interaktive Steuerung kommt ein Sensor zum Einsatz, der seine absolute Orientierung im Raum erfassen kann. Dieser Sensor kann an einer beliebigen Stelle am Körper getragen werden und überträgt seine Messwerte drahtlos an Puppenteering AI. In den bisherigen Aufführungen wurde ein Sensor pro TänzerIn verwendet. Entsprechend steuert dieser Sensor lediglich ein einziges Gelenk der Tanzpuppe.

Die Übertragung der Sensordaten auf das Gelenk der Tanzpuppe hängt von der jeweiligen Interaktionsvariante ab. In der ersten Variante wird für die Steuerung der Gelenkrotation die Orientierung des Sensors direkt auf die Rotation des Gelenks übertragen. In der zweiten Variante wird für die Steuerung der Gelenkposition die Orientierung des Sensors auf eine diskrete Position auf der Oberfläche einer virtuellen Kugel übertragen, die die Tanzpuppe umgibt. Dieser Punkt wird als Zielpunkt für die Position des interaktiv gesteuerten Gelenks verwendet.

## Sonifizierung

Die Entwicklung des Klangerzeugers kann in mehreren Phasen beschrieben werden. Hierzu zählen Ansätze, die über mehrere Jahre hinweg unter anderem in Kooperationen mit dem Improvisationsmusiker Harald Kimmig entwickelt wurden. Auch in unserem Forschungszyklus DE\GLOBALIZE kam der Klangerzeuger wiederholt zum Einsatz.

Der in Strings (Bisig/Wegner) oder später in StringsP (Bisig/Wegner/Kimmig) beschriebene Ansatz, ein Masse-Feder-Dämpfer-System nach Josep M. Comajuncosas (1998)<sup>4</sup> zu implementieren, stellte sich als ungeeignet dar. Bei Versuchen, Parameter des Modells durch einen Spieler auf intuitive Weise zu verändern, führten schnelle Parameteränderungen oder ungünstige Verhältnismäßigkeiten der Parameter häufig zu Werten, die akustisch nicht dargestellt werden konnten. Zudem wird die Berechnung komplexer Verschaltungen, wie mehrere sich gegenseitig anregende Saiten oder gar die Simulation eines schwingenden Objekts, schnell unverhältnismäßig rechenaufwendig.

Die physikalische Modellierung von Klängen (anhand der Geometrie und Materialeigenschaften eines Objekts) ist auch mit Modaler Synthese (Morrison/Adrien 1993) umsetzbar. Bei diesem Verfahren werden miteinander verschaltete Modi angeregt und deren Schwingverhalten dazu verwendet, Klänge zu generieren. Jeder Modus verfügt über eine akustisch anregbare, exponentiell zerfallende Sinuswelle mit den drei Parametern Frequenz, Amplitude und Zerfallszeit. Mit dieser Technik können schnelle Parameteränderungen und komplexe Verschaltungen mit geringeren Rechenaufwand realisiert werden.

Der Klangerzeuger ist bidirektional implementiert und folgt der Geometrie einer schwingenden Kugel, auf der vertikal und ho-

orizontal vernetzte Modi aufgespannt sind. Die Geometrie einer Kugel ist auf die Anatomie eines Menschen und deren Bewegungsradius abgestimmt und bezieht sich auf das Konzept der Kinessphäre von Rudolf Laban (Christian 2021). Die Zielpunkte entsprechen den bereits beschriebenen Modi. Bei Berührung durch die Tanzpuppe werden diese impulshaft oder anderweitig angeregt und das Objekt von dort aus in Schwingung versetzt.

## Visualisierung

Für die Gestaltung des visuellen Erscheinungsbilds der Tanzpuppe wurde Ray Marching (Tomczak 2012) als grafisches Verfahren verwendet. Ray Marching basiert auf dem Prinzip eines Strahls, der ausgehend von jedem Pixel des zu produzierenden Bildes einen Raum nach Kollisionen mit geometrischen Objekten abtastet. Diese Objekte werden mathematisch als Funktionen beschrieben, die die Distanz zwischen einem Punkt im Raum und der Oberfläche des Objekts berechnen. Das Verfahren ist rechnerisch aufwendig, bietet aber den Vorteil, dass sich Objekte einfach deformieren und nahtlos zu Oberflächen zusammenfügen lassen. Damit bietet dieses Verfahren vielseitige gestalterische Möglichkeiten, um die Tanzpuppe in ihrer visuellen Erscheinung fließend zwischen humanoiden, amorphen und platonischen Formen variieren zu können. Die Visualisierung vermittelt so den Status der Tanzpuppe als eine Entität, die mathematisch-statistische und natürlich-menschenähnliche Eigenschaften in sich vereint.

## Verwendung der Technik in unterschiedlichen Aufführungssituationen

Als Vorstudie diente das Projekt Artificial Intimacy, in dem sich die Freiburger Tänzerin Emi Miyoshi mit ihrem künstlichen Gegenüber und ihrem eigenen choreografischen Ansatz auseinandersetzt. Diese Auseinandersetzung ermöglichte technische und ästhetische Weiterentwicklungen, die in das zuvor existierende Tanzstück Skin einfließen und zur Performance Skin Diving führten (siehe Abbildung 2). Die Projektion war den Bewegungen der Tänzer untergeordnet. Die musikalische Komponente folgt bei Skin Diving einem zuvor festgelegten Regelwerk im Sinne einer improvisatorischen Komposition. Der Fokus dieser Anwendungsform zeigt, dass die Visualisierung von Puppeteering AI auch ohne konkrete Auseinandersetzung mit dem technischen Gegenüber funktioniert. Das Interesse der Autoren besteht



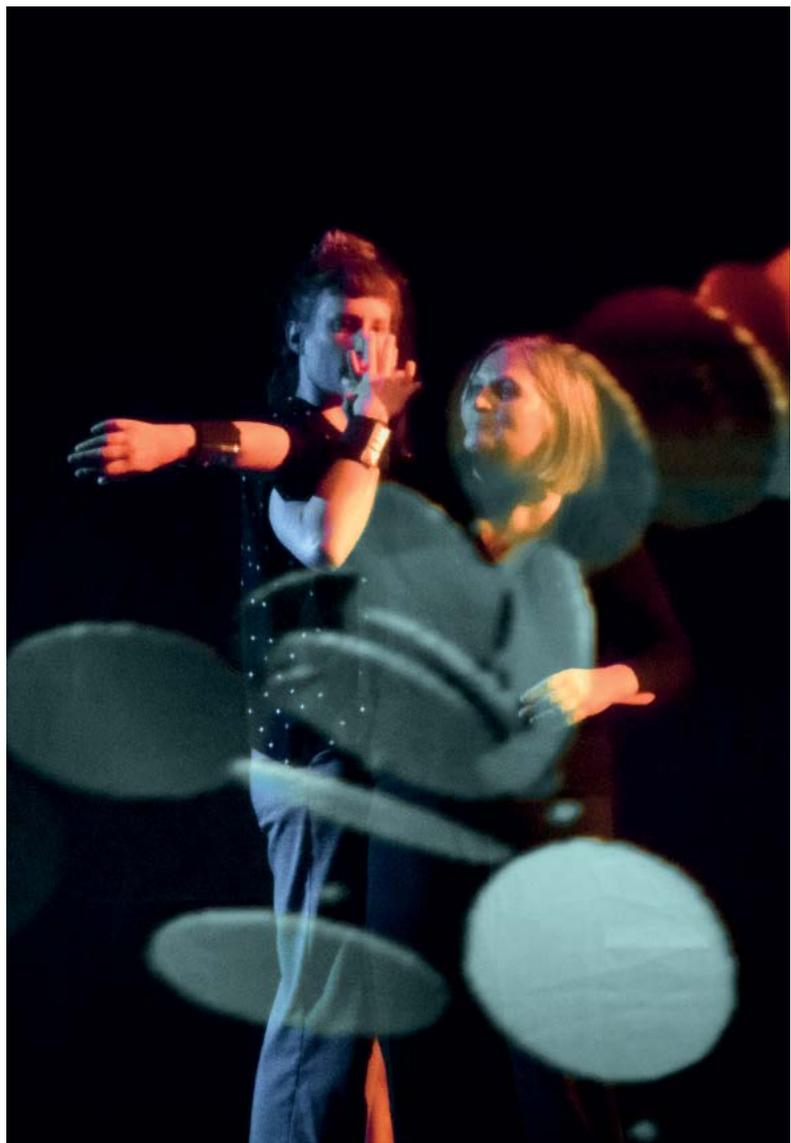
Abb. 2 links:  
Standbild aus der Auf-  
führung „Skin Diving“  
Abb. 3 unten:  
Standbild aus der  
Aufführung „Parzival  
Game On“

auch darin, weitere Erkenntnisse im Zuge der unmittelbaren Interaktion einer einzelnen Person mit dem technischen Gegenüber zu gewinnen und entsprechende Anpassungen vorzunehmen.

Durch die Zusammenarbeit mit dem Tänzer und Choreografen Graham Smith am Theater Freiburg konnten über 100 Akteur\*innen durch das bestehende System geführt werden. Durch unterschiedliche Bezugnahmen über ein festgelegtes Narrativ und dem Setting aus zwei SpielerInnen, zwei Tanzpuppen sowie zwei Klangerzeugern war es BesucherInnen möglich, auf spielerische Art und Weise mit dem technischen und menschlichen Gegenüber zu interagieren (siehe Abbildung 3). Dies hatte vielfältige Positionierungen zur Folge, die sich als Ausgangspunkt für weitere Arbeiten anbieten. In unserer Forschung geht es nicht um die vertiefte Auseinandersetzung einer einzelnen Person, sondern um das Erkunden der vielfältigen Möglichkeiten, die sich für unterschiedliche Anwendungsgruppen ergeben.

### Danksagung

Diese Forschung wurde im Rahmen einer Marie Curie Fellowship (H2020-MSCA-IF-2018 - Grant agreement no: 840465) und des Nationalen Performance Netzwerks - Stepping Out (gef. v. d. Beauftragten d. Bundesregierung f. Kultur & Medien im Rahmen d. Initiative NEU-START KULTUR. Hilfsprogramm Tanz.) durchgeführt.





#### Referenzen/References:

1. Dokumentation unter <https://vimeo.com/804610406>
2. <https://vimeo.com/198213407> 3.
3. <http://pp.metaspaces.de>
4. <http://www.csounds.com/jmc/Articles/Pm/PhM.html>

Alexander, C. (1977): A Pattern Language. New York

Bisig, D. (2021). Granular Dance. In Proceedings of the 9th Conference on Computation, Communication, Aesthetics & XAt, pp. 176–195

Bisig, D./Wegner, E. (2021). Puppeteering an AI-Interactive Control of a Machine-Learning based Artificial Dancer. In Proceedings of the 13th Conference on Generative Art, pp. 315-332

Bisig, D./Wegner, E. Wegner. (2022). Puppeteering AI-Interactive Control of an Artificial Dancer. In Proceedings of the Generative AI and HCI-CHI 2022 Workshop

Christian, M.I. (2021). The “Kinesphere” and the Body’s Other Spatial Envelopes in Rudolf Laban’s Theory of Dance. In Objects in Air, pp. 110-142

Dourish, P. (2001): Where the Action is. The Foundations of Embodied Interaction. MIT Press Cambridge

Dornberg, M./Fetzner, D. (2020a). Medial Bodies. Forays into Artistic and Philosophical-Anthropological Research. In Butnaru, D. (Ed.). Medial Bodies between Fiction and Faction. Reinventing Corporeality, Transcript, pp. 221-244

Dornberg, M./Fetzner, D. (2017c). Experimentelle Taktilität: Zur künstlerischen Erforschung von Zwischenkörpern. In Harrasser, K. (Ed.). Auf Tuchfühlung. Campus, pp. 39-63

Fetzner, D./Dornberg, M. (2020d). Flüchtige Resonanzen. In Meyer, P. M. (Ed.). Ephemere. Fink, pp. 447-469

Fetzner, D./Dornberg, M. (Eds.) (2015a). Intercorporeal Splits. Künstlerische Forschung zur Medialität von Stimme, Haut, Rhythmus. OpenHouse [https://www.academia.edu/10701022/INTERCORPOREAL\\_SPLITS\\_Ku\\_nstlerische\\_Forschung\\_zur\\_Medialita\\_t\\_von\\_Stimme\\_Haut\\_und\\_Rhythmus](https://www.academia.edu/10701022/INTERCORPOREAL_SPLITS_Ku_nstlerische_Forschung_zur_Medialita_t_von_Stimme_Haut_und_Rhythmus)

Fetzner, D./Dornberg, M./Smith, G. (2015b). Drei Skype-Performances. In Bäcker, M. & Schütte, M. (Eds.). Tanz, Raum Urbanität. Henschel, pp. 209-222

Fetzner, D. (2010). Max Bense als Vordenker des Postmedialen. In Selke, S. & Dittler, U. (Eds.). Postmediale Wirklichkeiten. Heise Verlag, pp. 223-238

[https://www.academia.edu/5708945/Max\\_Bense\\_als\\_Vordenker\\_des\\_Postmedialen](https://www.academia.edu/5708945/Max_Bense_als_Vordenker_des_Postmedialen)

Fetzner, D./Selke, S. (2007). Bild, Raum, Interaktion.

Hochschulpublikation HS Furtwangen [https://www.academia.edu/5708853/Bild\\_Raum\\_Interaktion\\_Angewandte\\_empirische\\_Wirkungsforschung\\_Ergebnisse\\_interdisziplin\\_rer\\_Zusammenarbeit](https://www.academia.edu/5708853/Bild_Raum_Interaktion_Angewandte_empirische_Wirkungsforschung_Ergebnisse_interdisziplin_rer_Zusammenarbeit)

Morrison, J.D./Adrien J.M. (1993). Mosaic: A framework for modal synthesis. Computer Music Journal 17, 1, pp 45–56.

Noë, A. (2005): Action in Perception. MIT Press Cambridge.

Roads, C. (2004). Microsound. MIT press.

Schwarz, D. (2000). A system for data-driven concatenative sound synthesis. In Digital Audio Effects (DAFx), pp. 97-102.

Tomczak, L.J. (2012). GPU ray marching of distance fields. Technical University of Denmark.

## WIR BETREUEN STUDENTEN IN DEN BEREICHEN

- Automotive Testing Equipment
- Sensorik für Baumaschinen & Tunnelling
- Neigungs-, Kreisel-, Laser-Messtechnik
- Industrielle Bildverarbeitung

Wir verstehen uns nicht nur als Entwickler und Hersteller, sondern vorrangig als Partner ambitionierter Ingenieur:innen. Das gilt für Kunden und unsere Mitarbeiter :)

**GeneSys Elektronik GmbH**  
Tel.: +49 (0) 781 96 92 79 - 0  
[www.genesys-offenburg.de](http://www.genesys-offenburg.de)



Sensor Systems, Service & Smiles



**Interesse uns  
kennen zu lernen?**

Dann freuen wir  
uns über eine Email:

[jobs@genesys-offenburg.de](mailto:jobs@genesys-offenburg.de)

# Einsatz von chatGPT zur Unterstützung des Datenbanklabors

Im Labor Datenbanksysteme müssen Studentinnen und Studenten Datenbankabfragen (SQL-Abfragen) erstellen und Java Programme für Datenbankabfragen schreiben. Es wurde getestet, inwieweit das KI Tool chatGPT hierbei die Lernenden unterstützen kann. Dabei hat sich herausgestellt, dass das Tool bei einfachen, standardisierten Datenbankabfragen und auch bei der Fehlersuche eine nützliche Ergänzung sein kann.

*In the Database Systems lab, students have to create database queries (SQL queries) and write Java programs for database queries. It was tested to what extent the AI tool chatGPT can support the learners executing these tasks. It has been found that the tool can be a useful addition for simple, standardized database queries and also for debugging.*



Hartwig Grabowski  
Prof. Dr.-Ing.

Fakultät EMI, Institut IMLA  
Mobile Computing, Enterprise  
Applications

## Motivation

Am Labor Datenbanksysteme 1 nehmen jedes Jahr etwa 100 Studenten teil, so dass selbst bei Aufteilung des Labors auf mehrere Termine eine sofortige individuelle Betreuung durch den Dozenten schwierig ist - der Fragende muss oftmals warten, bis der Dozent verfügbar ist. Daher stellt sich die Frage, ob ein intelligenter Bot wie chatGPT [1] hier unterstützen kann.

## Einsatz im Bereich Datenbanksysteme

Die Funktionsweise von chatGPT basiert - stark vereinfacht gesagt - darauf, dass eine Eingabe mit einem vorher eingelernten Text assoziiert wird, der dann als Antwort ausgegeben wird. Im Labor Datenbanksysteme 1 werden die Grundlagen der Datenbankanwendungen gelehrt, insbesondere werden häufig auftretende Fragestellungen und die dazu standardisierten Lösungsansätze betrachtet. Daher gibt es viele Quellen (GitHub, Datenbank-Tutorials etc.), die genau diese Lösungen beschreiben, sodass ChatGPT eine große Datenbasis zum Erlernen der Frage-Antwort-Assoziationen zur Verfügung steht.

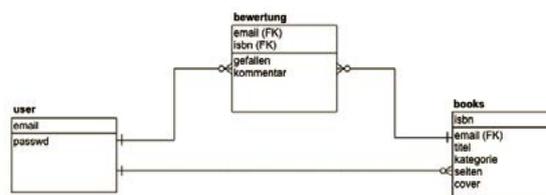
## Anfragekontext

Um zielgerichtet für eine konkrete Labor-Aufgabe eine Antwort auf eine Frage oder eine Hilfestellung zu einem Fehler zu bekommen, ist es wichtig chatGPT die Aufgabenstellung

so zu „erklären“, damit passende Antworttexte mit der Aufgabenstellung assoziiert werden können. Das lässt sich im Bereich der Datenbanksysteme durchführen, in dem das relationale Datenbankschema als Eingabe verwendet wird, da es den Anwendungskontext oftmals schon hinreichend gut beschreibt. Dies soll nun anhand einiger Beispiele demonstriert werden.

## SQL-Abfragen

In einer Labor-Aufgabe wird folgendes DB-Schema vorgegeben:



Die Aufgabe besteht nun darin, eine SQL-Abfrage für folgende Frage zu erstellen: „Bestimmen Sie die Anzahl der eingetragenen Bücher“.

Um hierfür chatGPT zu nutzen, wird in der ersten Eingabe das komplette Datenbankschema eingetragen: „Sprich bitte Deutsch mit mir. Create Table user ( ...); Create Table books(); ... „. (Der erste Satz ist notwendig, um auf Deutsch „umzuschalten“). In der nächsten Anfrage kann nun die Frage gestellt werden: „Bestimme die Anzahl der eingetragenen Bücher“. Die chatGPT-Antwort:

Abb. 1:

Durch das aus dem ER-Modell erzeugte relationale Datenbankschema kann der Anwendungskontext für chatGPT hinreichend genau abgeleitet werden

„Um die Anzahl der eingetragenen Bücher in der Tabelle „books“ zu bestimmen, könnte eine SQL-Abfrage wie folgt aussehen: `SELECT COUNT(*) FROM books`. Diese Abfrage gibt die Gesamtzahl der Zeilen in der Tabelle „books“ zurück, was auch die Anzahl der eingetragenen Bücher entspricht.“ Die Antwort ist korrekt und zeigt, dass der von uns eingegebene Anwendungskontext zielführend ist.

In der nächsten Aufgabe sollen alle Kommentare zum Buch mit dem Titel „Einstieg in Python“ bestimmt werden. Ein häufiger Anfängerfehler ist, die korrekte Verknüpfung (Join) der beiden Tabellen `bewertung` und `books` über das gemeinsame Attribut `isbn` (Fremdschlüssel) wegzulassen und so das kartesische Produkt von `bewertung` und `books` zu berechnen, das zu viele Ergebniszeilen liefert. Der Lernende kann nun seine fehlerhafte Anfrage in chatGPT einfügen und fragen: „Ich möchte alle Kommentare zum Buch mit dem Titel „Einstieg in Python“ erhalten. Warum liefert mir die Abfrage `select kommentar from bewertung, books where books.title = ‚Einstieg in Python‘`; zu viele Ergebnisse?“

chatGPT liefert folgende Antwort, die dem Lernenden eine korrekte Hilfestellung gibt:

Die Abfrage `select kommentar from bewertung, books where books.title = 'Einstieg in Python'` führt eine implizite Kreuzprodukt-Operation zwischen den Tabellen `bewertung` und `books` aus, da keine explizite Verknüpfungsbedingung zwischen den beiden Tabellen definiert wurde. Dadurch wird jede Bewertung für jedes Buch in der Tabelle `bewertung` mit dem Titel `Einstieg in Python` kombiniert, was zu mehreren Zeilen führen kann, die denselben Kommentar enthalten.

Um nur die Kommentare für das Buch mit dem Titel `Einstieg in Python` zu erhalten, sollten Sie eine explizite Verknüpfungsbedingung zwischen den Tabellen `bewertung` und `books` hinzufügen. Eine Möglichkeit besteht darin, eine `JOIN`-Klausel zu verwenden, um die beiden Tabellen auf der gemeinsamen Spalte `isbn` zu verknüpfen:

```
vbnet Copy code
SELECT bewertung.kommentar
FROM bewertung
JOIN books ON bewertung.isbn = books.isbn
WHERE books.title = 'Einstieg in Python';
```

Abb. 2: Auszug aus der Antwort von chatGPT: Sowohl Erklärung als auch Beispiel-Quellcode sollten dem Lernenden weiterhelfen.

## Java-Programme

Ein häufiger Anfängerfehler bei der Erstellung von Java-Programmen ist, das Semikolon am Ende einer SQL-Abfrage (`„Select * from User;“`) mit in den Java-Abfrage-String zu übernehmen, was zur Fehlermeldung führt: `„SQLException: ORA-00911: invalid character“`. Diese ist leider nicht aussagekräftig genug, so dass der Anfänger ratlos beim Programmieren stecken bleibt. Fügt er seine Java-Methode aber in chatGPT ein und stellt noch die Frage: `„Warum erhalte ich die Fehlermeldung: SQLException: ORA-00911?“`, so erhält er folgende Antwort:

„chatGPT: Die Fehlermeldung `ORA-00911` bedeutet, dass ein ungültiges Zeichen verwendet wurde in der SQL-Anweisung. Möglicherweise ist es ein Semikolon am Ende der SQL-Abfrage, das nicht erwartet wird. Überprüfen Sie die Syntax Ihrer SQL-Anweisung und stellen Sie sicher, dass alle Anführungszeichen und Sonderzeichen korrekt gesetzt sind.“

## Fazit

Bei komplexeren Abfragen kann es vorkommen, dass die von chatGPT aufgezeigte Lösung falsch ist. Der Studierende kann sich also nicht auf die Korrektheit der Lösung verlassen, sondern muss diese nachvollziehen können, um zu beurteilen, ob er sie für die Folgeaufgabe übernehmen kann. Insbesondere bei der Erstellung von größeren Programmen können die einzelnen Lösungsfragmente ohne Verständnis nicht zu einem Großen und Ganzen verknüpft werden. Umgekehrt kann chatGPT bei standardisierten Aufgaben und einfachen Fehlern einen guten Denkanstoß geben und so den Studierenden auf dem Weg zur Lösung unterstützen.

Um das Potenzial von chatGPT dem Studierenden effizient zugänglich zu machen, muss der jeweilige Anwendungskontext wie oben beschrieben vom Dozenten bereitgestellt und die Laboraufgaben entsprechend angepasst werden.

Referenzen/References:  
[1] OpenAI (2022). <https://chat.openai.com/>, Accessed 1. 12. 2022

# Heimat ist dort, wo die coolen Jobs sind.

Wir brauchen Verstärkung am  
kältesten Punkt der Ortenau!

Ob Schwarzwaldmädel  
oder badischer Pfundskerl  
– bei uns in der Tangofabrik  
warten interessante  
Aufgaben auf Dich.

**JETZT  
BEWERBEN!**

Mehr Informationen unter:  
[www.huber-online.com/karriere](http://www.huber-online.com/karriere)

Inspired by  
**temperature**



**huber**

[www.huber-online.com](http://www.huber-online.com)



# KMU: Digitalisierungshürden

## Erkenntnisse des DIGIHUB Südbaden



Thomas Seifert  
Prof. Dr.-Ing.

Fakultät M+V, Prorektor  
Forschung  
Werkstoffmechanik und  
Simulation, Finite-Elemente  
Methode, Schadenskunde

Digitalisierung ist heute allgegenwärtig. Wo im Privaten bereitwillig neue digitale Tools, Apps und Funktionen genutzt werden, tun sich Unternehmen in der Umsetzung von Digitalisierungsprojekten meist schwer. Dieser Beitrag erläutert die Erkenntnisse des Projekts „DIGIHUB Südbaden“ und beleuchtet dabei die Motive für Digitalisierungsvorhaben sowie ihre Hürden und versucht Handlungsempfehlungen für eine erfolgreiche Umsetzung dafür abzuleiten.

*Digitization is omnipresent today. Where new digital tools, apps and functions are eagerly used in private life, companies often have difficulties to implement digitization projects. This article explains the insights of the „DIGIHUB Südbaden“ project and examines the motives for digitization projects and their obstacles and tries to derive recommendations for a successful implementation.*

## Einleitung

Das Projekt DIGIHUB Südbaden, an dem die Hochschule Offenburg als Konsortialpartner bis zu dessen Laufzeitende im Mai 2022 beteiligt war, unterstützte kleine und mittelständische Unternehmen (KMU) bei der betrieblichen Digitalisierung. Als vom Ministerium für Wirtschaft, Arbeit und Tourismus Baden-Württemberg, der initiative Wirtschaft 4.0 sowie digital@BW gefördertes Projekt war es Anlaufstelle für KMU in allen Phasen der Digitalisierung. Mit insgesamt zehn regionalen Digital Hubs sowie drei themenspezifischen Hubs zu Applied Artificial Intelligence, Digital Chemistry & Digital Health sowie Future Industries formte sich das Netzwerk der DigiHubsBW.

Leitziel des DIGIHUB war Unternehmen und dabei insbesondere KMU in der digitalen Transformation mit Informationen, Orientierungshilfen, Beratung und Impulsen für die Umsetzung zukunftsfähiger Lösungen zu begleiten. Von der Entwicklung und Analyse von Potenzialen bis hin zu konkreten Fragestellungen erarbeitete der DIGIHUB Südbaden mit Unternehmen Handlungsmöglichkeiten und vernetzte diese mit passenden Lösungsanbietern.

Kernelement der Beratungsleistung des DIGIHUB war der sogenannte „Digicheck“, bei dem in einem Gespräch mit den Unternehmen digitale Potenziale entdeckt und bewertet wurden. Im Anschluss erfolgte eine Analyse, mit

deren Ergebnissen Handlungsempfehlungen erarbeitet werden konnten. Die betrachteten Themenblöcke umfassten strategisches Management, Organisationsaufbau, Prozesse, Daten-Management, IT-Infrastruktur, Forschung und Entwicklung, Innovation, Nachhaltigkeit sowie Mobilität. Je nach Branche wurden weitere spezifische Themenblöcke analysiert – so im Kontext produzierender Unternehmen beispielsweise der Digitalisierungsgrad der Wertschöpfungsprozesse, die Kunden-/Lieferanteninteraktion oder die MES/ERP-Systeme.

## Erkenntnis und Umsetzung

Über zahlreiche durchgeführte Digichecks zeichneten sich gewisse Parallelen ab. Setzt man der Umsetzung von Digitalisierungsmaßnahmen eine Erkenntnis des entsprechenden Bedarfs in der Unternehmung voraus, so zeigte sich, dass viele der Betriebe weniger Beratungsunterstützung in der Erkenntnisgewinnung zu Problemen und Ursachen im Kontext der Digitalisierung benötigten. Vielmehr scheiterte die konkrete Umsetzung der Digitalisierungsmaßnahmen an einer Vielzahl von Gründen.

In der Betrachtung aktueller Umfragen zur Digitalisierung von Unternehmen bestätigen sich die Erkenntnisse des Projekts. Bei einer 2022 durch Bitkom Research durchgeführten Umfrage unter über 600 befragten Unter-



Tobias Fischer  
M.Eng.

Campus-IT  
PL IT-Kooperationen im Hochschul-  
umfeld, HSO-Vertreter  
im DigiHub Südbaden

nehmen mit 20 und mehr Beschäftigten stellt „fehlende Zeit“ (61 %) die meistgenannte Antwort auf die Frage „Was sind die größten Hürden für die Digitalisierung in Ihrem Unternehmen?“ dar (Abbildung 1). Nachfolgend werden „fehlende Fachkräfte“ (53 %), „Datenschutzanforderungen“ (45 %), „fehlende finanzielle Mittel“ (29 %), „Wir brauchen keine digitalen Produkte oder Dienstleistungen“ (5 %) sowie „einzelne Mitglieder des Top-Managements bremsen“ (1 %) genannt. Insbesondere die wenig angeführten Antworten zur Notwendigkeit von digitalen Produkten oder Dienstleistungen sowie zur Abhängigkeit von Entscheidungen des Top-Managements zeigen und bestätigen damit die Projekterfahrung, dass Digitalisierungsvorhaben bereits einen abgeschlossenen Erkenntnisprozess hinter sich gebracht haben und dann zumeist auf der Umsetzungsebene scheitern.

Über die Projektlaufzeit des DIGIHUB Südbaden konnte eine „Solution Stage“ etabliert werden, die eine kontinuierliche transparente Gewinnung und neutrale Empfehlung von (regionalen) Lösungsanbietern ermöglichte. Die zielgerichtete Empfehlung dieser im konkreten Anforderungskontext konnte den Unternehmen helfen, die vorgenannten größten Hürden der fehlenden Zeit und fehlenden Fachkräfte besser zu überwinden. Die genauere Betrachtung der Datenschutzanforderungen bei Digitalisierungsvorhaben von unterstützten Unternehmen zeigte, dass diese eher indirekte Hürden darstellten. So scheiterte ein Digitalisierungsvorhaben nicht an zu hohen Datenschutzanforderungen per se. Vielmehr verhinderte der mit der Berücksichtigung der bzw. Anpassung an die Datenschutzanforderungen verbundene Aufwand im Rahmen des Digitalisierungsvorhabens eine effiziente Umsetzung und zahlte damit indirekt auf das Konto der Digitalisierungshürden der fehlenden Zeit sowie fehlenden Fachkräfte ein.

## Hürden der Digitalisierung

Bei der Betrachtung der Hürden für Digitalisierung lohnt ein symbolischer „Schritt zurück“ und Blick auf das auslösende Moment eines jeden Vorhabens. So begründet sich dieses nicht in sich selbst, sondern liegt diesem ein bzw. mehrere Motive zugrunde. Im Rahmen einer Umfrage des Deutschen Industrie- und Handelskammertags unter knapp 4500 Unternehmen wurde nach den Hauptmotiven für Digitalisierung gefragt (Abbildung 2). Die beiden meistgenannten Motive waren „strategi-



Abb. 1: Die größten Hürden für Digitalisierung in Unternehmen [1]

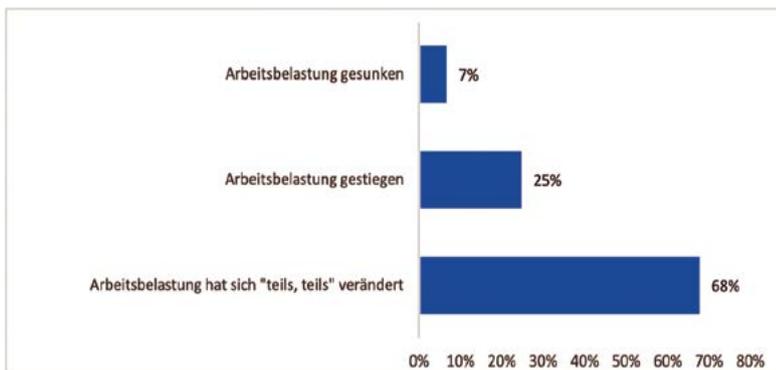


Abb. 2: Hauptmotive für die Digitalisierung in Unternehmen? [2]

sche Unternehmensentwicklung“ sowie „Realisierung von Kostensenkungspotenzialen“ (je 57 %), gefolgt von „Kundenbindung“ (53 %), „Flexibilisierung der Unternehmensprozesse/Workflow“ (52 %) sowie „Nutzensteigerung der Produkte oder Dienstleistungen“ (49 %). Es zeigt sich, dass Digitalisierungsvorhaben hauptsächlich durch den Wunsch nach Weiterentwicklung und Kostensenkungen in den Unternehmensprozessen motiviert sind.

Bei der Befragung der Anwender\*innen in Unternehmen zeigt sich ein gegenteiliges Bild (Abbildung 3). Die EY Jobstudie 2021 zur Veränderung der Arbeitsbelastung durch Digitalisierung gibt von über 1500 Befragten insgesamt 68 % an, die ihre Arbeitsbelastung als „teils, teils“ verändert angeben, was weder einer Steigerung noch einer Senkung der Arbeitsbelastung entspricht. 25 % gaben an, ihre

Arbeitsbelastung sei gestiegen. Lediglich 7 % der Befragten gab eine gesunkene Arbeitsbelastung an. So lassen sich 93 % der Befragten zusammenfassen, die entweder eine gestiegene oder unveränderte Arbeitsbelastung angaben. Dies ist vor dem Hintergrund der bereits erläuterten Hauptmotive erstaunlich und unbefriedigend zugleich.



**Abb. 3:**  
Veränderung der  
Arbeitsbelastung durch  
Digitalisierung [3]

Offenbar bestätigt sich die Digitalisierungsvorhaben auslösende Motivation nicht in der finalen Anwendung. Die Erfahrungen aus dem Projekt DIGIHUB Südbaden zeigen ebendiese Lücke zwischen Umsetzungsmotivation und Umsetzungserfolg in zahlreichen konkreten Digitalisierungsprojekten.

## Motive und Umsetzungserfolg

Mit den aufgezeigten Hürden der Digitalisierung stellt sich die Frage, wie Digitalisierungsvorhaben im Sinne ihrer initialen Motive und letztlich auch für die Anwender\*innen wirkungsvoll umgesetzt werden können. Denn nur so kann ein positiver Regelkreis entstehen, indem der Umsetzungserfolg des vorangegangenen die Basis des folgenden Digitalisierungsvorhabens bildet usw. In diesem Kontext kann das Grundprinzip des kontinuierlichen Verbesserungsprozesses (KVP) Struktur geben. Dieser ist in seiner Anwendung mehr Denkweise als technisches oder produktionswirtschaftliches Prinzip. Der Einbezug aller Mitarbeitenden ist demnach Grundlage eines erfolgreichen KVP, um allen Beteiligten Ängste zu nehmen, den gewohnten Ablauf infrage zu stellen und Probleme offen anzusprechen. Damit beginnt der kontinuierliche Verbesserungsprozess immer bei der eigenen Person und erst dann mit dem eigentlichen Digitalisierungsvorhaben [4]. Ist das Prinzip der fortwährenden kleinen Verbesserungsschritte verstanden und verinnerlicht, können alle Mitarbeitenden das konkrete (Digitalisierungs-) Vorhaben mittragen und selbst leben.

Wie bei den oben genannten Motiven für Digitalisierung gilt auch für den KVP das grundsätzliche Streben eines Unternehmens nach Verbesserung. Das Niveau, das erreicht ist, wenn die Verbesserungsmaßnahmen umgesetzt wurden, wird zum neuen Standard erhoben. Darauf aufbauend kann die folgende Verbesserungsmaßnahme umgesetzt werden. So lassen sich für erfolgreiche Digitalisierungsvorhaben, die die Lücke zwischen den Digitalisierungsmotiven und der erfolgreichen Umsetzung bei Anwender\*innen zu schließen vermögen, die im Folgenden beschriebene Handlungsempfehlungen ableiten.

## Das KVP-Prinzip

Ganz im Sinne des KVP lässt sich auch ein Digitalisierungsvorhaben nicht losgelöst in einem einzelnen Projekt umsetzen, sondern muss Teil eines grundsätzlichen Bestrebens zur Digitalisierung des Unternehmens sein. So ist ein konkretes Digitalisierungsvorhaben als Erklimmen einer nächsten Stufe des Verbesserungs- bzw. Digitalisierungsniveaus zu betrachten. Dabei ist es wichtig, im übertragenen Sinne „eine Stufe nach der Nächsten zu nehmen“ und bei größeren Vorhaben sinnvolle Teilprojekte zu bilden. Ebenso ist eine zu große Anzahl parallel verlaufender Vorhaben zu vermeiden, da sich diese gegenseitig finanzielle und personelle Ressourcen streitig machen können.

Das Basiselement für jedes Vorhaben sind initiale Schulungen zum Verständnis, aber auch Räume zum offenen Austausch, in denen Vorurteile und Ängste gegenüber der Digitalisierung zur Sprache kommen und im besten Fall ausgeräumt werden können. Nicht selten geht Digitalisierung in den Köpfen der Mitarbeitenden mit Existenzängsten einher, die in der Angst vor dem Wegfall bestehender Tätigkeiten und damit unmittelbar ihrer Arbeit und ihrem Arbeitsplatz begraben liegen.

Die oben erläuterten Motive der entsprechenden Digitalisierungsvorhaben müssen deshalb nicht nur transparent gemacht werden, sondern mit jenen der betroffenen Mitarbeitenden abgeglichen werden. Sollten diese nicht kongruent sein, lohnt der Schritt zurück zu den initialen Schulungen und Räumen zum Austausch, denn je weiter ein Digitalisierungsvorhaben vorangeschritten ist, desto teurer gestaltet sich dessen Scheitern durch bereits erfolgte Investitionen in Zeit, interne und externe Beratung, Dienstleistung, Lizenzen et cetera.

Ist mit einem (Teil-)Projekt die nächste Digitalisierungsstufe erreicht, so ist ganz bewusst der erreichte Erfolg zu sichern, um ein stabiles Fundament für die nächste Stufe zu bereiten. Digitalisierungsvorhaben führen zu Veränderungen auf der Arbeitsebene. Durch beispielsweise Wegfall, Automatisierung oder Vereinfachung der Aufgaben von Mitarbeitenden im Rahmen der Umsetzung von Digitalisierungsvorhaben ergibt sich ein unmittelbarer Bedarf an der Festigung des neuen Ablaufs. Wird dieser nicht nachhaltig etabliert, so werden weder die Motive des Managements und der Mitarbeitenden erreicht, noch ist der erlangte Erfolg von Dauer und ein Zurückfallen auf tiefergelegene Stufen des Verbesserungs- und Digitalisierungsniveaus unausweichlich.

Damit ein Motiv in seinem wörtlichen Sinne (lat. „motivum“) auch als bewegend positiv und im Sinne des Regelkreises des kontinuierlichen Verbesserungsprozesses wirken kann, ist der erlangte Erfolg nicht nur zu sichern, sondern zu „feiern“. Erreichtes soll dabei offen kommuniziert und wertgeschätzt werden. In diesem Kontext können „Lessons Learned“ kommuniziert und falls notwendig auch kritisch angesprochen werden [5]. So fließen die gewonnen Erkenntnisse unterstützend in die nächsten Digitalisierungsvorhaben ein.

### Fazit

Im Zentrum eines jeden Digitalisierungsvorhabens sollte die Umsetzung stehen. In der Vor- und Nachbereitung sind gleichwohl weitere entscheidende Gesichtspunkte zu berücksichtigen. Je mehr sich das einzelne Digitalisierungsprojekt als Teilvorhaben in eine Gesamtstrategie integriert, kongruente Motive und Verständnis hierfür sowohl im Management als auch bei den Mitarbeitenden vorhanden sind, desto besser gelingt die Umsetzung. Nach erfolgter Umsetzung ist die Sicherung des Erfolgs und die Wertschätzung dessen wichtige Voraussetzung für das Gelingen nachgelagerter Vorhaben. Mit diesem Vorgehen kann Digitalisierung erfolgreich umgesetzt und der Weg der digitalen Transformation nachhaltig beschrritten werden, um den Fortbestand des Unternehmens zu sichern.

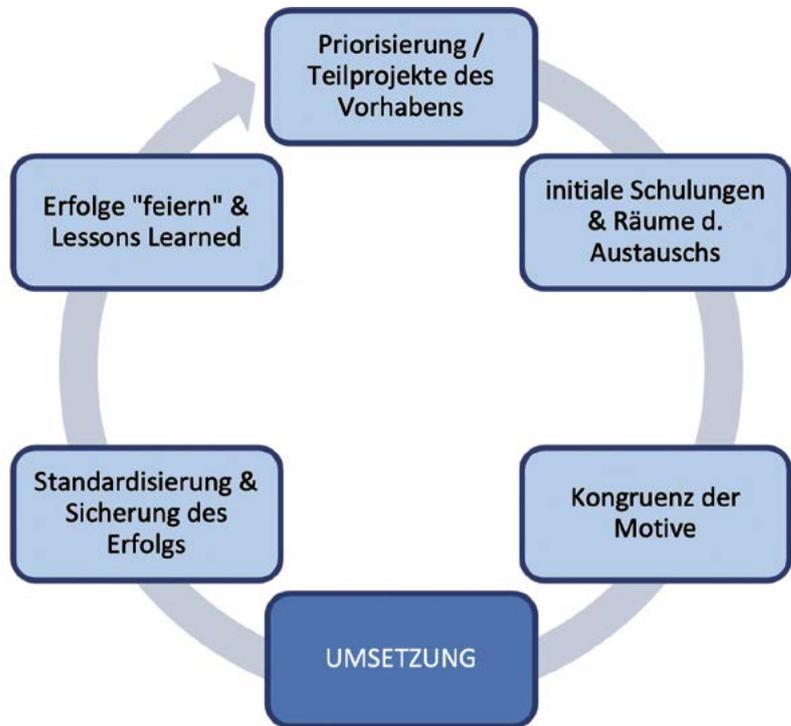


Abb. 4: Handlungsempfehlungen für Digitalisierungsvorhaben in chronologischer Reihenfolge

#### Referenzen/References:

- [1] Bitkom Research: Digitalisierung der Wirtschaft, Umfrage unter Unternehmen zu Hindernissen in der Digitalisierung 2022, veröffentlicht im Juni 2022
- [2] Deutscher Industrie- und Handelskammertag: Digitalisierung mit Herausforderungen, IHK Umfrage, veröffentlicht im Februar 2021
- [3] EY: "EY Jobstudie 2021 – Digitalisierung im Arbeitsleben", veröffentlicht im Oktober 2021
- [4] Takeda, Hitoshi: Das Synchroner Produktionssystem. Just-in-time für das ganze Unternehmen. 6. Aktualisierte Auflage, Landsberg am Lech, mi-Fachverlag, 2009
- [5] Project Management Institute: A Guide to the Project management Body of Knowledge, 5. Edition, 2013

# KINCHI

## Intelligente Digitalisierung der Auftragsabwicklung im Handwerk



Theo Lutz  
Prof. Dr.-Ing.

Fakultät W, Institut IMLA  
und IDEeP  
Wirtschaftsinformatik, Betrieb-  
liche Informationssysteme,  
Informationsmanagement



Shabbir Ahmed Shuvo  
M.Sc.

Fakultät W  
Akademischer Mitarbeiter



Robin Brischle  
M.Eng.

Fakultät W  
Akademischer Mitarbeiter

Handwerksunternehmen nutzen häufig mehrere Anwendungen, um ihre Aufträge abzuwickeln. Wegen fehlender Schnittstellen müssen sie Daten oft händisch übertragen. Das Projekt KINCHI will eine Cloud-Plattform mit KI-Services entwickeln, die die Anwendungen für einen automatisierten Datenaustausch verknüpft und die Arbeit erleichtert. Prozesse sollen so effizienter, mit weniger Verwaltungsaufwand und kundenorientierter gestaltet werden können.

*Trade contractors often use several applications to process their orders. Due to the lack of interfaces, they frequently have to manually transfer data. The KINCHI project aims to develop a cloud platform with AI services that connects the applications for automated data exchange and facilitates work. Processes can thus be made more efficient, with less administrative effort and more customer-oriented.*

Die Digitalisierung bietet dem Handwerk enormes Potenzial für die Prozessoptimierung, die Schaffung neuer und noch stärker auf den Kunden ausgerichteter Dienstleistungen und damit nicht zuletzt die Attraktivitätssteigerung des Berufes [1,2]. Bei den überwiegend kleinstbetrieblich organisierten Handwerksunternehmen [3] besteht jedoch die Gefahr, dass sie angesichts begrenzter IT-Ressourcen und finanzieller Mittel die Möglichkeiten der Digitalisierung nicht ausschöpfen können [2]. Genau das möchte das Projekt „KI und Auftragsabwicklung in der Cloud – Handwerkerapps clever integriert“ (KINCHI) ändern.

Digitale Bürolösungen kommen heute bereits bei etwa zwei Dritteln aller Handwerksunternehmen zum Einsatz [1]. Handwerksunternehmen nutzen häufig mehrere aufgabenspezifische Anwendungen, um ihre Aufträge abzuwickeln. Allerdings sind dies häufig Stand-alone-Anwendungen, das heißt, die einzelnen Lösungen sind nur selten über Schnittstellen verbunden. So müssen Daten wie beispielsweise Adressen, Auftragspositionen oder geleistete Stunden mehrfach händisch in verschiedene Anwendungen eingegeben werden. Dies bedeutet einen erheblichen Mehraufwand und führt immer wieder zu Fehlern. Diese treten nicht nur intern auf, sondern auch beim Austausch mit Kunden und anderen Unternehmen. Bei weit mehr als 190 verfügbaren Anwendungen [4] und der Individualität der verschiedenen Gewerke lässt sich diese Herausforderung nicht einfach durch

bilaterale Schnittstellen zwischen einzelnen Anwendungen beheben. Es fehlt eine Möglichkeit, die unterschiedlichsten Anwendungen abgestimmt auf den Prozess eines Handwerksunternehmens so zu integrieren, dass Handwerker den Auftragsabwicklungsprozess effizient, mit weniger Verwaltungsaufwand und kundenorientiert durchführen können.

### Ziel

Ziel von KINCHI ist, Handwerksunternehmen die Digitalisierung ihrer gesamten Auftragsabwicklung nahtlos und durchgängig zu ermöglichen. Die Projektbeteiligten entwickeln dazu eine Cloud-Plattform (Abbildung 1), die bestehende Anwendungen wie ERP-Systeme und aufgabenspezifische Apps im Hintergrund verknüpft. Anwendungen müssen lediglich die Schnittstelle zur Plattform anstelle einer Vielzahl von verschiedenen Schnittstellen implementieren, um mit allen an der Plattform angeschlossenen Anwendungen kommunizieren zu können. Somit kann die Zahl der benötigten Schnittstellen zwischen verschiedenen Systemen drastisch reduziert werden. Handwerksunternehmen können dann weiter in ihren gewohnten und auf ihr Gewerk spezialisierten Softwarelösungen arbeiten, während die Plattform für den reibungslosen Datenaustausch sorgt. Die über die Plattform ausgetauschten Daten sollen zudem für KI-Services genutzt werden, die Handwerker beispielsweise bei der Angebotserstellung, Baustellenplanung oder der Kun-

denberatung unterstützen. Die Plattform wird so zu einem wichtigen Mittel, um die Produktivität und Effizienz von Handwerksunternehmen zu steigern, die Zusammenarbeit mit Kundenschaft und Partnerunternehmen zu erleichtern und die Kundenzufriedenheit zu erhöhen. Das Projektconsortium erwartet zudem, dass der Fachkräftemangel durch ein attraktives Arbeitsumfeld gemildert und das Handwerk als verlässlichen Dienstleister weiter gestärkt wird.

### Vorgehensweise

Die Basis für diese Ergebnisse bildet die Erhebung der relevanten Anwendungsfälle und Prozesse der Handwerksunternehmen am Beispiel des Bau- und Ausbaubereichs. Dies erfolgt gemeinsam mit den dort tätigen Handwerksunternehmen. Anhand der Erkenntnisse soll ein referenzartiger Auftragsabwicklungsprozess mit gewerkspezifischen Varianten definiert werden, der die wesentlichen Prozesse der Handwerksunternehmen einheitlich beschreibt. Für die zugehörigen Teilprozesse werden Anforderungen an die jeweils benötigten Input- und Outputdaten sowie generische Beschreibungen der jeweiligen Aktivitäten definiert. Diese dienen als Ausgangsbasis für ein Schnittstellenkonzept, das definiert, welche Daten eine Anwendung je Teilprozess als Input von anderen Anwendungen erwarten kann und welche Daten als Output über die Plattform bereitgestellt werden müssen. KINCHI wird dabei die Schnittstellen offen gestalten und soweit sinnvoll auf bestehende Schnittstellenstandards zurückgreifen. Die Schnittstellen und die Prozesslogik werden dann in einer Plattform implementiert, an die sich die unterschiedlichen Softwarelösungen andocken können. Die Plattform koordiniert den Datenaustausch und bietet verschiedene Dienste wie KI-Services für die Prozessunterstützung an. In einer Praxisphase sollen die Teilergebnisse des Projekts evaluiert und optimiert werden.

### Die KINCHI-Cloudplattform

Damit die KINCHI-Cloudplattform erfolgreich in die Praxis überführt werden kann, muss sie für die Handwerker möglichst einfach nutzbar sein. Die Handwerksunternehmen registrieren sich auf der KINCHI-Cloudplattform. Sie wählen ihr Gewerk und damit den gewerkspezifischen Prozess aus und geben grundlegende Stammdaten zum Unternehmen an. Dann können sie die von ihnen verwendeten Anwendungen auswählen und erhalten gegebenenfalls Vorschläge für weitere sinnvolle Anwendungen, die die digitale Bearbeitung des Prozesses ergänzen. Hierfür teilen die Anwendungen der Plattform mit, welche Fähigkeiten sie besitzen und welche Teilprozesse sie abdecken können (Abbildung 1). Auf welche Art diese Teilprozesse unterstützt werden, bleibt den Anwendungen überlassen, sodass diese weiterhin die individuellen Anforderungen einzelner Gewerke abbilden können. Die Plattform übernimmt lediglich die Koordination und den Datenaustausch zwischen den Anwendungen.

Auf Basis der ausgetauschten Daten sollen KI-Services die Arbeit des Handwerks weiter erleichtern (Abbildung 2). Ein exemplarischer KI-Service könnte beispielsweise bereits vorliegende Daten zu Angeboten und zugehörigen Rechnungen nutzen, um den Angebotsprozess zu unterstützen. Das System lernt, welche Angebote akzeptiert wurden und in wieweit Abweichungen zwischen den angebotenen und in Rechnung gestellten Leistungen vorliegen. Gibt ein Handwerksunternehmen Stichworte zu einem Angebot ein, könnten Angebotspositionen oder komplette Angebote als Vorlage angeboten werden. Dadurch lässt sich der Aufwand der Angebotserstellung verringern und die Qualität und Passgenauigkeit von Angeboten kann erhöht werden. KI-Services können zudem ge-

### KINCHI Plattform

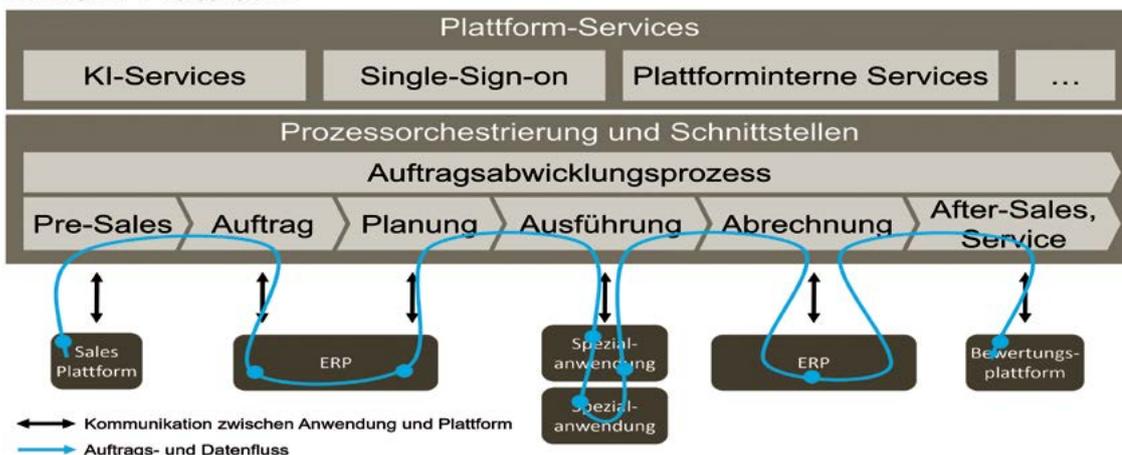


Abb. 1:  
Konzept der  
KINCHI-Cloudplattform

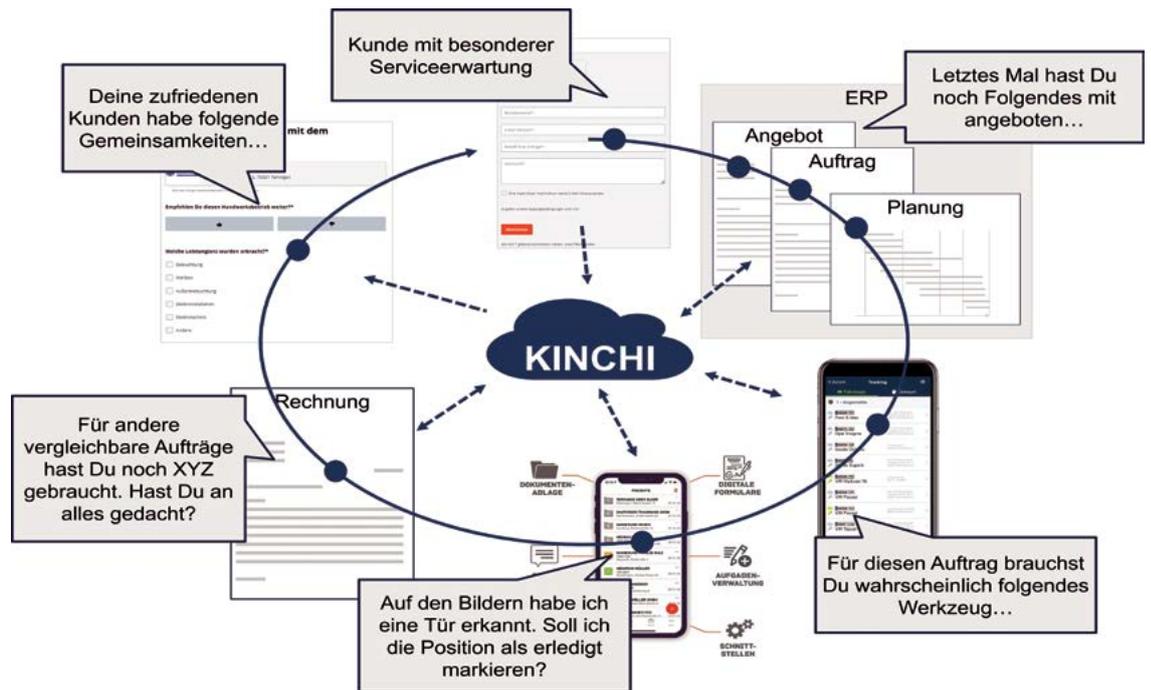


Abb. 2:  
Durchgängig digitalisierter und KI-unterstützter Auftragsabwicklungsprozess

nutzt werden, um dem Handwerker bessere Planungsvorschläge zu unterbreiten oder Fahrzeugtelematik und Werkzeugtrackingdaten verarbeiten, um genauere und automatisierte Aufwandsrückmeldungen zu generieren.

Ergänzende Services wie Single-Sign-on und die Verwaltung von Unternehmens- und Mitarbeitendenstammdaten können den Einstieg in die Nutzung neuer Anwendungen beschleunigen und vereinfachen sowie Aufwände für die Verwaltung der Anwendungen reduzieren. Die Anwendungen können die zuvor eingegebenen Stammdaten für die Einrichtung übernehmen, wodurch die Apps sofort für die Mitarbeitenden bereitstehen. Es soll zudem ein Modul zur Kundenkommunikation inklusive Auftragsverfolgung implementiert werden, das auch Kundenfeedback verarbeiten kann.

Am Projekt KINCHI beteiligen sich neben der Hochschule Offenburg die Plattformanbieter und Softwareanbieter Actimage GmbH, geoCapture GmbH, HACOMplus GmbH, IN-Software GmbH und wirsindhandwerk GmbH, die Handwerkersunternehmen Hans Gottsberg GmbH, Konz & Schaefer Ausbau GmbH, Kotyza Haustechnik GmbH & Co. KG und Schreinerei Bohnert. Das Projekt wird zudem von weiteren Handwerkern, Softwareanbietern und Branchenverbänden sowie der Handwerkskammer Freiburg als assoziierte Partner unterstützt.



Das Vorhaben KINCHI wird mit Mitteln des Bundesministeriums für Bildung und Forschung unter dem Förderkennzeichen O2K20D140 gefördert.

## Projektstatus und Ausblick

Begonnen wurde mit der Analyse der Prozesse und Anwendungsfälle im Handwerk. Im Laufe des Jahres wird die erste Version des Auftragsabwicklungsprozesses erarbeitet, die Plattform und deren Schnittstellen spezifiziert sowie ein Konzept für die KI-Services entwickelt. Die Umsetzung der Plattform soll dann in der zweiten Jahreshälfte starten. Parallel dazu wird die Validierung der Ergebnisse in einer Praxisphase beim Handwerk geplant, die im Frühsommer 2024 startet. Sukzessive sollen dann weitere Handwerksunternehmen und Softwarehäuser als Plattformnutzer gewonnen werden.

Referenzen/References:

- [1] Schulte, K.-S.; Veltkamp, N.: Die Digitalisierung des Handwerks. Studie. Hrsg.: Zentralverband des Deutschen Handwerks; Bitkom Research 2022. [https://www.zdh.de/fileadmin/Oeffentlich/Wirtschaft\\_Energie\\_Umwelt/Themen/Digitalisierung/BitkomZDH\\_DigitalisierungHandwerk\\_Charts\\_final.pdf](https://www.zdh.de/fileadmin/Oeffentlich/Wirtschaft_Energie_Umwelt/Themen/Digitalisierung/BitkomZDH_DigitalisierungHandwerk_Charts_final.pdf). Stand: 28.02.2023
- [2] Owen, A.; Plöger, W.; Hiltner, G.; Reith, A.: Digitalisierungsbarometer für das Bau- und Ausbauhandwerk in Baden-Württemberg. Eine empirische 360° Analyse. Hrsg.: wirsindhandwerk gmbh; Baden-Württembergischer Handwerkstag e.V., Konstanz, Stuttgart 2020
- [3] Statistisches Bundesamt: Anteile kleiner und mittlerer Unternehmen beim Handwerk im Jahr 2020. 28. September 2022. <https://www.destatis.de/DE/Themen/Branchen-Unternehmen/Handwerk/Tabellen/kleine-mittlere-unternehmen-handwerk.html>. Stand: 26.02.2023
- [4] Ohne Autor: 33. Marktübersicht: Branchen-Software 2023. In: Computern im Handwerk (2022) 12, S. 16–25

# LoglKTram

## Konzepte für den regionalen Gütertransport per Stadtbahn

Der Anstieg des urbanen Verkehrs belastet zunehmend die Anwohner, die Nutzer der Infrastruktur sowie die Umwelt. Während für die Personenbeförderung die Straßenbahnen eine Entlastung bieten, existieren für den innerstädtischen Logistikverkehr keine passenden Angebote. Aus diesem Grund verfolgt das Projekt LoglKTram das Ziel, den Logistikverkehr mit einer Gütertram auf die Schiene zu verlagern. Hierfür werden ein Logistikkonzept sowie verschiedene Planungsmodelle entwickelt, die eine vereinfachte Nutzung erlauben.

*The increase in urban traffic is affecting residents, infrastructure users and the environment. While trams offer relief for passenger transport, there are no suitable offers for inner-city logistics. For this reason, the LoglKTram project is pursuing the goal of shifting logistics traffic to rail using a freight tram. For this purpose, a logistics concept and various planning models, that allow simplified use, are being developed.*

Der Anstieg des Verkehrs in urbanen und suburbanen Räumen belastet zunehmend die Anwohner, die Nutzer der Infrastruktur sowie die Umwelt [1–3]. Aus diesem Grund setzen viele Großstädte im Personennahverkehr auf Straßenbahnen oder U-Bahnen, weil sie ein vergleichsweise schnelles Vorankommen garantieren [4] sowie eine gute Umweltbilanz aufweisen [5]. Für den innerstädtischen Logistikverkehr existieren jedoch meist keine passenden Angebote, obwohl gerade der Lieferwagenverkehr im Vergleich zu den anderen Transportarten in der restlichen Logistikkette hohe Kosten und eine schlechte Umweltbilanz aufweist. Der steigende politische und gesellschaftliche Druck für einen nachhaltigen Verkehr steigert jedoch zunehmend das Interesse der Logistikunternehmen an nachhaltigen Konzepten, wodurch sich ein potenziell historisches Zeitfenster bietet, schienenbasierte Gütertransport auch in die regionale Logistik zu integrieren.

Das Projekt LoglKTram verfolgt vor diesem Hintergrund das Ziel, den städtischen und regionalen Güterverkehr mit einer Gütertram von der Straße auf die Schiene zu verlagern. Als Anwendungsfall wird hierbei die Stadt Karlsruhe sowie die über das Schienennetz angeschlossene Umgebung betrachtet. Dieses bietet aufgrund der Zweisystemstadtbahn optimale Voraussetzungen, da die Straßenbahnfahrzeuge sowohl im Straßenbahnnetz als auch auf dem Schienennetz der Deutschen Bahn genutzt werden können. Hierdurch kann

ein sehr großes Gebiet in der Region erreicht werden. Da bisherige Systeme der Logistikdienstleister meist nur auf Straßentransporte ausgelegt sind und logistische Planung in den Systemen der Betreiber des Personennahverkehrs nicht vorgesehen sind, werden entsprechende Konzepte, Modelle sowie Softwaremodule benötigt. Um die bestehenden Systeme entwickeln die Projektpartner daher gemeinsam ein passendes Logistikkonzept, ein Planungs- und Betreibermodell, einen Prototyp einer Gütertram, eine IKT-Plattform zum softwareseitigen Betrieb der Gütertram sowie verschiedene Simulationsmodelle zur Bewertung des Gesamtkonzepts. Die Hochschule Offenburg verantwortet dabei die Erstellung des Logistikkonzepts sowie die Umsetzung der notwendigen Funktionalitäten für Spediteure und Versender in der IKT-Plattform.

## Logistikkonzept

Die Grundlage des Logistikkonzepts stellt dabei eine Recherche potenzieller Nutzer der Gütertram dar. Hierdurch konnten verschiedene Kundengruppen und Branchen wie beispielsweise Paketdienstleister, Stückgutspeditionen und der Lebensmittelhandel als mögliche Nutzer identifiziert werden. Zusammen mit verschiedenen Logistikpartnern der Hochschule konnten für diese möglichen Nutzer sowohl entsprechende Anforderungen als auch Transportbedarfsmengen im Stadtgebiet ermittelt werden. Dabei konnte ein hoher Zeit- und Kostendruck für alle möglichen



Ingo Dittrich  
Prof. Dr.-Ing.

Fakultät W  
Spedition, Transport und Verkehr, Lager- Distributionslogistik, Qualitätsmanagement



Jonas Ziegler  
M.Sc.

Fakultät W, Institut IMLA,  
Forschungsgr. Digital Supply Chain  
Akademischer Mitarbeiter  
Projekt LoglKTram



**Theo Lutz**  
Prof. Dr.-Ing.

Fakultät W, Institut IMLA,  
IDeP, Forschungsgr. Digital  
Supply Chain  
Wirtschaftsinformatik, Betrieb-  
liche Informationssysteme,  
Informationsmanagement



**Michelle Menzer**  
B.A.

Fakultät W  
Akademische Mitarbeiterin  
MA. Projekt LogKTram

Nutzer festgestellt werden. Aus diesem Grund werden die Transporte meist auf der Straße, teils sogar mit eigenen Fahrzeugflotten durchgeführt. Dies bietet insbesondere für Paketdienstleister enorme Vorteile, da die benötigte Flächenverteilung mit der Bahn alleine nicht möglich ist. Um diese Herausforderungen zu lösen, wurden in verschiedenen Projekten bereits unterschiedliche Ansätze angedacht. So testete die Stadt Dortmund zusammen mit Amazon, DPD, GLS und UPS im Jahr 2021 ein Konzept mit Mikrodepots. Diese wurden von den Logistikzentren außerhalb der Stadt beliefert und von dort aus die Feinverteilung mit Lastenrädern durchgeführt [6]. Auch in Schwerin wird seit Ende Oktober 2022 von der DHL eine dedizierte Tram Linie, die nur Güter und keine Personen transportiert, genutzt, um Packstationen an drei Haltestellen täglich mit rund 450 DHL-Paketsendungen zu beliefern. Eine Flächenverteilung mit dem Lastenrad erfolgt im Unterschied zu Dortmund jedoch nicht [7]. Auch im Ausland wurden bereits unterschiedliche Ansätze getestet, so beispielsweise in Paris mit dem Hôtel logistique Chapelle International. Hierbei handelt es sich um einen Gebäudekomplex in Paris, der neben einem Fitnesscenter, Restaurant, Büros und einem Großmarkt auch ein 15.200 m<sup>2</sup> großes Terminal mit Brückenkränen und Lagerfläche enthält, die die schienenseitige Anlieferung von Großbehältern sowie den Umschlag auf Lkws erlaubt. Hierdurch können vier Züge je 60 Container bis in die Pariser Innenstadt transportieren, was rund 500 LKW-Fahrten am Tag einspart [8]. Aufbauend auf diesen Erkenntnissen wurde in Zusammenarbeit mit Experten der DB Engineering & Consulting sowie durch Unterstützung von verschiedenen studentischen Arbeitsgruppen und Abschlussarbeiten im Studiengang Betriebswirtschaft/Logistik und Handel der Hochschule Offenburg ein modulares Logistikkonzept entwickelt. Dieses erlaubt eine variable Anpassung der Gütertram an die unterschiedlichen Kundenanforderungen. Das Logistikkonzept ermöglicht hierdurch nicht nur die Nutzung unterschiedlicher Ladeeinheiten und Belademethoden, sondern auch unterschiedliche Transportmodi wie die Nutzung eines reinen Güterverkehrs in einer dedizierten Tram oder den kombinierten Transport von Gütern und Personen in einer Tram. Auch wurden Möglichkeiten zur Flächenverteilung durch einen weiteren Zwischenumschlag und die Nutzung von Lastenrädern für die letzten Transportkilometer zum Ziel berücksichtigt.

## Planungsmodelle

Anhand des Logistikkonzeptes wurden für die Planung und Durchführung der entsprechenden Gütertransporte mit der Tram zwei Planungsmodelle entworfen. Das operative Planungsmodell, dessen Planungshorizont sich auf wenige Tage beschränkt, plant für eingehende Transportanfragen die drei Transportbestandteile Vor-, Haupt- und Nachlauf. Als Vorlauf wird der Transport zur Gütertram bezeichnet, während der Hauptlauf den Transport mit der Gütertram und der Nachlauf den Transport von der Gütertram zum eigentlichen Ziel beschreibt. Das eigens entwickelte operative Planungsmodell ermöglicht dabei die gemeinsame Transportplanung unter Berücksichtigung der im Schienennetz üblichen festen Transportverbindungen und Fahrpläne. Zusammen mit einem Wirtschaftlichkeitsmodell für die einzelnen Verkehrsträger kann im operativen Planungsmodell so für jede Transportanfrage entsprechende Transportkapazitäten angeboten und die Kosten gegenüber einem Straßentransport berechnet werden. Die Umsetzung der Hauptlaufplanung und Buchung über die IKT-Plattform mit einem eigenen Datenformat ermöglicht dabei für alle Transportkunden eine vereinfachte Nutzung der Gütertram. Die interne Abstimmung aller Beteiligten der Gütertram, wie beispielsweise den Logistikdienstleister, dem Bahnverkehrsunternehmen, dem Umschlagsplatzbetreiber etc., wird über vordefinierte Abläufe in der IKT-Plattform organisiert.

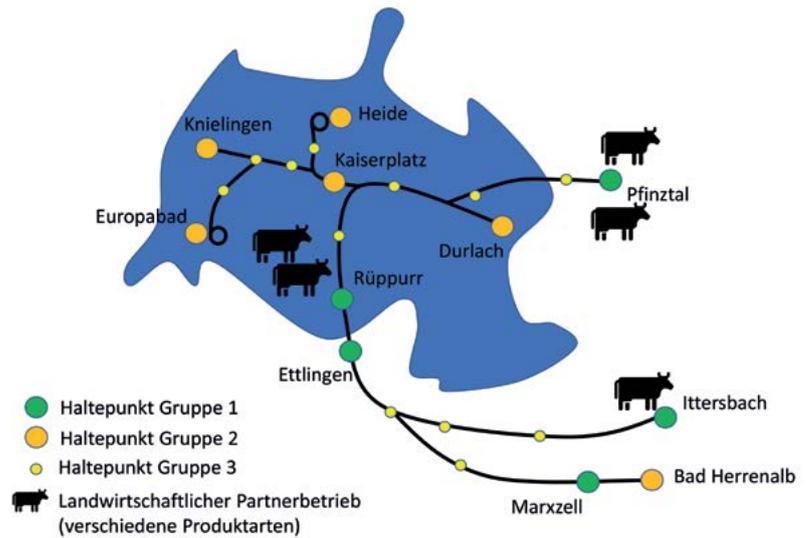
Im taktischen Planungsmodell werden die Punkte der Wirtschaftlichkeitsbetrachtung, der Planung mit festen Transportverbindungen und Fahrplänen sowie den beschränkten Transport- und Lagerkapazitäten erneut aufgegriffen und für Zeiträume größer als sechs Monate betrachtet. Dies ermöglicht dem Betreiber der Gütertram anhand eines automatisierten Modells zur generellen Transportbedarfsbestimmung die Auslastung einzelner Linien zu prognostizieren sowie eine allgemeine Wirtschaftlichkeitsbetrachtung der verschiedenen Strecken und Umschlagplätze vorzunehmen. Hierdurch kann mittelfristig die Planung der Linien und Fahrpläne modellbasiert unterstützt werden, sodass neben dem Personennahverkehr auch die Bedürfnisse des Güterverkehrs wie beispielsweise gute Wirtschaftlichkeit, Flexibilität und kurze Transportwege berücksichtigt werden können. Auch für langfristige Entscheidungen wie strategische Investitionen in Haltestellen zur Erschließung von Umschlag-

plätzen kann das taktische Planungsmodell genutzt werden, indem Algorithmen zur Standortwahl in das Modell eingebunden werden. Das taktische Planungsmodell bietet dabei sowohl die Möglichkeit, eigene Angaben und Daten als auch öffentliche Quellen für Fahrpläne, Transportbedarf etc. zu nutzen. So können beispielsweise sowohl das Schienen- und Straßennetz als auch Standorte von Postkästen, Paketstationen und dem Lebensmittelhandel vollständig aus OpenStreetMap bezogen werden. Auch die Angaben zu Fahrplänen und Haltestellen des öffentlichen Personennahverkehrs sind dank des internationalen Standards GTFS standortübergreifend im selben Format verfügbar, sodass eine Übertragbarkeit auf andere Städte und Regionen problemlos ohne größere Anpassungen möglich ist.

## Hofladentram

Zusätzlich zu den bereits erwähnten Punkten des Logistikkonzepts wurden im Rahmen der Entwicklung auch einige weitere Ansätze untersucht. Der am weitesten entwickelte Ansatz ist dabei die Hofladentram. Dieser Ansatz kombiniert den Anspruch nach regional erzeugten Lebensmitteln mit dem Wunsch nach klimafreundlichen Transporten. Bisher müssen Konsumierende für den Erwerb von regionalen Lebensmitteln teils weite Strecke im Individualverkehr zu verschiedenen Hofläden zurücklegen. Um den Anreiz ihres Angebotes zu erhöhen, tauschen daher einige Hofläden ihre Produkte untereinander aus und liefern sie an lokale Geschäfte und Restaurants. Vor diesem Hintergrund entstand die Idee der Hofladentram. Hierbei soll die Tram sowohl zum Transport und Austausch der regionalen Produkte dienen, als auch als mobiler Verkaufsstand genutzt werden. Dafür wurden von studentischen Arbeitsgruppen mehrere mögliche Standorte im Karlsruher Schienennetz identifiziert, die dabei teils nahe an Wohngebieten, jedoch auch bis zu 50 km von der Karlsruher Innenstadt entfernt sind. Die Standorte lassen sich entsprechend ihrer Funktion in drei Gruppen unterteilen (Abb. 1).

Die erste Gruppe liegt nahe an Hofläden und Produzierenden regionaler Produkte. Bei Standorten dieser Gruppe hält die Tram für mehrere Stunden auf Abstellgleisen und Überholbahnhöfen, sammelt regionale Produkte nahe gelegener Produzierende ein, verteilt bereits eingesammelte Ware an nahe gelegene Hofläden und nutzt die Haltezeit für einen Verkauf der Waren aus der Tram heraus. Bei der zweiten Gruppe handelt es wie bereits bei der



ersten Gruppe um Abstellgleise und Überholbahnhöfen, die einen mehrstündigen Aufenthalt erlauben, jedoch liegen diese Standorte nahe an Wohngebieten. Hier wird der mehrstündige Aufenthalt der Tram ebenfalls für den Verkauf der Waren genutzt sowie nahe gelegene Geschäfte und Restaurants mit einem in der Tram mitgeführten Lastenrad beliefert. Standorte der dritten Gruppe erlauben keine längere Haltezeit, können jedoch mit einem Kühlterminal ausgestattet werden. Während des kurzen Aufenthaltes der Tram werden die einzelnen Fächer des Kühlterminals jeweils mit einer Zusammenstellung unterschiedlicher Ware bestückt, sodass Kundinnen und Kunden diese vor Ort abholen können. Bei der Zusammenstellung kann es sich dabei sowohl um standardmäßige Kombinationen handeln, die online angeboten werden, als auch um Bestellungen, die im Vorfeld der Belieferung der Stationen telefonisch oder online getätigt und in der Bahn individuell zusammengestellt wurden. Die Kühlterminals ermöglichen so trotz der kurzen Haltezeit eine Anpassung an die zeitlichen Bedürfnisse der Kundschaft, was die Attraktivität derartiger Standorte steigert. Über die geografische Annäherung an die städtische Kundschaft wird zudem das Einzugsgebiet und die Attraktivität des Angebots gegenüber regulären Hofläden vergrößert.

Abb. 1:  
Konzeption Hofladentram im Raum Karlsruhe (Thesis Jana Neumann, LH, 2022, eigene Darstellung)

Zusätzlich zur Standortbestimmung entwickelten die Studierenden der Hochschule Offenburg auch ein Konzept für den Innenraum der Tram. Neben reinen Lagerflächen zum Transport und Austausch der Waren zwischen den Hofläden (siehe Abb. 2) verfügt die Tram auch über einen eigenen Verkaufsraum mit Regalen und Kassen, in dem sich die Kundschaft ihren Einkauf selbst zusammenstellen kann (siehe Abb. 3). Dabei sind sowohl der

Verkaufsraum als auch die reinen Lagerflächen nicht auf regionale Produkte beschränkt, sodass auch der Transport von leichtem Stückgut, Paketen sowie der Verkauf von Backwaren ermöglicht wird. Dies wirkt sich auch positiv auf die Rentabilität aus, sodass entsprechende Kalkulationen bereits ab 12 Kaufinteressierten pro Stunden eine wirtschaftliche Tragfähigkeit der Hofladentram feststellten. Eine von Frau Maren Schmitt (LH) im Rahmen ihrer Thesis durchgeführten ausführlichen Befragung der Einwohner im Raum Karlsruhe, an der sich fast 1.000 Personen beteiligten, ergab zudem ein sehr großes Interesse an dem Konzept.

## Ausblick

Im weiteren Projektverlauf werden das Logistikkonzept und das Planungsmodell iterativ weiterentwickelt. Zudem werden die bestehenden Softwarelösungen der Projektpartner in die IKT Plattform integriert und dieses finalisiert. Zusammen mit der vom KIT und anderen Beteiligten entwickelten Hardware wird dies für einen Testbetrieb des Demonstrators genutzt, womit die Machbarkeit und der Nutzen der Gütertram in Karlsruhe gezeigt werden.



Das Vorhaben LogK-Tram wird mit Mitteln des Bundesministeriums für Wirtschaft und Klimaschutz aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestags unter dem Förderkennzeichen 01ME20008D gefördert.



**Abb. 2:** Simulation Frachtraum auf Basis eines realen Stadtbahn-Fahrzeugs der AVG Karlsruhe (Projektseminar BW/Logistik und Handel SS2022)



### Referenzen/References:

- [1] C. Thaller, M. Telake, U. Clausen, B. Dahmen und B. Leerkamp, „KEP-Verkehr in urbanen Räumen“ in Innovative Produkte und Dienstleistungen in der Mobilität, H. Proff und T. M. Fojcik, Hg., Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden, 2017, S. 443–458, doi: 10.1007/978-3-658-18613-5\_28
- [2] M. Zych, „Identification of Potential Implementation of the Cargo Tram in Warsaw: A First Overview“, Procedia - Social and Behavioral Sciences, Jg. 151, S. 360–369, 2014, doi: 10.1016/j.sbspro.2014.10.034
- [3] S. Behrends, „The Urban Context of Intermodal Road-Rail Transport – Threat or Opportunity for Modal Shift?“, Procedia - Social and Behavioral Sciences, Jg. 39, S. 463–475, 2012, doi: 10.1016/j.sbspro.2012.03.122
- [4] K. Kurpuweit, „Stau-Statistik: In Berlin ist der Nahverkehr schneller als das Auto: Wie lange Berlins Autofahrer jährlich im Stau

stehen, beurteilen zwei Studien sehr unterschiedlich. Mit BVG und S-Bahn kommt man wohl flotter ans Ziel.“, Der Tagesspiegel, 23. Feb. 2017, 2017. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.tagesspiegel.de/berlin/in-berlin-ist-der-nahverkehr-schneller-als-das-auto-6617002.html>. Zugriff am: 27. Februar 2023

[5] T. 6. Umweltbundesamt, Vergleich der durchschnittlichen Emissionen einzelner Verkehrsmittel im Personenverkehr in Deutschland 2021. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.umweltbundesamt.de/bild/vergleich-der-durchschnittlichen-emissionen-0> (Zugriff am: 27. Februar 2023)

[6] Stadt Dortmund, Das Mikrodepot am Ostwall. [Online]. Verfügbar unter: [https://www.dortmund.de/de/leben\\_in\\_dortmund/verkehr/emissionsfreie\\_innenstadt/mikrodepot\\_am\\_ostwall/index.html](https://www.dortmund.de/de/leben_in_dortmund/verkehr/emissionsfreie_innenstadt/mikrodepot_am_ostwall/index.html) (Zugriff am: 9. März 2023)

# Kreislaufwirtschaft

## Einfluss auf Sustainable Development

Die Kombination aus globaler Ressourcenknappheit, Klimawandel und steigendem Ressourcenverbrauch hat Sustainable Development (SD) zur Priorität gemacht. Dem Modell der Kreislaufwirtschaft wird bei der Realisierung der SD großes Potenzial bescheinigt. Diese Forschung untersucht hierbei die Auswirkungen der Kreislaufwirtschaft auf die drei Dimensionen einer nachhaltigen Entwicklung: Ökonomie, Ökologie, Soziales.

*The combination of global resource scarcity, climate change and increasing resource consumption has made the achievement of sustainable development (SD) a priority. The circular economy business model is seen as having great potential. This research investigates the impact of the circular economy on the three dimensions of SD (economical, environmental, social).*

### Einführung und Hintergrund

In der heutigen Zeit steht das Thema der Nachhaltigkeit im Fokus, da sich die Menschheit mit den Herausforderungen einer wachsenden Bevölkerung und knapper werdenden Ressourcen konfrontiert sieht. Um die von den Vereinten Nationen im Jahr 2015 verabschiedeten Ziele für eine nachhaltige Entwicklung (Sustainable Development Goals, kurz SDGs) zu erreichen, wird der Kreislaufwirtschaft (Circular Economy) von politischen Entscheidungsträgern, Unternehmen und Gesellschaft große Aufmerksamkeit geschenkt. Die Thematik hat auch an der Hochschule Offenburg in Kooperation mit der Universität Burgos Interesse geweckt, weshalb sich ein Forschungsteam um Prof. Esther de Quevedo Puente, Dr. Clara Perez Cornejo (beide Universidad de Burgos), Prof. Dr. Thomas Baumgärtler und David Knäble formiert hat.

Im Mittelpunkt der Forschung stand die Frage, inwieweit die Circular Economy (CE) einen wesentlichen Beitrag zur Erreichung der Sustainable Development (SD) leisten kann. In einem ersten begutachteten Forschungsartikel, der im Journal „Sustainable Production and Consumption“ des Elsevier-Verlags im September 2022 veröffentlicht wurde (<https://doi.org/10.1016/j.spc.2022.09.016>), konnten die Auswirkungen der CE auf die ökonomische, ökologische und soziale Dimension der SD analysiert und bewertet werden. Auf makroökonomischer Ebene wurden für insgesamt 25 europäische Länder geeignete Indikatoren zur Messung der CE-Performance ermittelt, um deren Auswirkungen auf das Bruttoinlandsprodukt (Ökonomie), die Treibhausgase (Ökologie) und die Arbeitslosenquote (Soziales) zu untersuchen.



Thomas Baumgärtler  
Prof. Dr. rer. pol.

Fakultät W, Prodekan Studium/Lehre  
Volkswirtschaftslehre, Internat. Wirtschaftsbeziehungen, Bank- und Kreditwesen



David Knäble  
M.A.

Fakultät W  
Doktorand, Studiengang-koordinator

## SUSTAINABLE DEVELOPMENT GOALS



Abb. 1:  
Sustainable Development Goals (SDGs) <sup>1</sup>

## Sustainable Development und Circular Economy

Sustainable Development wurde erstmals im Brundtland-Report mit dem Titel „Our Common Future“ wie folgt definiert: „Entwicklung, die den Bedürfnissen der heutigen Generation entspricht, ohne die Fähigkeit künftiger Generationen zu gefährden, ihre eigenen Bedürfnisse zu befriedigen“<sup>2</sup>. Der Bericht unterstreicht die Bedeutung eines Gleichgewichts zwischen den ökologischen, sozialen und ökonomischen Dimensionen menschlicher Aktivitäten.

Der Circular Economy wird ein großes Potenzial für die Verwirklichung einer SD eingeräumt, da sie ein Gleichgewicht zwischen Wirtschaftswachstum und geringerer Abhängigkeit von Rohstoffen und Energie schaffen kann. Dabei basiert das Modell der Circular Economy auf den folgenden drei Prinzipien<sup>3</sup>:

1. Vermeidung von Abfall und Verschmutzung
2. Wiederverwendung von Produkten und Materialien
3. Regeneration natürlicher Systeme

In den letzten Jahren hat die Kreislaufwirtschaft sowohl in der Wirtschaft als auch in der Forschung zunehmend an Bedeutung gewonnen. Weltweit suchen Unternehmen nach Lösungen, wie ein Übergang zu zirkulären Geschäftsmodellen gelingen kann. Die Idee ist, das lineare Modell von „Produktion-Verbrauch-Entsorgung“ in einen nachhaltigen Kreislauf-Prozess von „Herstellung-Verwendung-Wiederverwendung-Wiederherstellung-Recycling“ zu verwandeln. In diesem Zusammenhang definiert die Organisation für wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung (OECD) vier wesentliche CE-Modelle<sup>4</sup>:

1. Zirkuläre Versorgungsmodelle, bei denen erneuerbare Energien anstelle von Rohstoffen verwendet werden,
2. Sharing-Modelle, bei denen die Nachfrage nach neuen Produkten und Rohstoffen durch Sharing und Second-Hand-Prinzipien reduziert werden,
3. Verlängerung der Produktlebensdauer, bei der Produkte repariert und wiederaufbereitet werden, anstatt weggeworfen zu werden, und
4. Modelle zur Ressourcenrückgewinnung, bei denen Abfälle zu Sekundärrohstoffen recycelt werden.

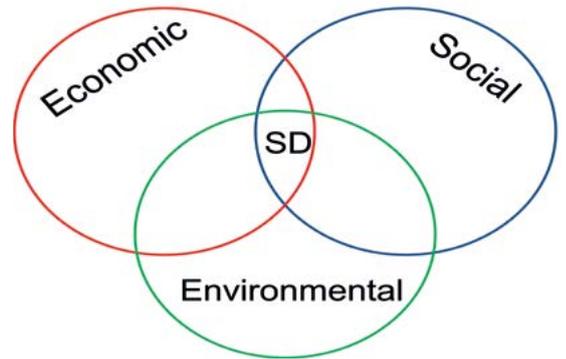


Abb. 2:  
Dimensionen von Sustainable Development (Eigene Darstellung)



Abb. 3:  
Linear vs. Circular Economy<sup>5</sup>

## Forschungsansatz und -design

Das primäre Ziel dieser Forschungsaktivitäten war, die CE-Performance von insgesamt 25 europäischen Ländern zu messen und ihren Wert für das Erreichen einer SD zu untersuchen. Dabei wurden drei abhängige Variablen verwendet, um die SD zu quantifizieren:

- Bruttoinlandsprodukt (ökonomische Auswirkungen)
- Arbeitslosenquote (soziale Auswirkungen)
- Treibhausgasemissionen (ökologische Auswirkungen).

Eine wesentliche Herausforderung bestand darin, die CE-Performance auf makroökonomischer Ebene messbar zu machen. Um alle CE-Modelle adäquat abbilden zu können, wurden folgende Indikatoren ausgewählt:

1. Verbrauch von erneuerbaren Energien durch den Gesamt-Energieverbrauch,
2. Anzahl der Beschäftigten in Geschäften, die Second-Hand-Artikel verkaufen,
3. Faktor „Reparatur“, der aus der Anzahl an Unternehmen, die Reperaturdienstleistungen anbieten, gebildet wurde,

4. Faktor „Recycling“, der aus der Recyclingrate von Siedlungsabfällen, der zirkulären Materialnutzungsrate und dem Handel mit wiederverwertbaren Rohstoffen gebildet wurde.

Die rechte Abbildung veranschaulicht die Vorgehensweise, die verwendeten Indikatoren und ihre ursprünglichen Wertquellen.

In einem ersten Schritt wurden die Auswirkungen der einzelnen CE-Wertquellen isoliert auf die drei Dimensionen der SD untersucht. In einem weiteren Schritt wurde auf Basis einer Principal-Component-Analysis ein allgemeiner CE-Indikator entwickelt. Dieser fasst die vier Wertquellen der Circular Economy zu einem Gesamt-CE-Indikator zusammen und ermöglicht es damit, die CE-Performance der einzelnen Länder messbar zu machen.

Um das Problem der „unobserved heterogeneity“ zu vermeiden, wurde ein Paneldatensatz auf der Grundlage einer Stichprobe von 25 europäischen Ländern für den Zeitraum von 2010 bis 2019 verwendet. In der Untersuchung führte die Anwendung des standardmäßigen Hausman-Tests zur Ablehnung der Hypothese der Orthogonalität von unbeobachtbaren individualspezifischen Effekten und Regressoren, weshalb in der Analyse ein Fixed-Effects-Modell Verwendung fand. Nach Hausman bedeutet jede Ablehnung der Nullhypothese (H0), dass Fixed-Effects und Random-Effects unterschiedlich sind und dass das Fixed-Effects-Modell angewendet werden sollte.

Darüber hinaus wurden folgende sieben Kontrollvariablen verwendet: Innovation (FuE-Ausgaben in Prozent des BIP), Bildung (Anteil der Menschen mit mindestens einem Hochschulabschluss), Umweltsteuern (Umweltsteuern in Prozent des BIP), Öko-Innovationsindex, Bevölkerungsdichte und Sektorzusammensetzung von Industrie und Dienstleistung (Anteil der in Industrie- oder Dienstleistungssektor beschäftigte Bevölkerung).

### Forschungsergebnisse

Die Ergebnisse der Regressionsanalyse zeigt die Tabelle 1 rechts (Quelle: Datenbasis Eurostat, eigene Berechnungen).

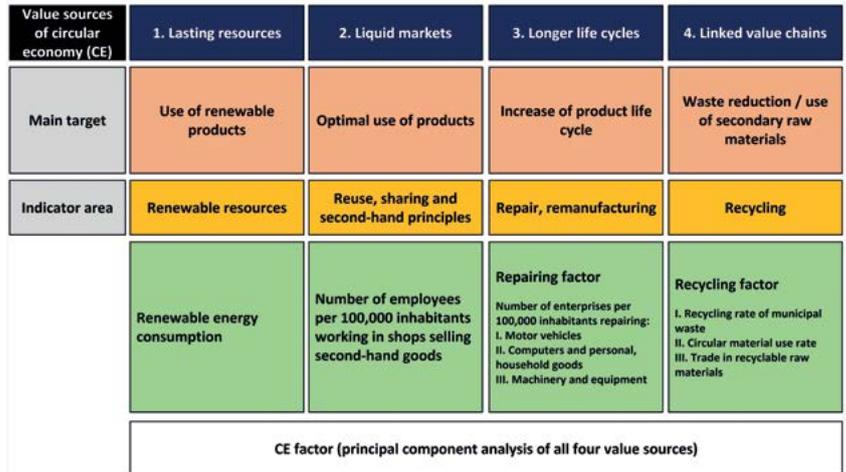


Abb. 4: CE Value Sources (eigene Darstellung)

Variables	[Model 1]	[Model 2]	[Model 3]	[Model 4]	[Model 5]	[Model 6]
CE	0.146**** (0.030)	-0.037* (0.203)	-4.088**** (0.789)			
REC <sup>1</sup>				0.004 (0.004)	0.016**** (0.002)	-0.357**** (0.083)
Reuse				0.001 (0.001)	-0.001* (0.001)	-0.024 (0.031)
Repair				0.164**** (0.027)	0.069**** (0.163)	-3.831**** (0.651)
Recycling				-0.018 (0.040)	-0.005 (0.238)	-2.869*** (0.950)
Taxes	-0.114**** (0.032)	0.006 (0.021)	0.636 (0.828)	-0.135**** (0.031)	-0.021 (0.019)	1.394* (0.747)
Education	-0.004 (0.003)	-0.008**** (0.002)	-0.452**** (0.068)	-0.001 (0.003)	-0.004*** (0.002)	-0.078 (0.079)
Innovation	0.051 (0.031)	0.032 (0.021)	-1.536 (0.816)	-0.034 (0.031)	0.031* (0.019)	-0.522 (0.739)
Pop. density	-0.006**** (0.002)	-0.007**** (0.001)	0.105** (0.043)	-0.004** (0.002)	-0.006**** (0.001)	0.028 (0.039)
Eco-index	0.001* (0.001)	0.001* (0.000)	-0.028** (0.013)	0.001 (0.001)	0.000 (0.000)	-0.019 (0.012)
Industry	0.041**** (0.008)	0.024**** (0.005)	-1.346**** (0.198)	0.034**** (0.008)	0.009* (0.004)	-1.279**** (0.193)
Service	0.010 (0.006)	0.001 (0.004)	-0.006 (0.161)	0.015** (0.006)	0.004 (0.004)	-0.154 (0.147)
Constant	9.330**** (0.617)	2.615**** (0.412)	45.679*** (16.050)	9.112**** (0.603)	2.958**** (0.360)	56.392**** (14.418)
Specification	FE	FE	FE	FE	FE	FE
Hausman	87.91****	58.22****	37.71****	78.55****	43.33****	45.35****
Obs.	247	247	247	247	247	247
No. groups	25	25	25	25	25	25

Tab.1: <sup>1</sup> Renewable Energy Ratio, \*p < 0.10, \*\*p < 0.05, \*\*\*p < 0.01, \*\*\*\*p < 0.001  
Dependent variable: GDP per capita (Models 1 and 4); GHG emissions per capita (Models 2 and 5); unemployment rate (Models 3 and 6). Standard error in parenthesis.

## Einfluss der Kreislaufwirtschaft auf die SD

Die Forschung belegt, dass die Umsetzung einer Circular Economy den Ländern helfen kann, eine SD zu erreichen. Mit diesem Forschungsansatz konnte man nachweisen, dass die CE Auswirkungen auf alle drei Dimensionen der SD hat. In der Studie wurde empirisch belegt, dass eine bessere CE-Performance das BIP erhöht (Ökonomie), die Treibhausgasemissionen reduziert (Ökologie) und die Arbeitslosenquote senkt (Soziales). Gleichwohl lässt sich zeigen, dass die vier Wertequellen der Circular Economy unterschiedliche Auswirkungen auf die drei Dimensionen der SD haben.

## Einfluss der erneuerbaren Energien auf die SD

Die Forschungsergebnisse zeigen weiterhin, dass die Nutzung erneuerbarer Energien einen signifikant negativen Einfluss auf die Treibhausgasemissionen (Ökologie) hat. Dieses Ergebnis steht im Einklang mit früheren Untersuchungen<sup>6</sup> und bestätigt die Bedeutung der Nutzung erneuerbarer Energien zur Realisierung einer SD. Darüber hinaus wurde keine signifikante Auswirkung zwischen der Nutzung von erneuerbaren Energien und dem BIP (Ökonomie) festgestellt. Auf der Grundlage dieser Forschungsergebnisse kann jedoch eine stark signifikante negative Auswirkung zwischen dem Einsatz erneuerbarer Energien und der Arbeitslosenquote (Soziales) festgestellt werden.

## Einfluss von Reuse & Sharing auf die SD

Die Ergebnisse zeigen ferner, dass die Prinzipien Reuse & Sharing zu geringeren Treibhausgasemissionen führen. Dieses Ergebnis steht ebenfalls im Einklang mit früheren Untersuchungen<sup>7</sup> und bestätigt das Potenzial von Reuse & Sharing-Modellen. Eine Korrelation zwischen Reuse & Sharing und dem BIP oder der Arbeitslosenquote konnte nicht nachgewiesen werden. Soweit den Autoren bekannt ist, gibt es zu diesem Thema bislang noch keine Untersuchungen.

## Einfluss von Reparatur und Wiederaufarbeitung auf die SD

Die hier gewonnenen Forschungsergebnisse deuten darauf hin, dass Reparatur und Wiederaufarbeitung zu wirtschaftlichem Wachstum führen. Die Analyse liefert auch Belege dafür, dass Reparatur und Wiederaufbereitung die Arbeitslosenquote in europäischen Ländern senken. Ferner lässt sich auch eine positive Beziehung zwischen Reparatur und Wiederaufarbeitung und Treibhausgasemissionen nachweisen. Ein Grund für diese positive Beziehung könnte darin liegen, dass Reparatur und Wiederaufarbeitung Emissionen vor Ort erzeugen, während neue Produkte aus dem Ausland importiert werden und somit Treibhausgasemissionen anderswo erzeugt werden. Europa ist weltweit betrachtet die einzige Region, die mehr natürliche Ressourcen und „Umweltverschmutzung“ (gemessen an den GHG-Emissionen) importiert als sie exportiert. Daher haben in Europa die Reparatur und die Wiederaufbereitung größere Umweltauswirkungen als der Ersatz von Produkten durch neue Importe. Es kann davon ausgegangen werden, dass in anderen Regionen die Umweltauswirkungen von Reparatur und Wiederaufarbeitung unterschiedlich sein können.

## Einfluss von Recycling auf die SD

Anhand der vorliegenden Ergebnisse konnte man keinen Einfluss zwischen der Recycling-Performance der Länder und dem BIP beziehungsweise den Treibhausgasemissionen feststellen. Die Ergebnisse liefern lediglich empirische Belege dafür, dass Recycling die Arbeitslosenquote senkt. Dieses Ergebnis steht im Einklang mit früheren Untersuchungen<sup>8</sup>. Die hier gewonnene Erkenntnis ist, dass Recycling, das häufig als Synonym für CE verwendet wird, derzeit nicht in der Lage ist, allein zur SD beizutragen. Zwar können je nach Sektor und Material die Auswirkungen von Recycling variieren, dennoch ist davon auszugehen, dass die Vorteile des Recyclings nur dann voll ausgeschöpft werden können, wenn es mit erneuerbaren Energien betrieben wird. Derzeit werden im Recyclingprozess noch überwiegend fossile Brennstoffe verwendet.

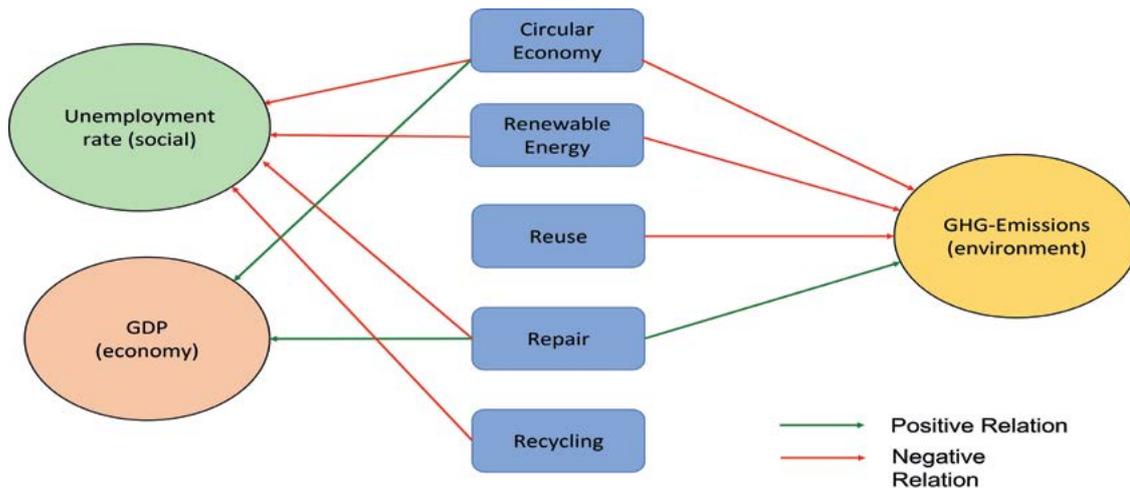


Abb. 5:  
Grafische Veranschaulichung der Forschungsergebnisse (eigene Darstellung)

Die obige Abbildung fasst die Forschungsergebnisse grafisch zusammen.

### Fazit – weitere Forschungsaktivitäten

Die Circular Economy ist in der Lage, eine Sustainable Development zu fördern. Jedoch nicht alle zirkulären Modelle beeinflussen die drei Dimensionen der SD gleichermaßen. Einige der Ergebnisse deuten darauf hin, dass der jeweilige Kontext (Industrie-, Schwellen- oder Entwicklungsland, Art der recyclingfähigen Materialien, Infrastruktur, Außenhandelsintensität etc.) eine wichtige Rolle bei den Auswirkungen der CE spielt. Jedoch keine der CE-Wertequellen für sich genommen hat einen positiven Einfluss auf alle drei Dimensionen der SD. Aus diesem Grund sollte die Bedeutung der Wechselwirkungen zwischen den verschiedenen CE-Wertequellen betont werden. Es ist nicht möglich, SD mit einer einzigen Wertequelle zu erreichen.

Eine weitere wichtige Implikation ist, dass politische Entscheidungsträger sich bewusst sein müssen, dass CE-Wertequellen unterschiedliche Konsequenzen haben können. Daher sollte die Politik abwägen, welche Wertequellen und Maßnahmen für bestimmte Ziele geeignet sind. Andernfalls könnten politische Entscheidungen den gegenteiligen Effekt haben und gesetzte Klimaziele nicht vollumfänglich erreicht werden.

Im Rahmen weiterer Forschungsaktivitäten konzentrieren sich die Autoren zukünftig auf die mikroökonomische Ebene. Hierfür werden derzeit Unternehmensdaten ermittelt und die CE- und SD-Performance auf Unternehmensebene analysiert. Darüber hinaus wird anhand von Indikatoren zur Reputation untersucht, ob Unternehmen bewusst Greenwashing betreiben. Mit konkreten Forschungsergebnissen wird im Laufe dieses Jahres gerechnet.

#### Referenzen/References:

1 United Nations. Sustainable Development Goals (SDGs) and Disability. [Online] <https://www.un.org/development/desa/disabilities/about-us/sustainable-development-goals-sdgs-and-disability.html> [abgerufen: 11.12.22]

2 WCED. Our Common Future. Oxford University Press, Oxford, GB, 1987. S. 37

3 Ellen MacArthur Foundation. What is a circular economy? [Online] <https://ellenmacarthurfoundation.org/topics/circular-economy-introduction/overview>; 2022 [abgerufen am 07.09.2022]

4 OECD. Business Models for the Circular Economy: Opportunities and Challenges from a Policy Perspective 2018. S. 4

5 Unterfrauner, Elisabeth & Voigt, Christian & Schrammel, Maria & Menichinelli, Massimo. (2017). The Maker Movement and the Disruption of the Producer-Consumer Relation. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-77547-0\\_9](https://doi.org/10.1007/978-3-319-77547-0_9). S.120

6 Vgl. Lee JW. Long-run dynamics of renewable energy consumption on carbon emissions and economic growth in the European Union. International Journal of Sustainable Development & World Ecology

2019; 26 (1): S. 69–78; vgl. Mendonça AKdS, Andrade Conradi Barni G de, Moro MF, Bornia AC, Kupek E, Fernandes L. Hierarchical modeling of the 50 largest economies to verify the impact of GDP, population and renewable energy generation in CO2 emissions. Sustainable Production and Consumption 2020; 22: S. 58–67; vgl.

Mukoro V, Gallego-Schmid A, Sharmina M. Life cycle assessment of renewable energy in Africa. Sustainable Production and Consumption 2021; 28: S. 1314–1332

7 Vgl. Kathan W, Matzler K, Veider V. The sharing economy: Your business model's friend or foe? Business Horizons 2016; 59 (6): S. 663–672; vgl. Harris S, Mata É, Plepys A, Katzeff C. Sharing is daring, but is it sustainable? An assessment of sharing cars, electric tools and offices in Sweden. Resources, Conservation and Recycling 2021. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2021.105583>.

8 Vgl. Tellus. More Jobs, Less Pollution - Growing the Recycle Economy in the US 2013. S. 38; vgl. Beccarello M, Di Foggia G. Moving towards a circular economy: economic impacts of higher material recycling targets. Materials Today: Proceedings 2018; 5 (1): 531–543

# Wie von Geisterhand bewegt: 4-D-gedruckte Smart Materials



Stefan Junk  
Prof. Dr.-Ing.

Fakultät W, Forschungsgr.  
4-D-Printing  
CAD und Maschinenelemente

4-D-Druck-Bauteile sind dynamische Körper, die ihre Struktur mit der Zeit verändern. Ausgelöst wird der Effekt durch äußere Reize wie Licht, Temperatur oder magnetische Felder. Ein mögliches Anwendungsgebiet ist die Medizintechnik, wo implantierte Objekte ferngesteuert aktiviert werden können. Neben der Vorstellung bereits untersuchter Werkstoffe geht es im experimentellen Teil um die Herstellung und Verarbeitung eines magnetoresponsiven Filaments. Das Ergebnis zeigt, wie gut die Reproduzierbarkeit des 4-D-Effekts ist. Es werden ergänzend zu den Versuchen magnetomechanische Simulationen gezeigt.

*The 4D printing process creates dynamic bodies, which can change their structure at different points in time. The effect is triggered by external stimuli such as light, temperature, electric or magnetic fields. A possible field of application is medical technology, where implanted objects can be activated remotely. A literature search provides information about materials that have already been investigated. The experimental part involves the production of a magneto-responsive filament made out of polymeric plastic and magnetic particles. Prototypes with flat plates and hinges were printed and tested. The result shows how good the reproducibility of the effect is. Magnetomechanic Simulations suitable for the experiments are carried out.*



Thomas Seifert  
Prof. Dr.-Ing.

Fakultät M+V, Prorektor  
Forschung  
Werkstoffmechanik und  
Simulation, Finite-Elemente  
Methode, Schadenskunde

Seit einigen Jahren nimmt das Interesse an dem Fertigungsverfahren des 3-D-Drucks stark zu. Die weltweiten Forschungsanstrengungen führen zu immer besserer Qualität der Druckerzeugnisse und neuen Anwendungsgebieten. Es können unterschiedlichste Materialien gedruckt werden, was eine Fülle an verschiedenen Verfahren und Geräten bedingt [1]. Ein weiterer Schritt in der Entwicklung ist die Einführung des 4-D-Drucks, bei dem die Druckerzeugnisse ihre Struktur aufgrund von äußeren Reizen verändern [2]. Die Veränderung der Struktur beruht meist auf einer Geometrieänderung und einer darauf aufbauenden Bewegung. Die äußeren Reize können unter anderem Licht, Temperatur, Feuchtigkeit, pH-Wert, elektrische oder magnetische Felder sein [3]. Die neuen Möglichkeiten, die durch den 4-D-Druck entstehen können, sind beispielsweise das Lösen von technischen Aufgaben ohne die aufwendige Versorgung mit konventioneller Energie (zum Beispiel Stromkabel oder Schläuche für Pneumatik oder Hydraulik), sondern durch bloße Umweltreize wie Sonnenlicht, Feuchtigkeit oder Temperatur [2]. Dies wäre auch ein Solarmodul, das seinen Neigungswinkel genau mit dem Verlauf der Sonne verändert. Ebenfalls können Geometrien erzeugt werden, die erst nach Er-

reichen ihres Einsatzortes nach Abschluss der Montage entfaltet werden, wie das gezielte Öffnen eines Stents während einer Operation.

## Grundlagen und Werkstoffe beim 4-D-Druck

Beim konventionellen 3-D-Druck werden in der Regel Materialien verwendet, die aus einem Grundwerkstoff (zum Beispiel Metall, Kunststoff oder Mineral) bestehen. Diese Grundwerkstoffe werden mit additiven Fertigungseinrichtungen durch schichtweises Auftragen in eine statische, sich über die Zeit nicht verändernde geometrische Form gebracht. Eine deutliche Weiterentwicklung des 3-D-Drucks ist die Einführung des 4-D-Drucks. Beim 4-D-Druck wandelt ein 3-D-Drucker den Werkstoff in eine dynamische Geometrie um, die ihre Form und damit auch Ihre Funktion verändern kann.

Eine Schlüsselfunktion beim 4-D-Druck spielen dabei die verwendeten Werkstoffe, die ihre Geometrie und damit ihre Funktion unter äußeren Einflüssen verändern können. Man spricht bei geeigneten Materialien von smart materials. Voraussetzung, um zu dieser Kategorie anzugehören, sind Intelligenz



Dirk Velten  
Prof. Dr.-Ing.

Fakultät M+V  
Werkstoff- und Oberflächen-  
technik, Korrosion

und Druckbarkeit. [3] Intelligenz bedeutet in diesem Kontext, dass der Werkstoff sich eine gewisse Form scheinbar merkt, auch wenn er verformt wurde und diese Form durch Aktivierung wieder einnehmen kann. Die Aktivierung wird durch äußere Einflüsse eingeleitet. Das Verformen eines Bauteils zu einer Start- bzw. Endgeometrie wird als Programmierung bezeichnet [4].

Ein dabei oft genutzter Mechanismus ist der shape memory effect, der bei Formgedächtniswerkstoffen zu erkennen ist. Dazu zählt beispielsweise shape memory polymer (SMP), der die Eigenschaft hat, nach dem Druck programmiert werden zu können und wieder zur Ursprungsform zurückzukehren [5]. Es kann bei diesen Kunststoffen die Umformung bei einer erhöhten Temperatur stattfinden, der Glasübergangstemperatur. Danach wird das Bauteil abgekühlt, wobei die Polymerketten in der erzwungenen Orientierung erstarren und eine innere Spannung erzeugen. Beim Programmieren wird ein hochenergetischer Zustand erzeugt, der bei Aktivierung zu einem Zustand niedrigerer Energie strebt. Dem entgegengesetzt steigt die Entropie beim Erreichen des Endzustands [4]. Allerdings kann der Endzustand nur wenige Male erreicht werden, bis sich der Effekt einstellt.

Um diesen Nachteil zu überwinden, wird in der Forschungsgruppe 4-D-Printing seit Kurzem an magnetoresponsiven Werkstoffen geforscht. Diese können auf magnetische Stimuli reagieren und dadurch ihre Geometrie ändern. Ein besonderer Vorteil dabei ist die ferngesteuerte Aktivierung ohne eine mechanische Kopplung oder haptischen Kontakt zum Objekt (6). Zur Erfüllung dieser Bedingungen kommt beim 4-D-Printing ein Kunststoff mit viskoelastischen Eigenschaften als Matrixwerkstoff im Verbund mit magnetisierbaren Partikeln zum Einsatz.

### Entwicklung eines magnetresponsiven Filaments

Für die geplanten Versuchsreihen wird ein Verbund-Werkstoff (Compound) hergestellt. Wegen der guten elastischen Eigenschaften und der hervorragenden Druckbarkeit soll als Polymer ein flexibles Filament verwendet werden. Für die magnetischen Partikel, die in die Matrix eingearbeitet werden sollen, fällt die Wahl auf ein Strontiumferrit-Pulver. Die Herstellung wird in mehreren Schritten vollzogen, wobei die Grundwerkstoffe gemischt

und granuliert werden. Diese Schritte finden im Freiburger Materialforschungszentrum der Albert-Ludwigs-Universität Freiburg statt. In einem letzten Schritt wird das so entstandene Granulat zu einem Filament umgearbeitet. Diese Aufgabe übernimmt ein Unternehmen als Dienstleister.

### Versuchsaufbau und Programmierung

Ziel ist, flache Geometrien herzustellen, die dann in einem Magnetfeld programmiert werden. Die Versuche sollen Erkenntnisse über das Verhalten und die Eigenschaften des magnetoresponsiven Werkstoffs beim Druck und beim Einsatz liefern. Beobachtet werden die Verarbeitbarkeit, die mechanisch-elastischen Eigenschaften, die Reproduzierbarkeit der programmierten Bewegung und die Magnetisierbarkeit.

Es wird eine einfache Geometrie im CAD Programm Catia V5 erzeugt. Dabei orientiert sich die Gestaltung an den Veröffentlichungen von Kim et al., um eine gute Vergleichbarkeit der Ergebnisse zu erlangen. Allerdings mit dem Unterschied, dass Kim et al. die Polarisierung der Magnetpartikel aufwendig durch einen Elektromagneten um die Düse des Druckers realisiert hat [6]. Als neuer Ansatz werden nun die Partikel erst nach Fertigstellen des 3-D-Drucks polarisiert und somit programmiert. Man spricht hierbei vom origami-basierten 4-D-Druckverfahren. Das ermöglicht die Verwendung eines herkömmlichen 3-D-Druckers, ohne diesen teuer und aufwendig umrüsten zu müssen. Die Geometrie wird als Element, das aus Platten beziehungsweise Gliedern, die gelenkig miteinander verbunden sind, gestaltet (Abbildung 1b). Diese Geometrie wird nach dem 3-D-Druck so programmiert, dass sich bei Aktivierung ein Zick-Zack-Muster aus den einzelnen Gliedern bildet. Bei den Versuchen kommen Compounds mit den Mischungsverhältnissen Partikel zu Matrixwerkstoff von 1:1 und 2:1 zum Einsatz.

Die 3-D-gedruckten Bauteile und die darin enthaltenen Partikel sind zunächst orientierungsfrei. Daher wird durch eine Programmierung ein äußeres Magnetfeld aufgeprägt (Abbildung 2a), das verhältnismäßig stark ist, sodass die Magnetisierung der Partikel im Bauteil beginnt. Das äußere Magnetfeld entsteht durch zwei Neodym-Magnete, die eine Remanenz von etwa  $B_r=1,35$  Tesla aufweisen.



Henning Einloth  
M.Eng.

Fakultät W  
Forschungsgr. 4-D-Printing



Markus Schlayer  
M.Sc.

Fakultät M+V  
Forschungsgr. Werkstoff-  
mechanik und Simulation



René Zandomeni  
B.Eng.

Fakultät M+V  
Forschungsgr. 4-D-Printing



Daniel Kehret  
B.Eng.

Fakultät M+V  
Forschungsgr. 4-D-Printing



Abb. 1:  
Zick-Zack-Element in Anlehnung an [6] a) optimierte Geometrie (CAD) und b) optimiertes, gedrucktes 4-D-Bauteil (Masseverhältnis 2:1)

## Versuchergebnisse

Erste Ergebnisse zeigen, dass sich die Geometrie einfach magnetisieren lässt und gut an einem Magneten haftet. Allerdings zeigt sich auch, dass die Druckqualität noch gering ist und die Gelenke eine zu große Biegesteifigkeit aufweisen. Der Vergleich der beiden Massenverhältnisse zeigt jedoch deutlich, dass der erhöhte Partikelanteil zu einer stärkeren Reaktion führt. Daraus lässt sich folgern, dass bei gleicher Magnetisierungsflussdichte und gleicher Remanenz die magnetische Kraft durch Erhöhen der Partikel-dichte vergrößert wird beziehungsweise eine geringere Aktivierungsfeldstärke nötig ist.

Zur Verstärkung der Auslenkung bei der Aktivierung werden die Dicke der Glieder erhöht und die Scharniere werden in der Mitte ausgespart, um das Biegemomentsmoment zu senken (Abbildung 2b). Um eine starke Auslenkung zu erzielen, wird nun nur noch auf das Massenverhältnis 2:1 zurückgegriffen. Die Beweglichkeit der Scharniere ist um ein Vielfaches leichter und die Druckqualität ist erheblich besser.

Um die Ergebnisse vergleichbar zu machen, wurde der Grad des Ausschlags  $\psi$  in Gleichung (2) formelmäßig definiert. Somit wird die Bewegung des Elements quantifizierbar. Aktiviert wird die programmierte Struktur über einem einzelnen der beiden Neodym-Magnete, die zur Programmierung verwendet wurden. Der Ausschlag  $\varphi_i$  im Vergleich zum ruhenden, also flach aufliegenden, Geometrielement wird in Gleichung (1) definiert zu:

$$\varphi_i = 180^\circ - \alpha_i \quad (1)$$

Der Grad des Ausschlags  $\psi$  bei Aktivierung (tiefgestelltes a) im Vergleich zu jenem der Programmierung (tiefgestelltes b) wird in Prozent definiert zu:

$$\psi = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{\varphi_{ia}}{\varphi_{in}} * 100 \quad (2)$$

Mit dem Filament aus dem ersten Versuch mit dem Massenverhältnis 1:1 kann nur ein Auslenkungsgrad  $\psi = 23,9\%$  erreicht werden. Im Gegensatz dazu wird bei dem Versuch im Massenverhältnis 2:1 der Auslenkungsgrad auf  $\psi = 72,4\%$  erhöht. Der erreichte Effekt stimmt überein mit demjenigen, den Kim et al. erreichen konnte [6]. Allerdings bietet das Verfahren in dieser Arbeit den großen Vorteil, dass Standard-FLM-Drucker verwendet werden können.

## Simulation magnetresponsiver Werkstoffe

Da 4-D-gedruckte magnetoresponseive Bauteile nach deren Programmierung einerseits die gewünschten Deformationen beim Aktivieren aufweisen müssen und gleichzeitig auch Fragestellungen bezüglich der Lebensdauer bei mehrfachem Aktivieren relevant sind, wird eine Methodik zur computergestützten Auslegung der Bauteile in der Produktentwicklungsphase erarbeitet. Für die Computersimulation muss das gekoppelte magnetisch-mechanische Verhalten von der Programmierung bis zur Aktivierung berücksichtigt werden. Als Simulationsprogramm wird in diesem Forschungsprojekt die Software COMSOL Multiphysics verwendet, die im Modul „Magnetostriktion“ die Wechselwirkung zwischen dem magnetischem Feld und der mechanischen Verschiebung herstellt [7].

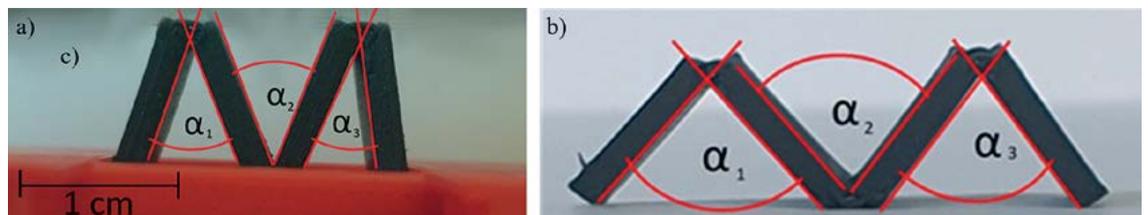


Abb. 2:  
Optimierte Geometrie a) während der Programmierung und b) bei Aktivierung

Der Aufbau der Computersimulation richtet sich nach der praktischen Herstellung der magnetoresponsiven Bauteile, wobei das 3-D-gedruckte Bauteil die Eingangsgröße für die Geometrie in der Simulation darstellt.

Das in diesem Forschungsprojekt betrachtete Herstellungsverfahren wird auch als origami-basierter 4-D-Druck bezeichnet. Beim origami-basierten 4-D-Druck wird das Bauteil manuell verformt und einem starken Magnetfeld ausgesetzt, wodurch die ferromagnetischen Partikel ausgerichtet werden und eine bleibende Magnetisierung erfahren. Ferromagnetisch bedeutet, dass diese Materialien in einem äußeren Magnetfeld magnetisiert werden können und dabei selbst zu einem Magneten werden. Anschließend wird die manuelle Verformung sowie das äußere entfernt, das Bauteil ist in der ursprünglichen Position. Nun ist das Bauteil programmiert und kann in einem äußeren Magnetfeld aktiviert und damit verformt werden.

Im ersten Schritt der Simulation wird die Programmierung des magnetoresponsiven Werkstoffs betrachtet. Hierzu wird in COMSOL Multiphysics das magnetische Werkstoffverhalten definiert. Dabei muss berücksichtigt werden, dass eine bleibende Magnetisierung im Werkstoff verbleiben muss, wenn das entsprechende magnetische Feld bei der Programmierung aufgebracht wird. Dieses Verhalten ist in Abbildung 3 dargestellt. Wird die magnetische Feldstärke  $H$  erhöht, steigt die magnetische Flussdichte  $B$  zuerst ungefähr linear mit der Feldstärke  $H$  an und nimmt mit steigender Feldstärke  $H$  einen nichtlinearen Verlauf an. Dies ist in Abbildung 3 als Neukurve dargestellt. Bei weiterer Erhöhung der Feldstärke  $H$  wird die Sättigungsmagnetisierung  $M_s$  erreicht. Wird nun die Feldstärke wieder reduziert, läuft die Hysteresekurve nicht mehr auf dem ursprünglichen Pfad zurück, sondern zur remanenten Flussdichte  $B_r$ . Diese Flussdichte liegt nach der Magnetisierung vor, wenn kein äußeres magnetisches Feld vorhanden ist und damit ist der Werkstoff magnetisiert und das Bauteil programmiert.

Im zweiten Schritt wird die Aktivierung betrachtet. Hierbei muss das programmierte Bauteil in der Computersimulation auf ein äußeres magnetisches Feld reagieren. Hierbei muss jedoch die magnetische Feldstärke des äußeren Feldes deutlich schwächer sein als beim Programmieren, da sonst die Programmierung verändert wird. Zur Beschreibung der magneti-

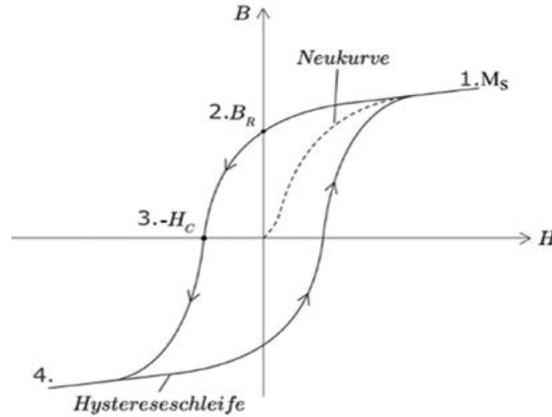


Abb. 3: Schematische Darstellung der magnetischen Hysteresekurve mit charakteristischen Punkten [8]

schen Eigenschaften in COMSOL Multiphysics wird das Jiles-Atherton Modell verwendet, das eben diese nichtlinearen Effekte bei der Magnetisierung berücksichtigen kann. Das mit dem Jiles-Atherton Modell berechnete Magnetisierungsverhalten ist in Abbildung 4 beispielhaft für ein wechselndes magnetisches Feld mit steigender Amplitude der magnetischen Feldstärke dargestellt.

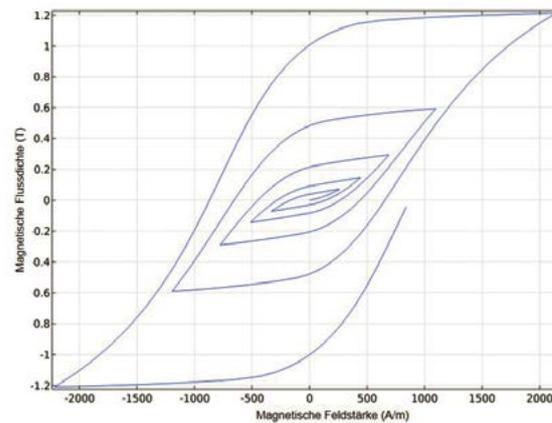
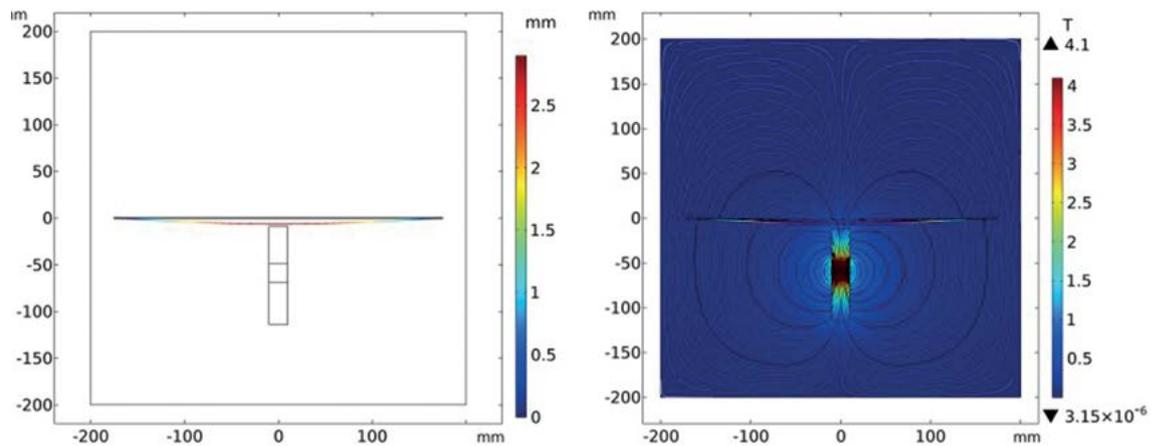


Abb. 4: Mit dem Jiles-Atherton Modell in COMSOL Multiphysics berechnete Hysterese

Die Kopplung von magnetischem und mechanischem Verhalten, wie es schließlich für die Simulation der Zustandsänderung von 4-D-gedruckten Bauteilen notwendig ist, wird anhand einer magnetostruktive Simulation der Verformung eines ferromagnetischen Blechs mit einem Permanentmagnet mit COMSOL Multiphysics erprobt. Das Blech ist in Abbildung 5 horizontal in Schwarz dargestellt. Wird nun durch den Permanentmagneten ein magnetisches Feld aufgebracht, wird das Blech um etwa 2,5 mm gebogen. Die maximale Durchbiegung ist in Abbildung 5 links in Rot dargestellt. Außerdem kann in Abbildung 5 rechts der Verlauf der magnetischen Feldlinien von dem Permanentmagnet durch das Bauteil dargestellt werden. Mit dieser Simulation wird gezeigt, dass die Verformung ferromagnetischer Bauteile in einem magnetischen Feld mit COMSOL Multiphysics berechnet werden kann.

**Abb. 5:**  
Simulation der Verformung eines ferromagnetischen Blechs in COMSOL Multiphysics. Verformung des Blechs (links) und magnetische Flussdichte (rechts).



## Zusammenfassung / Ausblick

In diesem Beitrag wurde untersucht, wie sich einfache magneto-responsive Bauteile mit dem 4-D-Printing herstellen lassen. In der Literaturrecherche zeigte sich, dass bisher bereits beeindruckende Ergebnisse mit der Verarbeitung von Hydrogelen erreicht wurden. Diese haben aber als Nachteil, dass sie nur aufwendig verarbeitbar und eher für einfache Geometrien geeignet sind.

Bei der Untersuchung des neuen Ansatzes mit Filamenten konnte gezeigt werden, dass die Herstellung des Druckwerkstoffs aus Grundmaterial und magnetisierbarem Pulver mit konventionellen Anlagen möglich ist. Beim Verdrucken des so hergestellten Filaments mit einem konventionellen und günstigen FLM-Drucker konnten verschiedene Parameter optimiert werden. Die anschließende Programmierung erfolgte mit starken Magneten. Bei der Aktivierung zeigte sich, dass eine angepasste Geometrie der Bauteile (wie Bauteildicke und Form der Verbindungen) und eine Erhöhung des Massenverhältnisses zu besseren Ergebnissen führt. Diese Verbesserung konnte durch die Winkelmessung beim Ausschlag quantifiziert werden.

Die Versuche wurden durch Simulationen mit dem Berechnungsprogramm COMSOL Multiphysics ergänzt. Mit den gezeigten Simulationen konnten zwei wichtige Eigenschaften 4-D-gedruckter Bauteile simuliert werden. Auf der einen Seite konnte die nicht-lineare Magnetisierung eines Bauteils nach dem Druckvorgang simuliert werden. Auf der anderen Seite wurde gezeigt, dass auch größere Verformungen, wie bei 4-D-gedruckten Bauteilen vorgesehen, simuliert werden können.

Zukünftig können die Werkstoffeigenschaften des magnetresponsiven Filaments bestimmt werden und in das Simulationsprogramm aufgenommen werden. Damit kann beispielsweise die notwendige Größe der magnetischen Feldstärke zur Programmierung des Bauteils im 4-D-Druckverfahren berechnet werden. Außerdem kann das Verformungsverhalten in einem äußeren Magnetfeld simuliert werden.

In weiteren Versuchen sollen anspruchsvollere Geometrien, wie das Falten einer Box untersucht werden. Dabei soll auch der Grad des Ausschlags weiter erhöht werden. Zudem ist von Interesse, wie sich eine Erhöhung des Masseverhältnisses auf Aktivierung und Verarbeitung auswirken.

### Referenzen/References:

- [1] Gibson, D. Rosen, B. Stucker, and M. Khorasani, "Additive manufacturing technologies," Cham, Switzerland: Springer, 2021
- [2] A. Haleem, M. Javaid, R. P. Singh, and R. Suman, "Significant roles of 4D printing using smart materials in the field of manufacturing," *Advanced Industrial and Engineering Polymer Research*, vol. 4, no. 4, pp. 301–311, 2021
- [3] H. A. Alshahrani, "Review of 4D printing materials and reinforced composites: Behaviors, applications and challenges," *Journal of Science: Advanced Materials and Devices*, vol. 6, no. 2, pp. 167–185, 2021
- [4] I. S. Nezhad, M. Golzar, A. h. Behraves, and S. Zare, "Comprehensive study on shape shifting behaviors in FDM-based 4D printing of bilayer structures," *Int J Adv Manuf Technol*, vol. 120, 1-2, pp. 959–974, 2022
- [5] H. Y. Jeong, B. H. Woo, N. Kim, and Y. C. Jun, "Multicolor 4D printing of shape-memory polymers for light-induced selective heating and remote actuation," *Scientific reports*, vol. 10, no. 1, p. 6258, 2020
- [6] Y. Kim, H. Yuk, R. Zhao, S. A. Chester, and X. Zhao, "Printing ferromagnetic domains for untethered fast-transforming soft materials," *Nature*, vol. 558, no. 7709, pp. 274–279, 2018
- [7] COMSOL. COMSOL Multiphysics Reference Manual. Version 5.6. COMSOL, 2020
- [8] M. Marinescu, „Elektrische und magnetische Felder“. Berlin, Heidelberg: Springer, 2012



# SCHAUB

FERTIGUNGSTECHNIK

Flößerstraße 5  
77723 Gengenbach  
Tel: 07803 96610  
info@schaub-ft.de



GESTELLE

LÄNGSACHSEN

SCHWEISSKONSTRUKTIONEN

PLATTFORMEN

CNC-BEARBEITUNG

MASCHINENBAU

## Hardware für Ihre Robotik

Wir sind zertifiziert nach: DIN EN ISO 9001 DIN EN 1090-2 (EXC3) DIN EN ISO 3834-2

COLOR YOUR FUTURE WITH

# ERNST

GROUP

Wir suchen

## Zukunftsformer

(mwd)

Werde Teil unseres Teams!

Alle Infos und Sofort-Bewerbung hier:

Stellenangebote [www.ernst.de](http://www.ernst.de)



ERNST Umformtechnik GmbH | D-77704 Oberkirch-Zusenhofen | Telefon +49 7805 406-0 | karriere@ernst.de



# Was tun gegen Betonkrebs?



Bernd Spangenberg  
Prof. Dr. rer. nat.

Fakultät M+V, Seniorprofessor,  
Leitung Institut NaSiO bis 12/22

Moderner Beton ist ein Gemisch aus Wasser, Portlandzement und Zuschlagstoffen. Seit etwa 150 Jahren gilt Beton als der praktisch unbegrenzt haltbare Universalbaustoff der Neuzeit. Mit seinem Anteil von rund acht Prozent an den weltweiten CO<sub>2</sub>-Emissionen, den rasant steigenden Transportkosten für seine Zuschlagstoffe und der Betonkrebsproblematik ist Beton aus Portlandzement allerdings schon lange kein Baustoff der Zukunft mehr.

*Modern concrete is a mixture of water, Portland cement and aggregates. For about 150 years, concrete has been regarded as the practically indefinitely durable universal building material of the modern age. With its share of around eight percent of all CO<sub>2</sub> emissions, the rapidly rising transport costs for its aggregates, and the problem of the alkali-silica reaction (commonly known as concrete cancer), concrete made from Portland cement has long stopped being the building material of the future. The Institute for Sustainable Silicate Research in Offenburg (NaSiO) is developing an alternative concrete that emits about 70 percent less CO<sub>2</sub> than conventional concrete in a solar economy with 100 percent solar power.*

## Beton hat eine lange Geschichte

Seit etwa 150 Jahren gilt Beton als der praktisch unbegrenzt haltbare Universalbaustoff der Moderne. In den USA entstand 1902 das erste Eisenbeton-Hochhaus der Welt, das 16-stöckige Ingalls Building in Cincinnati. Die erste moderne Spannbetonbrücke in Westdeutschland wurde im Jahre 1949 gebaut. Sie musste 2018 saniert werden.

Beton ist jedoch viel älter als nur 150 Jahre. Er wurde vermutlich von den Griechen erfunden und gelangte Jahrhunderte später zu den Römern [1]. Im Römischen Reich wurde römischer Beton, der opus caementitium, im großen Umfang verwendet. Das Kolosseum und das Pantheon sind die eindrucksvollsten Beispiele römischer Betonbaukunst. Aber es wurden auch Tempel, Wohnhäuser, Straßen und Brücken sowie Thermen und Amphitheater, Häfen, Zisternen, Wasserleitungen und Abwasserkanäle aus Beton gebaut. Das Pantheon mit über 43 Meter Durchmesser ist heute noch die größte freitragende Kuppel aus unbewehrtem Beton, Beton also, der nicht durch Einlagen aus Stahlstäben oder -matten verstärkt wurde. Den ältesten in Beton gegossenen römischen Kuppelbau (Tempel des Merkur) findet man im alten Hafen der von Griechen gegründeten Stadt Cumae. Er wurde im ersten Jahrhundert v. Chr. errichtet und besitzt einen Kuppeldurchmesser von 21,5 Metern. Er diente nicht als Tempel, sondern war Teil einer Thermenanlage und

wurde vermutlich als Speisesaal benutzt. Die älteste noch im Ursprungszustand erhaltene Brücke Roms ist der Ponte Fabricio. Ihre Bögen wurden 62 v. Chr. mit einem Betonkern aus opus caementitium errichtet. Die Bögen der nur 100 Meter entfernt stehenden Ponte Cestio wurden zwischen 60 und 40 v. Chr. aus Beton gegossen. Die Brücke ist noch heute für den Fußgänger- und Fahrzeugverkehr freigegeben.

## „Betonkrebs“ – ein großes Problem

Der aktuelle Zustand deutscher Betonbrücken ist nach einer Studie des Deutschen Instituts für Urbanistik (Difu) alarmierend: „Knapp die Hälfte der kommunalen Brücken weist schlechte oder problematische Zustände auf“. Die Difu-Experten ermittelten 66714 entsprechende Bauwerke und stellten in einer Stichprobe fest, dass bei rund 15 Prozent der Brücken „Ersatzneubaubedarf“ bestehe, sie also abgerissen und neu gebaut werden müssen [2]. Der Grund für das Versagen moderner Betonbauten ist vielfältig. Oft handelt es sich um Konstruktionsfehler oder bei bewehrtem Beton, um Stahlkorrosion. Auch kann sich durch Sulfateintrag das Mineral Ettringit bilden, ein Calciumsulfoaluminat, das durch Wasseraufnahme die Betonstruktur sprengt. In den allermeisten Fällen ist jedoch die Alkali-Kieselsäure-Reaktion für den Zerfall verantwortlich, eine chemische Umsetzung von Kieselsäure mit Calciumionen, die landläufig auch als „Betonkrebs“ bezeichnet wird. Betonkrebs

entsteht aus allen Zuschlagstoffen, die Kieselsäure enthalten. Katalysiert durch geringe Mengen an Natrium- oder Kaliumionen löst sich diese beim Eindringen von Feuchtigkeit aus dem Zuschlagstoff und dehnt den Beton bis zum Bruch. Das ideale Milieu findet der Betonkrebis auf Straßenbelägen, Brücken und Eisenbahnschwellen. Seit den siebziger Jahren war Betonkrebis, zumindest auf dem Gebiet der DDR, gut erforscht. Bekannt wurden die zerbröselnden Bahnschwellen der DDR, die nach der Wende in großem Umfang ausgetauscht werden mussten [3]. Erst allmählich begriff man auch im Westen, dass Betonkrebis kein alleiniges Problem der DDR war.

Die einzige Möglichkeit, die Alkali-Kieselsäure-Reaktion in Gegenwart von silikatischen Zuschlagstoffen und Wasser zu vermeiden, besteht darin, die Konzentration an löslichen Natrium- oder Kaliumionen auf einem möglichst niedrigen Niveau zu halten. So wird der Katalysemechanismus der Alkaliionen weitgehend unterdrückt. Das alte Nassherstellungsverfahren von Zement hatte im Gegensatz zu dem heute verwendeten Trockenverfahren den Vorteil, dass ein Großteil der wasserlöslichen Alkaliionen ausgewaschen wurde. Eine andere Möglichkeit besteht in der Vermeidung silikatischer Zuschlagstoffe. Bei öffentlichen Großbauten wie Brücken oder Autobahnen dürfen seit 2005 die Zuschlagstoffe Opalsandstein, poröser Flint, Kiesel-schiefer, Quarzporphyr und Grauwacke in Beton nicht mehr verbaut werden, weil sie zu viel freie Kieselsäure enthalten [4]. Für unsere bauliche Infrastruktur wäre am sichersten ein weitgehend alkalifreier Zement, dem nur Zuschläge aus gewaschenem Sand und Kies beigemischt werden. Leider lassen sich nur weniger als fünf Prozent der weltweiten Sandvorkommen für die Betonherstellung nutzen. Auch in Deutschland steht Sand nicht unbegrenzt zur Verfügung und muss für manches Bauvorhaben über weite Strecken angeliefert werden [5, 6]. Eine gute Frage ist, warum man nicht einfach den in ausreichender Menge vorhandenen Wüstensand zur Betonherstellung verwendet. Dagegen sprechen zwei Dinge: die Körnung des Wüstensandes und sein Transportpreis. Um stabilen Beton herzustellen, ist Reibung zwischen den Zuschlägen erforderlich. Die Wüstensandkörner haben die falsche Form dafür. Sie sind zu rund, zu glatt und zu fein, um als Bindemittel in Beton zu wirken. Ist der Zuschlag zu fein, wird mehr Zement benötigt, der bei seiner Herstellung

(zu) viel CO<sub>2</sub> freisetzt. Daher braucht es auch größere Zuschlagstoffe wie zum Beispiel Kies. Wird von diesem allerdings zu viel verwendet, fließt der Beton schlechter, lässt sich schlechter verdichten und entmischt sich an der Oberfläche. Daher kommt es auf den richtigen Mix an Zement und groben wie feinen Zuschlagstoffen an.

In der Vergangenheit musste Beton nur billig sein, eine Bauphilosophie, die uns Deutsche mit den anstehenden Reparaturen unserer Infrastruktur sehr teuer zu stehen kommen wird. Heute zählen auch andere Kriterien. Mit seinem Anteil von weltweit etwa acht Prozent aller CO<sub>2</sub>-Emission und den stark steigenden Transportkosten für seine Zuschläge, ist Beton aus Portlandzement schon längst kein Baustoff der Zukunft mehr. Auf Beton zu verzichten ist aber teuer, denn beim Gießen der Bauwerke braucht es nur wenige Handwerker, und das Bauen geht schnell. Alternativen wie Lehm und Holz haben zwar eine sehr gute CO<sub>2</sub>-Bilanz, aber Autobahnbrücken kann man mit ihnen nicht bauen. Gefragt für die Zukunft ist ein Beton, der beliebiges Gestein vor Ort als Zuschlagstoff verträgt, eine wesentlich bessere CO<sub>2</sub>-Bilanz als Portlandzement besitzt, sich aber wie diesen verarbeiten lässt.

### Vitan<sup>®</sup>, der nachhaltige Beton

Das Institut für nachhaltige Silikatforschung in Offenburg (NaSiO) beschäftigt sich seit Jahren mit dem Problemstoff Beton. NaSiO entwickelt einen alternativen Beton, der in einer Solarökonomie mit 100 Prozent Solarstrom bei gleicher Festigkeit etwa 70 Prozent weniger CO<sub>2</sub> als herkömmlicher Beton freisetzt. Die Grundidee besteht darin, eine chemische Reaktion zur Betonverfestigung zu nutzen. In Kombination mit einem beliebigen Füllstoff eignet sich dieser neue Verbundstoff gut als Ersatz für Beton, da die Reaktion bei Raumtemperatur nur durch Mischen eines Feststoffes (Calciumaluminat mit Zuschlägen) und einer Flüssigkeit (alkalisch aktivierte Wasserglaslösung) abläuft. Das Bindemittel wird unter dem Namen Vitan<sup>®</sup> vermarktet. Mit Vitan<sup>®</sup> wird die Idee wieder aufgenommen, mit der Griechen und Römer in der Vergangenheit bauten. Der römische opus caementitium nutzte die chemische Reaktion von Kieselsäure mit Calciumionen, die Betonkrebisreaktion, zur Gesteinsbildung. Dieser Beton brauchte allerdings Jahre, um seine Endfestigkeit zu erreichen. Im Vitan<sup>®</sup>-Ansatz wird die

Bildung von Betonkrebs nicht unterdrückt, sondern ebenfalls zur Aushärtung genutzt. Die katalytisch wirkenden Natriumionen aus dem Wasserglas werden Teil des Polymers, was die Reaktion mit der Zeit verlangsamt und schließlich zum Stillstand bringt. Der Vitan®-Beton wird schnell hart, viel schneller als der römische Beton, reagiert jedoch über Monate nach und wird dabei immer stabiler. Die Abbildung 1 zeigt die Druckfestigkeiten verschiedener Vitan®-Betonen, gemessen in N/mm<sup>2</sup>. Identische Proben aus verschiedenen Ansätzen wurden einen Monat nach der Herstellung und nach 15 Monaten Lagerzeit bei 20 °C vermessen. Die Geradensteigung ergibt einen Wert von etwas über eins, was auf eine Festigkeitssteigerung der Proben während der Lagerzeit hindeutet.

Da zu Beginn der Vitan®-Reaktion alles abreagiert, was in der Mischung vorhanden ist, können später keine zusätzlichen Produkte entstehen, die mit Wasser die Betonstruktur mechanisch aufsprengen könnten. Damit sollte Betonkrebs dem Vitan®-Beton auf Dauer keinen Schaden zuführen können.

Referenzen/References:

- [1] <https://docs.google.com/viewer?a=v&pid=sites&srcid=ZG-VmYXVsdGRvbWFpbxhbVWVsaWFjYXJvbGluYXNwYXJhdmlnbnm-F8Z3g6NDdkMGZkYzQ4ZmQ2OGQ0Ng>
- [2] <https://www.welt.de/wirtschaft/article120489862/Betonkrebs-zerfrisst-die-deutschen-Bruecken.html>
- [3] <https://derastanareporter.wordpress.com/2014/06/29/betonkrebs-und-der-untergang-der-ddr/>
- [4] <https://www.hausjournal.net/betonkrebs>
- [5] <https://www.baustoffwissen.de/baustoffe/baustoffknowhow/grundstoffe-des-bauens/beton-aus-wuestensand-multicon-pellets-granulat-revolution-in-der-betonindustrie/>
- [6] Peduzzi, P. (2014). Sand, rarer than one thinks. Environmental Development, 11, 208-218

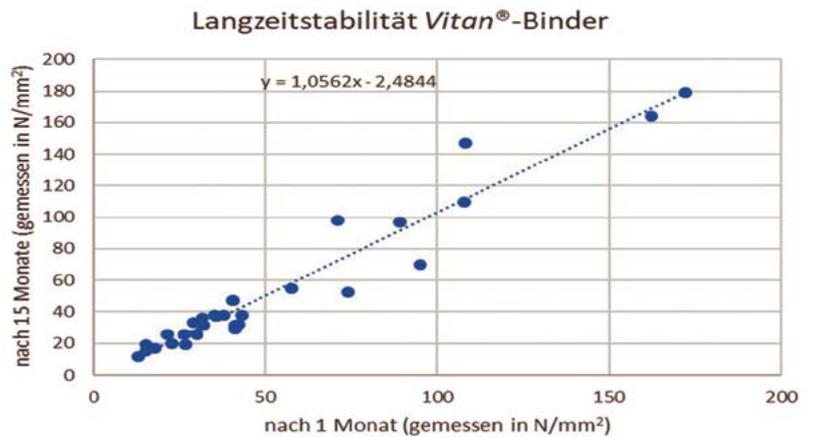


Abb. 1:

Stabilität der Vitan®-Proben, gemessen in N/mm<sup>2</sup> nach einem und 15 Monaten Lagerzeit. Die Steigung der Geraden liegt leicht über dem Wert 1, was auf eine stetige Zunahme der Festigkeit hindeutet.



Mercedes-Benz  
Labore Prüf- und  
Testzentrum  
Untertürkheim

## Innovative Konzepte für innovative Kunden

Industrie – Forschung – Kommunen

### Unsere Leistungen:

- / Nutzungskonzepte
- / Gebäudeplanung
- / TGA-Planung
- / Generalplanung

### Unser Know-how:

- / Über 30 Jahre Erfahrung
- / Eigene Planungsteams für die Gewerke
  - / Heizung-Sanitär-Lüftung-Klimatechnik
  - / Elektrotechnik
  - / Prozesstechnik
  - / MSR-Technik
  - / CAD-Konstruktion
- / Neueste 3D-Planungssoftware (BIM)



**REHATEC**  
Technische Gebäudeausrüstung

**QMS**  
Qualitätsmanagement  
Seit 2005

**BIM**  
Building Information Modeling  
Seit 2016

**REHATEC**  
Planungsgesellschaft mbH  
Im Oberwald 6  
79359 Riegel am Kaiserstuhl  
www.rehatec.de

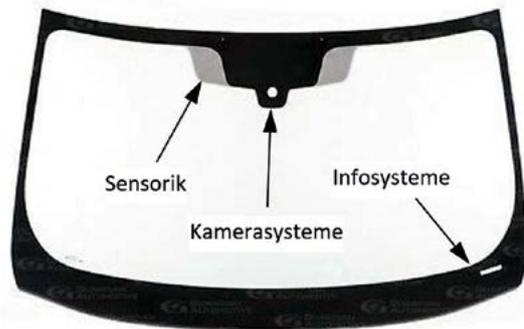
**REHATEC. Intelligent gelöst.**

# Laser-Druckverfahren zur Herstellung funktionaler Schichten auf Glas

Die Automobilindustrie nutzt Glas als Hightech-Werkstoff, um autonomes Fahren zu ermöglichen. Hierbei kommt eine spezielle Sensortechnologie in Windschutzscheiben zum Einsatz, um die Umgebung des Fahrzeugs zu überwachen und relevante Informationen zu liefern. Im Rahmen des Projekts wurden Grundlagen für ein neuartiges Laser-Digitaldruckverfahren erarbeitet, das hochwertige und funktionale Schichten mit keramischen Farben auf Sicherheitsgläsern erzeugen kann.

*The automotive industry uses glass as a high-tech material to enable autonomous driving. Special sensor technology in windshields is used here to monitor the vehicle's surroundings and provide relevant information. As part of the project, the basics for a new type of laser digital printing process were developed, which can produce high-quality and functional layers with ceramic colors on safety glass.*

Im Rahmen eines Projektvorhabens wird ein neuartiges Digitaldruckverfahren entwickelt, das hochwertige und flexible funktionale Schichten auf technische Gläser mit keramischen Farben erzeugen kann. Technische Gläser finden zunehmend Verwendung in zukunftsweisenden Bereichen wie dem autonomen Fahren, der Digitalisierung und der Gebäudetechnik, wo funktionale Schichten optische, sensorische oder aktorische Aufgaben erfüllen. Diese Schichten tragen beispielsweise zur Energieeinsparung oder Energiegewinnung bei (Photovoltaik), ermöglichen die Individualisierung von Produktionsprozessen (Industrie 4.0, IoT) oder unterstützen die Digitalisierung von Prozessabläufen (Künstliche Intelligenz, kollaborative Robotik) (Abb. 1).



**Abb. 1:** Anwendungsbeispiel bedrucktes Sicherheitsglas im Automobilbereich: Sensorik, Kamera- und Infosysteme für autonomes Fahren

Das patentierte Verfahren [1, 2] zur schädigungsfreien Bedruckung von Glas mit Keramikfarben hat eine besondere Eigenschaft: Es ermöglicht erstmals die individuelle und ressourcenschonende Bedruckung von vorgespannten Sicherheitsgläsern, was bisher als nicht möglich galt.

Gemeinsam mit den Kooperationspartnern der Firma THIEME aus Teningen und dem Laserforschungsinstitut IFNANO in Göttingen wurde an der Hochschule Offenburg im Rahmen des ZIM-Kooperationsprojekts LaDiVo (Laserunterstützter Digitaldruck keramischer Farben auf vorgespanntem Glas) ein Druckverfahren

zur Herstellung funktionaler Schichten auf Sicherheitsgläsern entwickelt. Die Besonderheit des Fertigungsverfahrens liegt darin, dass mit dem Einsatz von Lasertechnologie eine nachträgliche schädigungsfreie Bedruckung von vorgespannten Gläsern möglich ist [3].

## Ausgangssituation / Marktbedarf

Siebdruck und Digitaldruck keramischer Farben auf Glas gewinnt eine zunehmende Bedeutung insbesondere im Bereich von Automobilgläsern. Der Vorteil der Verwendung keramischer Farben liegt darin, dass diese Farben in einem thermischen Prozess mit dem



**Günther Waibel**  
Prof. Dr.-Ing.

Fakultät M+V  
Projektleitung „LaDiVo“,  
Fertigungstechnik, Maschinenelemente, Produktentwicklung



**Ulrich Müller**  
M.Eng.

Fakultät M+V  
Projektkoordination „LaDiVo“

Glas verschmolzen und dadurch dauerhaft mit dem Glas verbunden werden. Kratzfestigkeit, Chemikalienbeständigkeit und Wetterfestigkeit sind neben der UV-Beständigkeit entscheidende Vorteile, die eine Veränderung über die Zeit ausschließen. Dies ist im Gegensatz zu organischen Farben, die häufig bei Anwendungen mit eingeschränkten Anforderungen an die Dauerbeständigkeit eingesetzt werden, ein entscheidender Vorteil für dieses anspruchsvolle Einsatzgebiet. Bei Automobilgläsern wird insbesondere schwarze Farbe an den Rändern eingesetzt. Die Schwarzrandbedruckung erfüllt gleich mehrere Funktionen: Sie reduziert Blendung durch die Sonne und andere Lichtquellen, schützt die Klebeverbindung zwischen Glas und Karosserie vor UV-Strahlung, deckt Funktionselemente wie elektrische Leitungen und Haltevorrichtungen ab und erfüllt nebenbei auch noch ästhetische Gründe, um das Erscheinungsbild eines Fahrzeugs zu verbessern. Und mit dem Einsatz von Sensorik und Kamerasystemen kommen mit funktionalen Schichten auf technischen Gläsern und der Haftvermittlung zwischen Sensoren und Glasscheibe weitere sehr wichtige Anforderungen dazu. Neben einfachem Floatglas spielt im Bereich der Automobilindustrie das Sicherheitsglas eine besondere Rolle. Heutige Windschutzscheiben werden meist hochautomatisiert als Verbundsicherheitsglas (VSG) hergestellt. Dabei kommen insbesondere thermisch vorgespanntes Einscheibensicherheitsglas (ESG) nach DIN 12150 und teilvorgespanntes Glas (TVG) nach DIN EN 1863 zum Einsatz. Das thermische Vorspannen ist ein Härteprozess, bei dem die Glasscheibe bis zu einem Transformationspunkt auf mehr als 600 °C erhitzt und anschließend schlagartig abgekühlt wird. Das Glas wird dadurch in einen Eigenspannungszustand versetzt, bei dem der Kern der Scheibe unter Zugbeanspruchung und die Oberfläche unter Druckbeanspruchung steht. Durch diesen Vorgang werden Temperaturwechselbeständigkeit und Biegezugfestigkeit erhöht, jedoch wird das Glas dadurch nicht härter. Im Zerstörungsfall entsteht die typische Bruchstruktur mit vielen kleinen Bruchstücken. Im Verbundaufbau mit einer PVB-Zwischenfolie werden aus zwei Einscheibensicherheitsgläsern (ESG) ein Verbundsicherheitsglas (VSG). Verbundglas verbessert den akustischen Komfort im Fahrzeuginnenraum, schützt vor UV-Strahlung und bietet Sicherheit dank seiner Stoßfestigkeit beim Aufprall. Im Falle eines Bruchs bleiben die Glasstücke mit der Verbundglas-Zwischenschicht verklebt. Im Automobilbau ist der Einsatz von Verbund-Sicherheitsglas seit Langem gesetzlich vorgeschrieben [4, 5, 6, 7, 8, 9].

#### Referenzen/References:

- [1] Waibel, G., Altan, L.: Digitaldruckverfahren für Keramikfarben, Europäische Patentanmeldung EP 3 170 673 A1, veröffentl. 24.05.2017
- [2] Waibel, G., Altan, L.: Digitaldruckverfahren für Keramikfarben, Deutsches Patent- und Markenamt DE 10 2015 119 618, filed Mar. 02, 2017
- [3] ZIM-Projekt „LaDiVo“ – Laserunterstützter Digitaldruck keramischer Farben auf vorgespanntem Glas, Hochschule Offenburg, Thieme GmbH, Förderkennzeichen ZF4384208RU9, 2019-2022
- [4] Saint-Gobain Sekurit: Automobilverglasung und Sicherheitsglas: [www.saint-gobain-sekurit.com/de/sichere-mobilitaet](http://www.saint-gobain-sekurit.com/de/sichere-mobilitaet) (Zugriff 13.03.2023)
- [5] Amtsblatt der Europäischen Union vom 31.08.2010: ECE-Regelung Nr. 43 der Wirtschaftskommission der Vereinten Nationen für Europa (UN/ECE) – Einheitliche Bedingungen für die Genehmigung der Sicherheitsverglasungswerkstoffe und ihres Einbaus in Fahrzeuge; 2010
- [6] BF Bundesverband Flachglas: Verbundsicherheitsglas (VSG) für die Anwendung im Bauwesen, BF-Merkblatt 013, Troisdorf, 2013

## Problemstellung / Zielsetzung

Keramik hat einen höheren Schmelzpunkt als Glas und kann daher zur Aushärtung nicht „einfach“ auf Schmelztemperatur gebracht werden, ohne dass das Glassubstrat aufgrund der Wärmeeinwirkung schmilzt, geschädigt, zerstört oder allgemein in seiner Materialeigenschaften verändert wird.

Vorgespanntes Glas, wie es als Sicherheitsglas beispielsweise in Fahrzeugen (Front-, Heck- und Seitenscheiben) oder bei Gebäuden (Fenster, Trittgeländer, Fassadenelemente) zum Einsatz kommt, lässt sich nachträglich aufgrund der Vorspannung nicht mehr mechanisch bearbeiten. Dazu gehören auch nachträgliche Bearbeitungsverfahren, die mit Wärmeeinbringung einhergehen.

Die Problemstellung beim Stand der Technik liegt also nun darin, dass bei thermisch vorgespannten Sicherheitsgläsern (ESG, TVG) eine nachträgliche Bedruckung mit hochtemperaturschmelzenden Farben nicht mehr möglich ist. Dies bedeutet, dass vorgespanntes Glas nach dem ersten Druckprozess nicht weiter mit keramischer Farbe bedruckt werden kann. Die erforderliche Aushärtetemperatur würde das bereits vorgespannte Glas zerstören. Aufgrund der Variantenvielfalt in der Automobilindustrie ist jedoch eine individuelle Bedruckung kurz vor der Montage der Front-, Seiten- und Heckscheiben notwendig, da je nach Fahrzeugtyp häufig individuelle Lösungen für Sensorikfunktionen seitens der Kunden gewünscht sind.

Ziel des Forschungsvorhabens war, ein neues Verfahren zur Anwendung zu bringen, um Sicherheitsgläser wie beispielsweise Einscheibensicherheitsglas (ESG) und andere qualitativ hochwertige Gläser mehrfach nacheinander mit sehr widerstandsfähiger Keramikfarbe bedrucken zu können, ohne dabei die definierten Glaseigenschaften durch den erforderlichen Härteprozess zu beeinträchtigen.

## Versuchsaufbau / Durchführung

Hauptbestandteil der Versuche ist der Laserversuchsstand an der Hochschule Offenburg. Dieser besteht neben einem CO<sub>2</sub>-Gravierlaser der Firma SABKO, der einen Leistungsbereich von bis zu 150 W abdeckt, aus weiteren Elementen wie einem 3-Achsen-Positioniersystem, einer Vorwärmeinheit, einem Temperaturmesssystem sowie Lüftern zur Probenkühlung und einem Kamerasystem.

tem zur sicheren Überwachung der Versuche. Dieses Positioniersystem ermöglicht es, die Proben in x-y-z-Richtung frei zu positionieren. Ebenfalls ist es möglich, dieses System zu programmieren, sodass die Proben in definierten Bahnen abgefahren werden können. Dieses System deckt einen Verfahrbereich von 135 x 135 x 385 mm ab. Die Geschwindigkeit lässt sich in 1 mm/s Inkrementen von 0 bis 50 mm/s einstellen. Das 3-Achsen-Positioniersystem kann über eine angeschlossenen Stand-Alone-Steuerung gesteuert und programmiert werden. Der Versuchsaufbau und das Lasersystem wurde in mehreren studentischen Arbeiten im Rahmen eines ZIM-Projekts aufgebaut (Abb. 2) [10, 11, 12].

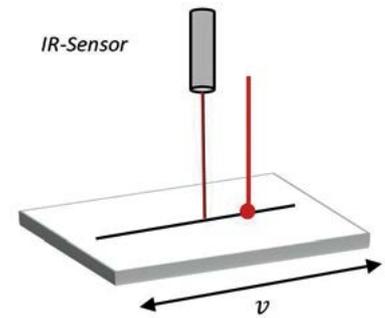
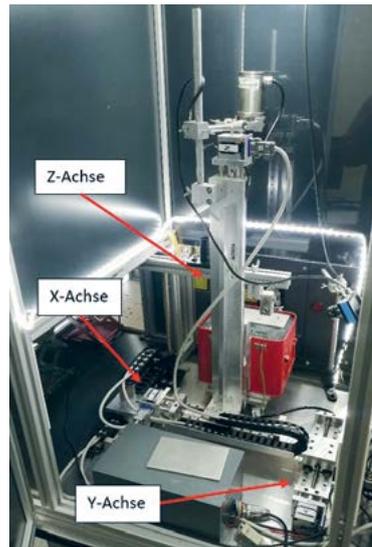


Abb. 2 (links): 3-Achs-Positioniersystem zur Steuerung der Laseranlage  
Abb. 3 (oben): Prinzipieller Ablauf der dynamischen Temperaturmessung

Zur Messung der Einbrenntemperatur auf der Glas- beziehungsweise Keramikoberfläche kommt eine dynamische Messmethode zum Einsatz. Es wurde auch ein statisches Messverfahren geprüft. Allerdings war dieses für die vorliegenden Versuche weniger gut geeignet. Beim dynamischen Messverfahren wird ein hochauflösendes IR-Thermometer am Umlenkspiegel des Lasers befestigt, sodass die Temperaturmessstelle immer auf den Brennpunkt des CO<sub>2</sub>-Lasers ausgerichtet ist. Damit „läuft“ der Messpunkt praktisch beim Bestrahlungsvorgang mit dem Brennfleck des Lasers mit (Abb. 3).

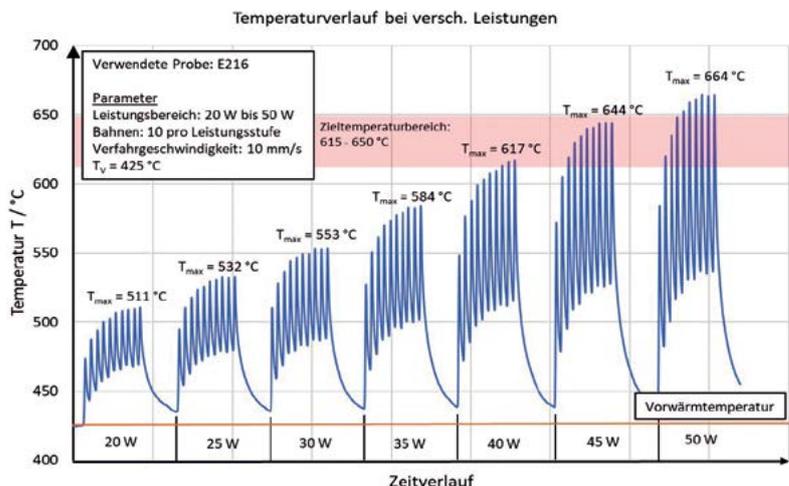
Verfahrgeschwindigkeit beträgt hier 10 mm/s. Weitere Parametervariationen sind Änderung der Verfahrgeschwindigkeit sowie Abstände der einzelnen Bahnen auf den Glasproben. Es zeigte sich, dass bei zu großen Temperaturgradienten die Glasproben zu Bruch gingen.

Ziel der Versuche ist, die für den Aufschmelz- und Härteprozess der Keramikfarbe erforderlichen Temperaturen zu erreichen, ohne dabei das Glas zu schädigen. Es gilt also herauszufinden, ob es möglich ist, deutlich höhere Temperaturen an der Oberfläche zu erzeugen, ohne gleichzeitig das Trägersubstrat auf diese hohe Temperatur zu erwärmen. Der Zieltemperaturbereich zur Aufschmelzung der Keramikfarbe liegt zwischen 615 °C und 650 °C. Dieser Wert ist aus früheren Arbeiten bereits bekannt [12, 13, 14].

Durch Vorwärmung der zu bearbeitenden Proben auf eine Vorwärmtemperatur von 425 °C konnte dieser Temperaturgradient reduziert werden. Die Versuche lassen erkennen, dass pro Leistungsstufe eine Erhöhung der maximalen Temperatur im Vergleich zur vorherigen Stufe stattfindet. Diese Temperaturerhöhung beläuft sich bei der vorliegenden Probe im Mittel auf  $\Delta T = 25,5$  °C. Zudem nahm die Temperatur nach mehreren Bahnen einen nahezu konstanten Wert an und änderte sich nicht mehr signifikant. Mit dieser Erkenntnis wurden in weiteren Versuchen nun weitere Bestrahlungsparameter variiert, wie beispielsweise die Bestrahlungsdauer. Im Diagramm von Abbildung 4 ist neben den Versuchsergebnissen die Vorwärmtemperatur und der Zieltemperaturbereich von 615 °C bis 650 °C dargestellt.

Abb. 4: Temperaturverläufe bei verschiedenen Laser-Leistungen

Die Wärmeeinbringung auf der Oberfläche erfolgt mit einem CO<sub>2</sub>-Laser, da hiermit sehr hohe Energiedichten möglich sind. Die Idee ist, die Oberfläche in sehr kurzer Zeit auf über 615 °C zu erwärmen, ohne dass über Wärmeleitung allzu viel Wärme ins Substrat abfließt, was zu einer Erwärmung des Substrats führen würde. In Versuchsreihen wurde die Laserleistung über die Zeit variiert. Zunächst wurden Proben mit 20 W bestrahlt und anschließend wurde die Leistung sukzessive in 5-W-Schritten bis auf die maximale Leistung von 50 W erhöht. Abbildung 4 zeigt exemplarisch die Temperaturverläufe bei verschiedenen Laserleistungen. Die



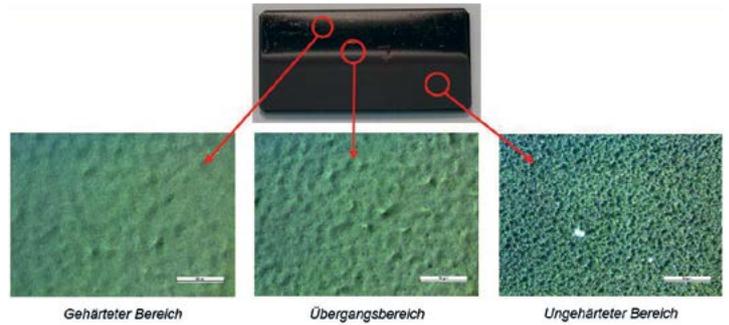
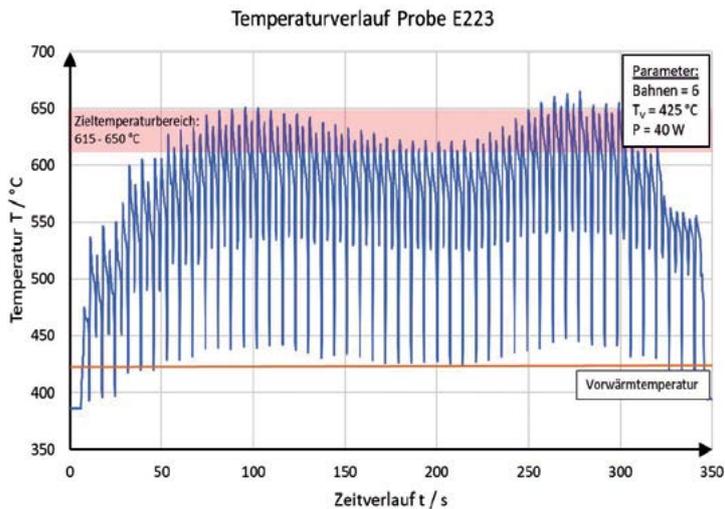


Abb. 5 (links):

Anwendungsbeispiel bedrucktes Sicherheitsglas im Automobilbereich: Sensorik, Kamera- und Infosysteme für autonomes Fahren

Abb. 6 (oben):

Selektiv bestrahlte Probe, 500-fache Vergrößerung

#### Referenzen/References:

- [7] BF Bundesverband Flachglas: ESG-H – ein geregeltes und fremdüberwachtes Bauprodukt auf höchstem Sicherheitsniveau, BF-Merkblatt 010, Troisdorf, 2011
- [8] SANCO Beratung Glas Trösch GmbH: Glasbruch durch thermische Spannungen; Anwendungstechnische Informationen, TEAM ABSATZFÖRDERUNG GMBH 11/2012, (www.sanco.de)
- [9] GlasHandbuch 2022, 43. Auflage, Flachglas Markenkreis GmbH, 2022 (www.GlasHandbuch.de)
- [10] Mickan, M., Waibel, G., Altan, L.: Konstruktion einer Ausstellungseinheit zur Demonstration des Digitaldruckprozesses auf Glaswerkstoffen unter Laserbearbeitung. Bachelorthesis Projekt DigiKer SS2019, Hochschule Offenburg, 2019
- [11] Asal, P., Waibel, G., Altan, L.: Untersuchung farbig bedruckter Glasproben mittels Laserstrahlen. Bachelorthesis Projekt DigiKer SS2019, Hochschule Offenburg, 2019 [11] ZIM-Projekt „DigiKer“ – Digitaldruck für Keramikfarben, Hochschule Offenburg, Irlbacher Blickpunkt Glas GmbH, Förderkennzeichen ZF4038804RU6, 2016-2019
- [12] ZIM-Projekt „DigiKer“ – Digitaldruck für Keramikfarben, Hochschule Offenburg, Irlbacher Blickpunkt Glas GmbH, Förderkennzeichen ZF4038804RU6, 2016-2019
- [13] Altan, L., Waibel, G.: Entwicklung eines Aushärteprozesses zur Bedruckung von Glassubstraten, forschung im fokus 2018, IAF Hochschule Offenburg, Ausgabe Nr. 21, 2018
- [14] Altan, L.; Waibel, G.: „New process of tempering color printed glass by using laser irradiation, 10th Conference on Photonic Technologies- LANE 2018, 2018 (https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2212827118309405?via%3Dihub)

## Ergebnisse

Die Ergebnisse zeigen, dass keramische Farbe auf Einscheibensicherheitsglas (ESG) mit einem CO<sub>2</sub>-Laser bei konstanter Bestrahlung mit einer Laserleistung von 40 W und einer Verfahrensgeschwindigkeit von 10 mm/s auf die erforderliche Einschmelztemperatur von 615 °C bis 650 °C gebracht werden kann, ohne das vorgespannte Glassubstrat zu beschädigen.

Abbildung 5 zeigt exemplarisch den Temperaturverlauf auf einer Glasprobe. Der Temperaturverlauf wurde mit dem dynamischen Messverfahren aufgenommen. Der Messverlauf zeigt, dass der Zieltemperaturbereich erst nach einer Bestrahlungsdauer von 50 s erreicht wird. Auffallend sind auch die beiden Temperaturmaxima bei etwa 100 s und 275 s. Diese Maxima befinden sich am Anfang und am Ende der Probe. Dies lässt sich dadurch erklären, dass sich die Wärme an den Grenzflächen der Glasproben staut. Befindet sich der Laser in der Mitte der Probe, stellt sich eine mittlere Temperatur von etwa 620 °C ein. In mehreren Versuchsreihen konnten die Bestrahlungsparameter 40 W Bestrahlungsleistung und 10 mm/s Verfahrensgeschwindigkeit als geeignet zum Einbrennen keramischer Farbe auf vorgespanntem Einscheibensicherheitsglas (ESG) bestätigt werden.

Um den Einbrand der keramischen Farbe zu prüfen, wurden die Glasproben visuell untersucht. Hierzu kamen sowohl optische Mikroskope als auch das REM zum Einsatz. Abbildung 6 zeigt Oberflächenstrukturen von Glasproben in unterschiedlichen Stadien des Einbrands der keramischen Farbe in 500-facher Vergrößerung. Hier ist zu sehen, wie sich das

Gefüge der keramischen Farbe aufgrund der Temperatureinwirkung verändert. Während die Oberfläche des ungehärteten Bereichs eine vergleichsweise körnige Oberflächenstruktur aufweist, ist im gehärteten Bereich die Oberfläche glatt und weniger körnig. Im Übergangsbereich sind Mischformen dieser Oberflächenstrukturen zu erkennen.

## Zusammenfassung / Ausblick

Das Gesamtprojektziel des ZIM-Projekts LaDiVo war die Entwicklung eines Druckverfahrens zur schädigungsfreien Weiterverarbeitung vorgespannter Gläser zur Herstellung funktionaler Schichten für optische und sensorische Anwendungen im Automobilbereich. Schwerpunkte der Arbeitspakete waren Untersuchungen zum Schädigungsverhalten von vorgespanntem Glas, die Entwicklung eines geeigneten Digitaldruckverfahrens zur selektiven Bedruckung sowie Versuchsdurchführungen mit unterschiedlichen Laserstrahlquellen als Basis für die Aushärtung der Drucksubstanzen. In Versuchen mit unterschiedlichen Laserstrahlquellen und einem kombinierten Vorheizprozess konnte gezeigt werden, dass sich Sicherheitsgläser und andere vorgespannte ESG Gläser mehrfach mit Keramikfarbe bedrucken und selektiv aushärten lassen, ohne dabei die definierten Glaseigenschaften durch den erforderlichen Härteprozess zu beeinträchtigen. Lediglich bei VSG (Verbundsicherheitsglas mit PVB-Folie) konnten noch keine positiven Ergebnisse erzielt werden. Sowohl die optische Farbqualität als auch die Haftfestigkeit nach DIN-EN ISO 1518-1 zeigten vergleichbare Werte gegenüber dem herkömmlichen Standardprozess der Ofenaushärtung.

# Recycling von Kunststoff- Abfällen durch Desktop- Spritzgussmaschinen

Die dezentralisierte und personalisierte Produktion gewinnt aufgrund des damit verbundenen Nachhaltigkeitspotenzials zunehmend an Bedeutung. In diesem Beitrag wird die Entwicklung einer vollautomatisierten Low-Cost-Desktop-Spritzgussmaschine für die dezentrale Fertigung vorgestellt, die ein direktes Recycling von Kunststoff-Abfällen (wie Polypropylen), die insbesondere in Privathaushalten und gewerblichen (Klein-)Unternehmen anfallen, ermöglicht.

*Decentralized and personalized production is becoming increasingly important due to the associated sustainability potential. This paper presents the development of a fully automated low-cost desktop injection molding machine for decentralized production, which enables direct recycling of plastic waste (e.g. polypropylene) generated in particular in private households and commercial (small) enterprises.*

## Motivation

Massenproduktion und Massenkonsum spiegeln weder die sozialen noch die ökologischen Ansprüche an eine zukunftsfähige Wertschöpfung wider. Aus diesem Grunde gewinnen dezentrale und personalisierte Produktion zunehmend an Bedeutung [1]. Digitale dezentrale Fertigungsgeräte, wie beispielsweise 3-D-Drucker, haben in den letzten Jahren zu einem wahren Hype im Bereich der dezentralisierten Fertigung geführt. Als Beispiel seien hier die immer größer werdende Maker-Bewegungen genannt. Kennzeichnend für die dezentralisierte Produktion ist insbesondere das damit verbundene Nachhaltigkeitspotenzial in Bezug auf die Umweltentlastung [2], [3].

In diesem Sinne entstand die Idee der Entwicklung einer vollautomatisierten Low-Cost-Desktop-Spritzgussmaschine für die dezentrale Fertigung, basierend auf direktem Recycling von Kunststoff-Abfällen (wie Polypropylen), die insbesondere in Privathaushalten und gewerblichen (Klein-)Unternehmen anfallen [4-5]. Die Spritzgussmaschine soll für den Einsatz – ähnlich einem 3-D-Drucker – im privaten Umfeld, kleinen Unternehmen oder in Schwellenländern, in denen das Plastikrecycling zumeist eine hohe Herausforderung ist, konzipiert werden. Im Mittelpunkt der Ent-

wicklung stehen folgende Ziele:

- Möglichst kompakte Auslegung der Maschine, um diese beispielsweise auf einem Tisch zu betreiben
- Realisierung eines energiesparenden und einfachen Spritzgussprozesses
- Direkte Einspritzung von Kunststoffabfälle ohne zusätzliche Chemikalien
- Antrieb der Desktopspritzgussmaschine soll rein elektrisch geschehen, Betrieb der Maschine mit 230 V
- Anwenderfreundliche und einfache Bedienbarkeit.

## Stand der Technik / angewandeter Spritzgussprozess

Spritzgussverfahren werden, seitdem es Kunststoffprodukte gibt, für deren Recycling verwendet. Dabei wird zwischen direkter und indirekter Verarbeitung unterschieden. Bei der direkten Verarbeitung werden zerkleinerte Kunststoffabfälle als Input für den Spritzgussprozess verwendet, wohingegen bei indirekter Verarbeitung dieser erst zu Granulaten



Elke Mackensen  
Prof. Dr.-Ing.

Fakultät EMI  
Wissenschaftl. Ltg. Edu Fab-  
Lab HSO und Microelectronic  
Systems Design Lab



Manuel Maeder

Fakultät EMI  
Stud. Hifskraft Edu FabLab HSO



Patrick Hog  
M.Sc.

Fakultät EMI  
Akad. MA. Edu FabLab HSO

(= Rezyklaten) verarbeitet wird. Diese Rezyklate werden in einem weiteren Prozessschritt einer Spritzgussmaschine zugeführt. Erst in diesem Schritt entsteht ein neues Produkt aus recyceltem Kunststoff. Das Einsparen des zweiten Prozessschrittes führt beim direkten Recycling dazu, dass die Spritzgussmaschine deutlich energie-, transport- und zeitsparender ist [6]. In Abbildung 1 sind die verschiedenen Prozesswege vom Kunststoffabfall hin zum Endprodukt grafisch aufgezeigt.

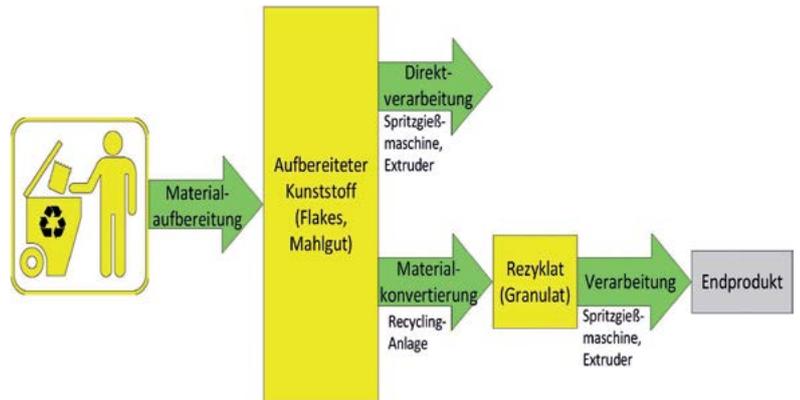


Abb. 1: Prozesswege der Kunststoffverarbeitung beim Spritzgießen (angelehnt an [6])

Der in der selbstentwickelten Desktop-Spritzgussmaschine verwendete Prozess basiert auf der direkten Verarbeitung. Die Abbildung 2 stellt einen Querschnitt durch die selbstentwickelte Desktop-Spritzgussmaschine dar. Die verwendeten Kunststoffe müssen vor dem Befüllen lediglich sortiert und klein geschreddert werden. Zu Beginn des Prozesses wird zerkleinerter Kunststoff-Abfall in den Trichter eingefüllt. Dieser ist auf der Maschine montiert und transportiert über eine Förderschnecke stetig neues Material über den Flakeschacht in den darunter liegenden Extruder. Der Kern der Maschine bildet die Extruderschnecke, die den geschredderten Kunststoff durch ein Heizrohr fördert und aufschmilzt. Am Ende des Heizrohres befindet sich die Düse, durch die der verflüssigte Kunststoff in eine aufmontierte Spritzgussform eingespritzt wird. In der Spritzgussform verfestigt sich das Material wieder und das neu hergestellte Kunststoffprodukt hat nun die vom Hohlraum

der Spritzgussform vorgegebene Gestalt. Anschließend wird das neu hergestellte Teil über einen Auswurfmechanismus ausgestoßen, bevor der Prozess wiederholt werden kann.

## Realisierung der elektrischen Ansteuerung

Die Desktop-Spritzgussmaschine wird über einen Arduino-Mikrocontroller gesteuert und über ein Touch-Display bedient. Der Arduino kann sehr einfach umprogrammiert werden und die hohe Anzahl GPIO-Pins ermöglicht eine Vielzahl von anschließbaren Sensoren und Aktoren. Die Steuerung der Heizelemente wird derzeit über drei separate PID-Regler umgesetzt, die vom Arduino lediglich an- und ausgeschaltet werden. Später soll dies auch über den zentralen Mikrocontroller realisiert werden.

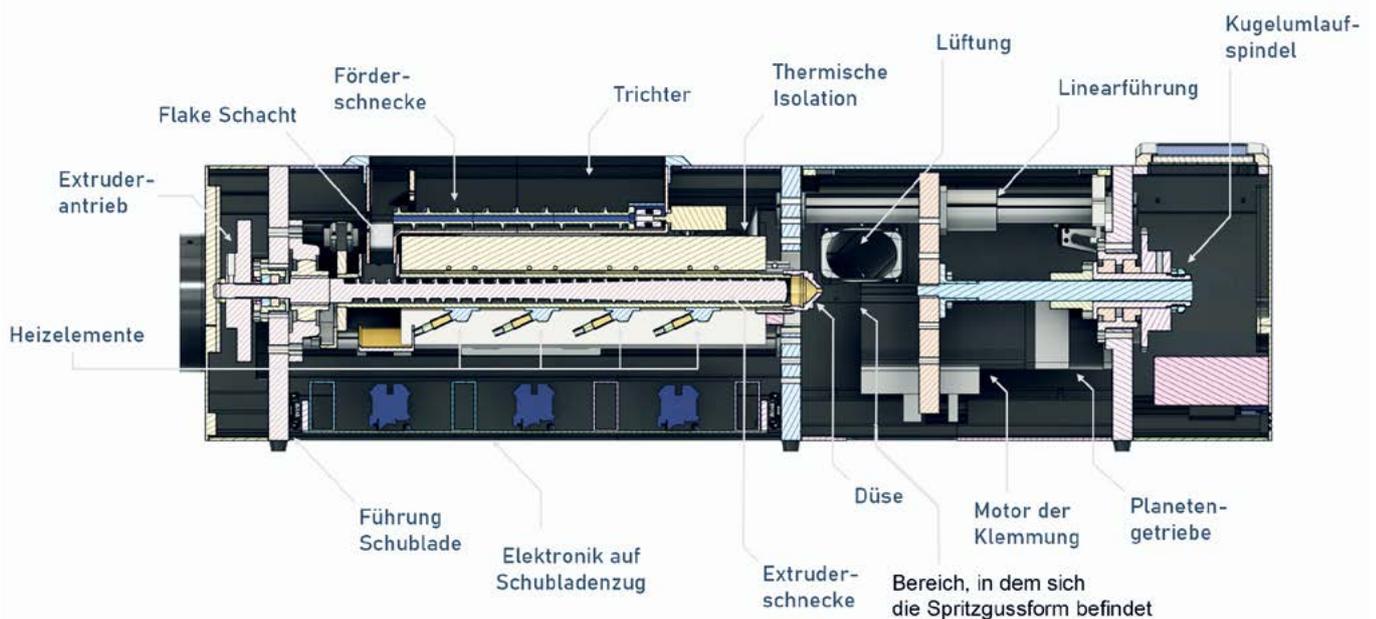
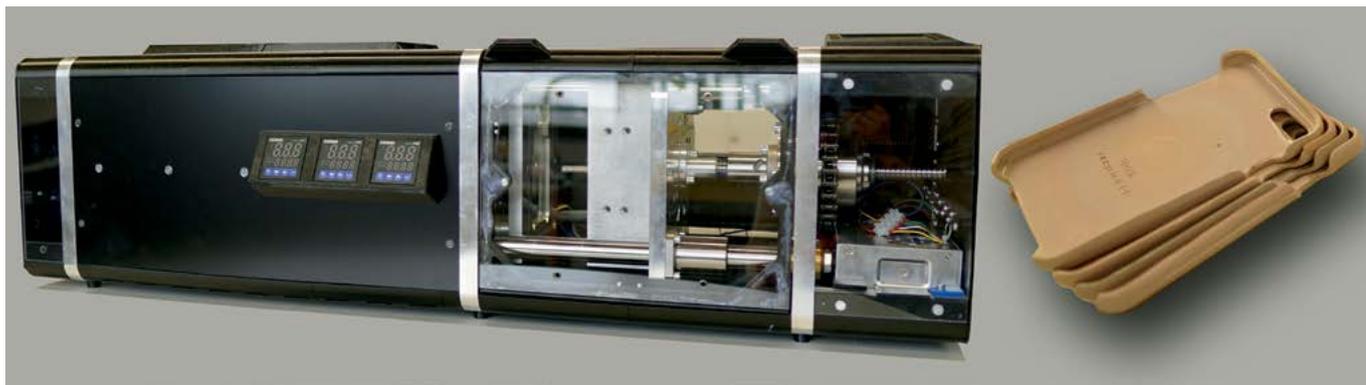


Abb. 2: Schnittdarstellung der Desktop-Spritzgussmaschine im CAD



Aktuell werden insgesamt 11 Aktoren für die Realisierungen des Spritzgussprozesses eingesetzt:

- zwei closed-loop-Schrittmotoren (Einer der Schrittmotoren sorgt für die Drehung der Extruderschnecke, während der andere Schrittmotor die Spritzgussformen auf und zu fährt bzw. anklemmt.)
- ein 12-V-DC-Motor, der den Kunststoff im Trichter über die Förderschnecke in Richtung des Extruders befördert
- zwei 230-V-Ventilatoren, die beim Aufschmelzen des Kunststoffes entstehende Gase von der Maschine und dem Bediener abführen und gleichzeitig frische und kühle Luft über die Elektronik leiten und
- fünf 185-W-Heizelemente, die auf das Heizrohr montiert sind und den Kunststoff auf eine Temperatur von 240 °C aufheizen.

Der gesamte Spritzgussprozess wird mit verschiedenen Sensoren überwacht. Die Werte der Komponenten, wie Endschalter für die Positionierung, Stromsensoren für die Anpresskraftbestimmung und Lichtschranken für die Auswurferkennung, werden alle über den Arduino-Microcontroller eingelesen und verarbeitet. So soll ein stabiler Prozess realisiert werden, der ohne Eingreifen des Bedieners zuverlässig neue Teile aus Kunststoff herstellt.

### Ergebnisse

Die Abbildung 3 zeigt links im Bild den ersten Prototypen der vollelektrischen Desktop-Spritzgussmaschine, deren Außenmaße 106 cm x 30 cm x 27,5 cm (L x B x H) betragen. Der Prototyp wurde am Edu FabLab der Hochschule Offenburg gefertigt. Viele Bestandteile bestehen derzeit aus 3-D-gedruckten Bestandteilen, was eine recht schnelle Realisierung des voll funktionsfähigen Prototypen ermöglichte. Die Abbildung 3 zeigt zudem rechts im Bild ein erstes Produkt, das mit dem Prototypen der Spritzgussmaschine realisiert wurde: Handy-

hüllen für die Modelle iPhone6, iPhone7 und iPhone8. Die realisierten Handyhüllen wurden mit einer klassischen Aluminium-Spritzgussform realisiert. Die Zykluszeit, die einen direkten Einfluss auf den Energiebedarf der Spritzgussmaschine hat, liegt für eine Handyhülle aus 25 g Polypropylen aktuell bei etwas mehr als zwei Minuten.

Eine Herausforderung in der Realisierung des Spritzgussprozesses besteht insbesondere in der Erkennung und Bestimmung der Anpresskraft zwischen den beiden Formhälften im Spritzguss. Dies ist essenziell für eine repetitiv gute Qualität der produzierten Teile. Ist die Anpresskraft zu hoch, wird die Beschädigung der Spritzgussform oder von Teilen der Maschine riskiert und der Prozess benötigt mehr Energie als nötig. Ist die Anpresskraft zu niedrig, öffnet sich die Spritzgussform beim Einspritzprozess durch den entstehenden inneren Druck, und das produzierte Teil ist nicht maßhaltig. Die Kraft der Klemmung wird dabei über einen Stromsensor begrenzt, der bei Erreichen des eingestellten Maximalstroms das Weiterdrehen des Motors stoppt. In mehreren Versuchsreihen wurde die maximale Anpresskraft über drei Drucksensoren und eine abgefahrte Testkurve bestimmt. Die Abbildung 4 zeigt die ermittelte Anpresskraft in Abhängigkeit der Motorschritte. Die blaue oberste Linie bildet dabei die Summe der drei verwendeten Drucksensoren. Von Schritt 0 bis 3835 wird der Druck erhöht und Schritt 3848 zurück zu Schritt 0 wieder verringert. Die maximale Anpresskraft des Klemmmechanismus beträgt 15 kN.

In die Maschine können Spritzgussformen bis zu einer Größe von 160 mm x 140 mm x 140 mm (L x B x H) eingesetzt werden. Die genaue maximale Größe eines Teils ist jedoch stark von der genauen Produktgeometrie abhängig. Hierbei spielt vor allem die dünnste Wandstärke des Spritzgussteils eine große Rolle. An dieser Stelle kühlt das Material am schnellsten ab, wodurch ein schnelleres Einspritzen benötigt wird.

**Abb. 3:** Links im Bild Prototyp der Desktop-Spritzgussmaschine und rechts im Bild ein damit erstes realisiertes Produkt: eine Handyhülle

## ANPRESSKRAFTERHÖHUNG IN ABHÄNGIGKEIT DER MOTORSCHRITTE

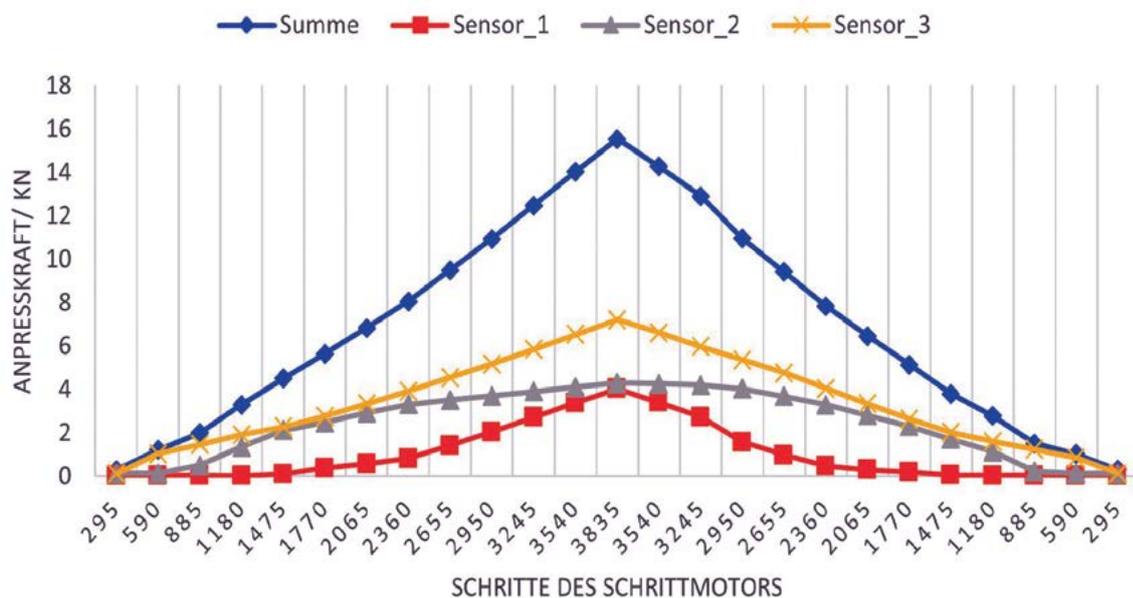


Abb. 4:  
Ermittelte Anpresskraftbestimmung mit drei Drucksensoren

### Zusammenfassung / Ausblick

Die hier vorgestellte vollelektrische Desktopspritzgussmaschine ermöglicht bereits jetzt im Prototypenstadium automatisiert die dezentrale Fertigung von Kunststoffprodukten, basierend auf direktem Recycling von Kunststoff-Abfällen wie beispielsweise Polypropylen. Derzeit werden der Spritzgussprozess und die Ansteuerung weiter optimiert, um im Sinne der Nachhaltigkeit einen möglichst geringen Ener-

giebedarf der Maschine und bestmögliche Produktqualität sicherzustellen. Des Weiteren wird die Herstellung der Spritzgussform mit einem additivem 3-D-Druckverfahren untersucht. Dies soll den gesamten Fertigungsprozess vereinfachen und eine komplette dezentrale Fertigung ermöglichen. Erste positive Spritzgussergebnisse unter Verwendung von 3-D-gedruckten Spritzgussformen liegen vor.

#### Referenzen/Reference

[1] Petschow, U; et.al.: Dezentrale Produktion, 3D-Druck und Nachhaltigkeit. Trajektorien und Potenziale innovativer Wertschöpfungsmuster zwischen Maker Bewegung und Industrie 4.0. In: Schriftenreihe des IÖW 206/14 Berlin, Juli 2014 ISBN 978-3-940920-09-6

[2] Göll, E.; Odenbach, J.; Behrendt, S.: Industrie 4.0 – digitalvernetzte dezentrale Produktion. Transformationsfeldanalyse im Rahmen des Projekts Evolution2Green. 2017. [https://evolution2green.de/sites/evolution2green.de/files/documents/2017-01-e2g-industrie\\_4\\_0-izt.pdf](https://evolution2green.de/sites/evolution2green.de/files/documents/2017-01-e2g-industrie_4_0-izt.pdf) (besucht am 7.4.2021)

[3] Hrsg. Umweltbundesamt: Die Zukunft im Blick: 3D-Druck Trendbericht zur Abschätzung der Umweltwirkungen. [https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/1410/publikationen/fachbroschuere\\_3d\\_barrierefrei\\_180619.pdf](https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/1410/publikationen/fachbroschuere_3d_barrierefrei_180619.pdf) (besucht am 7.4.2021)

[4] Katharina Istel, „Kunststoffabfälle in Deutschland 2021 – Aufkommen, Steigerung“, Trends, Dezember 2022. [Online].

Available: <https://www.nabu.de/imperia/md/content/nabude/abfallpolitik/230111-kunststoffabfall-deutschland-2021-nabu.pdf>

[5] Hrsg. Umweltbundesamt, „Kunststoffabfälle,“ Januar 2021.

[Online]. Available : <https://www.umweltbundesamt.de/daten/ressourcen-abfall/verwertung-entsorgung-ausgewaehlter-abfallarten/kunststoffabfaelle> (besucht am 03.03.2023)

[6] J. Langwieser, „Ermittlung des Einflusses multipler Recycling Kreisläufe und die Beurteilung von Rezyklat und Produkteigenschaften am Beispiel von InHouse Recycling,“ Juli 2021. [Online]. Available: <https://epub.jku.at/obvulihs/download/pdf/6429482?originalFilename=true>



In safe hands.

# READY FOR TAKE-OFF?

Als Branchenführer mit weltweiter Präsenz verwirklicht HYDRO seit über 50 Jahren Produkte und Projekte für die Produktion und Wartung von Flugzeugen und Triebwerken. Zu unseren Kunden zählen alle international bedeutenden Flugzeug- und Triebwerkhersteller, Airlines, Flughäfen und Flugzeugwartungsbetriebe.

## WAS WIR DIR BIETEN

Wertschätzung, Vertrauen, Mut und Loyalität sind Werte, die bei uns täglich gelebt werden. Als Unternehmen in Privatbesitz bieten wir Dir einen Arbeitsplatz mit Perspektive.

## WAS BEI UNS ZUM STANDARD GEHÖRT?

- #attraktivevergütung
- #flexiblearbeitszeiten
- #mobilesarbeiten
- #betriebsrestaurant
- #teamevents
- #modernerarbeitsplatz
- #guteanbindung
- #firmenfest

[www.hydro.aero](http://www.hydro.aero)

HYDRO Systems KG | Ahfeldstrasse 10 | 77781 Biberach/Baden

## UNSER ANGEBOT FÜR DICH

BACHELOR-THESIS	MASTER-THESIS	PRAKTIKUM	WERK-STUDENT
-----------------	---------------	-----------	--------------

## IN FOLGENDEN FACHRICHTUNGEN

MASCHINEN-BAU	BETRIEBS-WIRTSCHAFT	WIRTSCHAFTS-INGENIEUR-WESEN	MEDIEN	ELEKTRO-TECHNIK
---------------	---------------------	-----------------------------	--------	-----------------



## Bring deine ZUKUNFT in FORM!

In den Bereichen Maschinenbau, Elektrotechnik und Wirtschaftsingenieurwesen bieten wir:

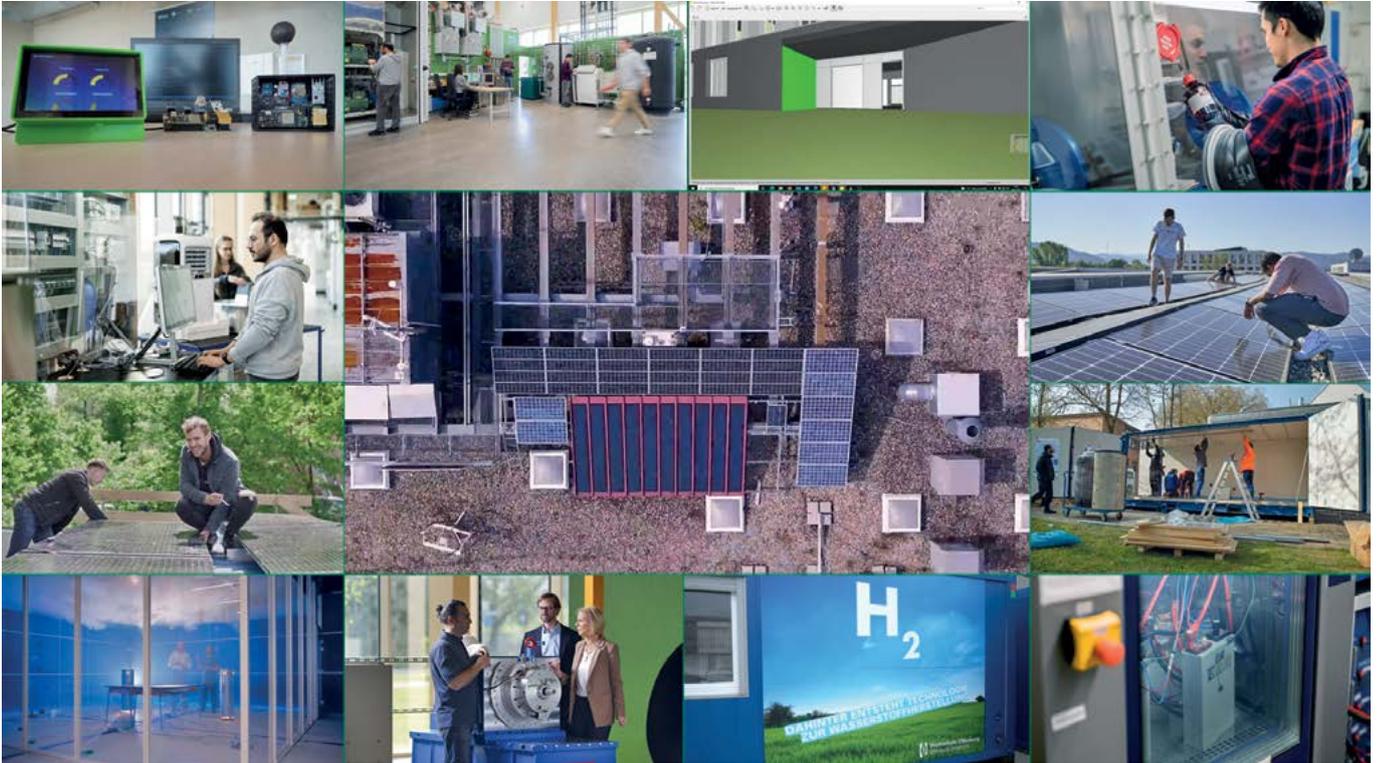
- Praxissemester
- Abschlussarbeiten (Bachelor/Master)
- Werkstudententätigkeiten
- Einstiegschancen für Absolventen

Erdrich Umformtechnik GmbH  
Reiersbacher Straße 34  
77871 Renchen-Ulm  
[bewerbungen@erdrich.de](mailto:bewerbungen@erdrich.de)



[WWW.ERDRICH.DE](http://WWW.ERDRICH.DE)

# Institut für nachhaltige Energiesysteme [ INES ]



Das Institut INES bearbeitet gemeinsam mit seinen Partner und Partnerinnen aus Forschung und Industrie drängende technische Fragestellungen der Energiewende

Der Krieg in der Ukraine, der nun schon über ein Jahr andauert, hat in Deutschland und Europa eine Energiekrise ausgelöst. Gas- und Strompreise stiegen im Jahr 2022 auf neue Rekordhöhen. Der Anschlag auf die Erdgaspipelines in der Ostsee mutet wie ein Kapitel aus einem Thriller an. Energie wird direkt und indirekt von den Konfliktparteien als politisches Druckmittel eingesetzt.

Energie und andere Rohstoffe waren schon immer ein Grund für bewaffnete Konflikte – man denke an den Irak-Krieg im Jahr 1991, in dem es um den Zugriff auf Erdöl ging. Die Energiewende hin zu hundert Prozent erneuerbaren Energien ist daher nicht nur eine Forderung von Fridays for Future, vom Solarenergie-Förderverein oder der International Solar Energy Society. Sie ist auch eine Forderung der IPPNW, der Internationalen Ärzte für die Verhütung des Atomkriegs, und der Nat-Wiss, der Naturwissenschaftler-Initiative für Frieden und Umwelt.

Von der internationalen Bühne ans Institut für nachhaltige Energiesysteme: Wir können uns nicht glücklich genug schätzen, dass wir an der Hochschule Offenburg in Frieden und Sicherheit neue Konzepte, Komponenten und Systeme für die Energiewende erforschen und entwickeln können. Am INES arbeiten zehn Professoren und ihre Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter interdisziplinär in mehr als 30 Forschungs- und Entwicklungsprojekten zu Batterietechnik, Elektromobilität, Energiewirtschaft, Gebäudeenergietechnik, Photovoltaiktechnik, Smart Grids, Pflanzenkohle und Wasserstofftechnik. Gemeinsam mit unseren Partnerinnen und Partnern aus der Industrie tragen wir unseren kleinen Teil dazu bei, Europas Energieversorgung nicht nur klimafreundlicher, sondern auch sicherer und unabhängiger zu gestalten. Wir benötigen hundert Prozent erneuerbare Energien – nicht nur für die Umwelt, sondern auch gegen Klima- und Energiekonflikte.

*Institutsleitung  
Prof. Dr. rer. nat. habil. Wolfgang Bessler*

# MyPyPSA-Ger

## Transformationspfade für das deutsche Energiesystem

Ein neues Open-Source Modell wurde in der Gruppe EEW des INES entwickelt, mit dem Forschende mögliche zukünftige Energiesysteme und Szenarien für die deutsche Energiewende untersuchen können. In diesem Artikel wird das Modell MyPyPSA-Ger vorgestellt und es werden mögliche Pfade zur Erreichung der Klimaneutralität diskutiert, die zudem das 1,5-Grad-Ziel einhalten.

*A new open-source model was developed at the EEW group in INES, that enables researchers to explore possible future energy systems and scenarios for the German energy transition. This article introduces the model MyPyPSA-Ger and discusses possible pathways to achieve climate neutrality and keep the 1.5-degree target realistic.*

Die Erde ist mit einer raschen Erwärmung und bedrohlichen langfristigen Veränderungen des Klimas konfrontiert, die durch jahrzehntelange menschliche Aktivitäten verursacht wurden. Diese Aktivitäten, vor allem die Verbrennung fossiler Brennstoffe wie Kohle, Öl und Erdgas, führen zu einem Ungleichgewicht der Gase in den Schichten der Erdatmosphäre, das als Treibhauseffekt bekannt ist. Im Pariser Klimaabkommen von 2015 haben sich nahezu alle Staaten der Welt auf ein gemeinsames Ziel geeinigt, den Temperaturanstieg im Vergleich zum vorindustriellen Zeitalter auf maximal 2 Grad, idealerweise auf 1,5 Grad, zu begrenzen. [1]

Um mögliche Transformationspfade für Energiesysteme aufzuzeigen, die mit dem Klimaabkommen konform sind, werden herkömmlich Energiesystemmodelle eingesetzt. Die Ausbaumodelle optimieren die Erzeugungs- und Netzkapazitäten, um Entscheidungsträger\*innen in der Wirtschaft und Politik in ihren Investitionsentscheidungen zu unterstützen [2]. Die Energiesystemmodelle und die myopischen Planungsansätze existieren bereits in der Literatur, aber es gibt derzeit kein open-source myopisches Modell, das den deutschen Elektrizitätssektor adäquat und detailliert mit einer hohen räumlichen und zeitlichen Auflösung abbildet.

Um diese Lücke zu schließen, wurde an der Hochschule Offenburg in der Forschungsgruppe Energiesysteme und Energiewirtschaft EEW ein neues Modell mit Fokus auf das deutsche Elektrizitätssystem entwickelt: MyPyPSA-Ger, ein überregionales Elektrizitätssystemmodell für Deutschland mit einer

detaillierten Darstellung des Übertragungsnetzes in Deutschland mit hoher räumlicher (bis zu 317 Knoten) und zeitlicher Auflösung (bis zu 8760 Stunden pro Jahr). Das Energiesystemmodell folgt einem myopischen Planungsansatz. Dies bedeutet in der Energiesystemmodellierung, dass das optimale Energiesystem eines Jahres als Startsystem für die Optimierung des folgenden Jahres übergeben wird. Das Energiesystem wird demnach jährlich optimiert und entwickelt sich bis zum Jahr 2050 weiter. Das Basis-Energiesystem des Modells für das Jahr 2020 ist in der nachstehenden Abbildung dargestellt und bildet den realen Stand der Energieerzeugungsanlagen im Jahr 2020 ab. Eine wichtige Zielsetzung, die im Modell hinterlegt wird, ist ein CO<sub>2</sub>-Budget, das der Menge an CO<sub>2</sub> entspricht, die – heruntergerechnet auf Deutschland – einem Temperaturanstieg auf 1,5 Grad bedeutet. Dieses Modell wurde im Rahmen des GaIN-Projekts entwickelt (FKZ 0EI6019E, BMWi 2019 – 2022).

MyPyPSA-Ger wurde von der EEW-Forschungsgruppe in mehreren Studien eingesetzt [3] [4] [5] [6] [7]. Die Modellentwicklung im Detail inklusive den getroffenen Annahmen wurde in [3] beschrieben. Darüber hinaus wurde eine Reihe von Szenarien mit unterschiedlicher CO<sub>2</sub>-Bepreisung analysiert. Ein weiteres Szenario wurde umgesetzt, um die Auswirkung eines früheren Kohleausstiegs und dessen Auswirkung für die Energiewende in Deutschland zu bewerten. Das Referenzszenario (Szenario Ref) beschreibt den Zustand, in dem keine Lenkung der Politik erfolgt und somit das Energiesystem sich streng kostenoptimiert entwickelt.



**Niklas Hartmann**  
Prof. Dr.-Ing.

Fakultät M+V, Institut INES  
Energiesystemanalyse,  
Energiewirtschaft,  
regenerative ÖPNV



**Anas Abuzayed**  
M.Sc.

Institut INES  
Energiesystemanalyse/  
-modellierung, Energiewirtschaft

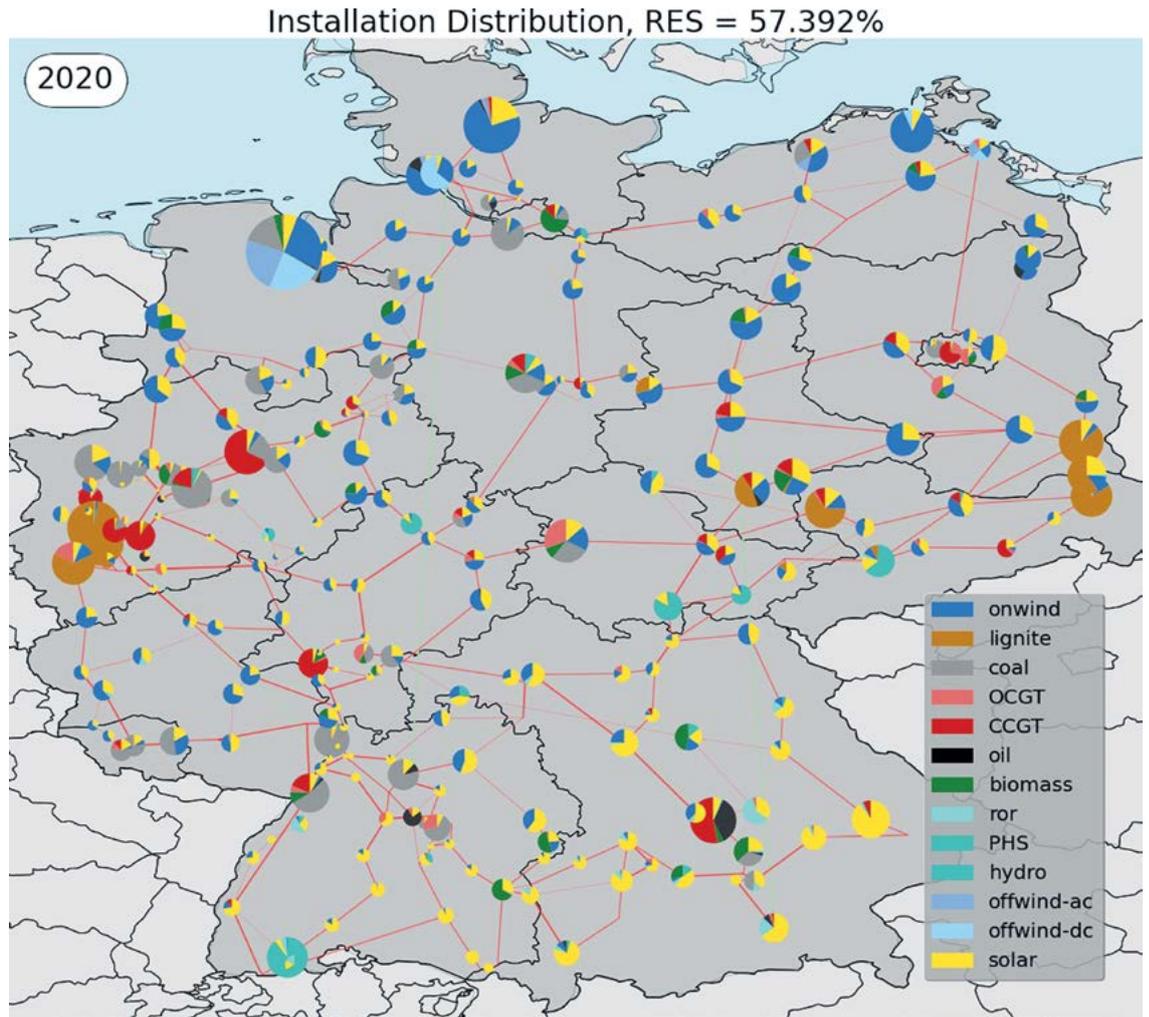
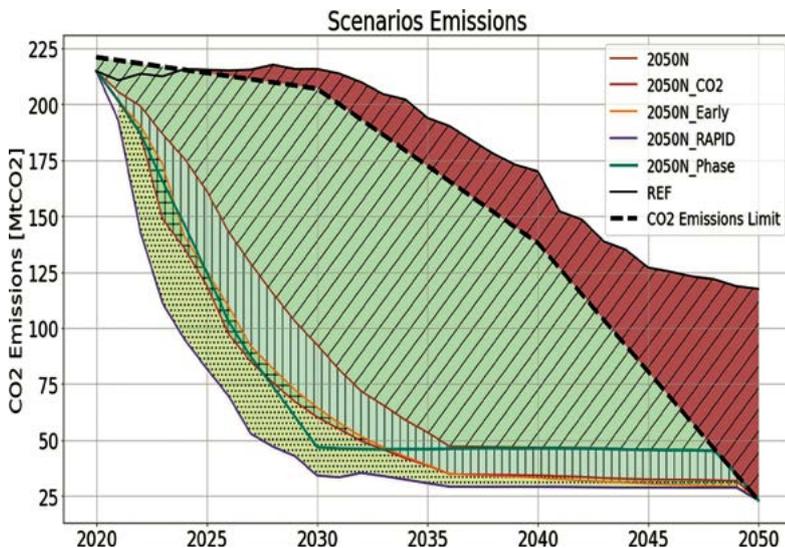


Abb. 1:  
MyPyPSA-Ger Modell  
des deutschen Ener-  
giesystems für das  
Jahr 2020 [3]

Die Ergebnisse zeigen, dass höhere Kosten für CO<sub>2</sub> (in Szenario 2050N und 2050N\_CO<sub>2</sub>) dazu beitragen, das 1,5-Grad-Ziel im Stromsystem zu erreichen. Je teurer (2050N\_RAPID), je früher die CO<sub>2</sub>-Bepreisung (2050N\_

Abb. 2:  
Emissionen der einzel-  
nen Szenarien [3]



Early) auf das System angewendet wird und je früher die Kohlekraftwerke aus dem Energiesystem gedrängt werden (2050N\_Phase), desto geringer sind die Kosten für die Energiewende und desto mehr Emissionen werden während des Übergangszeitraums eingespart. In allen Szenarien wird der zukünftige Stromsektor in Deutschland von erneuerbaren Energien dominiert. Eine schnelle Umstellung entweder durch eine rasch steigende CO<sub>2</sub>-Bepreisung oder mit einer strikten Energiepolitik für emissionsintensive Erzeugungskraftwerke wird dazu führen, dass das CO<sub>2</sub>-Budget für das 1,5-Grad-Ziel für den Stromsektor in Deutschland erhalten bleibt. Dagegen reichen die Emissionsminderungsziele der Bundesregierung, die im Klimaschutzgesetz festgehalten sind, nicht, um das 1,5-Grad-Ziel zu erreichen. Außerdem ist ein früherer Ausstieg aus der Kohleverstromung ohne hohe CO<sub>2</sub>-Bepreisung nicht die beste Lösung in Bezug auf die Systememissionen. Wie die Analyse gezeigt hat, werden bei einem früheren Ausstieg aus der Kohleverstromung bis 2030 mit einem festen Emissionspreis mehr Emissionen verursacht

als die anderen CO<sub>2</sub>-Szenarien mit einem Kohle-Ausstiegsdatum bis 2038 und höheren CO<sub>2</sub>-Bepreisungskosten.

Eine dynamische CO<sub>2</sub>-Bepreisung, die in den ersten zehn Jahren stark ansteigt, fördert zu einem früheren Zeitpunkt hohe Investitionen in erneuerbare Energien, insbesondere in Solar- und Onshore-Windkraftanlagen, da diese mit rund sechs GW/a für beide Technologien die günstigsten Investitionsoptionen darstellen. In den verbleibenden 20 Jahren sinkt die durchschnittliche Installationsrate auf rund vier GW/a, selbst wenn die hohen Installationsraten in den letzten Jahren einbezogen werden (Abb. 3).

Die hohe CO<sub>2</sub>-Bepreisung drängt auf den maximalen Einsatz von Biomasse, die trotz ihrer hohen Kapitalkosten deutlich billiger als andere konventionelle Technologien ist. Daher wurde die Biomasse in vollem Umfang reinvestiert und im System genutzt. Darüber hinaus erreicht die Biomasse ihren maximalen Nutzungsgrad um das Jahr 2030, da sie in den Jahren vor allem zur Grundlastherzeugung herangezogen wird. Ein weiteres Argument für eine frühe und hohe CO<sub>2</sub>-Bepreisung ist, dass Lastabwürfe lediglich in diesen Szenarien nicht erfolgten. Gründe sind, dass die höheren und früheren Investitionen in erneuerbare Energien sowie der hohe Anteil an Biomasse vor allem in den 2030 und 2040 Dekaden zu genügend hohen Erzeugungskapazitäten führen. Wird ein rechtzeitiger Ausbau erneuerbarer Energien verpasst, müssten unrealistisch hohe Installationsraten in diesen Jahren erfolgen oder eben ein Lastabwurf. Ohne eine klare Politik, ohne Kosten für CO<sub>2</sub>-Bepreisung und ohne Ausstiegsdatum für Kohlekraftwerke werden die kumulierten CO<sub>2</sub>-Emissionen das CO<sub>2</sub>-Budget des Landes überschreiten, wie es im Referenzszenario gezeigt wurde.

In Abbildung 4 sind die Gesamtsystemkosten aller Szenarien dargestellt. Es sind dabei immer als Vergleich die Kosten des Referenzszenarios mit abgebildet. Im Referenzszenario erfolgt keine CO<sub>2</sub>-Bepreisung (Blauer Balken „Ref“). Um einen fairen Vergleich zwischen den Szenarien zu ermöglichen, sind in der Abbildung die jeweiligen Referenzszenarien mit den CO<sub>2</sub>-Bepreisungen der Szenarien „Early“, „Rapid“ und „CO<sub>2</sub>“ zusätzlich aufgeführt (Roter Balken „Ref+CO<sub>2</sub>“). Es zeigt sich hier deutlich, dass das Fehlen einer kla-

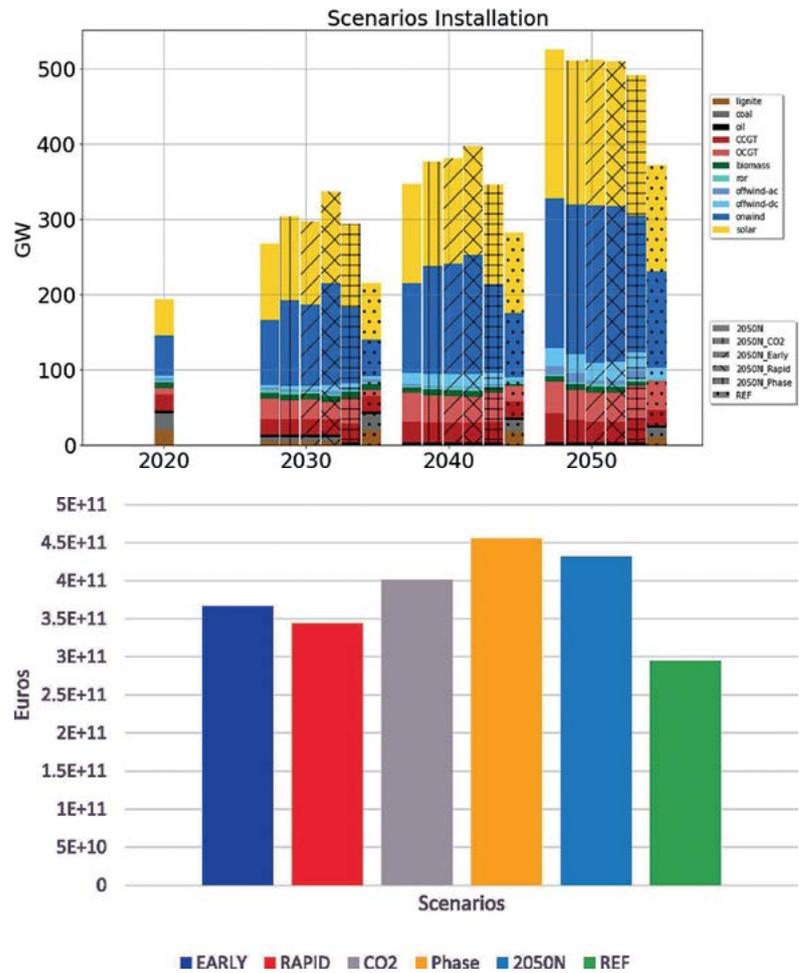


Abb. 3: Szenarien Installationen und Kostenvergleich [3]

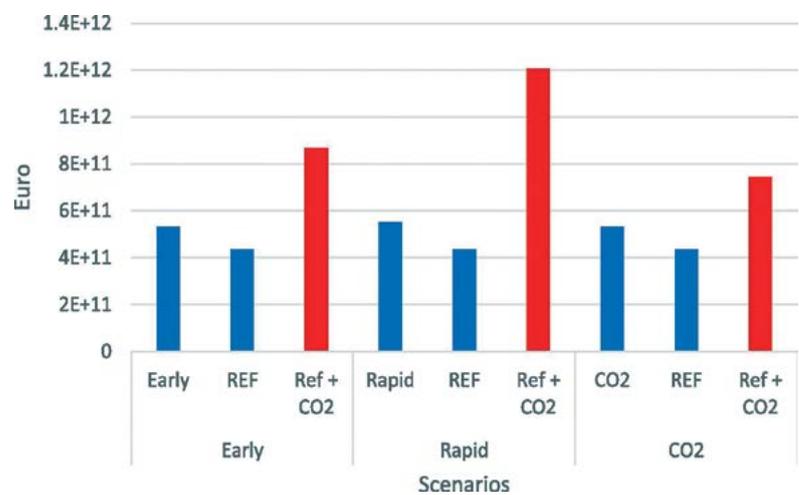


Abb. 4: Auswirkungen der CO<sub>2</sub>-Bepreisung auf die Gesamtsystemkosten [3]

ren Politik für die Kosten und die Bepreisung von CO<sub>2</sub> oder ein frühzeitiger Kohleausstieg nicht die effizienteste Lösung in Bezug auf die Kosten und zweifellos auch nicht in Bezug auf die Systememissionen ist.

Die Ergebnisse und Szenarien in dieser Studie geben einen Einblick, wie das zukünftige deutsche Stromsystem aussehen könnte. Aus diesem Modell kann ein besserer Transformationspfad entwickelt werden, um

ein klimaneutrales Energiesystem zu erreichen und das 1,5-Grad-Ziel einzuhalten. In diesem Modell steckt noch ein großes Forschungspotenzial, das bereits in unterschiedlichen Projekten in der Forschungsgruppe EEW angegangen wird. Zudem ist das Modell open-source [8] verfügbar und kann somit über die Arbeiten der Forschungsgruppe EEW hinaus genutzt werden.

#### Referenzen/References:

- [1] U. Nations, „Paris Agreement,“ United Nations, Paris, 2015
- [2] E. Boyd, „Overview of Power Sector Modeling,“ Department of Energy (DOE)
- [3] A. Abuzayed und N. Hartmann, „MyPyPSA-Ger: Introducing CO<sub>2</sub> taxes on a multi-regional myopic roadmap of the German energy system towards achieving the 1.5 °C target by 2050,“ Applied Energy, 2022
- [4] A. Abuzayed und N. Hartmann, „Achieving 100% renewable power system in Germany,“ in International Conference on Applied Energy 2021, Thailand/Virtual, 2021
- [5] A. Abuzayed und N. Hartmann, „Avoiding the Next Energy Crisis in Germany: Impacts of a Fuel Embargo on German Electricity Sector,“ IAAE Energy Forum 31 (4th Quarter), pp. 15-18, 2022.
- [6] A. Abuzayed und N. Hartmann, „Triggering Germany’s ambitious dream of a completely renewable electricity sector by 2035,“ in International Conference on Renewable Energies and Smart Technologies (REST), Tirana, 2022
- [7] A. Abuzayed, N. Hartmann, A. Sandhaas, C. D. J. Tabora und H. Kim, „How Can Germany Avoid the Next Energy Crisis? Impact of an Import Ban of Russian Energy Sources on Climate Protection Goals in Germany,“ in 17th IAAE European Conference: The Future of Global Energy Systems, Athens, 2022.
- [8] A. Abuzayed, „MyPyPSA-Ger,“ Github Repository, [Online]. Available: <https://github.com/AnasAbuzayed/MyPyPSA-Ger>



[www.klocke.com](http://www.klocke.com)

Wir suchen:

**PRAKTIKANT (PFLICHPRAKTIKA)/  
STUDENTISCHE HILFSKRAFT FÜR**

1. die Qualitätskontrolle
2. das Qualitätsmanagement

**QUALIFIKATION:**

Student/in des Studiengangs  
Verfahrenstechnik, Biotechnologie  
oder ähnlicher Studiengang



Klocke Pharma-Service GmbH, Personalabteilung, Straßburger Str. 77, 77767 Appenweier  
[susanne.bruder@klocke-pharma.de](mailto:susanne.bruder@klocke-pharma.de)

# Batterie, wie sehr bist Du schon gealtert?

Im Batterielabor der Hochschule Offenburg wurde ein neues Verfahren zur in-operando Bestimmung von Ladezustand und Alterungszustand von Lithium-Ionen-Batterien entwickelt, patentiert und zur Anwendungsreife gebracht. Der Algorithmus beruht darauf, dass (erstmalig in der Literatur) die gemessene Batteriespannung als Eingangsgröße für ein mathematisches Modell verwendet wird. Das ermöglicht eine ganze Reihe von Vorteilen, die in diesem Bericht aufgezeigt werden. Die Anwendung des Verfahrens auf eine Lithium-Ionen-Zelle wurde kürzlich wissenschaftlich veröffentlicht.

*A new method for determining the state of charge and the state of health of lithium-ion batteries in operando was developed and patented in the battery laboratory at Offenburg University of Applied Sciences. The algorithm is based on using (for the first time in literature) the measured battery voltage as input variable for a mathematical model. This has a large number of advantages which are shown in this article. The application of the method to a lithium-ion cell has recently been published.*

## Motivation / Hintergrund

Der Markt der Lithium-Ionen-Batterien wächst enorm. Wesentlicher Wachstumstreiber ist die Elektromobilität, aber auch Elektrowerkzeuge, mobile Endgeräte (Smartphones, Tablets), Robotik und stationäre Speicher verzeichnen hohe Wachstumsraten. Insbesondere für großskalige Anwendungen wie Elektromobilität und stationäre Speicher, bei denen die Batterie einen dominierenden Anteil der Herstellungskosten ausmacht, ist eine Alterungsdiagnostik von hoher Wichtigkeit. Für die Batteriebesitzer ermöglicht dies die Bewertung von Einsatzfähigkeit und Restwert des Geräts. Und für batterieherstellende Unternehmen ist ein Monitoring der Batteriealterung wichtig für die Bewertung von Garantierisiken oder prädiktive Wartungsstrategien. Eine lange Batteriebensdauer ist auch wünschenswert wegen des signifikanten CO<sub>2</sub>-Fußabdrucks der Batterieherstellung; die Alterungsdiagnostik ist somit besonders wichtig für Second-Life-Anwendungen.

Stand der Technik für die Bestimmung von Ladezustand (state of charge, SOC) und Gesundheitszustand (state of health, SOH) ist heute die Ladungsmengenzählung („Coulomb Counter“). Diese ist schematisch in Abbildung 1a) dargestellt. Die gemessene Stromstärke  $I_{\text{Messung}}(t)$  wird integriert und damit ein Signal erzeugt, das proportional zum SOC ist. Die-

ses wird bei definierten Voll- und/oder Leerzuständen kalibriert, die über die gemessene Spannung  $U_{\text{Messung}}(t)$  identifiziert werden. Eine SOH-Bestimmung wird mit dem Coulomb Counting durchgeführt, indem ein definierter Vollzyklus gefahren wird. Mit diesem Vollzyklus lässt sich die Kapazität berechnen. Der Vorteil dieses Verfahrens ist seine Einfachheit. Es gibt allerdings mehrere Nachteile, insbesondere dass im laufenden Batteriebetrieb das Messen definierter Vollzyklen und damit eine operando Diagnostik in der Regel nicht möglich ist.

Um diese Nachteile zu umgehen, wurden modellbasierte Verfahren entwickelt. Die Abbildung 1b) zeigt schematisch den Stand der Forschung. Das Modell ist dabei in der Regel ein sogenanntes Ersatzschaltkreismodell. In einer einfachen Form (Abbildung 1b) besteht dies aus einer Spannungsquelle, die die SOC-abhängige Leerlaufspannungskennlinie beschreibt, und einem Widerstand. Alle uns bekannten in der Literatur beschriebenen modellbasierten Verfahren verwenden die Stromstärke  $I_{\text{Messung}}(t)$  als Eingangsgröße für das Modell und erhalten die Spannung  $U_{\text{Modell}}(t)$  als Ausgangsgröße. Es handelt sich also um *stromgeführte* Modelle. Die simulierte Spannung wird mit  $U_{\text{Messung}}(t)$  verglichen und über Beobachter wie Kalman-Filter SOC und/oder SOH ermittelt.



Wolfgang G. Bessler  
Prof. Dr. rer. nat. habil.

Fakultät M+V, Leitung Institut INES  
Prozesssimulations- und Optimierungsverfahren



Jonas A. Braun

Institut INES  
Akademischer Mitarbeiter

Die zentrale an der Hochschule Offenburg entwickelte Neuerung ist in Abbildung 1c) dargestellt. Es wird nicht die Stromstärke verwendet, sondern die Spannung  $U_{\text{Messung}}(t)$  als Eingangsgröße für das Modell. Es handelt sich somit um ein *spannungsgeführtes* Modell. Wir erhalten damit die Stromstärke  $I_{\text{Modell}}(t)$  als Ausgangsgröße. Der SOH kann durch Vergleich des berechneten Stroms (der eine ungealterte Batterie repräsentiert) mit dem Messwert der gealterten Batterie erhalten werden. Dazu sind keine definierten Vollzyklen erforderlich – die Messung kann in operando, also während des normalen Batteriebetriebs, durchgeführt werden. Diese Methode wurde von der Hochschule Offenburg patentiert [1] und kürzlich in einer wissenschaftlichen Fachzeitschrift veröffentlicht [2].

## Lithium-Ionen-Batterie zelle

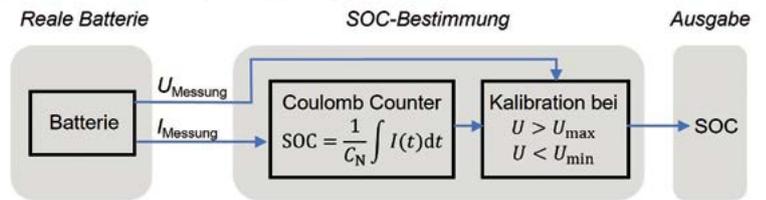
Das neue Verfahren wird mit einer handelsüblichen Hochleistungs-Lithium-Ionen-Zelle mit 3,75 V Nennspannung und 20 Ah Kapazität demonstriert. Um die Fähigkeiten des neuen Algorithmus zu erforschen, wurden zwei rund 100-stündige Zeitreihen aufgezeichnet, eine für eine frische Zelle und eine für eine auf 83,2 % SOH vorgealterte Zelle. Jede Zeitreihe bestand aus drei Teilen: (i) vollständiges Zyklieren, (ii) halbe Zyklen zwischen ca. 25 % und 75 % und (iii) dynamischer Betrieb, der Fahrzyklen von Elektrofahrzeugen entspricht.

Die Abbildung 2 zeigt experimentelle Daten und den analysierten Ladezustand der frischen Zelle. Gemessene Stromstärke (a) und Spannung (b) zeigen deutlich die drei aufeinanderfolgenden Betriebsarten (Vollzyklen: 0-27 h, Halbzyklen: 27-78 h, Fahrzyklen: 78-99 h). Der Spannungsbereich während der Halbzyklen steigt kontinuierlich an – die typische Folge einer ungenauen Strommessung. Der mit dem neuen Algorithmus gemessene Ladezustand ist in Abbildung 2 (c) gezeigt, während (d) bis (f) Ausschnittsvergrößerungen der einzelnen Zyklen wiedergeben. Der neue Algorithmus liefert zuverlässige Ergebnisse über den gesamten experimentelle Zeitrahmen. Er ist sogar in der Lage, anders als der Ladungsmengenzähler, den aus ungenauen Strommessungen resultierenden SOC-Drift erfolgreich vorherzusagen.

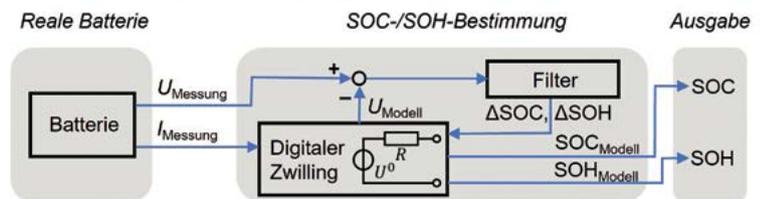
Abb. 2:

Messung des Ladezustands (SOC) einer frischen Lithium-Ionen-Zelle. a, b - gemessener Strom und Spannung als Funktion der Zeit. Die drei aufeinanderfolgenden Betriebsarten (Vollzyklen, Halbzyklen, Fahrzyklen) sind deutlich zu erkennen. c - gemessener Ladezustand, wobei die Ergebnisse des spannungsgeführten Modells (neuer Algorithmus) mit denen eines stromgeführten Coulomb-Zählers (Standardalgorithmus) verglichen werden. d, e, f - detaillierte Ansicht des SOC in den drei Betriebsarten. Man beachte die qualitative Ähnlichkeit zwischen SOC (Bild c) und Spannung (Bild b), aber nicht Strom (Bild a), weshalb spannungsgesteuerte Modelle gegenüber stromgesteuerten Modellen vorteilhaft sind. Abbildung nach Braun et al. [2].

(a) „Coulomb-Counter“ (Ladungsmengenzähler)



(b) Modellbasierte Zustandsschätzung mit Beobachtern



(c) Neues Verfahren mit spannungsgeführtem Modell

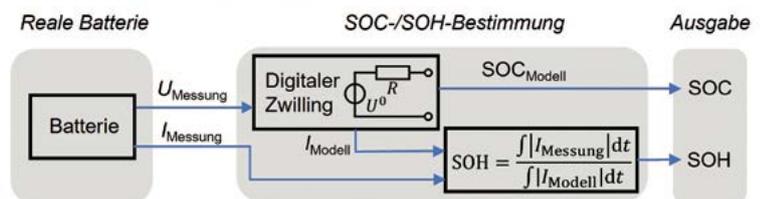
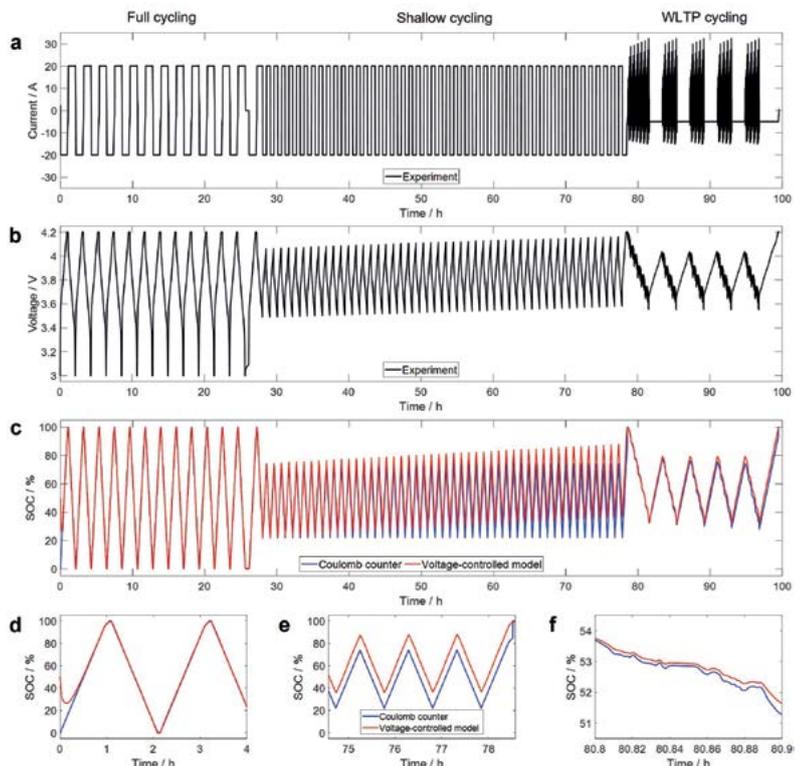


Abb. 1:

Zustandsdiagnostik von Batterien für den Ladezustand (state of charge, SOC) und den Gesundheitszustand (state of health, SOH). a) Stand der Technik: Ladungsmengenzähler. b) Stand der Forschung bei modellbasierten Verfahren: Stromgeführtes Modell. c) Neues, an der HSO entwickeltes Verfahren: Spannungsgeführtes Modell. Abbildung nach Braun et al. [2].



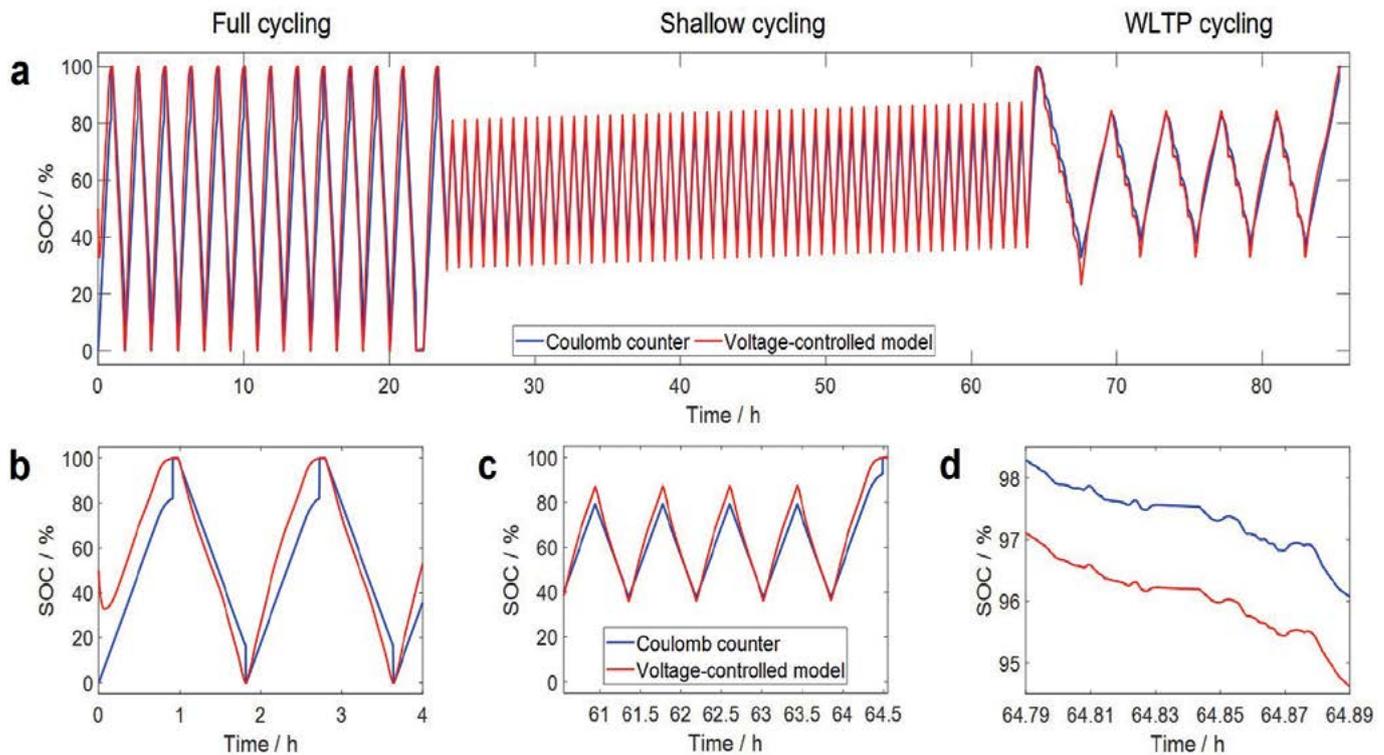


Abb. 3: Messung des Ladezustands (SOC) einer gealterten Lithium-Ionen-Zelle. a Vergleich der Ergebnisse des spannungsgesteuerten Modells (neuer Algorithmus) mit denen des stromgesteuerten Coulomb-Zählers (Standardalgorithmus). b, c, d detaillierte Darstellung des SOC in den drei aufeinanderfolgenden Betriebsmodi (Vollzyklen, Halbzyklen, Fahrzyklen). Abbildung nach Braun et al. [2].

Die Abbildung 3 zeigt einen analogen Datensatz für eine gealterte Zelle. In der Gesamtansicht in Bild (a) lassen sich wiederum die drei Betriebsarten unterscheiden. Aufgrund der geringeren Zellkapazität ist der Datensatz kürzer (Vollzyklen: 0-23 h, Halbzyklen: 23-65 h, Fahrzyklen: 65-85 h) als bei der frischen Zelle. Auch bei dieser Zelle ist der SOC-Drift erkennbar. Der neue Algorithmus kann insbesondere mit der Alterung der Zelle umgehen: Während der Standard-Ladungsmengenzähler Sprünge aufgrund der Kalibration von Voll- und Leerzustand aufweist (siehe Abbildung 3b), funktioniert der neue Algorithmus zuverlässig über den gesamten Datensatz. Es ist erwähnenswert, dass der neue Algorithmus, genau wie der Ladungsmengenzähler, keine alterungsabhängigen Parameter aufweist.

Die ermittelten Gesundheitszustände für die frische und die gealterte Zelle sind in Abbildung 4 gezeigt. Hier ist entscheidend, dass der neue Algorithmus kontinuierlich läuft: Er „weiß“ nicht, wie die Zelle gerade betrieben wird (Vollzyklen, Halbzyklen oder Fahrzyklen). Die hervorragende Übereinstimmung mit den Referenzwerten zeigt, dass der neue Algorithmus

in der Lage ist, den Gesundheitszustand sowohl für frische Zelle (a) als auch für gealterte Zelle (b) in allen drei Betriebsarten vorherzusagen. Die Genauigkeit hängt von der Art des Modells ab: Hier wurden „einfache“ und „erweiterte“ Ersatzschaltkreismodelle getestet, wobei das „erweiterte“ Modell bessere Ergebnisse liefert (für Details siehe [2]).

### Vorteile des neuen Verfahrens

Diese neue Methode bietet erhebliche Vorteile im Vergleich zum Stand der Technik. Für die Diagnose des Ladezustands bestehen folgende Vorteile:

- a) Es wird nur die Spannung, nicht der Strom, als Messeingang benötigt. Dies reduziert die Messkosten und die Komplexität in der praktischen Anwendung.
- b) Der Algorithmus ist selbstkalibrierend „volle“ oder „leere“ Kalibrationszustände sind nicht erforderlich.
- c) Das neue Verfahren ist robust gegenüber partiellen Zyklen und zeigt keinen SOC-Drift im Falle einer ungenauen Strommessung.

- d) Der Algorithmus ist numerisch einfach, es sind keine Filter oder Beobachter erforderlich, und er kann leicht auf Standard-Mikrocontrollern implementiert werden.

Für die Diagnose des Gesundheitszustandes bietet der Algorithmus folgende Vorteile:

- Die Alterung kann aus dem regulären Batteriebetrieb geschätzt werden, ohne dass künstliche Vollzyklen erforderlich sind: es handelt sich um eine echte in operando Diagnostik.
- Das Modell benötigt keine altersadaptiven Parameter.
- Der Zustand wird auf der Grundlage einfacher Berechnungsregeln ermittelt; es sind keine Filter oder Beobachter erforderlich.

Zusammenfassend wurde ein neuer Algorithmus für die in-operando Diagnose von Lade- und Gesundheitszustand von Batterien entwickelt. Erstmals in der Literatur beruht das Verfahren auf der Verwendung der gemessenen Batteriespannung als Eingabe für ein spannungsgeführtes Modell. Die Demonstration des Algorithmus erfolgte mit einer frischen und einer vorgealterten Lithium-Ionen-Batteriezelle. Der Algorithmus ist in der Lage, sowohl den Ladezustand als auch den Gesundheitszustand für frische und gealterte Zellen für alle untersuchten Batteriebetriebsarten (Vollzyklen, Halbzyklen, Fahrzyklen) genau zu schätzen.

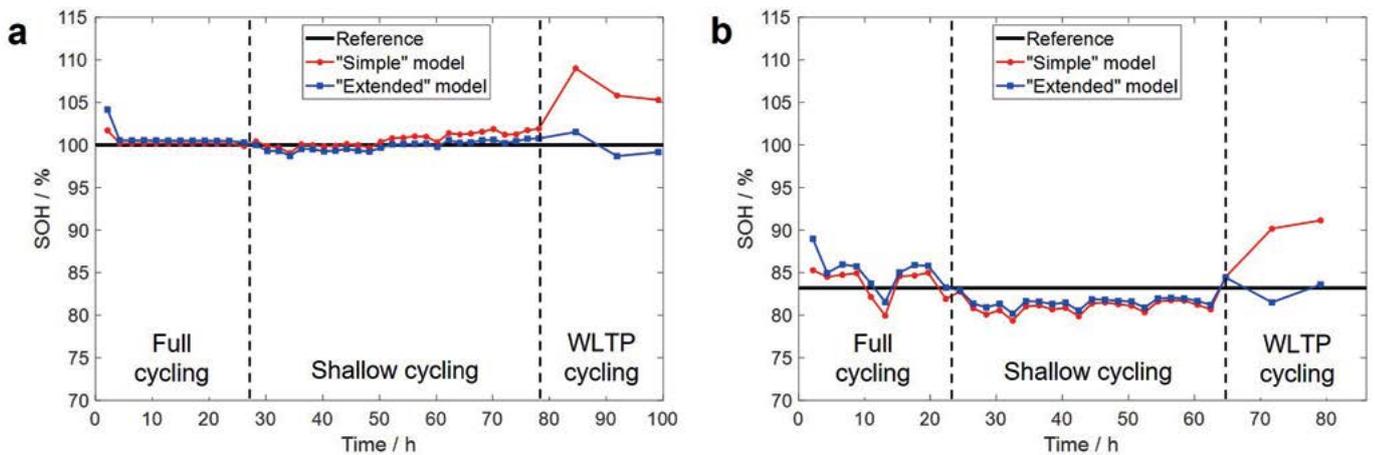


Abb. 4:

Messung des Alterungszustands (SOH) mit dem neuen Algorithmus. a) Frische Zelle, b) gealterte Zelle. Verglichen werden die Ergebnisse mit einem „einfachen“ und einem „erweiterten“ Ersatzschaltkreismodell. Die gestrichelten Linien zeigen den Referenz-SOH, der durch Coulomb-Zählung der ersten beiden vollständigen Zyklen ermittelt wurde. Abbildung nach Braun et al. [2].

Quellen:

[1] Deutsches Patent DE 10 2019 127 828 A1: „Verfahren und Vorrichtung zur Bestimmung des Ladezustandes und des Gesundheitszustandes einer aufladbaren Batterie“ (Anmelder: Hochschule Offenburg, Erfinder: Wolfgang Bessler), Offenlegung am 15.4.2021, Erteilung am 20.05.2021, <https://patents.google.com/patent/DE102019127828B4>

[2] J. A. Braun, R. Behmann, D. Schmider, and W. G. Bessler, „State of charge and state of health diagnosis of batteries with voltage-controlled models,“ *J. Power Sources* 544, 231828 (2022), <https://doi.org/10.1016/j.jpowsour.2022.231828>, Forschungsdaten auf Zenodo, <https://doi.org/10.5281/zenodo.6817726>

# BUILD.DIGITIZED

## Digitale Inbetriebnahme

Im RIZ Energie wurden digitale Methoden für die Inbetriebnahme verwendet. Dabei kam einerseits eine vereinfachte modellbasierte Methode zur Fehlererkennung zum Einsatz, die Anomalien und Fehlfunktionen der Lüftungsanlage detektieren kann. Andererseits wurden visuelle Tools verwendet, um unter anderem die Luftqualitäts- und Energieflussparameter darzustellen. Somit konnten betriebsbegleitend Ineffizienzen und Einsparpotenziale frühzeitig erkannt werden.

*At RIZ Energie, digital methods were used for commissioning, including a simplified model-based fault detection method to identify anomalies and malfunctions in the air handling unit. Visual tools like comfort diagrams and Sankey diagrams were also utilized to display air quality and energy flow parameters, allowing for real-time identification of inefficiencies and potential savings. This comprehensive approach enabled timely corrective action, improving energy efficiency and reducing overall consumption.*



Jens Pfafferott  
Prof. Dr.-Ing.

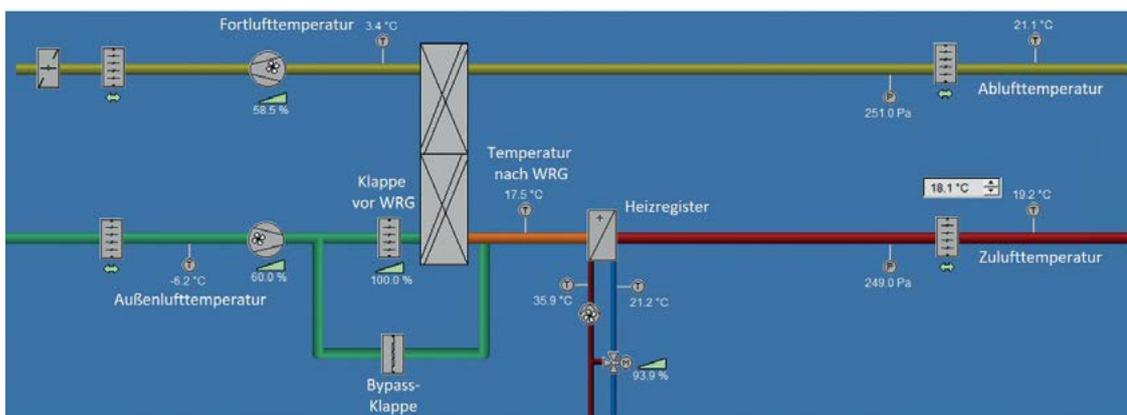
Fakultät M+V, Institut INES  
Energieeffiziente Gebäude-  
technik

Das Regionale Innovationszentrum für Energietechnik an der Hochschule Offenburg (RIZ Energie) wurde als Niedrigstenergiegebäude konzipiert, mit dem Fokus auf Nachhaltigkeitsaspekten geplant und wird klimaneutral betrieben. Hier kommen verschiedene Technologien wie Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung (WRG), Wärmepumpe (WP), Betonkerntemperierung (BKT) und tageslichtabhängige Beleuchtung zum Einsatz, die erneuerbare Energie in Form von Grundwasser und Solarstrom (Photovoltaikanlage mit 30 kWp) nutzen. Während der Inbetriebnahme wurden digitale Methoden zur Fehlererkennung eingesetzt, auch für die Lüftungsanlage. Gleichzeitig wurde das Energie- und Anlagenmonitoring genutzt, um Anforderungen an die Raumluftqualität und den thermischen Komfort zu optimieren bei gleichzeitig möglichst geringem Energiebedarf.

## Modellbasierte Fehlererkennung der Lüftungsanlage

Abbildung 1 zeigt eine grafische Darstellung des Lüftungsgerätes am RIZ Energie und die wichtigsten Messgrößen. Wenn die gewünschte Zulufttemperatur in der Lüftungsanlage nur mit der Wärmerückgewinnung erreicht wird (in den Sommermonaten und in der Übergangsjahreszeit), arbeitet das Heizregister nicht. Wenn es nicht möglich ist, die gewünschte Zulufttemperatur zu erreichen (im Winter), wird das Heizregister mit Energie aus dem Heizungssystem des Gebäudes betrieben, um die gewünschte Temperatur zu erreichen.

Abb. 1:  
Schematische Darstellung der RIZ Energie Lüftungsanlage



Danny Carvajal  
M.Sc.

Institut INES  
Wissenschaftlicher Mitar-  
beiter Forschungsgr. E2G



**Leroy Tomás**  
M.Sc.

Institut INES  
Wissenschaftlicher Mitarbeiter  
Forschungsgr. E2G

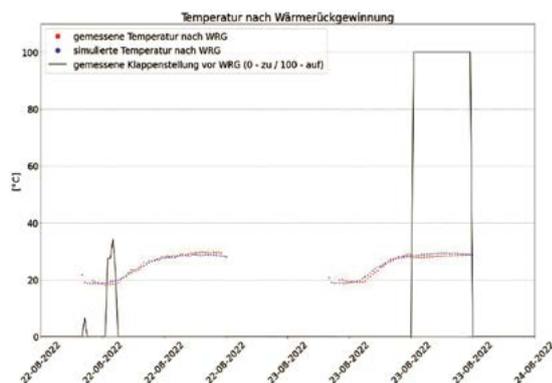


**Sascha Reißmann**  
B.Eng.

Institut INES  
Technischer Mitarbeiter RIZ/  
INES

Für die Fehlererkennung in der Lüftungsanlage wurde ein analytisch basiertes Verfahren verwendet, das die Differenz zwischen Messdaten der Anlage und einem mathematischen Modell in Form von Residuen zur Fehlererkennung nutzt. Sind die Residuen gleich null, wird das System als fehlerfrei angesehen. Umgekehrt können diese Residuen groß sein, wenn Fehler auftreten, oder sie können klein sein, wenn die Residuen in Form von Rauschen, Störungen und/oder Modellierungsfehlern auftreten. Um häufige Fehlermeldungen zu vermeiden, wird ein geeigneter Schwellenwert (auch Threshold genannt) aus diesen Formen von Residuen berechnet, um Fehler im System zu erkennen.

Zur Validierung dieses Simulationsmodells werden die gemessene Außen- und Ablufttemperatur im Modell verwendet. Abbildung 2 zeigt den Vergleich zwischen den gemessenen und simulierten Temperaturen nach der Wärmerückgewinnungseinheit sowie die gemessene Klappenstellung vor der Wärmerückgewinnungseinheit: 0 bedeutet vollständig geschlossen und 100 vollständig geöffnet. Die Stellung der Klappe zeigt an, ob eine Wärmerückgewinnung stattgefunden hat oder nicht. Die Ergebnisse zeigen eine hohe Übereinstimmung zwischen den simulierten und den gemessenen Werten im Normalbetrieb beziehungsweise bei fehlerfreier Funktion. Das Modell gilt damit als validiert.

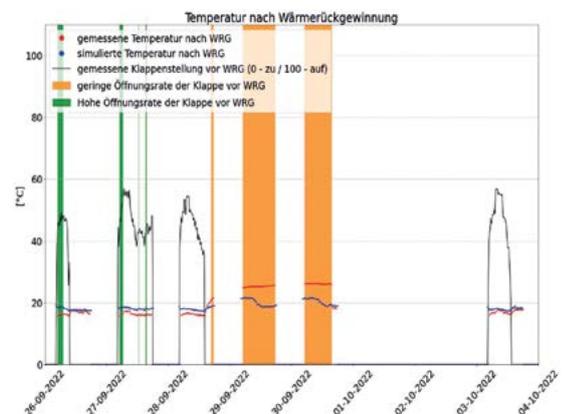


**Abb. 2:**  
Validierung des Lüftungsanlagenmodells. Vergleich der simulierten und gemessenen Temperaturen nach WRG

Für die Fehlererkennung wurde ein Threshold von 2 Kelvin [K] festgelegt. Das heißt, wenn die Differenz zwischen der simulierten und der gemessenen Temperatur nach der Wärmerückgewinnungseinheit größer als 2 K ist, erkennt der Algorithmus, dass ein ungewöhnlicher Zustand vorliegt und überprüft, ob die Klappe vor der Wärmerückgewinnungseinheit wie erwartet funktioniert hat.

In Abbildung 3 sind als Beispiel einige Tage im September (ein Übergangsmonat, in dem das Heizregister noch nicht in Betrieb ist) dargestellt, an denen der Algorithmus fehlerhafte Zustände erkannt und markiert hat:

- Am 29.09.2022 und am 30.09.2022 (gelb markiert) wurde der Schwellenwert überschritten, was bedeutet, dass die gemessene Temperatur deutlich von der simulierten abweicht (hier: Überschreitung). In diesem Fall sollte sich die Klappe öffnen, um die Zuluft abzukühlen. Hier ist anhand der gemessenen Klappenposition zu erkennen, dass die Klappe nicht wie erwartet funktionierte: Sie war vollständig geschlossen.
- Am 26.09.2022 und 27.09.2022 (grün markiert) trat das Gegenteil ein. Der Schwellenwert wurde unterschritten, weil die gemessene Temperatur um mehr als 2 K niedriger war als die simulierte Temperatur. In diesem Fall sollte die Klappe weiter öffnen, damit die Zulufttemperatur nicht so sehr absinkt.
- Am 03.10.2022 wurde der Threshold nicht verletzt, da die Klappe wie erwartet funktionierte.



**Abb. 3:**  
Fehlererkennung in der Lüftungsanlage, wenn nur die Wärmerückgewinnung in Betrieb ist. Kein Betrieb des Heizregisters

Wenn die Wärmerückgewinnungseinheit und das Heizregister gleichzeitig in Betrieb sind, weil es nicht möglich ist, die gewünschte Zulufttemperatur nur mit der WRG zu erreichen, dann könnte der Fehlerzustand auf einen Fehler in der Klappe, einen Fehler im Heizregister oder einen Fehler aufgrund einer Kombination beider Komponenten zurückzuführen sein. In diesem Fall gibt es auch einen

vorgegebenen Schwellenwert von 2 K Differenz zwischen der gemessenen Zulufttemperatur und der Soll-Zulufttemperatur.

Abbildung 4 zeigt als Beispiel einen Zeitraum, in dem zwei Fehlerfälle erkannt und vom Algorithmus markiert wurden:

- Am 15.03.2022 (gelb markiert) war die gemessene Temperatur niedriger als die Solltemperatur, aber die Klappe war vollständig geöffnet. Offensichtlich gelingt es dem Heizregister nicht, die Zuluft auf die Solltemperatur zu erwärmen.
- Demgegenüber ist am 11.03.2022 und 14.03.2022 (grün markiert) zu erkennen, dass die gemessene Zulufttemperatur höher war als die Solltemperatur, obwohl das Heizregister in Betrieb war. Erstens war die Bypass-Klappe nicht vollständig geöffnet. Zweitens erwärmte das Heizregister die Zulufttemperatur über die Solltemperatur hinaus.

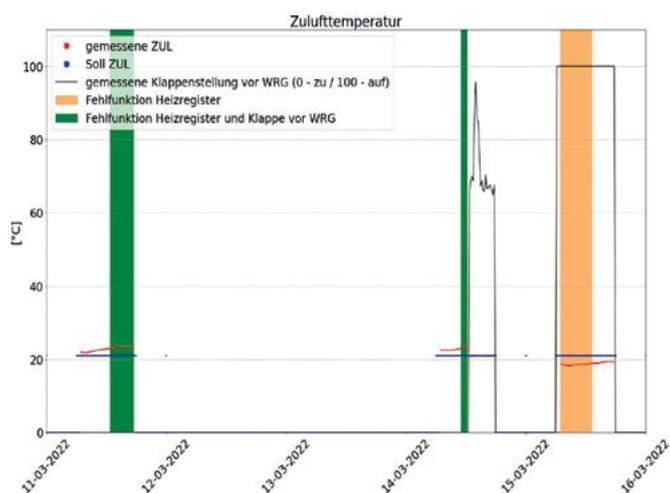


Abb. 4: Fehlererkennung in der Lüftungsanlage, wenn sowohl das Wärmerückgewinnungssystem als auch das Heizregister in Betrieb sind

## Thermischer Komfort – EN 16798

In Abbildung 5 sind die Raumtemperaturen in den drei Etagen des RIZ Energie im Komfortdiagramm dargestellt. Mithilfe dieser Diagramme kann eine Fehlererkennung durchgeführt werden. Dazu wird die Abweichung vom grün dargestellten Komfortbereich analysiert. Die Raumtemperaturen liegen zu 90 Prozent der Aufenthaltszeit im Komfortbereich (Kategorie II nach EN 16798), was schlechter ist als in einem Gebäude wie dem RIZ zu erwarten ist. Nun wird daher einer Fehlerdiagnose durchgeführt, um die Ursache dafür zu festzustellen.

Die Fehlerdiagnose bewertet dabei die gesamte Energieumwandlung im Heiz- und Kühlsystem: Thermisch aktivierte Bauteilsysteme, Wärmeverteilung, Wärmespeicherung und Wärmeerzeugung durch die Wärmepumpe (mit Sommer-Bypass zur Kühlung).

Im Folgenden werden beispielhaft die rot markierten Zeiträume analysiert, in denen unerwartet hohe Raumtemperaturen auftraten. Eine gezielte Fehleranalyse innerhalb des Monitoringsystem zeigt, dass die Vorlauftemperatur im Übergabesystem nicht der Auslegungsheizkurve des Systems entsprach. Nachdem die Ursache für die abweichenden Vorlauftemperaturen identifiziert wurde, konnten entsprechende Anpassungen der Heizkurve und des Zeitprogramms des Heizbetriebes getroffen werden und die Raumtemperaturen liegen jetzt wie erwartet im Komfortbereich.

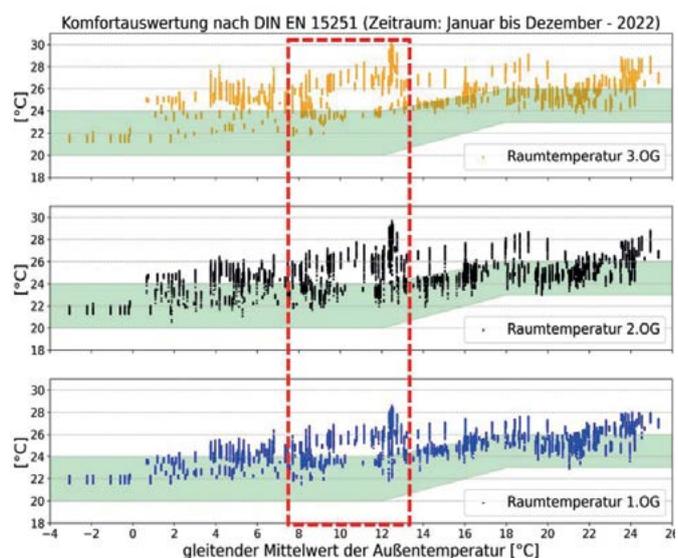


Abb. 5: Komfortdiagramm für das Jahr 2022 nach DIN 15251 in den drei OpenSpace-Offices am RIZ Energie

## Raumluftqualität – EN 16798

Das Monitoring des CO<sub>2</sub>-Gehalts der Raumluft rückt in der Betriebsführung von Nichtwohngebäuden als Bewertungsgröße für die Raumluftqualität zunehmend in den Fokus. Abbildung 6 zeigt anhand der kumulierten Häufigkeit in drei Büroetagen des RIZ Energie, dass im gesamten Gebäude eine sehr gute Raumluftqualität (Kategorie I nach EN 16798) herrscht. Nur innerhalb sehr weniger Stunden im Jahr liegt der CO<sub>2</sub>-Gehalt über 1000 ppm. Es fällt auf, dass das zweite Obergeschoss aufgrund von hoher Anwesenheit höhere Werte des CO<sub>2</sub>-Gehalts aufweist.

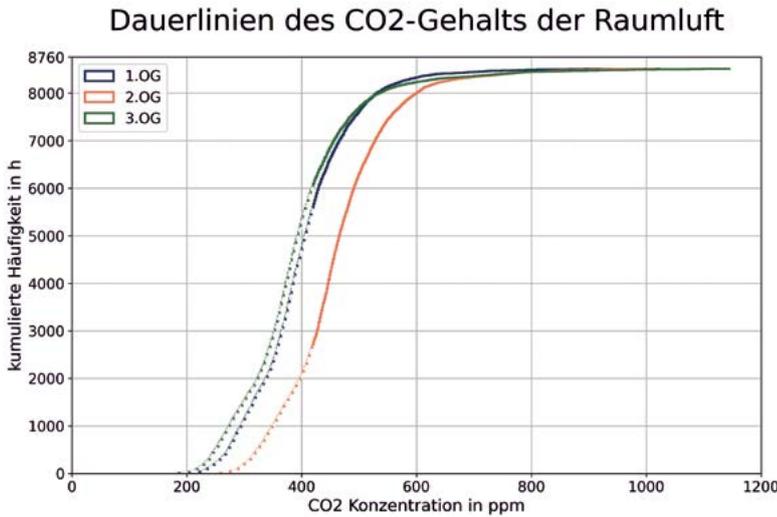


Abb. 6: CO<sub>2</sub>-Konzentration der drei Etagen, RIZ Energie. Die atmosphärische CO<sub>2</sub>-Konzentration ist 400 - 420 ppm, so können darunterliegende Werte als Messfehler identifiziert werden.

### Energieflussbild – DIN 18599

Ein Sankey-Diagramm zeigt den Energiefluss (hier in kWh/Monat) als mengenproportionale Pfeile zwischen zwei „Knoten“. Diese repräsentieren Prozesse, Systemkomponenten oder Geräte und stellen so auch die Struktur von Systemen dar. Sankey-Diagramme sind daher eine leistungsfähige Alternative zu Balken- und Kreisdiagrammen, wenn Einsparpotenziale identifiziert werden sollen. Abbildung 7 zeigt ein automatisch generiertes Sankey-Diagramm des RIZ Energie.

So können beispielsweise Teilenergiekennwerte bestimmt werden: Werden die Strommenge  $Wh_{gen}$  für den Betrieb der Wärmepumpe und die bereitgestellte Wärmemenge WMZ 5a analysiert, ergibt sich eine Anlagenaufwandszahl für die Wärmepumpe von  $e_{gen}=3,4$ . Der Vergleich von WMZ 5b zu 5a zeigt eine sehr gute Anlagenaufwandszahl

#### Dezember 2022 (Messdaten)

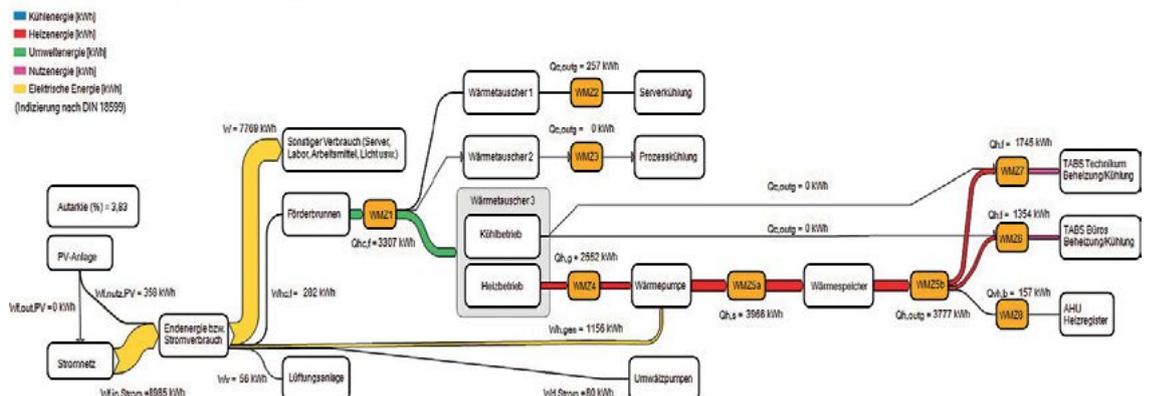


Abb. 7: Sankey-Diagramm des RIZ Energie, bezeichnet nach DIN 18599

für die Wärmespeicherung von  $e_s=0,95$ . Die Aufwandszahl für die Verteilung und Übergabe beträgt  $e_{d+ce}=0,86$  und liegt im typischen Bereich für Flächentemperiersysteme. Somit steht eine übersichtliche Grafik zur Verfügung, um signifikante Verluste zu visualisieren und zu bewerten. Dies ist eine gute Möglichkeit, insbesondere in denjenigen Bereichen Fehler zu erkennen, sprich das Potenzial für eine betriebsbegleitende Optimierung abzuschätzen, die von Algorithmen der modellbasierten Fehlererkennung nicht erfasst werden.

### Fazit

Digitale Methoden sind eine nützliche Ergänzung für die Inbetriebnahme von Gebäuden. Die modellbasierte Fehlererkennung ist dabei eine gute Möglichkeit, die Phase der Inbetriebnahme der technischen Gebäudeausrüstung zu unterstützen, wenn die physikalischen Gleichungen des Verfahrens gut bekannt sind und Messdaten zur Verfügung stehen. Durch die Anwendung dieser digitalen Methode war es möglich, während der Phase der Inbetriebnahme des Gebäudes festzustellen, wann genau Anomalien im Verhalten des Lüftungsgeräts auftraten und wie sich diese auf die Raumtemperatur auswirkten.

Visuelle Tools spielen eine signifikante Rolle bei der digitalen Inbetriebnahme und tragen zur Identifikation von Fehlern und Optimierungspotenzialen bei dem Betrieb eines Gebäudes bei. Es wird empfohlen, die Mindestanforderungen der AMEV-Richtlinie „Technisches Monitoring“ zu befolgen, die definieren, welche messtechnische Ausstattung nötig ist, um den energieeffizienten und bedarfsgerechten Gebäudebetrieb zu ermöglichen. So wird gewährleistet, dass die wichtigsten Kenngrößen rund um Arbeitsplatzqualität und Energieeffizienz in den Gebäudesystemen überwacht werden.

# heatGULde

## Entwicklung eines innovativen Messsystems zur Erfassung der Wärmebelastung, deren Simulation und Feldmessung

Im Rahmen des Forschungsprojekts „heatGULde“ soll die physiologische Wärmebelastung von Menschen in Innenräumen mit einem Prototyp eines Hitzewarn- und Hitzemanagementsystems erfasst und ausgewertet werden. Da sich die thermische Hitzebelastung in Innenräumen von Gebäude zu Gebäude unterscheidet, soll dieses neue Messsystem die spezifische Wärmebelastung der Innenräume privater Haushalte aufzeichnen und auswerten, um damit dann die physiologische Wärmebelastung in Innenräumen effektiv reduzieren zu können. Es werden stadtklimatische Simulationen durchgeführt, um Wärmeinseln im urbanen Raum identifizieren zu können. Die Plausibilität dieser Simulationen wurde durch eine Messkampagne am Offenburger Campus geprüft.

*As part of the „heatGULde“ research project, the physiological heat load of people indoors is to be monitored by a prototype heat warning and heatmanagement system. This thermal heat load in indoor spaces differs from building to building. This new measurement system will record and evaluate the specific indoor heat load of private households, which can then be used to effectively reduce indoor physiological heat load. Urban climatic simulations are performed to be able to identify heat islands in urban areas. The plausibility of these simulations was tested by a measurement campaign at the Offenburg campus.*

### Einführung

In Anbetracht des zunehmenden Klimawandels, der unter anderem zu mehr Hitzeperioden führt, stellt die physiologische Wärmebelastung eine wachsende Herausforderung für die Menschen dar. Insbesondere vulnerable Bevölkerungsgruppen sind besonders zu schützen. Um dieser Situation begegnen zu können, werden im Forschungsprojekt „heatGULde“ Prototypen eines Hitzewarn- und Hitzemanagementsystems entwickelt. Diese sollen gebäudespezifische Hitzewarnungen bereitstellen und durch gezielte Handlungsempfehlungen helfen, die physiologische Wärmebelastung in privaten Innenräumen zu minimieren. Das Projekt „heatGULde“ wird von der Baden-Württemberg Stiftung gefördert.

Zur Aufzeichnung der Wärmebelastung der Haushalte wird ein Messsystem entwickelt, das die thermische Innenraumsituation auf Basis verschiedener Parameter bewertet. Die Daten des Messsystems werden verwendet, um ein selbst-adaptierendes Vorhersagemodell zu entwickeln, das die Wärmebelastung für die kommenden Tage prognostiziert. Hierbei

werden maschinelle Lernverfahren angewendet, um eine möglichst genaue Vorhersage zu erreichen. Durch einen einfachen Installationsprozess, geringe Gesamtkosten und hohe Benutzerfreundlichkeit soll das Messsystem eine breite Anwendbarkeit gewährleisten. Über den Verlauf des Projekts hinweg wird das Messsystem kontinuierlich in Reallaboren getestet, um dessen Stabilität zu überprüfen.

### Entwicklung des Systems

Abbildung 1 zeigt den Aufbau des Messsystems, das zur Erfassung der physiologischen Wärmebelastung in Innenräumen privater Haushalte dienen soll. Die Sensorknoten des Messsystems, aus Mikrocontroller und spezifischer Sensorik zusammengesetzt, messen physikalische Größen wie Lufttemperatur, -feuchte, -geschwindigkeit, Strahlungstemperatur, CO<sub>2</sub> sowie Beleuchtungsstärke und übertragen die Daten verschlüsselt via WiFi an ein Gateway, das auf einem Raspberry Pi basiert.

Um eine reibungslose Übertragung der Messdaten zu garantieren, wurde ein zweiter Datenkanal über ein Long Range Wide Area



Jens Pfafferott  
Prof. Dr.-Ing.

Fakultät M+V, Institut INES  
Energieeffiziente Gebäude-  
technik



Rainer Gasper  
Prof. Dr.-Ing.

Fakultät M+V, Institut INES  
Intelligente Energienetze



Michael Schmidt  
Prof. Dr. rer. nat.

Fakultät EMI, Institut INES  
Intelligente Energienetze

# Entwicklung von Prototypen

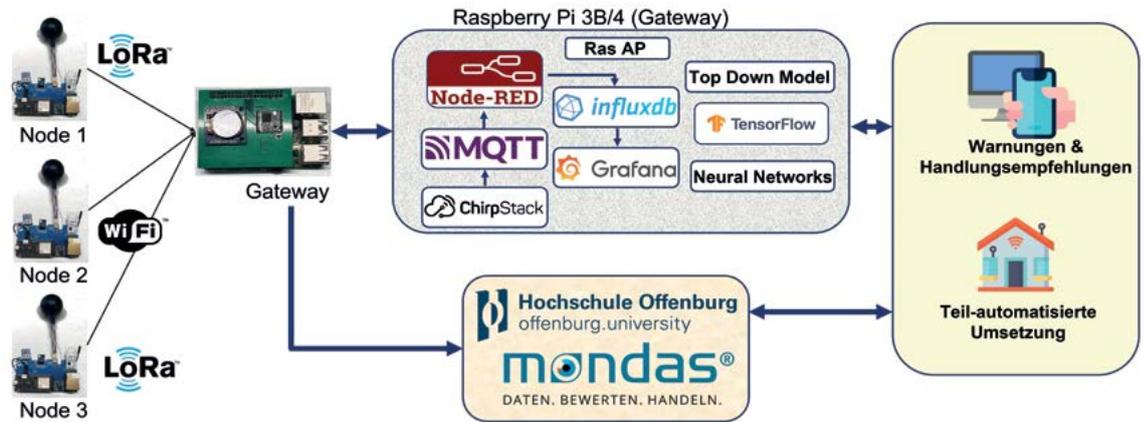


Abb. 1:  
Messsystem Aufbau

Network (LoRaWAN) eingerichtet. Hierfür ist ein zusätzliches Gateway erforderlich, das die verschlüsselten LoRa Datenpakete empfängt und an den Raspberry Pi weiterleitet. Um die Gesamtkosten des Messsystems so gering wie möglich halten zu können, wurde eine Erweiterungsplatine entwickelt, die das Main Gateway zusätzlich als single channel LoRa Gateway nutzbar macht.

Das Messsystem verarbeitet die empfangenen Daten von den Sensorknoten mit verschiedenen Programmen. Chirpstack dient als LoRaWAN Server und ermöglicht den Aufbau eines eigenständigen LoRa Netzwerks. Chirpstack kann die verschlüsselten Datenpakete empfangen, entschlüsseln und diese über das MQTT Nachrichtenprotokoll an Node-Red weiterleiten. Die WiFi Nodes übertragen die Daten direkt an Node-Red. Node-Red stellt die zentrale Softwareschnittstelle des Main Gateways dar. Die Sensordaten werden an eine interne InfluxDB und eine weitere InfluxDB an der HS Offenburg gesendet. Node-Red bildet auch die Basis für die Bedienoberfläche. Mit der Software Grafana werden aktuelle und historische Daten visualisiert.

In Abbildung 2 wird der aktuelle Stand des Messsystems dargestellt. Um Anwender und Technik zu schützen, sind die Sensorknoten und das Gateway in Gehäuse eingebettet. Der auf dem Gateway ausgeführte Algorithmus berücksichtigt die gemessenen Werte des Messsystems sowie die Wettervorhersage aus dem Web, um Hitzealarme anzuzeigen. Darüber hinaus werden über das Gateway die aktuellen Messdaten veranschaulicht. Damit auch Privatanwender das System einfach installieren und bedienen können, wurde bei der

Entwicklung ein besonderes Augenmerk auf eine benutzerfreundliche Oberfläche und eine einfache Installation des Systems gelegt.

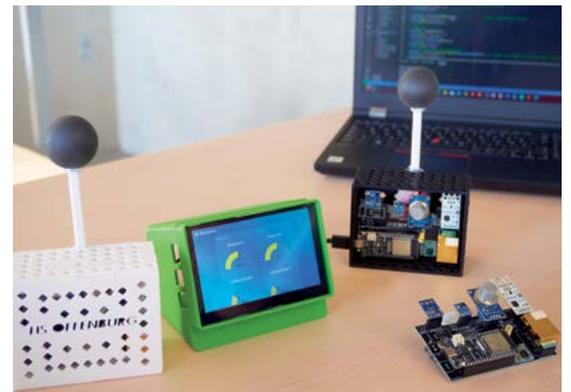


Abb. 2:  
Messsystem

Um die Stabilität des Messsystems prüfen zu können, wird es in Reallaboren erprobt. Die Messdaten auf den Gateways können über eine VPN-Verbindung zur HS Offenburg ausgewertet werden.

Abbildung 3 zeigt einen Ausschnitt der Messdaten im August über einen Zeitraum von einer Woche eines Haushaltes auf. Die Innenraumtemperaturen sind in Rot, die physiologische Äquivalenttemperatur in Gelb, die Außentemperaturen in Blau und die Luftgeschwindigkeit in Grün aufgezeichnet. Die Messdaten zeigen einen leichten bis mäßigen Hitzestress, aber nur geringe Lüftung. Durch ein effektives Lüften kann der mäßige Hitzestress in diesem Fall vermieden und so die thermische Behaglichkeit in diesem Haushalt verbessert werden.



Raghavakrishna  
Devineni, M.Sc.

Institut INES  
Wiss. MA., Energieeffiziente  
Gebäudetechnik



Willi Haag  
M.Sc.

Institut INES  
Wiss. MA., Energieeffiziente  
Gebäudetechnik



Oscar Villegas Mier  
M.Sc.

Institut INES  
Wiss. MA., Intelligente Ener-  
gienetzwerke

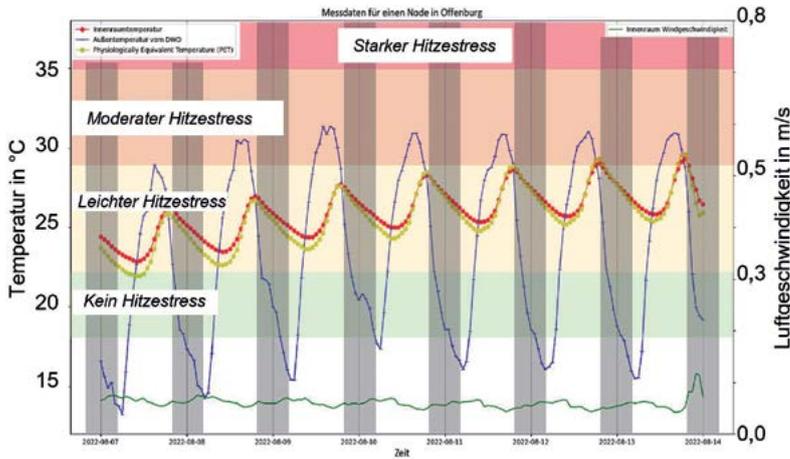


Abb. 3: Messdaten

## Ergebnis

Durch den Einsatz von günstigen Standardkomponenten konnte ein breitentaugliches Messsystem zur Beurteilung der thermischen Behaglichkeit entwickelt werden. Dabei werden verschiedene physikalische Größen gemessen und vor Ort von einem Gateway ausgewertet. Durch den Einsatz von LoRa bei der Datenübertragung können die Sensordaten auch durch dicke Hauswände zuverlässig übertragen werden. Durch die Erprobung des Messsystems in Reallaboren konnte die Stabilität des Prototyps kontinuierlich optimiert werden.

Mit den ersten Prototypen aus dem Jahr 2022 wurden erste Indizien für moderate Hitzestress-Situationen in privaten Haushalten identifiziert. Das Messsystem, ergänzt durch vorhersagende Algorithmen, bietet im weiteren Verlauf des Projekts die Möglichkeit, spezifische Handlungsempfehlungen zur Verringerung der thermischen Belastung in Haushalten zu generieren.

## Simulation mit dem Modell

Für die Mikroklimasimulation wird die quelloffene Software PALM verwendet. Die Besonderheit von PALM ist, dass Außen- und Innenraumtemperaturen simuliert werden können. Die Simulation bildet einen typischen Sommertag über 24 Stunden ab und soll hitzebedingte kritische Bereiche auf dem Offenburger Campus aufzeigen, wobei verschiedene Parameter als Input für die Simulation bereitgestellt werden müssen. Dafür wurde ein vereinfachtes Modell vom Offenburger Campus angefertigt.

Der Simulationsbereich für die Mikroklimasimulation wurde mit Satellitenbildern bestimmt und das Rechengitter mit einer Abmessung von 600 Meter auf 600 Meter festgelegt. Das Gitter wurde größer als der eigentliche Campus gewählt, damit beispielsweise die kühlende Wirkung der Kinzig mit einbezogen werden kann. Umliegende Gebäude, die nicht Teil des Campus sind, werden vernachlässigt.

Der Campus wird durch eine statische Eingabedatei parametrisiert, die Informationen über Topografie, geografische Lage, Oberflächen und Vegetation enthält.

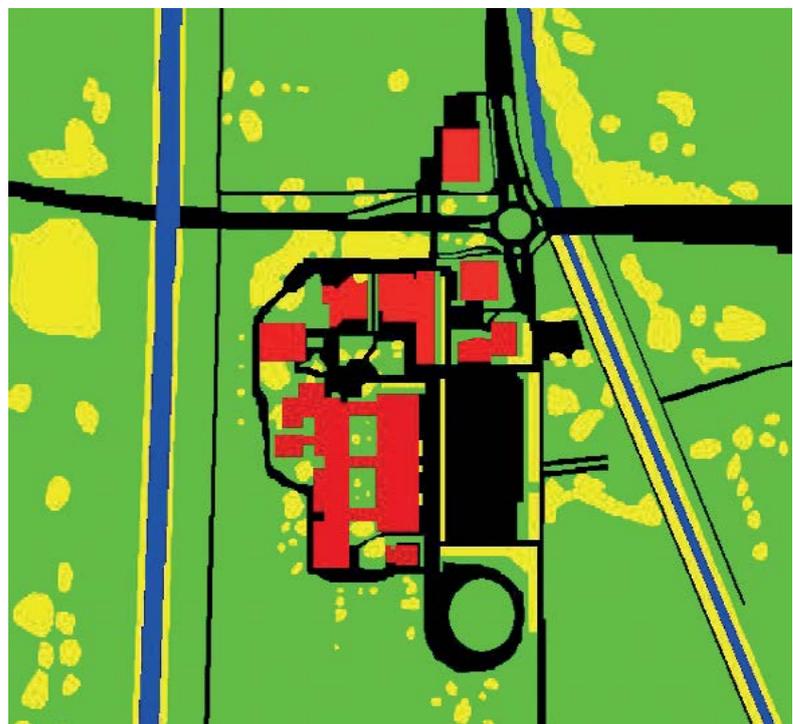


Abb. 4: Campus Offenburg

Zur Generierung der statischen Eingabedatei wurde eine vereinfachte Abbildung des Campus, die aus Satelliten- und Drohnenaufnahmen erstellt wurde, mit einer Auflösung von 600 mal 600 Pixeln generiert (Abbildung 4). Damit entspricht ein Pixel 1 mal 1 Meter. Diese Grafik wurde mit einem Python Skript in eine netCDF Datei konvertiert, die von der quelloffenen Software PALM als Input benötigt wird. Die verschiedenen Oberflächenarten wurden anhand von RGB-Farbcodes beschrieben und die Gebäude nach Baujahren mit vorab definierten Modellen klassifiziert.

Die Abbildung 5 zeigt beispielhaft die simulierten Temperaturen um 20:00 Uhr auf einer Höhe von zwei Metern über dem Boden. Es wird deutlich, dass auf dem Parkplatz die

höchsten Temperaturen herrschen. Auch an den Straßen zeigt sich, dass sich die asphaltierten Bereiche besonders erhitzt haben. Der grüne Campus zwischen den Gebäuden A, B/C, D und Mensa profitiert demgegenüber von der teilweisen Verschattung und der kühlenden Vegetation am Tag.

## Feldmessung mit dem System

Um die Plausibilität der Simulationsergebnisse zu bewerten, wurde eine Messkampagne am Campus Offenburg durchgeführt. Die Mikroklima-Messung fand an einem typischen Sommertag im August statt und dauerte 24 Stunden. Stationäre Temperatursensoren wurden an verschiedenen Orten am Campus angebracht. Um eine hohe Messdichte zu erzielen, wurde zusätzlich ein mobiles Messsystem eingerichtet, indem ein Fahrrad mit Temperatursensoren ausgestattet wurde, das stündlich eine festgelegte Route mit konstanter Geschwindigkeit am Campus abfuhr. Die Verknüpfung der Messdaten mit den Messpunkten erfolgte über ein GPS-System. Um die ungestörte Lufttemperatur lokal und zeitlich hochaufgelöst zu erfassen, verschattete man die Sensoren gegen Solarstrahlung.

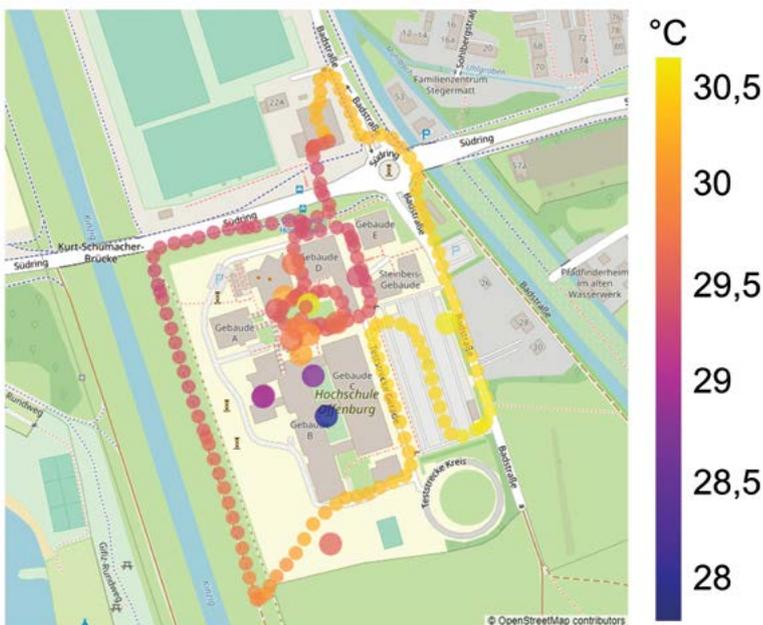


Abb. 5:  
Messergebnisse  
20:00 Uhr

Die Abbildung 5 zeigt die real gemessenen Temperaturen um 20:00 Uhr, auch wie in der Simulation wieder in zwei Metern Höhe über dem Boden. Die Messung bestätigt die Simulation mit der fehlenden nächtlichen Entwärmung auf dem Parkplatz, der kühlenden Wirkung der Kinzig und dem verhältnismäßig kühlen Platz zwischen den Gebäuden. Ergän-

zend werden in Abbildung 7 gemessene Innentemperaturen im Gebäude B gezeigt: Hier fällt auf, dass sich die Räume wegen fehlender Maßnahmen zur passiven Kühlung nachts nicht abkühlen.

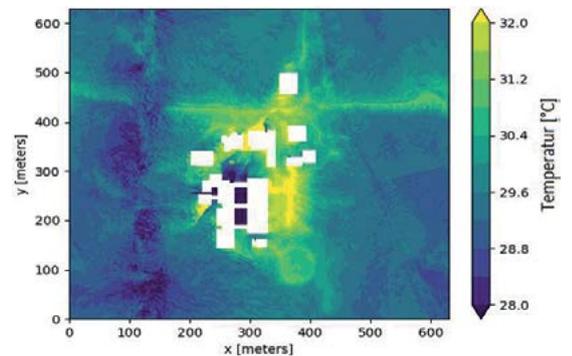


Abb. 6: Simulationsergebnisse 20:00 Uhr

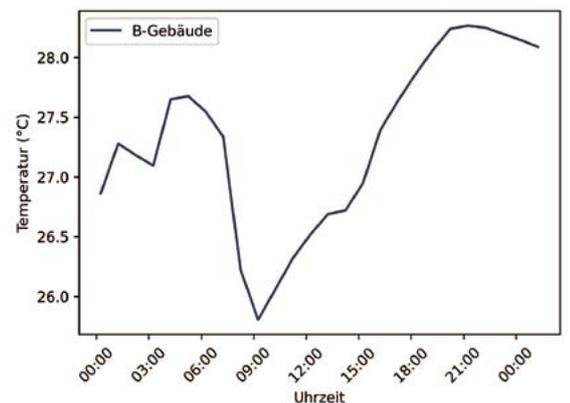


Abb. 7: Innenraumtemperaturen B-Gebäude

## Fazit

Die Analyse der Vergleichbarkeit von simulierten und gemessenen Außentemperaturen ergab, dass die simulierten Werte tendenziell überhöht sind. Es zeigte sich jedoch eine Übereinstimmung in der räumlichen Verteilung der Temperaturen. Die Simulation der Innenraumtemperaturen weicht signifikant von den gemessenen Daten ab. Dies weist darauf hin, dass die vorab definierten Gebäudemodelle in PALM für diese Simulation nicht ausreichend sind und dass eine Verfeinerung der Parametrierung der Gebäude am Offenburger Campus notwendig ist. Der Vergleich zwischen simulierten Ergebnissen und gemessenen Daten legt nahe, wie die Mikroklimasimulation optimiert werden kann. Dennoch stellen die simulierten Ergebnisse bereits eine valide Basis für die Identifikation von hitzebedingt kritischen Standorten dar.

# Projektorientiertes Lernen

## Studierende planen ein energieautarkes Tiny House

Im Rahmen des Projekts village.school wird in Zusammenarbeit mit dem Green Energy Park (Marokko) ein praktisches Lehrkonzept entwickelt, um nachhaltige Energietechnik in die akademische Bildung zu integrieren. Im Wintersemester 2022/23 wurde das Lehrkonzept im Studiengang Nachhaltige Energiesysteme erstmals angeboten. Im Sommersemester 2023 wird das Lehrkonzept in Marokko im Rahmen einer Summer School durchgeführt.

*As part of the village.school project, a practical teaching concept is being developed in cooperation with the Green Energy Park (Morocco) to integrate sustainable energy technology into academic education. In the winter semester '22/'23, the teaching concept was offered for the first time in the course Sustainable Energy Systems. In the following summer semester, the teaching concept will be implemented in Morocco in form of a summer school.*



### Überblick

Das deutsch-marokkanische Partnerprojekt village.school zwischen dem INES der Hochschule Offenburg (HSO) und dem Institut de Recherche en Energie Solaire et Energies Nouvelles (IRESEN) in Marokko, fokussiert auf die Gestaltung und Planung von klimaneutralen Energiesystemen in Gebäuden. Es wird gefördert und finanziert vom Deutschen Akademischen Austauschdienst (DAAD). Zielsetzung im Projekt ist, ein praxisnahes Lehrkonzept zu entwickeln, das Absolvierende dazu befähigt, ein Energiesystem bauphysikalisch und anlagentechnisch zu planen, analysieren und optimieren.

In dem Lehrkonzept, bestehend aus Vorlesung mit begleitender Fallstudie, planen Studierende Heizung, Kühlung und Lüftung für ein energieautarkes Tiny House. Dazu erhalten sie anfangs ein Lastenheft mit klar definierten und lokal angepassten Anforderungen, die sie in ein konkretes Pflichtenheft überführen und im Laufe ihrer Planung erfüllen müssen. Neben dem eigentlichen Planungsprozess spielt eine gekoppelte Gebäude- und Anlagensimulation eine zentrale Rolle, um jede Teilkomponente des Systems optimieren und im Zu-

sammenspiel mit den anderen Komponenten im Gesamtsystem aufeinander abstimmen zu können. Mit dem SHK-Container an der HSO und dem Solar Decathlon-Gebäude am Green Energy Park stehen den Studierenden in Deutschland und Marokko zwei Prototypen als Vergleich zur Verfügung. Schließlich können so die Planungs- und Simulationsergebnisse mit realen Messwerten verglichen werden.

### Der Prototyp an der HSO

Ein einfacher, wärmegeämmter 20'-Container soll so ausgerüstet werden, dass die Raumtemperatur das gesamte Jahr im Komfortbereich liegt, eine gute Raumluftqualität gewährleistet und Trinkwarmwasser bereitgestellt werden kann. Das Gebäude soll ausschließlich energieautark mit Solarenergie versorgt werden. Um am Ende der Vorlesung die Simulationsergebnisse der Planung validieren zu können, ist der SHK-Container mit einem Energie- und Anlagenmonitoring ausgerüstet. Die aufgezeichneten Daten werden mit einer Web-Application visualisiert und den Studierenden zur Verfügung gestellt.



Jens Pfafferott  
Prof. Dr.-Ing.

Fakultät M+V, Institut INES  
Energieeffiziente Gebäude-  
technik



Moritz Bühler  
B.Eng.

Institut INES  
Akademischer Mitarbeiter,  
Energieeffiziente Gebäude-  
technik



Abb. 1:  
Der Prototyp an der Hochschule vor dem RITZ-Gebäude

## Bedarfs- / Potenzialanalyse

Vor Planung wurde eine Bedarfs- und Potenzialanalyse durchgeführt. So konnte mit einem Gebäudemodell in der Programmumgebung Python der Wärme- und Kältebedarf des Gebäudes ermittelt werden, wie auch das zur Verfügung stehende Solarpotenzial unter den lokalen Randbedingungen. Bereits hier konnten die Studierende erste Planungsentscheidungen treffen: Das Energiekonzept basiert auf einem PVT-Kollektor, der sowohl Wärme als auch Strom liefert. Die Analyse der zeitvariablen Wetterdaten lieferte zudem eine erste Abschätzung zur erforderlichen Kapazität eines Strom- und Wärmespeichers.

## Ausarbeitung

Ausgehend hiervon wurde das Energiesystem weiter ausgebaut. Angelehnt an die in der Praxis gängige HOAI (Honorarordnung für Architekten und Ingenieure) durchlief es die Machbarkeitsstudie, Vorplanung und Entwurfsplanung. Zur Dimensionierung der einzelnen Komponenten wurde für jede ein Modell in Python erstellt und miteinander verknüpft. In der gekoppelten Gebäude- und Anlagensimulation konnten die Komponenten optimal dimensioniert und auch das Regelungskonzept des Gesamtsystems ausgearbeitet werden. Dabei gelangten die Studierenden zu dem abgebildeten Anlagenschema mit einer reversiblen Wärmepumpe zur Wärme- und Kälteerzeugung. Der Raum wird im Winter über die Fußbodenheizung geheizt (Strang 5, 7) und im Sommer über eine abgehängte Kühldecke gekühlt (Strang 6 und 7). Das Gesamtsystem wird in zwei unterschiedlichen Modi betrieben. Im Winter ist die kalte Seite der Wärmepumpe mit den PVT-Kollektoren verbunden (Strang 1, 2, 3). Die Quellentemperatur ist so die Umgebungstemperatur inklusive der Solarstrahlung.

Hier kann eine höhere Energieeffizienz im Vergleich zu einer Luft-Wasser-Wärmepumpe erzielt werden. Die warme Seite ist mit dem Wärmespeicher verbunden (Strang 4, 5). Im Sommer entzieht die kalte Seite der Wärmepumpe dem Kältespeicher eine Wärmemenge bei niedriger Temperatur (Strang 8, 3) und bringt diese bei einem hohen Temperaturniveau in den Wärmespeicher ein (Strang 4, 5). Während die PVT-Kollektoren im Winter als Wärmequelle dienen, werden sie im Sommer nachts als Wärmesenke genutzt (Strang 9, 1).

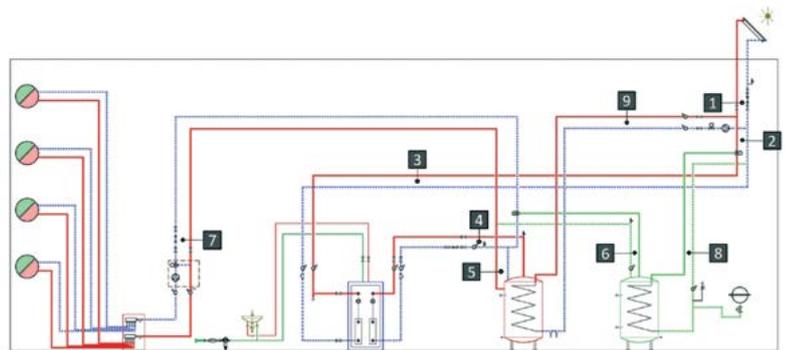


Abb. 2:  
Schaltplan für den Prototypen

## Validierung

Am Ende der Vorlesung wurden Simulationsergebnisse mit realen Messwerten aus dem Monitoringsystem verglichen. Ein Ausschnitt dieser Analyse ist folgend zu sehen.

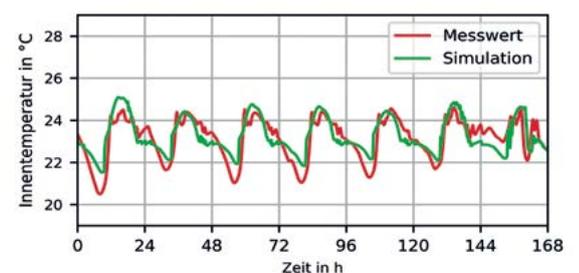


Abb. 3:  
Analyse der Messergebnisse

## Fazit

Die Vorlesung ermöglichte vielfältige Einblicke und Erfahrungen im Prozess der Planung eines Energiesystems. So wurde ein Planungsprozess ausgehend vom Lastenheft (Anforderungen) bis hin zum fertigen Entwurf durchlaufen. Dabei griff man auf eine Simulation zurück, um eine dynamische und gekoppelte Gebäude- und Anlagensimulation durchzuführen. Weitere Kompetenzfelder, die durch die Vorlesung gefördert wurden, sind unter anderem die wirtschaftliche Beurteilung eines Energiesystems, die Beurteilung der Innenraumqualität, Erfahrungen im Projektmanagement sowie die Analyse von Monitoringdaten aus dem laufenden Betrieb.

# FlexTwin

## Zwillingskonzept für Klimaschutz

Die Nutzung erneuerbarer Energien führt beim Stromnetz zu einem höheren Bedarf an Energieflexibilität, um einen sicheren und zuverlässigen Betrieb zu gewährleisten. Die nachfrageseitige Energieflexibilität und der industrielle Stromverbrauch sind für die industrielle Nachfrage wichtige Eingriffspunkte und gut geeignet, um auf marktbestimmte Preis- oder Anreizsignale zu reagieren. Der FlexTwin-Ansatz bietet ein Instrument, das versucht, das Flexibilitätspotenzial optimal abzuschöpfen und Investitionsrisiken für KMU gering zu halten.

*The use of renewable energies leads to a higher need for energy flexibility in the power grid to ensure safe and reliable operation. Demand-side energy flexibility and industrial electricity consumption are important intervention points for industrial demand side management and well suited to respond to market-driven price or incentive signals. With the FlexTwin approach, an instrument is developed that seeks to optimally exploit the flexibility potential while keeping investment risks low for SMEs.*

Auf der Seite des Stromnetzes führt die zunehmende Nutzung von erneuerbaren Energiequellen zu einem höheren Bedarf an Energieflexibilität, um einen sicheren und zuverlässigen Betrieb zu gewährleisten. Im Allgemeinen steigt der Stromverbrauch wie durch die Zunahme der Elektromobilität. Nutzung von Flexibilität heißt dann, dass bei hoher Einspeiseleistung auch ein hoher Verbrauch angestrebt wird und vice versa. Unter den verschiedenen Optionen werden Energieflexibilität, nachfrageseitige Energieflexibilität und der industrielle Stromverbrauch als Optionen für industrielle Nachfrage (Erhöhung, Verringerung und Verlagerung) gesehen, um auf Preis- oder Anreizsignale [1,2] zu reagieren. Dies kann durch Anpassung an dynamische Preissignale geschehen oder durch die Bereitstellung und Vermarktung der Flexibilität in Form von Ausgleichsenergie. Typische Maßnahmen sind Verschiebungen von Betriebszeiten, eine Reduzierung oder Erhöhung der Leistung von Maschinen bei Haupt- und Hilfsprozessen sowie die Nutzung von lokalen Energiespeichern. Gleichzeitig machen sich Industrieunternehmen zunehmend Gedanken über die Art ihrer eigenen Energieversorgung und treffen Entscheidungen zur Verbesserung im Sinne der Energie-Nachhaltigkeit, zum Beispiel durch die Installation von PV-Anlagen, die

Einrichtung lokaler Mikronetze oder die Nutzung der Sektorenkopplung. Die Beweggründe sind die Senkung von Energiekosten, die Erschließung neuer Einnahmequellen am Energiemarkt, eine höhere Unabhängigkeit von externen Kosten oder die Verbesserung der Versorgungssicherheit und Bereitstellungsqualität. Darüber hinaus gibt es gesetzliche Vorgaben zur Dekarbonisierung des Mobilitätssektors, des Wärmesektors, von Industrieprozessen sowie sozio-technische Aspekte.

## Digitaler Zwilling: Industrieunternehmen als generische Bibliothek

In Industrieunternehmen arbeiten Gruppen von technischen Systemen, die zusammenwirken, um die beabsichtigte Produktion durch Kern- und Hilfsprozesse umzusetzen. Diese Systeme sind durch Material-, Energie-, Medien- und Datenfluss miteinander verbunden [3]. Der Forschungsansatz wurde aus Forschungsarbeiten von [4] und [5] entwickelt, der Industrieunternehmen in viele Untereinheiten zur Darstellung von energieflexiblen industriellen Untersystemen aufteilt.

Mit dem Schwerpunkt auf der Modellierung der Energieflexibilität betrachtet eine generische Modellbibliothek ein Industri-



**Michael Schmidt**  
Prof. Dr. rer. nat.

Fakultät EMI, Institut INES  
Intelligente Energienetze



**Rainer Gasper**  
Prof. Dr.-Ing.

Fakultät M+V, Institut INES  
Intelligente Energienetze



**Jens Lottermoser**  
M.Sc.

Institut INES  
Forschungsgruppe IEN



Jesus Salazar, da Costa Fernandes, M.Sc./Dipl.-Ing. FH  
 Institut INES  
 Projektmanager, INES, IEN, EEW

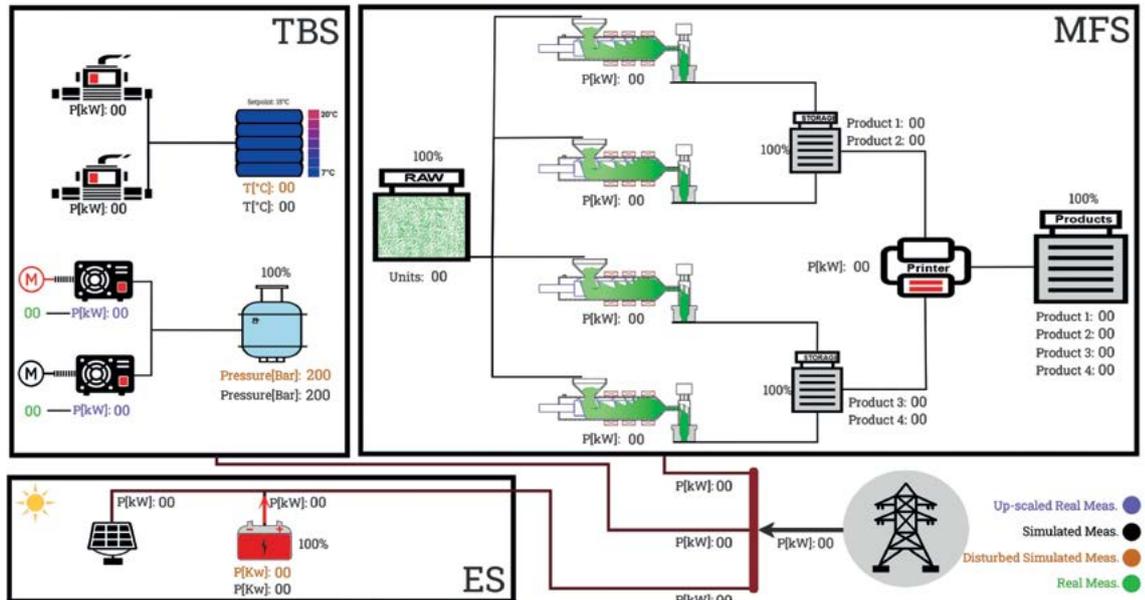


Abb. 1:  
 Unternehmensdarstellung zur Kunststoffherstellung (Fallstudie) [9]



Amine Amoume  
 Dipl.-Staatsingenieur  
 Institut INES  
 Forschungsgruppe IEN



Abb. 2:  
 Funktionale Gruppen eines KMU beim digitalen Zwilling [6]

unternehmen als eine aus drei technischen Haupteinheiten zusammengesetzte Produktionsanordnung. Diese drei Einheiten sind das Fertigungssystem (MFS), die technische Gebäudeausrüstung (TBS) und das Energiesystem (ES) [6].

Das Fertigungssystem ist der zentrale Teil eines jeden Industrieunternehmens und verbraucht den Hauptstrom für den Produktionsprozess. Es handelt sich um das System, das Energie verwendet, Rohmaterial, Medien und Informationen zur Herstellung von Endprodukten einsetzt [3]. Die Modellierung dieses Systems erfolgt in Form eines Ressourcen-Aufgaben-Netzes (RTN) [7], um es möglichst generisch zu gestalten [9].

Die technische Gebäudeausrüstung stellt eine Raumkonditionierung und Medien für das Produktionssystem in der exakt gewünschten Menge und zum richtigen Zeitpunkt bereit. Zu diesem Zweck umfasst das TBS-System entsprechende Anlagen zur Beleuchtung, Heizung, Lüftung und Klimatisierung sowie die Erzeugung und Zwischenlagerung von Medien und Vorprodukten. Der Einfachheit halber wird angenommen, dass die Medien und Stoffe nicht in das TBS-System zurückfließen, wie es in einem realen Produktionsbetrieb der Fall wäre. Die Untereinheiten des TBS, die derzeit in der Bibliothek modelliert sind, umfassen ein Druckluftsystem (CAS), ein Prozesswärmesystem (PHS), ein Prozesskältesystem (PCS) sowie eine vereinfachte Version einer Heizungs-, Lüftungs- und Klimatisierungseinheit (HVAC). In einer ersten Fallstudie [9] werden nur CAS und PCS zur Prozessunterstützung eingesetzt.

Das Energiesystem des Industrieunternehmens in der entwickelten Modellbibliothek besteht aus Vor-Ort-Strom-Erzeugungsanlagen und Speichern. Dies umfasst die elektrische Stromversorgung aus lokal installierter Photovoltaik (PV), Kraft-Wärme-Kopplungsanlagen (KWK), die auch Wärmeenergie an die thermischen Speichereinheiten innerhalb des PHS liefern können, und Batterie-Energiespeicher (BES). Andere Systeme wie Windkraftanlagen oder Dieselgeneratoren können ebenfalls hin-

zugefügt werden. Zur weiteren Vereinfachung werden derzeit nur PV-Anlagen und BES verwendet. Erweitert wurde die Bibliothek mit Modellen in der Anwendung Pandapower zur Abbildung von Energienetzstrukturen unter Python. Mit Pandapower werden insbesondere das Lokalnetz (INES Smart Grid) und die Wechselwirkungen mit dem Versorgernetz am Netzanschlusspunkt analysiert.

Schließlich führt die Energie- und Fertigungssteuerung (Energy Management & Control) die drei vorgenannten Funktionsgruppen in einem TCP-IP-Netzwerk unter Verwendung von OPC-UA-Variablen zusammen und fungiert als zentrale Steuerungsinanz mit modellbasierter Optimierung. Das primäre Ziel ist, die Anpassung des Gesamtlastbedarfs des Industrieunternehmens am Netzanschlusspunkt anzupassen und so Energieflexibilität zu schaffen. Es umfasst den Einsatz generischer gemischt-ganzzahlig linearer Programmierung (MILP) bei Optimierungsformulierungen für MFS, TBS und ES, die Eingabeparameter und Randbedingungen berücksichtigen. Die Leistungsbilanz des Industrieunternehmens lautet für jeden Zeitschritt  $t$  im Optimierungshorizont  $T$  wie folgt:

$$P_{Grid,t} = P_{MFS,t} + P_{PCS,t} - P_{PV,t} - P_{BES,t} \quad \forall t \in T = [0, 1, \dots, T_f] \quad \text{Gl. 1}$$

Auf der Grundlage der Prozessbeschränkungen wird jede der spezifizierten Variablen in Gl. 1 ideal bestimmt. Eine positive Netzleistung  $P_{Grid,t}$  repräsentiert den Netzverbrauch, während eine positive elektrische Speicherleistung  $P_{BES,t}$  die Entladung darstellt. Die Zielfunktion des Optimierers ist, die Minimierung der täglichen Strombeschaffungskosten zu erreichen. Die Zielfunktion entsprechend Gl.2 geschrieben als:

$$J = \sum_{t=0}^{t=T_f} P_{Grid,t} * \lambda_t^{elec} * \Delta t \quad \forall t \in T = [0, 1, \dots, T_f] \quad \text{Gl. 2}$$

$-\lambda_t^{elec}$ : The electricity price in €/Kwh at time step "t".  
 $-\Delta t$ : the sampling time step of the optimization horizon.

Die Strompreissignale wurden aus dem Block „Markt“ in der Modellbibliothek entnommen. Der Optimierer löst für alle Zeitschritte des Optimierungshorizonts  $T$  und findet eine globale Lösung. Es wird dabei eine kaskadierte Optimierung mit einem gleiten-

den Horizont angestrebt. Diese hilft bei kurzfristigen Störungen bei Prozessparametern und Schwankungen in den Preissignalen.

## Intelligentes Energiemanagement

Eine dynamische Steuerung der Energiesysteme bei Unternehmen und des Strombedarfs können dann einen wichtigen Beitrag leisten, wenn es um Anforderungen geht, den eingangs erwähnten Flexibilitätsbedarf zu decken. Theoretische Methoden für ein intelligentes Energiemanagement von industriellen Microgrids können als Stand der Technik angesehen werden. Dazu gehören zum Beispiel der Umgang mit schwankenden Solarenergieanteilen oder die Reaktion auf schwankende Strompreise und andere Marktanreize. Hierzu hat sich die mathematische Optimierung mit einer modellprädiktiven Steuerung (MPC) als methodischer Ansatz bewährt, um komplexe Steuerungs- und Optimierungsprobleme zu lösen. Vergleichbare Ansätze haben gemeinsam, dass sie modellbasiert sind und daher eine ausreichend genaue und umfassende Modellierung der für das Optimierungsproblem relevanten Prozesse bieten. Dies kann zum Beispiel in Form eines geeigneten digitalen Zwillings erfolgen. Um diese Methoden in der Praxis einsetzen zu können, benötigen die Modelle zusätzlich ein hinreichendes Automatisierungssystem für alle relevanten Prozesse. Das System erfasst kontinuierlich die für die Optimierung benötigten Eingangsdaten (Systemzustände) und kann die entsprechenden Optimierungsergebnisse als Steuerbefehle und Parametereingaben umsetzen.

Sowohl der Aufwand für die Erstellung des digitalen Zwillings als auch der Aufwand für die damit verbundenen Risiken bei der Umsetzung im Unternehmen sind Hürden, die es bei der Entfaltung des Flexibilitätspotenzials zu erschließen gilt. Die Forschungsarbeit soll dazu beitragen, diese Hürden deutlich zu reduzieren.

## Experimenteller Zwilling: KMU-Testumgebung / Demonstrator

Das Konzept des experimentellen Zwillings der Abbildung 3 besteht aus KMU-Hardwarekomponenten (Motoren, Kompressoren, ...) und einem SPS-basierten SCADA-System in Kombination mit Softwaremodellen und

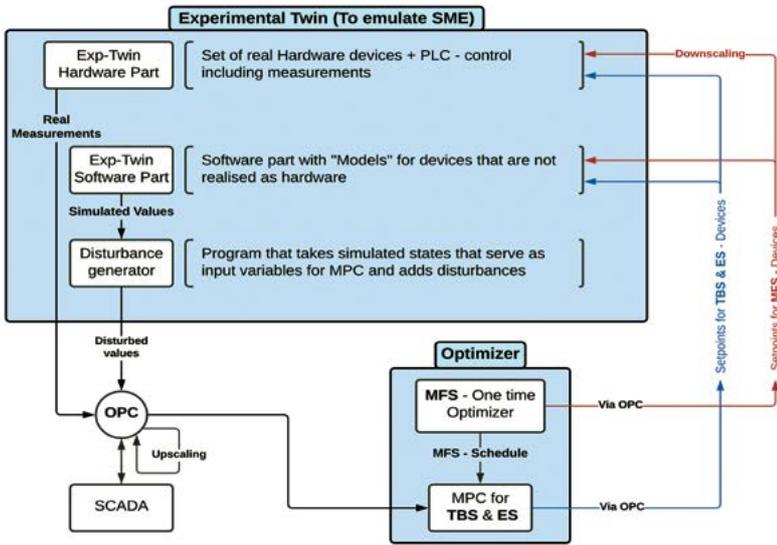


Abb. 3:  
Das Konzept des experimentellen Zwillings.

aufgezeichneten Lastprofilen derjenigen Komponenten, die nicht als Hardware betrieben werden können. Der experimentelle Zwilling dient damit als „KMU-Emulator“ und als Testumgebung und Schaufenster für den Einsatz eines digitalen Zwillings zur Optimierung und für die Darstellung der Auswirkungen eines verbesserten Energiemanagements. Als flexi-

bler Zwilling bietet er eine Laborumgebung, in der die industrielle Energieflexibilität basierend auf Optimierungsmethoden wie MPC untersucht und getestet werden kann.

Das Zwillingskonzept wird zunehmend für Optimierungsaufgaben im Kontext von Industrie 4.0 und Digitalisierung eingesetzt. Es hilft auch kleinen und mittleren Unternehmen (KMU), ihre energetischen Flexibilitätspotenziale auszuschöpfen und durch Energievermarktung einen Mehrwert zu erzielen. Auch hilft diese Flexibilitätsnutzung, eine klimaneutrale Energieversorgung mit hohen Anteilen an erneuerbaren Energien zu realisieren.

Der digitale Zwilling spiegelt die reale Produktion, die Leistungsflüsse und die Markteinflüsse als Computermodell wieder. Das wiederum ermöglicht, Eingriffe vor Ort und Interaktionen mit dem Energiemarkt zu simulieren und zu optimieren, ohne die realen Produktionsprozesse zu stören. In diesem Beitrag wurde die Entwicklung einer generischen Modellbibliothek beschrieben, die flexibilitätsrelevante Komponenten und Prozesse von KMU abbildet und damit die Erstellung eines digitalen Zwillings vereinfacht. Der experi-

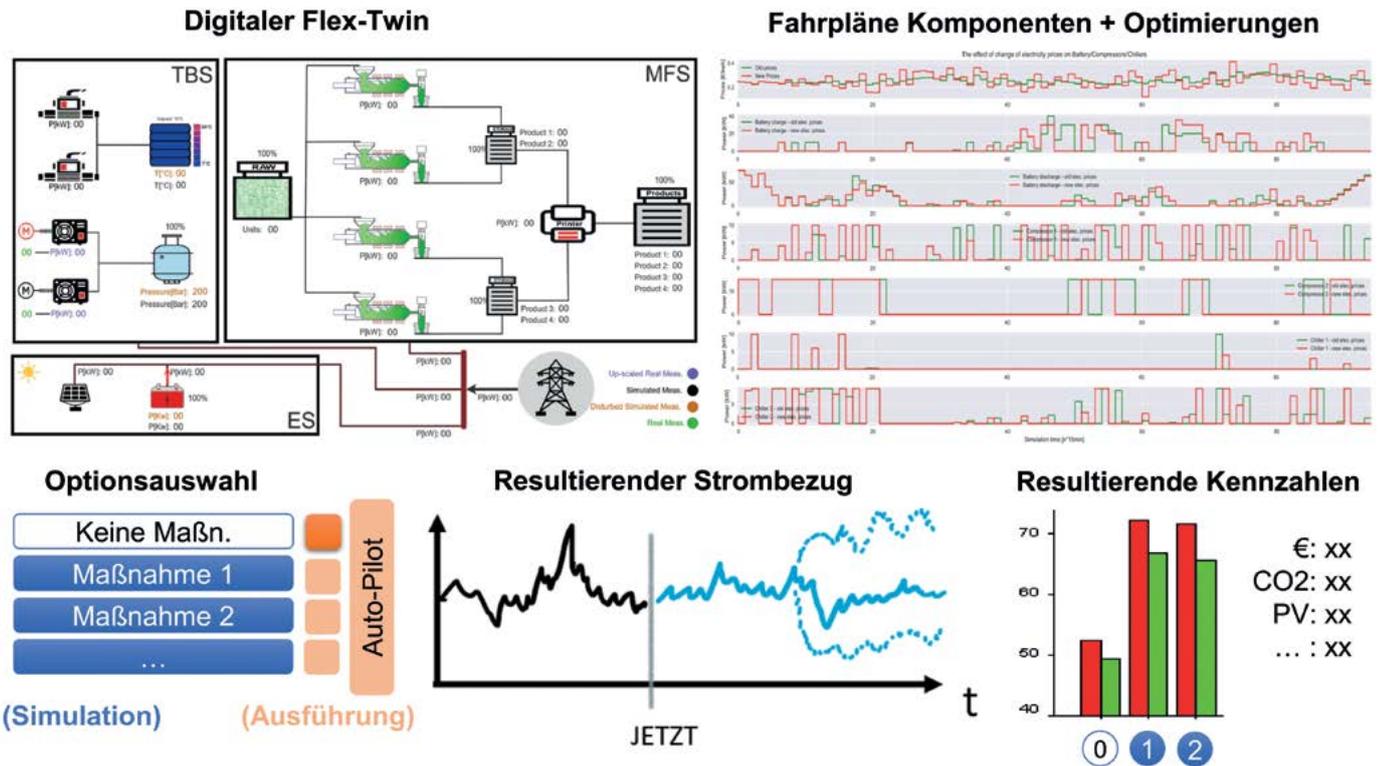


Abb. 4:  
GUI-Panel für das Zusammenwirken von digitalem und experimentellem Zwilling

mentelle Zwilling am INES der HSO bietet ein Reallabor, das als KMU-Emulator dient und für Testzwecke und Showcase eines digitalen Zwillings eingesetzt werden kann. Er dient der Weiterentwicklung von Algorithmen und der Demonstration des optimierten Betriebs eines KMU im Labormaßstab. Hohe Investitionen bei Energieeffizienzmaßnahmen können so bereits im Vorfeld auf Tauglichkeit untersucht werden. Erste konkrete Implementierungen eines solchen Energiemanagements in Industriebetrieben werden derzeit mit Projektpartnern und Energiemarktakteuren im Rahmen des Projekts FlexGUIDe umgesetzt.

## Danksagung

Die hier vorgestellten Ergebnisse wurden teilweise durch das Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz der Bundesrepublik Deutschland im Rahmen der Forschungsprojekte GalN (Förderkennzeichen 03EI6019E) und FlexGUIDe (Förderkennzeichen 03EI6065C) gefördert. Besonders bedanken möchten wir uns auch bei Michael Wirwitzki für seine Unterstützung bei Aufbau, Einrichtung und Programmierung des flexiblen experimentellen Zwillings.

### Referenzen/References:

- [1] Papaefthymiou G, Haesen E, Sach T "Power system flexibility tracker: Indicators to track flexibility progress towards high-res systems", *Renew Energy* 127:1026–1035, 2018
- [2] Roesch M, Bauer D, Haupt L, Keller R, Bauernhansl T, Fridgen G, Reinhart G, Sauer A "Harnessing the full potential of industrial demand-side flexibility: An end-to-end approach connecting machines with markets through service-oriented IT platforms" *Appl Sci (Switzerland)* 9(18):3796, 2019
- [3] Beier J, "Simulation Approach Towards Energy Flexible Manufacturing Systems Introduction" Springer International Publishing AG 2017
- [4] J. Beier, J., Thiede, S., Herrmann, "Increasing energy exibility of manufacturing systems through exible compressed air generation", *Procedia CIRP* 37 (December):18–23, 2015
- [5] A. Tristán, F. Heuberger, and A. Sauer, "A Methodology to Systemati-

- cally Identify and Characterize Energy Flexibility Measures in Industrial Systems," *Energies*, Vol. 13, Page 5887, vol. 13, no. 22, p. 5887, 2020
- [6] R. Khatri, M. Schmidt, and R. Gasper, "Energy Informatics Active participation of industrial enterprises in electricity markets-a generic modeling approach" *Energy Informatics*, 2021
- [7] Castro PM, Harjunkski I, Grossmann IE "New continuous-time scheduling formulation for continuous plants under variable electricity cost", *Ind Eng Chem Res* 48(14):6701–6714, 2009
- [8] J.S. da Costa Fernandes, M. Schmidt, R. Khatri, R. Gasper, N. Hartmann, "Smart Energy Management for SME Using Digital Twins.", 38th EU PVSEC Online-Conference, 2021, WIP-Munich
- [9] A. Aamoume, J.S. da Costa Fernandes, Rainer Gasper, Niklas Hartmann, Yahya Kenoussi, Michael Schmidt, Edgar Schmitt, Leveraging Industry Energy Flexibility to Enable Higher Shares of Renewable Energy in the Power System—an Experimental Case Study, *Proceedings of the 8th WCPEC, Milan 2022, WIP-Munich*

## SensoPart Industriesensorik GmbH

Detect the difference.



**Bewirb  
Dich  
jetzt!**



### Wir sind SensoPart

Wir sind ein internationales, kerngesundes und hoch innovatives Familienunternehmen auf Wachstumskurs. Unsere Sensoren und High-Tech Kameras für die industrielle Automatisierung genießen einen hervorragenden Ruf und sind weltweit gefragt.



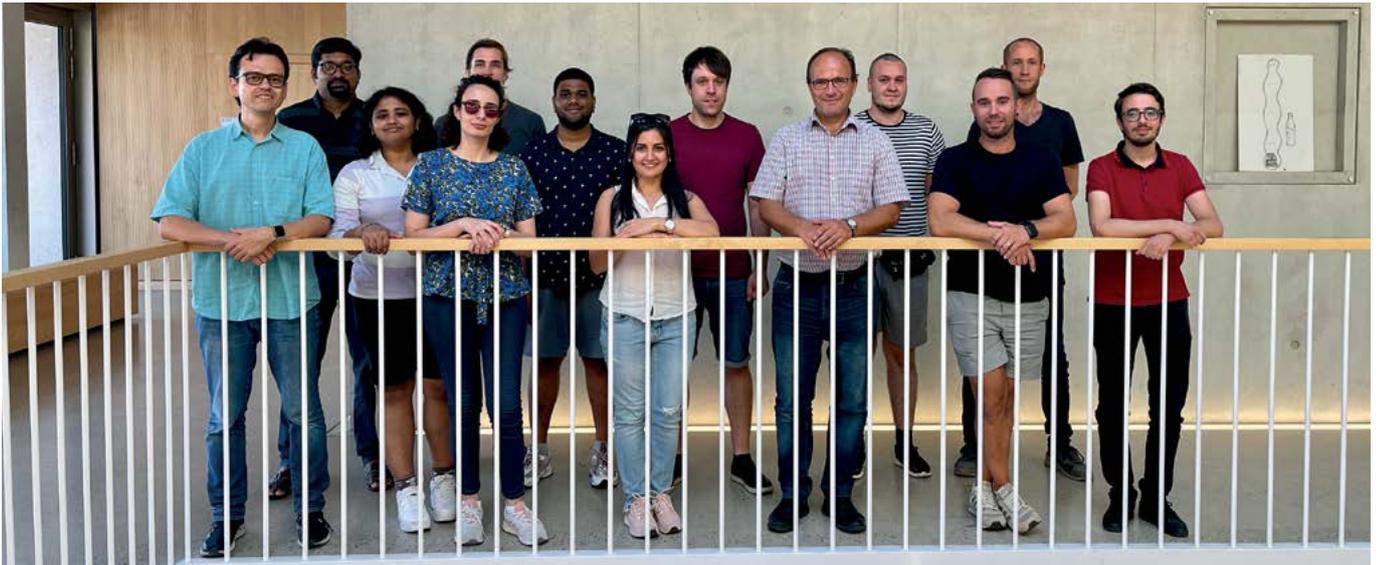
### Entdecke Deine Möglichkeiten

Sensorik, Bildverarbeitung, Softwareentwicklung oder Robotik ist Dein Ding? Du hast Lust in einer der Zukunftsindustrien zu arbeiten? Du suchst nach einem Direkteinstieg oder bringst schon Berufserfahrung mit? Du willst etwas bewegen, Dein Wissen erweitern und kreative Ideen einbringen? Dann werde Teil unseres Erfolgsteams - wachse mit uns und bring Deine Erfahrung und Persönlichkeit ein!



Informiere Dich jetzt über unsere aktuellen Stellenangebote: [www.sensopart.com/karriere](http://www.sensopart.com/karriere)  
 SensoPart Industriesensorik GmbH • Nägelseestraße 16 • 79288 Gottenheim bei Freiburg im Breisgau

# INSTITUT FÜR VERLÄSSLICHE EMBEDDED SYSTEMS UND KOMMUNIKATIONSELEKTRONIK [ ivESK ]



Prof. Dr. Sikora umringt von seinem internationalen ivESK-Team.

Das „Internet der Dinge“ (Internet of Things, IoT) durchdringt industrielle und persönliche Anwendungen zunehmend. Hierzu zählen auch Smart-Metering und Smart-Grid, Industrie- und Prozessautomation, Car-to-Car, beziehungsweise Car-toX-Kommunikation, Heim- und Gebäudeautomation, Telehealth- und Telecare-Anwendungen, drahtgebundene und drahtlose Vernetzung von Embedded Systemen. Ihre Anbindung als sogenannte cyberphysische Systems (CPS) spielen hierbei eine immer wichtigere Rolle. Da auch immer mehr Systeme funktionskritische Aufgaben autonom übernehmen, gewinnen Zuverlässigkeit und Sicherheit mehr an Bedeutung. Entsprechend müssen die Aspekte der Datensicherheit (Security) und der Privatsphäre (Privacy) von Anfang berücksichtigt werden. Besondere Themenschwerpunkte sind zellulare Mobilfunknetze (5G/5.xG/6G) und echtzeitfähige Kommunikationstechnologien insbesondere unter Nutzung der Ansätze des Time Sensitive Networking (TSN), die neben der eigentlichen Entwicklung auch systematischen Tests und Analysen unterzogen werden müssen, wie der Bericht von Fabian Sowieja zeigt (Seite 107). Zudem sind die folgendend vorgestellten Themenkreise der Protokollabsicherung insbesondere von industriellen Netzwerken (Seite 103) oder im Bereich des Smart

Meterings (Seite 98) von hoher Bedeutung.

Das Institut ivESK wurde im Herbst 2015 von Prof. Dr. Axel Sikora und Prof. Dr. Dirk Westhoff gegründet und hat sich seither außerordentlich positiv entwickelt. Seit Herbst 2020 ist Prof. Dr. Andreas Schaad Teil des Teams. Es werden pro Jahr etwa 20 FuE-Projekte oft in enger Kooperation mit Unternehmen und anderen Forschungseinrichtungen bearbeitet, um das Internet der Dinge effizienter, zuverlässiger und verlässlicher zu machen.

Am Institut arbeiten gegenwärtig 15 Vollzeitmitarbeitende sowie etwa ebenso viele Studierende in einem sehr internationalen, hoch motivierten und lebendigen Team. Regelmäßig sind Gastwissenschaftler aus der ganzen Welt vor Ort, um neue Themen zu erschließen. Aufgrund der weiterhin sehr positiven Projektlage sind fast immer einige Projekt- und Promotionsstellen verfügbar. Kandidaten für Türentätigkeiten und Abschlussarbeiten sind ebenso gern gesehen. Promotionen können über die Assoziierung von Prof. Dr. Axel Sikora an der Technische Fakultät der Universität Freiburg unmittelbar betreut werden.

*Institutsleitung*  
Prof. Dr.-Ing. Dipl.-Ing. Dipl.-Wirt.-Ing. Axel Sikora

# „Smart Meter Inclusif“

## Sicherheit für intelligente Zähler

Die europäische Energievision 2030 strebt ein sicheres, nachhaltiges und wettbewerbsfähiges Energiesystem durch den Einsatz von Smart-Grid-Technologien an, um die Effizienz zu verbessern, erneuerbare Energien zu integrieren und die Widerstandsfähigkeit zu erhöhen. Verteilte Smart Grids erfordern robuste Sicherheit zum Schutz vor Cyberangriffen, unbefugtem Zugriff und Datenschutzverletzungen, um die Privatsphäre und kritische Infrastrukturen zu wahren. Um diese Aspekte des Interreg-Projekts „Smart Meter Inclusif“ (SMI) abzudecken, beschäftigte sich das ivESK im Arbeitspaket „Sicherheitskonzepte für verteilte Smart Grids“ mit einer vergleichenden Sicherheitsanalyse und mit Penetrationstests für intelligente Zähler.

*The 2030 European energy vision seeks a secure, sustainable, and competitive energy system through the deployment of smart grid technologies to improve efficiency, integrate renewables, and enhance resilience. Distributed smart grids require robust security to protect against cyber-attacks, unauthorized access, and data breaches, preserving privacy and critical infrastructure. To cover these aspects of the Interreg project „Smart Meter Inclusif“ (SMI), the ivESK team executed the work package „Security concepts for distributed Smart Grids“ and performed a comparative security analysis and Smart Meters penetration testing.*

## Das SMI-Projekt

Die Literatur im Umfeld der Sicherheit intelligenter Messinfrastrukturen [1]–[3] zeigt klar, dass im Moment nicht alle Sicherheitsbedrohungen abgedeckt werden. Um die Situation im Bereich des Smart-Metering als Teil des Interreg-Projekts SMI „Smart Meter Inclusif“ [6] besser zu verstehen, implementierte ivESK das Arbeitspaket „Sicherheitskonzepte für verteilte Smart Grids“, das eine vergleichende Sicherheitsanalyse und Penetrationstests umfasst.

## Vergleichende Sicherheitsanalyse

In den letzten Jahren wurden immer mehr Smart-Metering-Systeme installiert. Vor diesem Hintergrund ist es von entscheidender Bedeutung, ihre Funktionen in Bezug auf Vertraulichkeit und Sicherheit der Benutzerdaten zu bewerten.

Um den aktuellen Stand der französischen, deutschen und schweizerischen Smart-Metering-Systeme besser zu verstehen, wird in dem SM-Projekt eine vergleichende Sicher-

heitsanalyse durchgeführt. In Frankreich ist der Datenschutz seit 1978 gesetzlich genau definiert, aber die technischen Anforderungen an intelligente Messsysteme sind im Vergleich zu denen in Deutschland und der Schweiz deutlich allgemeiner beschrieben. Allerdings ist der französische Markt mit einer dominanten Rolle von Enedis deutlich homogener, so dass dies in der Praxis kein großes Problem darstellt. Enedis hat ein umfassendes System mit vielen nützlichen Smart-Metering-Funktionen geschaffen. Entsprechend wurde hier das Linky-System als einzige französische Lösung betrachtet. Der Enedis-Dokumentation fehlen jedoch technische Informationen, da die meisten Funktionen nur in Marketingmaterialien beschrieben werden und nur begrenzte Informationen von Enedis-Sprechern bei Projekttreffen erhalten werden konnten. Die Sicherheitsmechanismen im Linky-System, wie Authentifizierung und Verschlüsselung, basieren auf dem DLMS/COSEM-Protokoll für die „Device Language Message Specification and Companion Specification for Energy Metering“, wie es in den „Colored books“ beschrieben ist [5].



**Axel Sikora**  
Prof. Dr.-Ing. Dipl.-Ing.  
Dipl.-Wirt.-Ing.

Fakultät EMI, Wissenschaftliche Leitung ivESK  
Kommunikationsnetze, Bussysteme und Schnittstellen, eingebettete / industrielle Netzwerke, Intelligente Energienetze



**Ivan Rigoev**  
M.Sc.

Institut ivESK  
Akademischer Mitarbeiter



**Andreas Walz**  
Dipl.-Phys.

Institut ivESK  
Akademischer Mitarbeiter

Im Gegensatz dazu verfügt Deutschland über ein vom BSI geschaffenes transparentes und umfassendes Dokumentationssystem, das die Architektur, Protokolle, Zugriffsrechte und weitere Anforderungen an die Smart-Metering-Infrastruktur vollständig beschreibt. Alle Unterlagen sind auf der Website des BSI verfügbar. Deutschland hat jedoch einen langen Prozess zur Entwicklung dieser Anforderungen und Dokumentationen.

Swiss hat geringe aufsichtsrechtliche Restriktionen in Bezug auf Architektur und verwendete Protokolle, was zu einer erhöhten Wahrscheinlichkeit von Schwachstellen führen kann. Die Verwendung mehrerer Protokolle und Gerätevarianten bedeutet jedoch auch, dass eine in einem System wie Landis+Gyr gefundene Schwachstelle nicht unbedingt bedeutet, dass andere Systeme die gleichen Probleme haben. Um konkreter zu werden, betrachtete man in diesem Zusammenhang bei der Recherche Landis+Gyr E450 Smart Meter mit DC450 Datenkonzentratoren und Siemens IM150 Smart Meter mit SGW1050 als Schweizer Referenzsysteme.

Die Architektur von French Linky und die Schweizer Lösungen von Landis+Gyr und Siemens sind aus Sicht der Smart-Metering-Architektur ähnlich. Beide verwenden den DLMS/COSEM-Protokollstapel und üblicherweise Power Line Communication (PLC) auf der physischen Schicht. Ein Datenkonzentratoren ergänzt ihre Architektur.

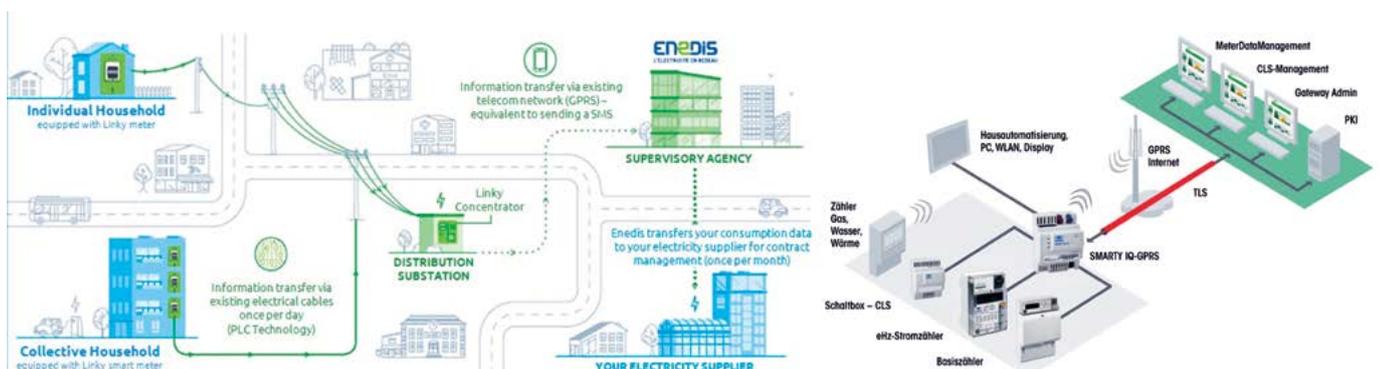
Das DLMS/COSEM-Protokoll basiert auf einer Client-Server-Architektur, um Verbrauchsdaten von intelligenten Zählern abzurufen und an das Meter Data Management System eines Energieversorgers zu übertragen. Es weist Schwachstellen wie optionale Authentifizierung, Informationslecks, schwache Authentifizierungsmethoden, Offline-Wörterbuchangriffe und Sicherheitsherabstufung auf. DLMS/CO-

SEM-Implementierungen können auch Probleme aufweisen, wie beispielsweise schlechter Schutz vor Wiederholungsangriffen, vorhersagbare Authentifizierung, identische Systemtitel, nicht authentifizierte verschlüsselte Nachrichten und unsichere Authentifizierung.

IDIS ist eine „Interoperable Device Interface Specification“, die definiert, wie DLMS/COSEM-Standards implementiert werden sollten, um die Interoperabilität zwischen intelligenten Zählern verschiedener Anbieter zu ermöglichen. Die IDIS-Sicherheitsspezifikation erfordert HLS für die Authentifizierung, AES-Verschlüsselung mit einem 128-Bit-Schlüssel und eine 4-stufige Client-Server-Authentifizierung mit GMAC, was bedeutet, dass alle oben beschriebenen Schwachstellen abgedeckt sein sollten, falls IDIS implementiert wird. Das IDIS White Paper [4] weist darauf hin, dass die betrachteten Schweizer Systeme und der französische Linky die IDIS-Spezifikationen erfüllen.

Im Unterschied zu den in dieser Arbeit betrachteten französischen und schweizerischen Systemen basiert das deutsche BSI-System auf dem TLS1.2-Protokoll. Im Fall von DLMS/COSEM-basierten Systemen implementiert der intelligente Zähler üblicherweise die Server-Rolle und das Head-End-System implementiert die Client-Rolle. Im Fall des deutschen SMGW-Systems ist diese Kommunikation viel komplizierter. Das zentrale Element des durch BSI-TR-03109 definierten deutschen Smart-Metering-Systems ist das SMGW (Smart Meter Gateway), das Verbindungen zwischen drei verschiedenen Netzwerken verwaltet: dem LMN (Local Metrological Network), wo SMGW Verbrauchsdaten von Strom-, Gas-, Wasser- und Wärmezählern gespeichert und verarbeitet werden, dem HAN (Home Area Network), in dem über das SMGW mit steuerbaren lokalen Systemen (Appliances) kommuniziert wird und dem WAN (Wide Area Network), das verwendet wird, um Daten für externe Marktteilnehmer bereitzustellen.

Abb. 1:  
Enedis DSO und dt.  
SMGW SMARTY IQ-LTE-  
Architekturvergleich



Der SMGW-Administrator ist der Hauptakteur im deutschen SMGW-System und verantwortlich für die Geräte- und Clientverwaltung, die Profil-, Schlüssel- und Zertifikatsverwaltung, die Überwachung und Steuerung des SMGW und die Konfiguration des Weckdienstes. SMGW-Administratoren haben exklusiven Zugriff, um Zugangskontrollprofile zu installieren und zu ändern, die bestimmen, welche Daten an welche externen Marktteilnehmer gesendet werden sollen. Das wichtigste Sicherheitsmerkmal von SMGW ist der Weckdienst. SMGW sollte nicht auf eingehende Verbindungen reagieren, mit Ausnahme des speziellen Aktivierungspakets, und für die gesamte WAN-Kommunikation die Rolle des TLS-Clients implementieren.

DLMS/COSEM und TLS (mit BSI-Anforderungen) sind in Bezug auf Sicherheitsniveaus, PKI, moderne Sicherheitsprimitive und Cipher Suites vergleichbar. Der Unterschied zwischen ihnen besteht darin, dass TLS komplexer und flexibler ist und ein einfaches Hinzufügen oder Entfernen von Sicherheitsfunktionen ermöglicht. TLS ist weit verbreitet und es wurden mehr Untersuchungen und Tests durchgeführt, was zu mehr bekannten Schwachstellen führte, die bereits abgedeckt sind. Andererseits ist DLMS/COSEM weniger komplex, was eine Implementierung auf eingebettete Systeme leichter macht. Das BSI fordert vom SMGW die Verwendung von TLS mit einer staatlich kontrollierten Root-CA und spezifischen Mechanismen zur Generierung von Zufallszahlen. Alle Schlüssel und Zertifikate werden in einem BSI-CC-zertifizierten Hardware-Sicherheitsmodul gespeichert. Die DLMS/COSEM-Spezifikation erfordert nur die Verwendung eines „starken Zufallszahlengenerators“.

### Smart-Meter-Penetrationstest

Während der Implementierung des Smart-Meter-Penetrationstest-Projektteils wurden mehrere Geräte getestet, aber der größte Aufwand konzentrierte sich auf die Tests des deutschen SMGW. Um ein echtes SMGW-Gerät zu erwerben, ist eine Registrierung als Anlagenbetreiber auf der Website der BNetzA erforderlich. Danach erhält man vom E-Werk Mittelbaden die Genehmigung, zwei SMGW-Geräte CONEXA 3.0 und Smart Meter Gateway PPC LTE zu testen. Zu den Testbeschränkungen gehört, dass die SMGW-Admin- und EMP-Infrastruktur nicht getestet wird und die Geräte nicht physisch beschädigt werden. Zudem erhält man Benutzeran-

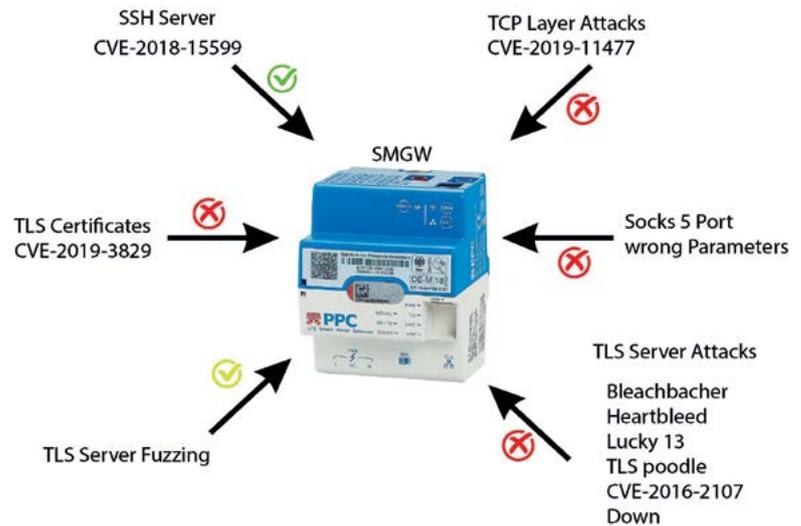


Abb. 2: getestete Angriffsrichtungen

meldeinformationen für die Verbraucherswebseite. Der Test wurde aufgrund des fehlenden Zugriffs auf die Geräte-Shell oder Firmware als „Black Box“ durchgeführt.

Die Tests konzentrierten sich aufgrund der bequemeren Kommunikation über Ethernet hauptsächlich auf HAN-Angriffe. Es wird vermutet, dass die Implementierung von TLS in allen drei SMGW-Netzwerken ähnlich ist. Ebenso wird erwartet, dass TCP-Layer-Angriffe aufgrund der gemeinsamen Implementierung des TCP-Stacks auf Kernel-Ebene ähnliche Auswirkungen haben. Der Nmap-Scanner zeigt nur zwei offene Ports auf dem Conexa SMGW HAN: TLS-Server auf Port und Port 1080 (socks) für HKS3. Im Fall von PPC fand SMGW den TLS-Server, den Nmap als Lighttpd identifiziert, Dropbear sshd 2017.75.

Die Priorität bestand darin, den SSH-Server zu testen, der auf dem PPC SMGW gefunden wurde, da der Zugriff auch im Nicht-Root-Modus das Testen viel effektiver macht. Die Passwortauthentifizierung wurde aktiviert, aber das Projekt hat keinen Benutzer, für den der Datenverkehr abgefangen werden kann. Die einzige Möglichkeit, eine SSH-Shell zu erhalten, ist Brute Force. Die Dropbear SSH Version 2017.75 ist anfällig für CVE-2018-15599 wegen der Schwachstelle bei der Benutzeranzählung, die die Brute-Force-Geschwindigkeit durch Abrufen der Benutzernamenliste erhöht. Zum Testen einer SSH-Schwachstelle wurde das Metasploit-Modul ssh\_enumusers mit der Option „Malformed Packet Attack“ verwendet, das erfolgreich Benutzer auf einem Raspberry Pi-Prüfstand und einem PPC-SMGW aufzählte. Leider stellt die resultierende Benutzerliste keine Informationen über das verwendete Betriebssystem zur Ver-

fügung. Der nächste Schritt beim Brute-Forcing ist das Finden von Passwörtern für gefundene Benutzernamen. Es wurde noch kein Passwort gefunden, wahrscheinlich weil das Passwort nicht im Wörterbuch steht oder die Brute-Force-Geschwindigkeit zu gering ist. Es gibt bekannte Schwachstellen in Dropbear 2017.75, aber keine davon umgeht die Authentifizierung oder führt zur Remote-Code-Ausführung.

Die effektivste Methode zum Testen von SMGW sind TCP-Layer-Angriffe, da der TCP/IP-Stack im Kernel des Linux-basierten Systems integriert ist. Beispiele für Angriffe auf TCP-Schicht sind die TCP/IP-Implementierung von CVE-2019-11815 Remote Code Execution in der Linux-Kernel-Implementierung und die Remote-DoS-in-TCP/IP-Implementierung im Linux-Kernel (CVE-2019-11477, CVE-2019-11478, und CVE-2019-11479). Wenn die HAN-Schnittstelle für einen TCP-Layer-Angriff anfällig ist, sind LMN und WAN aufgrund der Kernel-Integration wahrscheinlich ebenfalls anfällig. Obwohl es keine öffentlich verfügbaren Exploits für die CVEs gibt, ist es aus Sicherheitssicht gut, dass nur ein Exploit für CVE-2019-11477 gefunden wurde und auf den getesteten Systemen nicht richtig funktionierte.

Eine weitere Möglichkeit, das Conexa SMGW zu beeinflussen, besteht darin, seinen Socks5-Port zu öffnen, der für HKS3 erforderlich ist - ein transparenter Kommunikationskanal, der von CLS initiiert wird. Die Verbindung muss vor SOCKSv5 eine TLS-Verbindung mit der Authentifizierungsmethode 0x86 herstellen, wie dies im Entwurf RFC1928 Secure Sockets Layer für SOCKS Version 5 beschrieben ist. Der Socks5-Server von Conexa SMGW akzeptiert nur diese Methode und mehrere Verbindungsversuche führen nicht zu einem Denial-of-Service.

Bei den Geräten prüfte der TLS-Server zunächst die TLS-Parameter wie TLS-Version, Cipher Suites oder vom SMGW unterstützte Erweiterungen. Als nächstes wurden häufige TLS-Protokoll-Schwachstellen wie Bleichenbacher-Angriff, Heartbleed, lucky13, tls poodle, CVE-2016-2107, Drown und z geprüft. Alle Tests wurden von beiden SMGW erfolgreich bestanden.

Eine weitere Testmethode ist das TLS-Server-Fuzzing – eine Technik zur automatisierten Erkennung von Codefehlern. Der Fuzzer generiert Modifikationen an Variablen und analysiert das Laufzeitverhalten der TLS-Soft-

ware. Beispielsweise kann der ursprüngliche ganzzahlige Wert mit zufälligen Bits XOR-verknüpft, nach links oder rechts verschoben und um einen zufälligen Wert erhöht oder verringert werden. Üblicherweise verwendet Fuzzing-Software wie TLS-Angreifer Address Sanitizer-Software, um einige Pufferüberläufe oder anderes falsches Verhalten zu finden, aber da auf dem Quellcode oder die Firmware der SMGW-Software nicht zugegriffen werden kann, wurde eine „Black-Box“-Testmethode verwendet. In diesem Fall verwendet TLS-Attacker bekannte TLS-Protokollflüsse und vergleicht sie mit der Testimplementierung.

Während eines Scans mit TLS-Angreifer auf Conexa SMGW wurde ein ungewöhnliches Verhalten beobachtet, das dazu führte, dass das SMGW selbst bei legitimen Verbindungsversuchen nicht mehr reagierte. Nach einem zweiten Durchlauf eines intensiven Nmap-Scans reagierte der SMGW HAN TLS-Server nicht mehr und erholte sich auch nach 48 Stunden ohne Neustart des Geräts nicht. Nmap zeigte, dass der TLS-Serverport offen war und normal funktionierte, kennzeichnete ihn jedoch als tcpwrapped. Die tcpwrapped-Antwort gibt an, dass der Netzwerkdienst verfügbar ist, der Client sich jedoch nicht auf der Liste zulässiger Hosts befindet. Um Parameter zu finden, die den Conexa SMGW TLS-Server veranlassen, in den TCP-Wrapping-Zustand zu wechseln, wurde ein Python-Skript erstellt. Die Ergebnisse zeigen, dass nur die Anzahl der Anfragen zählt, nicht die Verzögerung zwischen ihnen. Wenn der vollständige TLS-Verbindungsnachrichtenzyklus befolgt wird, antwortet der SMGW-TLS-Server auch nach 600 Zyklen mit einer fünf Sekunden Verzögerung nicht. Wenn die ClientHello-Nachricht jedoch Parameter enthält, die nicht zu den Servereinstellungen passen, oder wenn der TLS-Verbindungsworkflow nicht vollständig ist, wird der SMGW-TLS-Server nach 25 falschen Verbindungsversuchen blockiert. Das Mischen richtiger und falscher Parameter ist also nicht hilfreich. Auch das Ändern der Client-IP/MAC-Adresse umgeht den Schutz nicht. Das PPC SMGW verfügt über einen ähnlichen Schutz, erforderte jedoch anstelle eines Neustarts eine Zeitüberschreitung von 300 Sekunden.

Aufgrund des TCP-Wrapper-Schutzproblems des SMGW für Conexa SMGW und der geringen Anzahl von Referenz-Workflows in der TLS-Fuzzer-Software wurde entschieden, eine eigene SMGW-Fuzzing-Software auf der

Grundlage des TLS Response-Guided Differential Fuzzing-Ansatzes zu erstellen, der in [6] veröffentlicht wurde.

Um differenzielles Fuzzing einzusetzen, müssen mehrere Implementierungen der Software eingerichtet werden. Dann generiert ein Fuzzing-Tool Eingaben, sendet sie an jede Implementierung und vergleicht die Antworten. Wenn die Antworten nicht identisch sind, könnte dies auf eine Schwachstelle in der TLS-Implementierung zurückzuführen sein. Dieser Ansatz bietet im Vergleich zu TLS-Angriffen oder NEZHA eine bessere Test- und Quellcodeabdeckung. Um den Neustartprozess von SMGW während des Fuzzings zu automatisieren, wurde auch ein Smart Plug hinzugefügt.

Um Fehler während des Fuzzings ohne Zugriff auf die Geräte-Shell zu überwachen, wurde die Nichtantwort des Geräte-Web-servers, Unterschiede im Verhalten des Geräte-TLS-Servers im Vergleich zu anderen TLS-Servern, Nichtantwort des Geräte-TLS-Servers und die Antwort der Geräte-TCP-Schicht überprüft. Auch wurde in diesem Rahmen beispielsweise ein Python-OpenCV-Skript verwendet, um die LED-Blinkanalyse zu automatisieren. Es erstellt ein Bild des Geräts, wendet Filter an, identifiziert LED-Positionen und gibt dann eine Liste der LED-Zustände zurück. Als Ergebnis der durchgeführten Fuzzing-Softwaretests gegen SMGW in der aktuellen Phase konnte ein unterschiedliches Verhalten der HAN-TLS-Server von SMGW im Vergleich zu Referenz-TLS-Implementierungen beobachtet werden, man fand aber keine Möglichkeit, es zu nutzen, um Schaden anzurichten.

Auch wurden Schwachstellen in TLS-Zertifikaten wie CVE-2019-3829 getestet, die eine Speicherbeschädigung während der Zertifikatsüberprüfung ermöglichen. Jede Client- oder Serveranwendung, die X.509-Zertifikate mit GnuTLS 3.5.8 oder höher überprüft, ist hiervon vermutlich betroffen. Es gibt mehrere öffentlich verfügbare Exploits für solche Schwachstellen. Aber diese Tests sind ohne weitere Kenntnis der Versionen und Implementierung des TLS-Servers aufgrund einer großen Anzahl von Variationen aufwendig.

## Ausblick

Aus diesem Grund wird sich die zukünftige Arbeit auf die Entwicklung eines TLS-Fingerprinting konzentrieren, die auf dem gleichen „Response-Guided Differential Fuzzing“-Ansatz basiert. Wenn dann die Implementierung und die Version des TLS-Servers bekannt sind, können Tests auf einem lokalen PC ausgeführt werden, um die Testgeschwindigkeit zu erhöhen und eine Adressbereinigung verwenden zu können.

## Danksagung

Das Projekt Smart Meter Inclusif (SMI) [6] wird von der Europäischen Union über den Europäischen Fonds für regionale Entwicklung (EFRE) im Programm Oberrhein Interreg V-A sowie von der Schweizerischen Eidgenossenschaft und den Kantonen Basel-Stadt, Basel-Landschaft und Aargau kofinanziert. Wir danken dem E-Werk Mittelbaden für die Bereitstellung von Testgeräten.

### Referenzen/References:

- [1] M. Shokry, A. I. Awad, M. K. Abd-Allah, and A. A. M. Khalaf, "Systematic survey of advanced metering infrastructure security: Vulnerabilities, attacks, countermeasures, and future vision," *Future Generation Computer Systems*, vol. 136, pp. 358–377, Nov. 2022, doi: 10.1016/j.future.2022.06.013.
- [2] M. Nouman Nafees, N. Saxena, A. Cardenas, S. Grijalva, P. Burnap, and P. Burnap, "Smart Grid Cyber-Physical Situational Awareness of Complex Operational Technology Attacks: A Review," *ACM Comput Surv*, vol. 55, no. 10, Feb. 2023, doi: 10.1145/3565570.
- [3] D. J. S. Raja, R. Sriranjani, A. Parvathy, and N. Hemavathi, "A Review on Distributed Denial of Service Attack in Smart Grid," *7th International Conference on Communication and Electronics Systems, ICCES 2022 - Proceedings*, pp. 812–819, 2022, doi: 10.1109/ICCES54183.2022.9835859.
- [4] Landis+Gyr, "White Paper. IDIS (Interoperable Device Interface Specification)", Accessed: Dec. 05, 2022. [Online]. Available: [https://www.landisgyr.com/webfoo/wp-content/uploads/2012/11/IDIS\\_WhitePaper.pdf](https://www.landisgyr.com/webfoo/wp-content/uploads/2012/11/IDIS_WhitePaper.pdf)
- [5] <https://www.dlms.com/dlms-cosem/overview>
- [6] <https://www.smi.uha.fr/de/smi-smart-meter-inclusif/>

# Zertifikatsverwaltung für Geräte auf der Feldebene



Axel Sikora  
Prof. Dr.-Ing. Dipl.-Ing.  
Dipl.-Wirt.-Ing.

Fakultät EMI, Wissenschaftliche Leitung ivESK  
Kommunikationsnetze, Bussysteme und Schnittstellen, eingebettete / industrielle Netzwerke, Intelligente Energienetze



Julian Göppert  
M.Sc.

Institut ivESK  
Akademischer Mitarbeiter



Andreas Walz  
Dipl.-Phys.

Institut ivESK  
Akademischer Mitarbeiter

Mit der zunehmenden Umsetzung von Industrie 4.0 wird eine kryptografische Absicherung der Kommunikation auf der Feldebene von industriellen Automatisierungssystemen zunehmend unvermeidlich. Daraus ergibt sich als neue Herausforderung nicht zuletzt auch die Notwendigkeit, Zertifikate aus einer Public-Key-Infrastruktur (PKI) effektiv und effizient auf Feldgeräten zu verwalten. Im Folgenden werden aktuelle Ergebnisse aus dem Forschungsvorhaben „FieldPKI“ vorgestellt, das sich genau dieser Herausforderung annimmt.

*With the ongoing implementation of Industry 4.0, there is an increasing need for cryptographic protection of communication on the field level of industrial automation systems. This trend calls for an effective and efficient management of public-key certificates on field devices. In the following, recent research results from the research project "FieldPKI" are presented that addresses that very challenge.*

Automatisierungssysteme waren lange von isolierten Netzwerken geprägt. Die Abschottung dieser sogenannten Operational Technology (OT) von der Domäne der Information Technology (IT) bot ein gewisses Maß an Schutz vor Cyber-Angriffen [1]. Nicht zuletzt durch die Vision von Industrie 4.0 und ganzheitlich und weltweit vernetzten Anlagen fällt diese schützende Trennung jedoch zunehmend und ganz bewusst weg [2]. Damit ergeben sich jedoch ganz neue Anforderungen an die Sicherheit in Automatisierungssystemen [3]. Diese zeigen sich auch auf rechtlicher Ebene, beispielsweise durch einschlägige Normen wie die IEC 62443 oder den EU Cybersecurity Act [4].

Entsprechend befasste sich das im Jahr 2019 am ivESK abgeschlossenen Projekt „SecureField“ mit der Integration sicherer Ende-zu-Ende-Kommunikation durch Transport Layer Security (TLS) beziehungsweise Datagram TLS (DTLS) Protokolls in die Feldebene von Automatisierungssystemen. Damit wird eine starke kryptografische Absicherung der Kommunikation mit Feldgeräten möglich, wie sie üblicherweise für eine sichere Bereitstellung von Web-Inhalten im Internet verwendet wird [5,6].

Die kryptografische Absicherung von Kommunikation erfordert jedoch grundsätzlich das Vorhandensein sowie die Verwaltung entsprechender Credentials, also von Passwörtern, Schlüsseln und Zertifikaten bei den beteiligten Kommunikationspartnern. Für den Web-An-

wendungsfall hat sich in den vergangenen 25 Jahren beisoiletsweise etabliert, dass sich Web-Server mit Public-Key Zertifikaten und menschliche Nutzer mit Benutzername und Passwort authentisieren. Solche Ansätze aus dem IT-Bereich lassen sich aber in aller Regel nicht eins-zu-eins für Automatisierungssysteme übernehmen, da die Gegebenheiten und Anforderungen dort grundlegend anders gelagert sind.

So sind auch Kommunikationspartner in Automatisierungsanlagen äußerst selten menschliche Nutzer. In den allermeisten Fällen kommunizieren zwei autarke Automatisierungskomponenten miteinander, wie ein Sensor und eine Steuerung. Die Zertifikate, die Web-Server verwenden, stammen fast immer von einer der wenigen großen Zertifizierungsstellen (engl. Certificate Authorities, CAs). Ein Server-Betreiber muss sich dabei darum kümmern, dass er von einer weithin akzeptierten CA ein Zertifikat für seinen Server erhält. Im Automatisierungsbereich ist dieser Ansatz kaum vorstellbar: die wenigsten Anlagenbetreiber werden bereit sein, sich beim Betrieb ihrer Automatisierungsanlage derart unmittelbar von externen Zertifizierungsstellen abhängig zu machen. Des Weiteren sind die von großen CAs ausgestellten Zertifikate darauf ausgelegt, im größtmöglichen Umfang (idealerweise im gesamten Internet) akzeptiert zu werden. Im Automatisierungsbereich wird – trotz aller Öffnungstendenzen – eher ein kleiner und kontrollierbarer Kreis angestrebt.

Im Projekt „FieldPKI“ (2021 - 2023) hat das ivESK daher zusammen mit dem Fraunhofer Institut für integrierte Schaltungen (IIS) in Nürnberg ein system- und technologieübergreifendes Konzept zur sicheren Schlüssel- und Zertifikatsverwaltung in industriellen Feldbuskomponenten erarbeitet, das den gesamten Lebenszyklus solcher Komponenten sowie die besonderen Anforderungen von Systemen der industriellen Automatisierung berücksichtigt.

Im FieldPKI-Projekt wurde viel Wert daraufgelegt, dass die entwickelten Konzepte und Ansätze auch praxistauglich sind und keine rein akademischen Überlegungen bleiben. Im Rahmen der Arbeiten an FieldPKI hat das ivESK daher unter anderem sehr aktiv im Security-Arbeitskreis der PROFIBUS & PROFINET International (PI) mitgewirkt. PI entwickelt und pflegt die Spezifikation von PROFINET, eines der führenden Systeme für die industrielle Automatisierung. Bei PI wurde nahezu zeitgleich eine entsprechende Fragestellung bearbeitet: Wie kann eine Zertifikatsverwaltung für PROFINET-Anlagen erreicht werden? Die Mitwirkung des ivESK führte dabei zu einem fruchtbaren Austausch in beide Richtungen: Für FieldPKI konnte so ein kontinuierlicher Abgleich mit Anforderungen aus der Praxis erreicht werden und parallel konnten auch die Spezifikationsarbeiten bei PI von einer wissenschaftlichen Begleitung profitieren.

### Zertifikatsverwaltung, was ist damit gemeint

Wenn (Public-Key) Zertifikate zur Authentifizierung verwendet werden sollen, muss mit mehreren Objekten hantiert werden.

- Das Zertifikat selbst ist ein digitales, durch eine CA signiertes Dokument, das einen öffentlichen Schlüssel an die Identität des Zertifikatshalters bindet. Im Fall von FieldPKI ist der Zertifikatshalter, wie oben beschrieben, in aller Regel ein Feldgerät.
- Das Feldgerät hält den passenden privaten Schlüssel und kann sich damit als Zertifikatshalter ausweisen. Jede Authentisierung muss nicht nur eine Prüfung des Zertifikats umfassen, sondern auch eine „Besitzprüfung“ des privaten Schlüssels, ohne dass dieser dabei bekannt gemacht wird.
- Die Prüfung eines Zertifikats erfordert auf der Seite des Prüfenden einen oder mehrere Vertrauensanker. Diese bestimmen, von welchen CAs Zertifikate grundsätzlich akzeptiert werden. Das Festlegen von Vertrauensankern für Feldgeräte ist eine kritische

Operation, deren Bedeutung häufig übersehen oder mindestens unterschätzt wird.

Damit die drei genannten Objekte genutzt und dabei alle Phasen des Lebenszyklus von Feldgeräten berücksichtigt werden können, müssen Zertifikate, Schlüssel und Vertrauensanker:

- in die Feldgeräte eingebracht,
- auf den Feldgeräten erneuert,
- von den Feldgeräten gelöscht und
- in ihrem Geltungsbereich für ungültig erklärt werden können.

Der Begriff „Zertifikatsverwaltung“ soll im Folgenden so verstanden werden, dass er diese vier Operationen auf den drei genannten Objekten umfasst.

### Das Basismodell von FieldPKI

Mit FieldPKI wurde ein abstraktes Basismodell entwickelt, das die Zertifikatsverwaltung auf Feldgeräten im oben beschriebenen Sinne abdeckt. Dabei kommt dem jeweiligen Betreiber von Feldgeräten eine besondere Bedeutung zu: Die Verwaltung der Zertifikate, Schlüssel und Vertrauensanker, die für die Absicherung der operativen Kommunikation mit dem Feldgerät verwendet werden, soll seiner Kontrolle unterliegen.

Die folgenden Aspekte stellen die Säulen des Basismodells von FieldPKI dar:

- Der unmittelbare Interaktionspartner eines Feldgerätes bei der Zertifikatsverwaltung ist eine neue logische Vermittlerrolle, die „Credentialing Entity“ (CE). Das Kommunikationsprotokoll ist nicht festgelegt. Die physische Ausprägung der Credentialing Entity ist ebenfalls variabel.
- Zwischen einem Feldgerät und einer Credentialing Entity findet eine beidseitige Authentifikation statt, die dedizierte Zertifikate, Schlüssel und Vertrauensanker verwendet. Diese beschreiben die Bindung eines Feldgerätes an einen Betreiber, dem damit die Kontrolle über die Zertifikatsverwaltung auf dem Feldgerät zukommt.
- Beim initialen Aufbau einer Bindung eines Feldgerätes an einen Betreiber kann dieser ein vom Gerätehersteller eingebrachtes sogenanntes Herstellerzertifikat verwenden, um das Feldgerät zu authentifizieren. Das Feldgerät selbst akzeptiert eine Bindung, solange keine konkurrierende Bindung bereits existiert.

Die Credentialing Entity wurde eingeführt, um mehrere Anforderungen zu adressieren:

- Die CA-Funktionalität muss, je nach Anlagendesign und Betreiberwünschen, eventuell außerhalb der Feldebene (in der IT-Domäne) verortet sein. Mit der Credentialing Entity existiert eine Einheit, die zwischen IT- und OT-Welt vermitteln kann. Alternativ kann die Credentialing Entity die CA-Funktionalität selbst bereitstellen.
- Die Interaktion zur Zertifikatsverwaltung zwischen Feldgerät und Credentialing Entity sollte in das bestehende Feldbus-Kommunikationsmodell integriert werden können. Bei PROFINET sind die Feldgeräte (soweit sie keine Steuerungsaufgaben übernehmen) zum Beispiel stets reaktiv und dürfen selbstständig keine Anfragen stellen. Eine CA ist ebenfalls rein reaktiv. Mit der Credentialing Entity besteht eine Einheit, die die Zertifikatsverwaltungsprozesse proaktiv initiieren kann.

Eine Technologieabbildung kann damit eine Technologie, für die bisher noch keine Zertifikatsverwaltung beschrieben wurde, einigermaßen niederschwellig für eine Zertifikatsverwaltung zugänglich machen. Das Basismodell stellt dabei das generische Lösungsmuster dar. Alternativ kann eine Technologieabbildung beschreiben, wie bereits existierende Ansätze zur Zertifikatsverwaltung mit FieldPKI korrelieren. Damit können Lösungsansätze nicht nur „exportiert“, sondern auch „importiert“ und auf andere Technologien übertragen werden.

Erarbeitet wurden bisher Technologieabbildungen für PROFINET, CANopen, MQTT und IEC 60802, dem TSN-Profil für die industrielle Automatisierung.

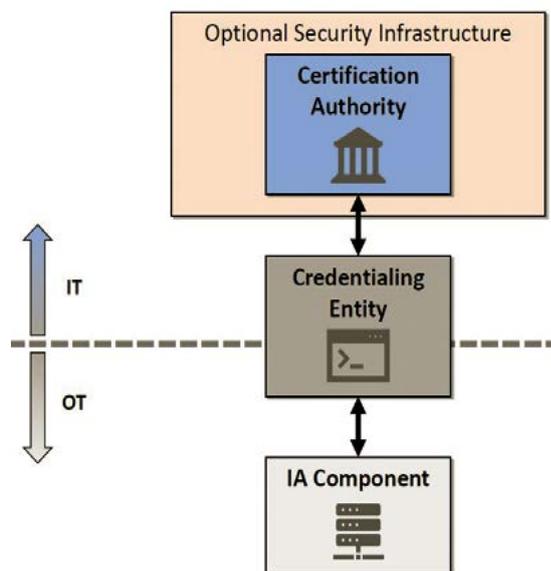
## Demonstratoren

Zur Validierung des abstrakten Basismodells werden in FieldPKI für ausgewählte Technologieabbildungen Demonstratoren entwickelt. Diese sollen als Beispielausprägungen des Basismodells dessen praktische Umsetzung zeigen.

Als Vertreter einer Technologieabbildung, die das generische Lösungsmuster von FieldPKI auf ein System ohne bereits existierende Ansätze zur Zertifikatsverwaltung überträgt, wird CANopenFD – als nicht Ethernet-basiertes Feldbusssystem – gewählt. Dies stellt aufgrund der im Vergleich zu Ethernet-basierten Systemen limitierten Datenrate und typischerweise ressourcenbeschränkten Geräten besondere Herausforderungen dar.

Das ursprünglich zur Vernetzung von Steuergeräten in Kraftfahrzeugen eingesetzte Bussystem CAN FD bildet die Grundlage des Datenaustauschs zwischen den industriellen Automatisierungskomponenten des Demonstrators. CANopenFD erweitert diese Basis um eine Applikationsschicht mit Kommunikationsmechanismen zum Austausch zyklischer Prozessdaten, Notfalldaten sowie azyklischer Servicedaten und kommt auch in industriellen Maschinensteuerungen, Medizintechnikgeräten oder zur Gebäudeautomation zum Einsatz. Über den Austausch azyklischer Servicedaten wird mittels TLS ein beidseitig authentifizierter und autorisierter Kanal zwischen einer CE und einer industriellen Automatisierungskomponente aufgebaut. Dieser Kanal wird genutzt, um im Request-Response-Verfahren die Operationen zur Zertifikatsverwaltung umzusetzen.

**Abb. 1:** Die logische Mediatorrolle der Credentialing Entity kann als Bindeglied zwischen der IT- und OT-Umgebung vermitteln und proaktiv Zertifikatsverwaltungsprozesse auf industriellen Automatisierungskomponenten (IA Component) initiieren



## Technologieabbildungen

Das FieldPKI Basismodell erhebt den Anspruch, für viele im Automatisierungsumfeld (und sogar darüber hinaus) übliche Technologien, anwendbar zu sein. Damit wurden im Basismodell ganz bewusst keine konkreten Kommunikationsprotokolle oder Ausprägungsformen der Credentialing Entity festgelegt. Dies geschieht erst über sogenannte Technologieabbildungen, die das Basismodell mit Blick auf eine bestimmte Technologie (wie bei PROFINET) konkretisieren.

zen. Neben der Implementierung der Protokollerweiterungen werden mit Vertretern der Industrie intensiv diskutierte Beispielszenarien – wie der Inbesitznahme einer neuen oder dem Austausch einer defekten Komponente – an einem realen Hardwareaufbau (siehe Abbildung 2) mit mehreren beispielhaft auf Evaluierungsboards umgesetzten Feldbusgeräten getestet.

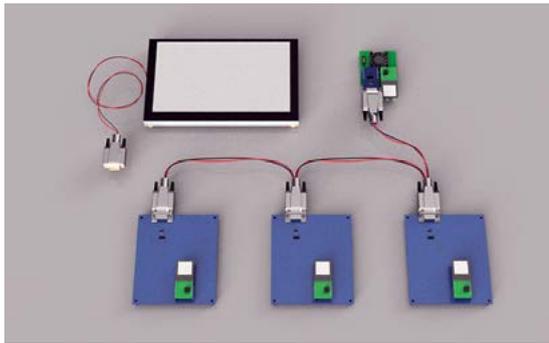


Abb. 2:  
Beispiel für einen Problemraum. Knoten sind Zustände, Kanten entsprechen den Operatoren

Der aktuelle Entwurf von IEC 60802 definiert als herstellerübergreifender und vereinheitlichender Standard ein Profil sogenannter Time-Sensitive Networks (TSN) zur industriellen Automatisierung. Neben der Auswahl von Konfigurationen, Protokollen und Features werden auch Ansätze zur Zertifikatsverwaltung festgelegt. Diese stehen in Korrelation zu Ansätzen des Projekts und lassen sich als Technologieabbildung von FieldPKI „importieren“. Die IEC 60802 bedient sich der Nutzung des aus dem Umfeld der Konfiguration von Netzwerk-Geräten entstandenen NETCONF (NETwork CONFiguration) Protokolls. Dieses – ebenfalls durch TLS gesicherte – Protokoll bietet basierend auf Remote Procedure Calls Mechanismen zum Einbringen, Ändern und Löschen von Konfigurationsdaten auf Endgeräten. Die IEC 60802 nutzt diese Mechanismen zur Verwaltung von Zertifikaten, Vertrauensankern und privaten Schlüsseln. Im Rahmen der Entwicklung des IEC 60802 Demonstrators werden diese Erweiterungen aufbauend auf bestehenden Umsetzungen implementiert und validiert. Neben der Implementierung der Protokollerweiterungen werden diese – wie beim CANopenFD Demonstrator – in einer Testumgebung mit beispielhafter Hardware und PKI-Hierarchie getestet.

## Fazit

Mit FieldPKI wurde mit dem Basismodell ein konzeptioneller Knotenpunkt für Lösungsansätze zur Zertifikatsverwaltung in Automatisierungsanlagen geschaffen. Das FieldPKI Basismodell liefert eine generische Problem- und Lösungsbeschreibung für den Umgang mit Zertifikaten, Schlüsseln und Vertrauensankern in Feldgeräten. Das Basismodell wurde unter Berücksichtigung verschiedenster Anforderungen und Technologien und im regen Austausch mit einer Vielzahl von Industrievertretern entwickelt. Mit Technologieabbildungen lässt sich das Lösungsmuster auf verschiedenste Systeme übertragen. Soweit neue Lösungsansätze für bestimmte Technologien aufkommen, können diese mit großer Wahrscheinlichkeit in das Basismodell integriert werden und so auf weitere Technologien übertragen werden.

## Danksagung

Das FieldPKI Projekt wird vom Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK) und vom Forschungskuratorium Maschinenbau e.V. durch das Programm zur Förderung der industriellen Gemeinschaftsforschung (IGF) unter der Fördernummer AIF/DFAM 21752N gefördert. Wir danken für die Bereitstellung der finanziellen Mittel.

### Referenzen/References:

- [1] W. Qin, S. Chen, M. Peng, „Recent advances in Industrial Internet: insights and challenges“, Digital Communications and Networks, DOI: <https://doi.org/10.1016/j.dcan.2019.07.001.s>
- [2] H. Amarson, F.S. Kanafi, T. Kaarlela, U. Seldeslachts, R. Pieters, „Evaluation of cyber security in agile manufacturing: Maturity of Technologies and Applications“, in Proceedings of the 2022 IEEE/SICE International Symposium on System Integration (SII), 2022, ISSN: 2474-2325, DOI: <https://doi.org/10.1109/SII52469.2022.9708888>
- [3] A. Sikora, A. Walz, L. Zimmermann, „Research Aspects for Secure Communication in the Industrial Internet of Things“, 11th International IEEE Conference Dependable Systems, Services and Technologies (DESSERT), Ukraine, Kyiv, May 14-18, 2020, <https://ieeexplore.ieee.org/document/9125002>, DOI: 10.1109/DESSERT50317.2020.9125002
- [4] „The EU Cybersecurity Act“. Online verfügbar unter <https://digital-strategy.ec.europa.eu/en/policies/cybersecurity-act>, zuletzt geprüft am 28.12.2022
- [5] M. Friesen, G. Karthikeyan, S. Heiss, L. Wisniewski, H. Trsek, „A Comparative Evaluation of Security Mechanisms in DDS, TLS and DTLS“, Kommunikation in der Automation – KommA, Lemgo, 2018, DOI: 10.1007/978-3-662-59895-5\_15
- [6] M. Barenkamp, „IoT Security Best Practices“, HMD Praxis der Wirtschaftsinformatik 58, 400-424, 2021, DOI: <https://doi.org/10.1365/s40702-020-00637-4>.

# Testkomm4.0

## Testumgebung für LPWAN- und 5G-Technologien



**Axel Sikora**  
Prof. Dr.-Ing. Dipl.-Ing.  
Dipl.-Wirt.-Ing.

Fakultät EMI, Wissenschaftliche Leitung ivESK  
Kommunikationsnetze, Bussysteme und Schnittstellen, eingebettete / industrielle Netzwerke, Intelligente Energienetze

Mit den neuen schmalbandigen drahtlosen Kommunikationslösungen ergeben sich zahlreiche vielversprechende neue Anwendungsmöglichkeiten für das Internet der Dinge (IoT), aber auch zusätzliche Fragestellungen in der Entwicklung und Anwendung. Im Testkomm.0-Projekt wurde daher in Zusammenarbeit mit dem Hahn-Schickard-Institut eine Testumgebung für drahtlose Kommunikationstechnologien aufgebaut, um systematische Vergleiche unterschiedlicher Low Power WideArea (LPWA) Netzwerke, zellulärer IoT- (cloT) und 5G-Netzwerke durchzuführen. Die Testumgebung ermöglicht es, verschiedene LPWAN- und cloT-Technologien in einer einheitlichen und reproduzierbaren Umgebung für industrielle Anwendungsfälle zu testen.

*The new narrowband wireless communication solutions create manifold novel opportunities, but also challenges for developers and users of applications in the Internet of Things. In collaboration with the Hahn-Schickard Institute in the Testkomm project, a test environment for wireless communication technologies is being set up to execute systematic comparisons of different Low Power Wide Area (LPWA) networks, cellular IoT (cloT) and 5G networks. The test environment allows to flexibly perform uniform and reproducible test with LPWAN and cloT technologies for industrial use cases.*



**Fabian Sowieja**  
M.Sc.

Institut ivESK  
Wissenschaftlicher Mitarbeiter

## Drahtlose Kommunikationslösungen

Seit mehreren Jahren setzt sich der Trend der zunehmenden Vernetzung im Rahmen des Internet of Things (IoT) in praktisch allen Anwendungsfeldern der Automatisierungstechnik fort [1]. Als Treiber dieses Trends sind vor allem eine gesteigerte Energieeffizienz, Kosteneinsparungen und hohe Skalierbarkeit zu nennen. Mit diesen Technologien können neue Geschäfts- und Anwendungsfelder ermöglicht werden.

In den letzten Jahren hat sich eine neue Kategorie drahtloser Netze herausgebildet, die sogenannten LPWA-Netze (Low Power Wide Area Networks). Diese können bei einer geringen Sendeleistung im unteren Milliwatt-Bereich Reichweiten im Kilometerbereich – auch unter realen Bedingungen – abdecken. Möglich wird dies durch extreme Empfängerempfindlichkeiten, die im Wesentlichen durch schmalbandige Übertragung, innovative Codierungsverfahren oder niedrige Nettodatenraten erreicht werden. Weiterhin zeichnen sich diese Netze durch eine hohe Skalierbarkeit und einen geringen Energiebedarf der Endgeräte aus [2].

In den Markt der LPWA-Technologien treten seit einiger Zeit nun auch schmalbandige zellulare Mobilfunklösungen (cellular IoT, cloT) ein. Diese versprechen vor allem eine robustere Übertragung aufgrund des lizenzierten Spektrums. Im Gegensatz zum Spektrum der LPWAN-Lösungen, das mit jeder neuen Technologie etwas voller und damit auch störanfälliger wird, obliegt die Mobilfunknetzplanung den Netzwerkprovidern, die ein möglichst Interferenzfreies Spektrum bereitstellen möchten. Mit der Einführung von 5G ist zudem ein dedizierter Frequenzbereich nur für sogenannte Campusnetzwerke bestimmt, mit dem private und interferenzfreie Mobilfunknetzwerke aufgebaut und betrieben werden können. Solch ein Netzwerk wurde im Rahmen des Testkomm-Projekts auch am ivESK eingerichtet [3].

Für drahtlose Kommunikationstechnologien ergeben sich zahlreiche neue Anwendungsgebiete wie der Einsatz von fahrerlosen Transport-Systemen (FTS) in einer flexiblen Industrie, der Zustandsüberwachung unter

schiedlichster Systeme, vom Wald bis zum Industriepark und bis zur intelligenten Verkehrssteuerung [4].

Die Anwendungsbereiche für schmalbandige Übertragungsvarianten ergeben sich durch die Verbindung einfacher Geräte zu meist großen sternförmigen Netzwerken mit räumlicher Ausdehnung. Neben Überwachungsanwendungen, wie beispielsweise der Zustandsüberwachung in großen technischen Anlagen, spielen auch einfachere Steueranwendungen eine Rolle. Für die breitbandigeren Mobilfunkvarianten kommen zudem auch zunehmend Regelungs- und Echtzeitanwendungen in den Bereich des Möglichen.

## Testautomatisierung

Das Aufkommen vieler neuer Technologien führt unter anderem zu einer schwer durchschaubaren Landschaft an möglichen Funkprotokollen mit unterschiedlichen Eigenschaften. Für einen Anwender stellt sich die Frage, welche Technologie sich nun am besten im Hinblick auf seine Anwendungen eignet und welche Optimierungsmöglichkeiten möglich sind, beispielsweise hinsichtlich erlaubter Latenz, Durchsatz, Zuverlässigkeit oder Energiebedarf.

Sind konkrete Anforderungen einer Anwendung bekannt, können Feldtests in der entsprechenden Funkumgebung durchgeführt und so für einen konkreten Fall validiert werden. Dies bedeutet oftmals aber einen sehr hohen Aufwand, da Geräte transportiert und aufgebaut, Testpunkte manuell angefahren und die Testumgebung während der Testzeit oftmals in einen bestimmten Zustand sein muss. Außerdem sind moderne industrielle Anforderungen meist von einer gewissen Dynamik geprägt, die es erfordert, dass Tests unter unterschiedlichen Bedingungen reproduzierbar durchgeführt werden. Dies ist auf der Feldebene nur mit viel Aufwand realisierbar, was insbesondere für KMUs eine große Hürde darstellt.

Es ist daher von einer hohen Relevanz, dass Tests systematisch und reproduzierbar für unterschiedliche Technologien, Geräte, Umgebungen und Parametrierungen mit nur geringem Aufwand durchgeführt werden können. Es werden bereits einige Testbeds im Bereich drahtloser Sensornetzwerke eingesetzt [5], um drahtlose Technologien im Labor systematisch untersuchen zu können. Diese sind allerdings noch nicht auf die Anforderungen der LPWA-Technologien ausgelegt.

Im Testkomm-Projekt werden zur Beantwortung solcher Fragestellungen Testumgebungen aufgebaut und systematisch Tests für unterschiedliche Funktechnologien durchgeführt. Hierbei wird der Fokus im Speziellen auf industrielle Anwendungen gelegt. Als Ziel soll eine funktionsfähige Testumgebung für unterschiedliche LPWA und IoT Lösungen erstellt und über verschiedene Testkampagnen sollen optimierte Parametersätze und die darausfolgenden Leistungsdaten ermittelt werden.

## Beschreibung der Testumgebungen

Um unabhängiger von der Ausführungsumgebung (wie Feldtests) zu sein, wurden im Testsystem drei Abstraktionsebenen definiert, die direkt mit dem Entwicklungszyklus gekoppelt sind. Die Grundidee ist hierbei in Abbildung 1 dargestellt. Statt nur in einer konkreten anwendungsfallspezifischen Umgebung testen zu müssen, werden gewisse Eigenschaften der Umgebung und der Geräte abstrahiert, um schon frühzeitig und reproduzierbar Tests durchführen zu können, beispielsweise in einer Ersatz-Feldtestumgebung, einer Laborumgebung oder einer Simulationsumgebung.

Zu Beginn der Entwicklung, wenn keine Hardware vorhanden ist, oder wenn Szenarien getestet werden sollen, die sich mit konkreter Hardware nur schwer realisieren lassen (tausende Geräte an unterschiedlichen Orten),

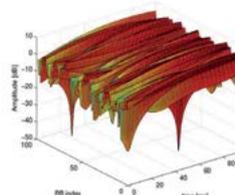
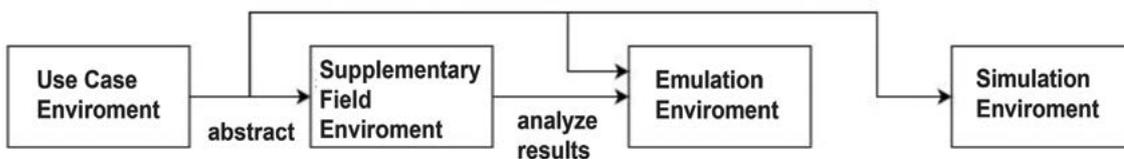


Abb. 1: Unterschiedliche Testumgebungen zur Verifizierung von konkreten Anwendungen

können Simulationen durchgeführt werden. Diese Ebene abstrahiert die physischen Eigenschaften auf mathematische Modelle, eignet sich aber, um prinzipielle Kommunikationsabläufe oder Szenarien zu verifizieren. Für die Simulation wird auf den Open-Source Netzwerksimulator ns-3 zurückgegriffen [8]. Für diesen existieren bereits Modelle für die projektrelevanten Simulationsmodelle, die um projektspezifische Eigenschaften in diesem Projekt erweitert wurden. Die Architektur der Simulation ermöglicht eine unabhängige Nutzung der Simulation via REST-API und einer dafür entwickelten Webseite zur Ausführung und Visualisierung der Ergebnisse.

Auf der zweiten Ebenen können einfache Kanalemulationen in einer eigens entwickelten Funkumgebung (APTB; Automated physical testbed) durchgeführt werden und in der Funkumgebung können grundsätzliche Kanaleigenschaften und Netzwerktopologien automatisiert eingestellt werden. Zudem können über eine entwickelte Webseite die Netzwerke dynamisch aufgebaut werden. Verbundene Komponenten werden in einer Datenbank abgespeichert und können über eine REST-API automatisiert programmiert werden. Dadurch ist es möglich, einfach zwischen bestimmten Konfigurationen zu wechseln oder dynamische Anpassungen des Funkkanals durchzuführen. Diese Ebene abstrahiert die Funkübertragung auf einige grundsätzliche Kanaleigenschaften wie Dämpfung und Mehrwegekomponenten. Sie eignet sich weitestgehend als Ersatz der Feldtestumgebung. Zur Verifizierung von konkreten Anwendungsfällen sind Tests allerdings nach wie vor im Feld durchzuführen.

Das hier entwickelte Testsystem soll ein einheitliches Interface zum Testen unterschiedlicher Technologien anbieten, parallele Testausführung ermöglichen, mehrere Testumgebungen unterstützen und soll Daten strukturiert speichern und visualisieren können. Die Architektur ist in vereinfachter Form in Abbildung 2 dargestellt. Das zentrale Testsystem basiert auf einem TTCN3 basierten Framework [6]. Die Tests werden in der domänenspezifischen Testsprache TTCN3 [7] geschrieben und durch eine Konfigurationsdatei parametrisiert. Zur Interaktion mit externen Systemen, wie Test- oder Messgeräte, wurden Schnittstellen entwickelt, sodass Tests auch technologieübergreifend beschreibbar sind. Bei der Ausführung der Tests werden Daten geloggt, die es ermöglichen, die Performanz anhand der beschriebenen KPIs zu messen. Über eine API und ein Webinterface wird zu-

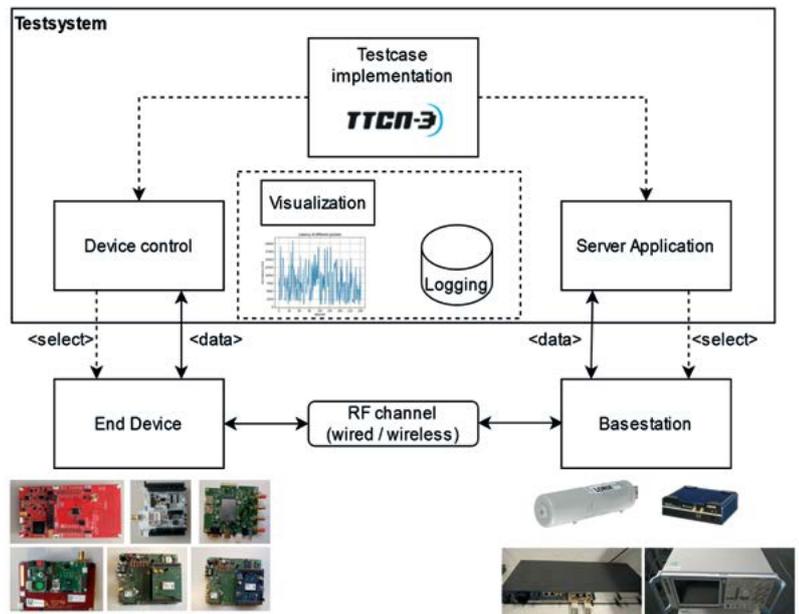


Abb. 2: Architektur des Test-Komm4.0 Testsystems

dem die wesentliche Funktionalität bereitgestellt, wodurch der Nutzer Tests unabhängig von den konkreten Abhängigkeiten innerhalb des Testsystems durchführen kann. Die entwickelte Architektur ermöglicht hierbei die zentrale Testausführung auf allen Ebenen. Die Ausführungsebenen können allerdings auch unabhängig vom TTCN3-basierten Testsystem genutzt werden. Als Testgeräte wurden zahlreiche Netzwerkgeräte von projektbeteiligten Firmen bereitgestellt sowie auch eigene Hardware eingesetzt. Zum Testen der zellulären Funklösungen konnte zudem mit dem an der Hochschule vorhandenen Kommunikationstester CMW500 tiefere Einblicke in den Kommunikationsablauf gewonnen werden.

## Performanzmessung / Verifizierung

Das Testsystem wird in Form von Messkampagnen benutzt, um Technologien in den unterschiedlichen Testumgebungen anhand ausgewählter KPIs (RSSI, SNR, Paketverlust, Latenz, Durchsatz, Energiebedarf) zu vergleichen. Als Resultat stehen visualisierbare Daten zur Verfügung. Für die hier beispielhaft gezeigte Messkampagne wurden 100 Pakete in einem zeitlichen Abstand von 10s im Uplink (vom Endgerät zu einem Server) gesendet.

In Abbildung 3 (links) ist das Ergebnis der Ende-zu-Ende Latenzmessung an verschiedenen Positionen innerhalb des Steinbeis-Gebäudes dargestellt. In der Grafik werden anhand der mittleren Latenz klare Klassenunterschiede zwischen den hier untersuchten Technologien (LoRaWAN, Mioty,

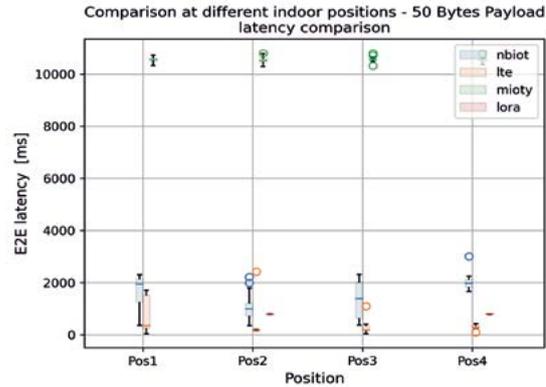
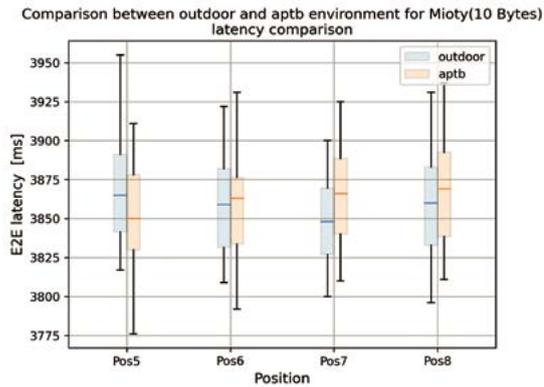


Abb. 3: Vergleich der Ende-zu-Ende Latenz an unterschiedlichen Positionen und Testumgebungen

NB-IoT und LTE) deutlich. In diesem Aufbau fällt zudem eine hohe Varianz bei den Mobilfunklösungen auf.

Zum Vergleich der Ergebnisse in unterschiedlichen Testumgebungen wurden Tests in der Emulationsumgebung so durchgeführt, dass die Empfangssignalstärke derer im Feldtest entsprach. In Abbildung 3 (rechts) ist die Latenz für die Mioty Technologie an unterschiedlichen Punkten dargestellt. Die Ergebnisse sind dabei nahezu identisch (Latenz +/- 1 Prozent) zur Feldtestmessung.

## Fazit / Ausblick

Das Testsystem ermöglicht die systematische und reproduzierbare Durchführung von Testkampagnen in unterschiedlichen Testumgebungen. So können systematische Technologievergleiche durchgeführt werden, aber auch technologische Eigenheiten herausgearbeitet und im Detail analysiert werden. Es wird außerdem deutlich, dass plausible Ergebnisse auch in der entwickelten automatisierten Emulationsumgebung erzeugt werden können. Der Testprozess vereinfacht sich dadurch deutlich und Umgebungsbedingungen lassen sich besser reproduzieren.

Als nächsten Schritte werden umfangreiche Parameterstudien bei unterschiedlichen Kanalbedingungen in der Emulationsumgebung durchgeführt, um Optimierungspotenziale zu untersuchen. Weiterhin werden Last- und Skalierbarkeitstests auf Simulationsebene durchgeführt, um auch Szenarien mit anderen Anforderungen zu untersuchen und zu verifizieren. Von besonderem Interesse sind hierbei mMTC (massive Machine Type Communication) und URLLC (Ultra-Reliable Low-Latence Communication).

## Danksagung

Diese Arbeit ist Teil des IGF-Projektes „Integriertes Testbed für ubiquitäre, durchgängige, echtzeitfähige und zuverlässige Kommunikation für Industrie 4.0 (TestKomm 4.0)“. Das IGF-Vorhaben 21639N wurde im Rahmen der industriellen Gemeinschaftsforschung vom Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (BMBK) aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages gefördert.

Wir danken den genannten Institutionen für die Bereitstellung der finanziellen Mittel und den beteiligten Unternehmen für die Bereitstellung der Geräte.

### Referenzen/References

[1] „World of IoT Sector Map“, Beecham Research. <https://www.beechamresearch.com/download-details/world-of-iot-sector-map/> (zugegriffen 2. Januar 2023)  
 [2] U. Raza, P. Kulkarni, M. Sooriyabandara, und M. Sooriyabandara, „Low Power Wide Area Networks: An Overview“, IEEE Commun. Surv. Tutor., Bd. 19, Nr. 2, S. 855–873, Jan. 2017, doi: 10.1109/comst.2017.2652320  
 [3] „Funklizenz für 5G Campusnetzwerk erhalten“. <https://ivesk.hs-offenburg.de/news-detail/article/funklizenz-fuer-5g-campusnetzwerk-erhalten> (zugegriffen 8. Januar 2023)  
 [4] A. Graf, A. Oliveira-Lenz, und P. Hilsenbek, „IHK Mobilfunkatlas“, IHK Schwarzwald-Baar-Heuberg. <https://www.ihk.de/sbh/ihk->

[mobilfunkatlas-5283342](https://www.mobilfunkatlas-5283342) (zugegriffen 2. Januar 2023)  
 [5] H. Hellbrück, M. Pagel, A. Kröller, D. Bimschas, D. Pfisterer, und S. Fischer, „Using and operating wireless sensor network testbeds with WISEBED“, IFIP Annu. Mediterr. Ad Hoc Netw. Workshop, S. 171–178, Juni 2011, doi: 10.1109/med-hoc-net.2011.5970485  
 [6] E. Web, „Eclipse TitanTM“, projects.eclipse.org, 27. August 2014. <https://projects.eclipse.org/projects/tools.titan> (zugegriffen 2. Januar 2023)  
 [7] ETSI, „Testing and Test Control Notation Version 3 (TTCN-3)“, TTCN-3. <http://www.ttcn-3.org/> (zugegriffen 3. Januar 2023)  
 [8] nsnam, „ns-3“, ns-3. <https://www.nsnam.org/> (zugegriffen 2. Januar 2023)

# INSTITUTE FOR MACHINE LEARNING AND ANALYTICS [ IMLA ]



Das IMLA bündelt fach- und fakultätsübergreifend Forschungsaktivitäten in Bereichen der Künstlichen Intelligenz, des Maschinellen Lernens und der Datenanalyse

Unter dem Oberbegriff der “Künstlichen Intelligenz” (KI) sind die Methoden des Maschinellen Lernens und der mathematischen Datenanalyse in den letzten Jahren aus akademischen “Nischenfeldern” zu viel beachteten Werkzeugen mit breiten Anwendungsmöglichkeiten herangewachsen. Während sich die methodischen Grundlagen der KI immer noch rasant weiter entwickeln, benötigt man für den erfolgreichen und nachhaltigen Einsatz zur Lösung praktischer Fragestellungen weit mehr als nur KI-Expertise: Ohne Fachwissen aus der Anwendungsdomäne und einer fundierten Technikfolgenabschätzung, speziell im Hinblick auf gesellschaftliche und ethische Auswirkungen einzelner Anwendungen, sind KI-Projekte in der Praxis kaum umsetzbar. Deshalb haben sich im IMLA Forschende aus allen Hochschulfakultäten mit einem breiten technischen und wirtschaftswissenschaftlichen Anwendungsspektrum mit KI-Fachleuten und Geisteswissenschaftlern zusammengeschlossen, um gemeinsam die anwendungsnahe KI-Forschung voranzutreiben.

Nachrichten aus dem IMLA:

- HSO im Roboterfußball Weltklasse: Das Team Magma gewann 2022 zum fünften Mal in Folge den Vize-Weltmeister-Titel in der 3-D-Simulationsliga bei der WM der Fußballspielenden Roboter. [<https://robocup.hs-offenburg.de/>, Ansprechpartner: Prof. Dr. Klaus Dorer]
- Fortführung des KI-Labor Südbaden – Förderung durch das Ministerium für Wirtschaft, Ar-

beit und Tourismus BW: Ziel ist, für regionale Unternehmen ortsnahe und niederschwellige Anlaufstelle zu Fragen der Künstlichen Intelligenz zu sein und so die Anwendung zu erleichtern. Es sollen vor allem Demonstratoren in unterschiedlichsten Anwendungsfeldern erstellt sowie Weiterbildungs- und Netzwerkveranstaltungen durchgeführt werden. Im Bereich Demonstratoren werden entlang der Gruppen des Periodensystems der KI (<https://periodensystem-ki.de/>) einfach umzusetzende KI-Ansätze für die lokalen KMU erprobt und drei Dimensionen parallel verfolgt: die Erstellung von Demonstratoren, die schnell, einfach und kostengünstig einen Mehrwert generieren können, die Sammlung und interaktive Aufbereitung von bereits umgesetzten, dazu passenden Use Cases und die Sensibilisierung für Auswirkungen des jeweiligen KI-Bausteins auf die Arbeitswelt und Aspekte der Nachhaltigkeit. [<https://ki-suedbaden.de>, Ansprechpartner: Prof. Dr. Simone Braun, Prof. Dr. Tobias Hagen]

- Publikationen auf aller höchstem Niveau: 2022 hat die KI Grundlagenforschung am IMLA durch die Doktoranden Julia Grabinski und Paul Gavrikov zu einer Reihe von Publikationen auf international höchst anerkannten Konferenzen geführt.

*Institutsleitung*

*Prof. Dr.-Ing. Janis Keuper und Prof. Dr. rer. nat. Tobias Hagen*

# KINLI

## Künstliche Intelligenz für nachhaltige Lebensmittelqualität

Konsumenten haben immer höhere Ansprüche an Lebensmittelsicherheit, -qualität und -nachhaltigkeit. Bei Fleisch erwarten viele Menschen auch eine artgerechte und ethisch vertretbare Aufzucht, Haltung und Schlachtung der Tiere. Im Projekt KINLI sollen eine Datenplattform und Dienste mit künstlicher Intelligenz entwickelt werden, um mögliche Probleme vorherzusagen. Unternehmen in der Lieferkette können damit proaktiv ihre Prozesse anpassen, bevor Probleme tatsächlich eintreten.

*Consumers have increasingly high expectations of food safety, quality and sustainability. In the case of meat, many people also expect the animals to be raised, kept and slaughtered in a species-appropriate and ethical manner. The KINLI project will develop a data platform and artificial intelligence services to predict potential problems. Companies in the supply chain can thus proactively adjust their processes before problems actually occur.*



Konsumentinnen und Konsumenten in Deutschland haben hohe und oft steigende Ansprüche an Lebensmittel [1]. In den Bereichen Frischfleisch und verarbeitete Fleischwaren reagieren sie sensibel auf Nachrichten über Lebensmittelsicherheit und -qualität. Mindestens zwei Dritteln der Bevölkerung ist zudem eine artgerechte Tierhaltung wichtig [1, 2].

Um die Lebensmittelsicherheit und -qualität zu gewährleisten, müssen die Unternehmen strenge Vorgaben einhalten und regelmäßig kontrollieren. Beispiele sind Grenzwerte für Temperaturen zur Bearbeitung und Lagerung von Lebensmitteln, die Einhaltung der Kühlkette sowie Haltungsbedingungen für Tiere. Bestehende Ansätze zur Gewährleistung der Lebensmittelsicherheit sind typischerweise risikobasiert und kombinieren präventive und reaktive Elemente, indem die oben genannten Vorgaben für kritischen Stellen festgelegt werden und bei Verletzungen Gegenmaßnahmen eingeleitet werden [3]. Präventive Maßnahmen können zu einem erhöhten Ressourcenverbrauch führen, wenn beispielsweise Rohmaterial auf Verdacht dem Verarbeitungsprozess entzogen wird, bevor ein tatsächliches Problem eintritt. Reaktive Maßnahmen können Probleme nicht verhindern, sondern nur behandeln.

### Ziel

Aus diesen Gründen hat das Projekt KINLI die Entwicklung eines prädiktiven Ansatzes zum Ziel (Abbildung 1), in dem bestehende Daten über die Lieferkette intelligent verknüpft und durch KI analysiert werden. Hierdurch sollen potenzielle Problemfälle noch bevor sie eintreten vorhergesagt werden können. Dies soll es den Unternehmen ermöglichen, gezielt proaktiv in die Prozesse einzugreifen, um die Probleme noch vor der Entstehung zu verhindern. Zudem sollen per KI eine artgerechte und ethisch vertretbare Aufzucht, Haltung und Schlachtung von Tieren unterstützt werden. Im Vergleich zu reaktiven und präventiven Ansätzen bietet der prädiktive Ansatz das Potenzial, ressourcenschonend eine hohe Lebensmittelsicherheit und -qualität zu erreichen.

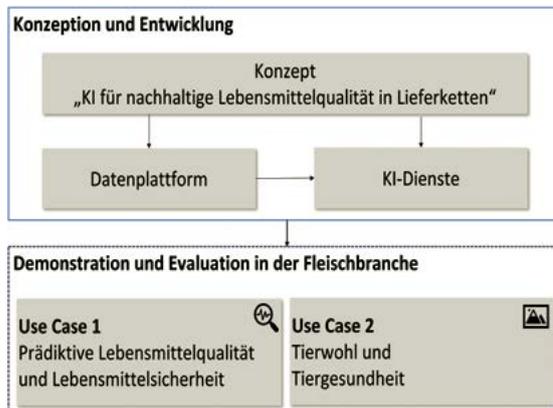


Abb. 1: Lösungsbestandteile und Praxisanwendung



Theo Lutz  
Prof. Dr.-Ing.

Fakultät W, Institut IMLA und IDEeP, Forschungsgr. Digital Supply Chain  
Wirtschaftsinformatik, Betriebliche Informationssysteme, Informationsmanagement



Jonas Ziegler  
M.Sc.

Fakultät W, Institut IMLA, Forschungsgr. Digital Supply Chain, Akad. MA.



Tim Zeiser  
M.Sc.

Fakultät W, Institut IMLA, Forschungsgr. Digital Supply Chain, Akad. MA.

## Exemplarische Anwendungsfälle aus der Fleischbranche

Als Basis für den prädiktiven Ansatz wird eine Datenplattform mit KI-Diensten entwickelt, auf der exemplarische Anwendungsfälle zusammen mit zwei Praxispartnern aus der Fleischbranche umgesetzt werden. Ein erster Anwendungsfall aus der Kochschinkenproduktion fokussiert die Produktqualität. Hier werden Produktionsdaten aus den Betriebsdatenerfassungssystemen und Bilddaten zusammengeführt und analysiert, um Veränderungen in Prozessen und Rohstoffen zu erkennen, die sich auf die Produktqualität auswirken können. Ein proaktives Gegensteuern kann dann beispielsweise dazu beitragen, dass weniger Fertigware aussortiert werden muss, die zwar ohne weiteres genießbar ist, aber den hohen Ansprüchen der Verbraucherinnen und Verbraucher an die Optik des Schinkens nicht genügt.

In einem zweiten Anwendungsfall aus der Putenzucht werden Bild- und Umweltdaten durch KI ausgewertet, um die Gesundheit und das Wohl der Nutztiere über die komplette Aufzucht monitoren zu können. Durch die Unterstützung bei der Überwachung der Tiere sollen so rechtzeitig Umweltparameter wie Temperatur oder Luftfeuchtigkeit beeinflusst und gefährdete Tiere identifiziert werden, bevor es zu einer möglichen Erkrankung kommt. Dies verbessert nicht nur direkt das Wohlbefinden und die Gesundheit der Tiere, sondern wirkt sich auch auf die Qualität des Fleisches im späteren Prozess aus.

## Zuverlässige Datenqualität für nachvollziehbare KI-basierte Dienste

Für die Speicherung und Nutzung der benötigten Daten wird im Projekt eine gemeinsame Datenplattform geschaffen, die Informationen und Daten aus verschiedenen Quellen verknüpft, um eine einheitliche Datenbasis mit einer gesicherten hohen Datenqualität für die KI-basierten Dienste zu schaffen. Durch eine offene und erweiterbare Gestaltung soll zudem ermöglicht werden, die Datenplattform auch für Anwendungsfälle mit wenig Aufwand nutzbar zu machen.

Angebunden an diese Datenplattform werden mehrere KI-basierte Dienste entwickelt, die verschiedene Verfahren des maschinellen Lernens nutzen werden. Hierdurch sollen zunächst die oben beschriebenen Anwendungsfälle realisiert werden. Die Dienste werden

jedoch auch auf Übertragbarkeit auf weitere Bereiche der Lebensmittelindustrie überprüft. Darüber hinaus sollen auch Methoden des unüberwachten Lernens getestet werden, um beispielsweise in Produktionsdaten Hinweise auf neuartige Probleme zu entdecken.

Der Erfolg der KI-basierten Dienste hängt dabei entscheidend von der Nachvollziehbarkeit der Vorhersagen und Analysen aus Sicht der späteren Nutzerinnen und Nutzer in den Unternehmen ab. Aus diesem Grund ist es von besonderer Bedeutung, dass die Empfehlung der KI-Services so aufbereitet werden, dass verschiedene Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter mit unterschiedlichem Kenntnisstand und Vorwissen, wie beispielsweise langjährige Angestellte und Aushilfskräfte, diese gut nachvollziehen und entsprechend handeln können. Nur über entsprechende angepasste Visualisierungen und Erklärungen kann sichergestellt werden, dass sie die notwendigen Entscheidungen zügig und zuverlässig treffen können.

## Projektstatus und Ausblick

Das Projekt KINLI ist im September 2022 gestartet. Aktuell untersucht das Projektteam die Prozesse und Daten der beteiligten Praxispartner, konzipiert die Plattform und Services und entwickelt ein Gesamtkonzept. Außerdem werden erste Analysen der vorhandenen Daten durchgeführt und die Erhebung zusätzlicher Daten vorbereitet. Der Schwerpunkt des Institute for Machine Learning and Analytics (IMLA) der Hochschule Offenburg liegt hier bei der Untersuchung von Daten, die an unterschiedlichen Stellen der Lieferkette entstehen und gemeinsam eine Aussage über den Gesamtprozess erlauben. Die Erkenntnisse werden in einem entsprechenden KI-Service implementiert, der erklärbar Ergebnisse generiert. Das IMLA unterstützt bei der Umsetzung der Datenplattform, die vom Fraunhofer FIT verantwortet wird. Das FIT bringt hierbei auch seine Expertise aus anderen Projekten im Bereich der Landwirtschaft und seine Erfahrung im User-Centered Design in die Konzeption und Entwicklung der Plattform ein. Darüber hinaus entwickelt das FIT einen weiteren KI-Service für die Bildverarbeitung im Bereich der Putenzucht. Die Hochschule Niederrhein leitet die fachlich-konzeptionelle Bearbeitung des Projekts und die Evaluation aus Sicht der Oecotrophologie. Der Schinkenhersteller Sauels und der Putenzüchter Kolmans bringen die Erfahrungen, Anforderungen und Anwendungsfälle aus der Praxis ein.

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages

Das Projekt KINLI wird mit Mitteln des Bundesministeriums für Ernährung und Landwirtschaft (Förderkennzeichen 28DK124D20) gefördert. Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt bei den Autoren.

Referenzen/References:

[1] Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft: Deutschland, wie es isst. Der BMEL-Ernährungsreport 2021. [https://www.bmel.de/Shared-Docs/Downloads/DE/Broschueren/ernaehrungsreport-2021.pdf?\\_\\_blob=publicationFile&v=6](https://www.bmel.de/Shared-Docs/Downloads/DE/Broschueren/ernaehrungsreport-2021.pdf?__blob=publicationFile&v=6). Stand: 28.02.2023

[2] Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft: Deutschland, wie es isst. Der BMEL-Ernährungsreport 2022. [https://www.bmel.de/Shared-Docs/Downloads/DE/Broschueren/ernaehrungsreport-2022.pdf?\\_\\_blob=publicationFile&v=9](https://www.bmel.de/Shared-Docs/Downloads/DE/Broschueren/ernaehrungsreport-2022.pdf?__blob=publicationFile&v=9). Stand: 28.02.2023

[3] Verordnung (EG) Nr. 853/2004 des Europäischen Parlaments u. des Rates v. 29. 04.2004 über Lebensmittelhygiene. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/?uri=CELEX:32004R0852>. Stand: 28.02.2023

# Neuronale Netze

## Mangelnde Robustheit erschwert Praxiseinsatz

Neuronale Netze haben in den letzten Jahren beeindruckende Fortschritte erzielt und sind in vielen Anwendungen sehr erfolgreich. Eines der größten Probleme, die jedoch bei der Verwendung von neuronalen Netzen auftreten können, ist die mangelnde Robustheit gegenüber Störungen und Veränderungen der Eingabedaten. Dieser Artikel beschäftigt sich mit diesem Problem und stellt einige aktuelle Forschungsergebnisse des IMLA zur Verbesserung der Robustheit von neuronalen Netzen vor.

*Neural networks have made impressive progress in recent years and have been very successful in many applications. However, one of the biggest problems that can arise when using neural networks is the lack of robustness to disturbances and changes in input data. This article deals with this problem and presents some recent research results from IMLA on improving the robustness of neural networks.*

Neuronale Netze sind in den letzten Jahren immer leistungsfähiger geworden und haben in vielen Anwendungen bemerkenswerte Ergebnisse erzielt. Dabei haben sie jedoch auch einige Schwächen. Eines der größten Probleme ist die mangelnde Robustheit von neuronalen Netzen gegenüber Störungen und Veränderungen der Eingabedaten.

Wenn ein neuronales Netz trainiert wird, verwendet man normalerweise eine große Menge an Daten, um das Modell auf eine bestimmte Aufgabe zu optimieren. Das Modell lernt Muster in den Daten zu erkennen und verwendet diese Muster, um Vorhersagen zu treffen. Wenn das Modell jedoch mit neuen Daten konfrontiert wird, die nicht genau den Daten entsprechen, auf die es trainiert wurde, kann es zu unerwarteten Ergebnissen kommen.

Ein Beispiel dafür ist das sogenannte „Adversarial Example“ [5]. Das sind Bilder, die absichtlich so verändert wurden, dass sie für den Menschen fast identisch aussehen, aber vom neuronalen Netzwerk vollständig falsch erkannt werden. Zum Beispiel kann ein Bild eines Pandas so verändert werden, dass das Netzwerk plötzlich glaubt, es sei ein Gibbon. Solche Angriffe auf neuronale Netze können sehr gefährlich sein, zum Beispiel wenn es sich um Systeme handelt, die für die Sicherheit oder das Leben von Menschen entscheidend sind.

Es gibt jedoch Forschungsaktivitäten, die sich mit der Verbesserung der Robustheit von neuronalen Netzen befassen. Ein Ansatz ist die Verwendung von „Adversarial Training“. Dabei werden speziell generierte Störungen in die Trainingsdaten integriert, um das Modell gegen solche Angriffe zu stärken. Eine weitere Möglichkeit ist die Verwendung von „Ensemble-Methoden“, bei denen mehrere Modelle parallel trainiert werden, um die Vorhersagen zu verbessern und Fehler zu reduzieren.

Es ist wichtig zu betonen, dass die Robustheit von neuronalen Netzen ein fortlaufendes Forschungsgebiet ist und es immer noch viele offene Fragen gibt. Es ist jedoch auch wichtig, dass man sich der Herausforderungen bewusst ist, die mit der Verwendung von neuronalen Netzen verbunden sind und dass es Bemühungen gibt, die Modelle zu verbessern und sicherer zu machen.

Insgesamt ist die Robustheit von neuronalen Netzen ein wichtiger Faktor für ihre Zuverlässigkeit und ihre breite Anwendbarkeit. Durch kontinuierliche Forschung und Entwicklung können hoffentlich in Zukunft leistungsfähige und robuste neuronale Netze entwickelt werden, die in einer Vielzahl von Anwendungen eingesetzt werden können, von der Bildererkennung bis hin zur Medizin und der Sicherheit.



Janis Keuper  
Prof. Dr.-Ing.

Fakultät EMI, Leitung Institut  
IMLA  
Data Science und Analytics

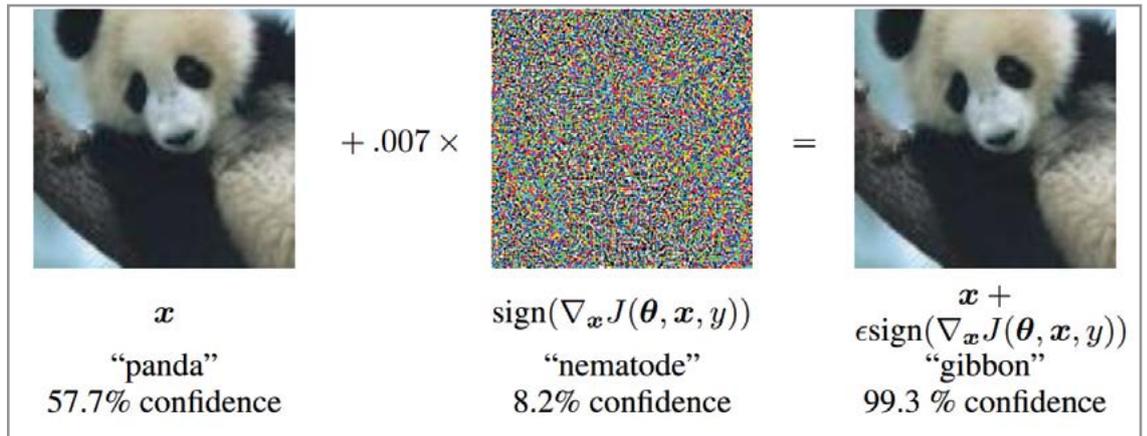


Abb. 1:

Graphik aus [5] zeigt anschaulich, wie die Entscheidung eines neuronalen Netzes durch für Menschen unsichtbare Veränderungen an der Eingabe manipuliert werden können

Aktuell forschen am IMLA die Doktoranden Julia Grabinski und Paul Gavrikov an den Ursachen der mangelnden Robustheit und mögliche Lösungen dafür. So konnte unter anderem gezeigt werden [1], dass sich neuronale Netze nicht nur leicht täuschen lassen, sondern im Falle einer Fehlentscheidung auch noch eine

sehr hohe Konfidenz in dieser haben. In weiteren Arbeiten ist es den hier Forschenden darüber hinaus gelungen, nachzuweisen, dass strukturelle Fehler [2,3] in neuronalen Netzen diese Anfälligkeiten begünstigen und es wurden bereits erste Methoden entwickelt [4], diese zu beheben.

Referenzen/References:

- [1] Grabinski, J., Gavrikov, P., Keuper, J., & Keuper, M. (2022). Robust Models are less Over-Confident. In 36th Conference on Neural Information Processing Systems
- [2] Grabinski, J., Keuper, J., & Keuper, M. (2022). Aliasing and adversarial robust generalization of CNNs. Machine Learning, 1-27
- [3] Gavrikov, P., & Keuper, J. (2022). Cnn filter db: An empirical investigation of trained convolutional filters. In Proceedings of the

- IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (pp. 19066-19076)
- [4] Grabinski, J., Jung, S., Keuper, J., & Keuper, M. (2022, October). FrequencyLowCut Pooling-Plug and Play Against Catastrophic Overfitting. In Computer Vision—ECCV 2022: 17th European Conference, [5] Goodfellow, I., Shlens, J., & Szegedy, C. (2015). Explaining and Harnessing Adversarial Examples



**GESTALTE MIT UNS DIE ZUKUNFT VON MORGEN!**

Wir liefern Softwarelösungen und Services für Unternehmen in der Fertigungsindustrie zur Unterstützung bei der digitalen Transformation.

Du?



[bct-technology.com/karriere](https://bct-technology.com/karriere)



**Du!** (w|m|d)  
 Abschlussarbeiten  
 Werkstudent  
 Praktika  
 Berufseinsteiger



## Schön, wenn man Freunde hat!



Wir **unterstützen** in der Hochschule die Stiftungsprofessur „Werkstofftechnik“ und vergeben alljährlich einen Filmpreis bei den Shorts. Darüber hinaus engagieren wir uns bei vielen fachlichen, kulturellen und sportlichen Veranstaltungen der Hochschule. Weitere Spendengelder und Fördermittel kommen zahlreichen technischen Ausstattungen zu Gute.

Wir sehen uns als Bindeglied zwischen attraktiven Arbeitgebern der Region und der Hochschule und **vernetzen** damit die Lehre mit den Ent-

scheidern in den Unternehmen. Zahlreiche direkte und exklusive Kontakte zur Hochschule haben wir zum beiderseitigen Nutzen vermittelt.

Wir **fördern** engagierte Studierende mit Zuschüssen für Auslandssemester, Projekt- oder Diplomarbeiten – stets sozial ausgewogen und immer antragsbezogen. Wann dürfen wir Ihr Auslandssemester in Mexiko, Japan oder Schottland unterstützen?

[www.foerderverein.hs-offenburg.de](http://www.foerderverein.hs-offenburg.de)

## Innovative Nahrungsmitteltechnik

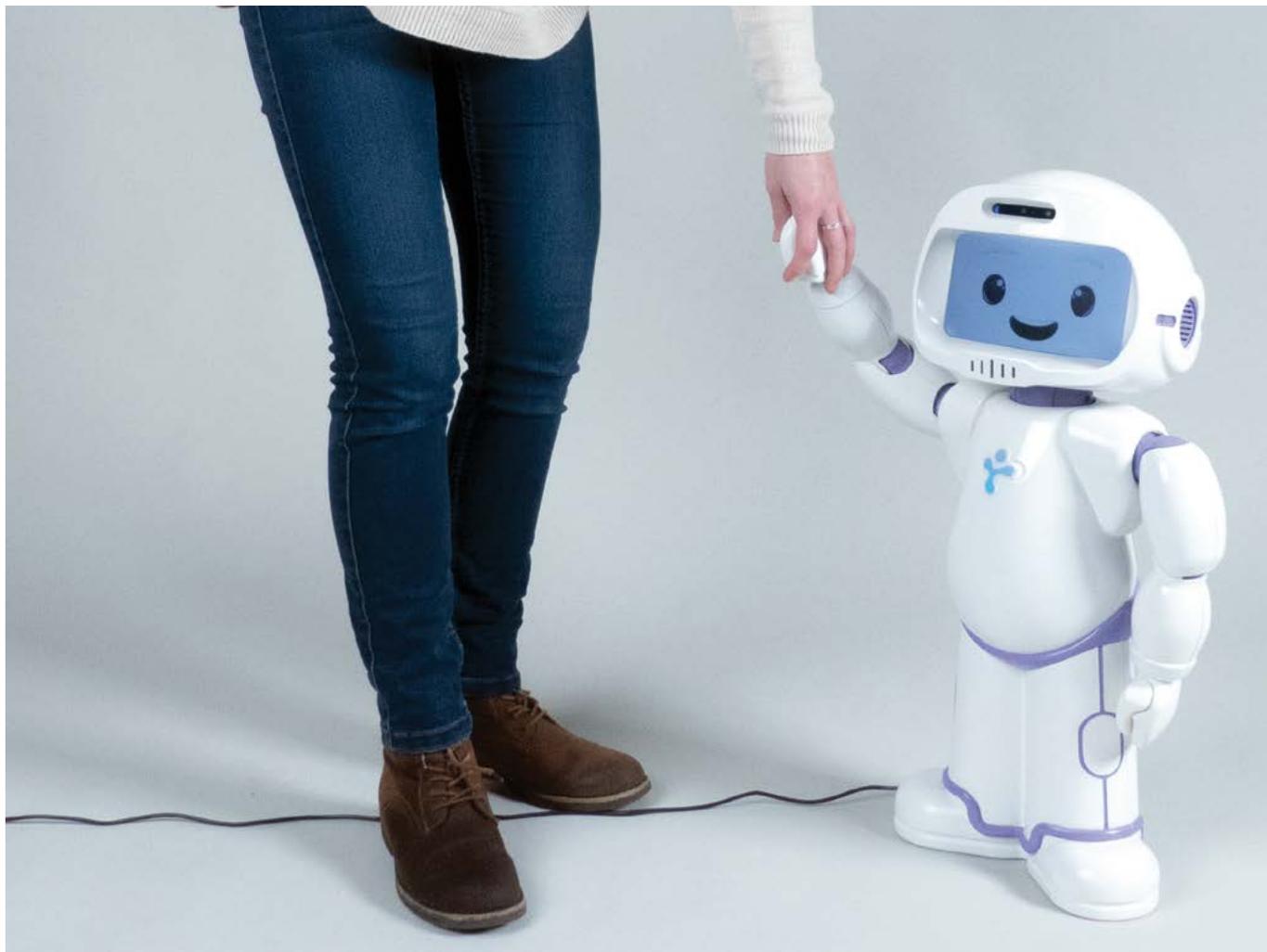
[www.kronen.eu/jobs](http://www.kronen.eu/jobs)

**KRONEN**<sup>®</sup>  
DIE KRONE FÜR FRISCHE

Wir verstehen uns als **Ideenwerkstatt:**  
[www.kronen.eu/forschung](http://www.kronen.eu/forschung)

Wir schätzen und fördern unsere Mitarbeiter\*innen. Gemeinsam entwickeln wir uns stetig weiter. Auch deswegen sind wir so erfolgreich. Sympathisch, verantwortungsbewusst, innovativ. Das passt? Wir freuen uns auf deine Bewerbung.

# Affective and Cognitive Institute [ ACI ]



Der kleinkindähnliche QTrobot ahmt menschliches Verhalten nach. Er wird in der Forschung im Bereich Mensch-Roboter-Interaktion eingesetzt.

Das Affective & Cognitive Institute – ACI ist ein an der HSO fakultätsübergreifendes Forschungsinstitut der Human-Computer-Interaction (HCI). Das Team entwickelt Assistenztechnologien und erforscht die Wahrnehmung und Integration sozialer Roboter. Gamification, Affective Computing und Augmented Reality bilden die Schwerpunkte der Arbeit.

Gamification – der Einsatz spielerischer Methoden – motiviert Anwenderinnen und Anwender bei der Durchführung ihrer Aufgaben. Durch Emotionserkennung, zum Beispiel über Mimikanalysen, können die Systeme zudem auf Gefühle der User reagieren. Mit interaktiven Projektionen (Augmented Reality) und virtueller Realität wird die Bedienung intuitiver gestaltet.

Zudem verfolgt das ACI in seiner Arbeit die Entwicklungen sozialer Roboter. In Befragungen und Interviews erforscht das Team, wie

soziale Roboter von der Gesellschaft wahrgenommen und akzeptiert werden. Die gewonnenen Erkenntnisse helfen, soziale Roboter zu designen und entwickeln, die in Aussehen und Funktionsumfang reale Bedarfe adressieren.

Das ACI steht für eine nutzerzentrierte Konzeption und Entwicklung. Das im Januar 2023 gestartete KomIn2Assist ist das jüngste Projekt des Instituts. Ziel ist die Entwicklung eines Assistenzsystems, das Menschen mit Beeinträchtigungen bei der Arbeit unterstützt. Textbasierte Interaktionen stellen kontextbewusst Wissen und Coaching bereit und stärken so Kompetenz, Autonomie und Selbstvertrauen. KomIn2Assist wird vom BMBF im Programm Innovative Arbeitswelten im Mittelstand gefördert.

*Institutsleitung*  
*Prof. Dr. phil. Oliver Korn*

# Geschüttelt, nicht gerührt

## VR Studie

1968 entwickelte Sutherland das erste immersive VR-Headset, doch es vergingen Jahrzehnte, bis diese Technologie eine breite Anwendung fand. Kommerzielle Produkte wie die „Oculus Go“ machten Head-Mounted-Displays (die „Tore“ zu virtuellen Welten) in den letzten Jahren ubiquitär. In der dargestellten Studie untersuchte das Affective & Cognitive Institute mit der TU Darmstadt die Effekte simulierter Bewegung auf Cybersickness, ein inhärentes Problem virtueller Umgebungen.

*The presented work investigated the effects of supplementary minimal rotational motion (MIROMO) cues (pitch and roll +/- 6°) on Cybersickness (CS) and presence in a lean-back HMD-based VE with the help of a motion platform called eMotion Seat. Based on a between-subjects design, we compared perceived CS and presence in a study with 43 healthy participants with the help of the physiological indicators Galvanic Skin Response (GSR) and Heart-Rate-Variability (HRV) as well as the Simulator Sickness Questionnaire (SSQ) and the Igroup Presence Questionnaire (IPQ).*

## Einführung

1968 entwickelte Ivan Sutherland das erste voll immersive Virtual Reality Headset, doch es sollten Jahrzehnte vergehen, bis diese Technologie schließlich breite Anwendung fand. Erst kommerzielle Produkte wie die „Oculus Go“ oder „HTC Vive“ machten sog. Head-Mounted-Displays (HMDs), die „Tore“ zu immersiven virtuellen Welten, in den letzten zehn Jahren ubiquitär. Heute sind die Potenziale dieser Technologie für Industrie und Gesellschaft unumstritten. Nicht zuletzt wird Virtual Reality als eine Querschnittstechnologie diskutiert, die maßgeblich die nächste Generation des Internets, auch unter dem Schlagwort „Metaversum“ bekannt, beeinflussen wird. Ein inhärentes Problem von HMDs ist jedoch die sogenannte Cybersickness, ein Phänomen, das sich durch Symptome wie Übelkeit, Schwindel oder Kopfschmerzen auszeichnet. In der Literatur wird Cybersickness häufig mit einem Konflikt

zwischen visuellen, vestibulären und propriozeptiven Reizen in Verbindung gebracht. Dieser intra-sensomotorische Konflikt entsteht häufig dann, wenn sich Nutzer\*innen in virtuellen Umgebungen bewegen, sich in der realen Welt aber tatsächlich statisch an einem Ort befinden. Daher ist die Bewegungssimulation, die visuell wahrgenommene Bewegungsreize und vestibulär erfahrene Reize resynchronisiert, eine häufig diskutierte Methodik, um die beschriebenen Divergenzen zu minimieren. Wie stark oder komplex diese Bewegungssimulation allerdings auszusehen hat, um tatsächlich zu einer Mitigation der Cybersickness-Symptomatik zu führen, ist bislang ungeklärt. Gleichzeitig ist das vestibuläre System des Menschen leicht zu täuschen, was bereits die Simulation sanfter (Minimal Rotational Motions Cues = MIROMO Cues) Bewegungsreize vielversprechend erscheinen lässt.



Oliver Korn  
Prof. Dr.-phil.

Fakultät M, Leitung Institut ACI  
Human-Computer-Interaction &  
Gamification, Serious Games



Benjamin Schnitzer  
M.Sc.

Fakultät M  
Doktorand

Abb. 1:  
Ausschnitte aus dem virtuellen „Flug“ durch eine fiktive Landschaft



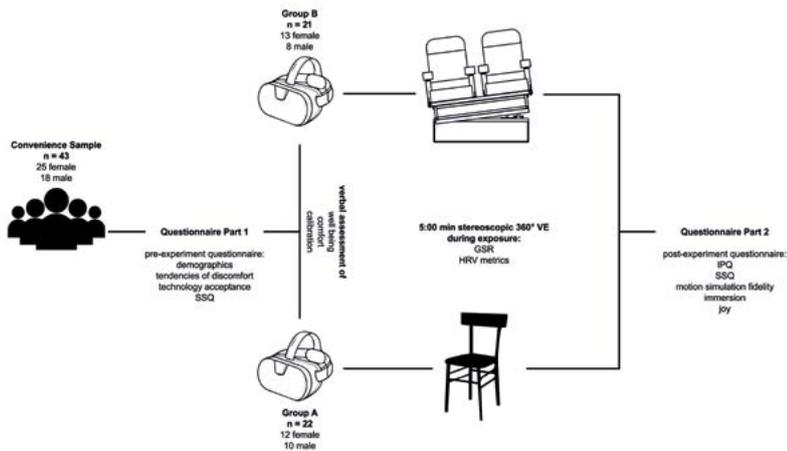


Abb. 2:  
Forschungsdesign

## Studie

In der folgend dargestellten Studie untersuchte das Affective & Cognitive Institute (ACI) der Hochschule Offenburg gemeinsam mit der Forschungsgruppe Serious Games der technischen Universität Darmstadt die Effekte synchronisierter Rotationsbewegungen (Pitch und Roll +/- 6°) auf Cybersickness in einer HMD-basierten virtuellen Umgebung. Hierbei kam ein Bewegungssimulator namens eMotion-Seat [1] zum Einsatz, mit dessen Hilfe sanfte Rotationsbewegungen mit einem fünfminütigen Flug durch eine virtuelle Umgebung synchronisiert wurden. Die hierfür speziell entworfenen Inhalte zeichnen sich dabei durch Eigenschaften aus, die bekannt dafür sind, Cybersickness entstehen zu lassen. Darunter zählen beispielsweise Überkopfbewegungen sowie stark variierende Höhen- und Geschwindigkeitsprofile.

Abb. 3:  
Links, Probandin auf dem eMotion Seat (li), Probandin aus der Kontrollgruppe auf einem herkömmlichen Stuhl (re)

Basierend auf einem Between-Subjects-Design wurde so die wahrgenommene Cybersickness in einer Studie mit 43 Teilnehmer\*innen verglichen. Die Studie fand im Zeitraum zwischen Januar und Mai 2022 in



den Räumlichkeiten des ACI statt. Ein häufig eingesetztes Instrument zur Erfassung von Cybersickness ist die sogenannte Simulator Sickness Questionnaire (SSQ), ein Fragebogen, der 16 Symptome auf einer Skala von 1 (keine Symptomatik) bis 3 (schwere Symptomatik) erfasst. Problem dieses Instruments liegt jedoch in der subjektiven Natur von Fragebögen. So variiert die Wahrnehmung beziehungsweise Resilienz gegenüber bestimmten physiologischen Extremen stark zwischen einzelnen Probanden. Während einige Teilnehmer\*innen den Schweregrad der Symptome absichtlich herunterspielen könnten, um nicht schwach zu erscheinen, könnten andere sehr empfindlich auf die audio-visuellen Reize reagieren. Daher wurden neben der Befragung objektive Messungen der elektrodermalen Aktivität (Hautleitwiderstand) beziehungsweise der Herzfrequenzvariabilität vorgenommen.

## Ergebnisse / Zusammenfassung

Tatsächlich führten die Ergebnisse der Befragung nicht zur Annahme der ursprünglichen Hypothese, dass die Simulation sanfter Rotationsbewegungen (Pitch & Roll +/- 6°) zu einer Mitigation des intra-sensomotorischen Konflikts beziehungsweise der Cybersickness-Symptomatik führe. So konnte auf Basis der Fragebogenergebnisse kein signifikanter Unterschied bezüglich der wahrgenommenen Cybersickness festgestellt werden. Gleichzeitig konnte ein signifikanter Unterschied bei physiologischen Messungen zwischen den beiden Versuchsgruppen identifiziert werden. Dieser Unterschied des gemessenen Hautleitwiderstands und der Herzfrequenzvariabilität gepaart mit signifikanten Korrelationen zwischen physiologischen Messungen und selbstberichteten Cybersickness-Scores zeigten einen verstärkenden Effekt der Symptomatik durch die Bewegungssimulation. Unsere Ergebnisse hinterfragen somit kritisch die Evaluation von Cybersickness mit Fragebögen und dabei insbesondere die Verwendung des häufig genutzten "Simulator Sickness Questionnaire". Darüber hinaus sollen diese Ergebnisse künftige Forschungsbemühungen dazu anregen, die Auswirkungen zusätzlicher Bewegungssimulation außerhalb des genutzten Bewegungsradius (Pitch und Roll +/- 6°) zu untersuchen.

Referenzen/References:  
[1] [www.binary-worlds.com](http://www.binary-worlds.com)

**JUNKER  
GROUP**

Beste Voraussetzungen

für eine erfolgreiche Zukunft

Werde Teil eines erfolgreichen Teams, ganz gleich ob du dich für eine Ausbildung oder ein DH-Studium entscheidest.

**Wir suchen Auszubildende (m/w/d)**

- Industriekaufmann
- Industriekaufmann mit Zusatzqualifikation  
Internationales Wirtschaftsmanagement mit Fremdsprachen
- Mechatroniker
- Industriemechaniker
- Elektroniker für Betriebstechnik
- Technischer Produktdesigner

**Wir suchen Studenten (m/w/d)**

- DH-Student Maschinenbau
- DH-Student Mechatronik
- DH-Student Informationstechnik
- DH-Student Wirtschaftsinformatik

Für einen perfekten Start ins Berufsleben bieten wir ein zu Deinen Kompetenzen und Fähigkeiten optimal passendes Jobprofil, das vollkommen neue Zukunftsperspektiven eröffnet.

[junker-group.de/karriere](http://junker-group.de/karriere)



Mitgestalten

# A Gamified App to combat Students' Loneliness



Oliver Korn  
Prof. Dr.-phil.

Fakultät M, Leitung Institut ACI  
Human-Computer-Interaction &  
Gamification, Serious Games

Die zweijährige COVID-19-Pandemie wirkte sich auf die psychische Gesundheit von Hochschulstudenten aus. Die Hochschule Offenburg entwickelte eine App, um die Einsamkeit und die psychische Gesundheit der Studierenden durch eine Online-Plattform mit Spielen zu verbessern. Teilnehmende, die die App in einer sechswöchigen Studie nutzten, waren weniger einsam; auch Depressionen und Stress wurden reduziert.

*The absence of meaningful personal contact during the two-year COVID-19 pandemic impacted on the mental health of young university students. The Offenburg University's Affective & Cognitive Institute developed the gamified digital intervention Noneliness App to address student's loneliness and mental health through a social online platform. A 6-week study was conducted with students to verify the app's efficacy and usability. Participants who used the app experienced a moderate loneliness reduction; depression and stress were also strongly reduced. Potential design and institutional use recommendations for such an application could also be outlined.*



Philipp Yorck Herzberg  
Prof. Dr. rer. nat

Helmut Schmidt University  
Personality Psychology,  
Psychological Diagnostics

## Introduction

Everyone has experienced loneliness at some point in their lives, at some intensity and for some time. That moment we find ourselves helpless when we see our parents leaving on our first day at school. The sense of not belonging when moving to a new city, neighborhood, or country. The end of a relationship or the death of someone important to us. Loneliness has always been there, deeply asleep, and usually arises when we find ourselves deprived of meaningful social relationships – a social hunger, as defined by Cacioppo et al. [1].

The two-year pandemic of COVID-19 is the most recent episode that led thousands of people worldwide to experience such emotional distress. According to a 2021 European Commission report, the proportion of young people who reported feeling lonely nearly quadrupled in the first half of 2020 [2]. University students were among the groups most significantly impacted by the pandemic scenario as they were unable to fulfill their expectations of university life (e.g. attending face-to-face classes, bonding with campus members, etc) [3].

On the other hand, to mitigate the consequences of both pandemic and post-pandemic periods, educational institutions adopted online strategies to assist students. The University of Gdańsk, for instance, created a 24-hour psychological support program organized by psychologists to help students through Skype calls during the first three months of the pandemic [4]. Mental health apps have also been explored in universities as a means to aid psychological and emotional well-being, such as the Nod app, designed to prevent loneliness among first-year college students based on positive psychology [5]. In line with these technological initiatives, the Noneliness App (Beta), a gamified social mobile app was developed by the Affective & Cognitive Institute (Offenburg University) in the context of Rogério Bordini's PhD research. The project involved building a collaborative local network of users (students and university staff) that could act as active listeners in order to offer counseling and general support by using gamified elements. The research aimed at investigating if the adopted app design approaches, functionalities and intervention strategies could be effective at reducing loneliness in university students.



Rogério Augusto  
Bordini, M.Sc.

Institut ACI  
PhD Candidate

## The Noneliness App

The app's both user interface (UI) and usefulness (Fig. 1) were designed following recommendations on design of high-efficacy mental health mobile apps [6] and loneliness reduction interventions through digital technology [7]. The resource's features are based on: Quests, tasks for someone in the community who needs help, either material, emotional or educational; Events, option which allows users to join or create a local event for a certain activity at a specified time and location; Chats, social interaction spaces through public or private encrypted text messaging; Gratitude Points (GPs), points to demonstrate appreciation to the users' messages contents by assigning a point to a particular post in the chat; Level Progression, degree of experience users have through social interactions; Shop, option for purchasing items using GPs, such as stickers for chats, picture frames, new chat backgrounds and gifts to friends; and Achievements, badges that can be earned every time the user reaches specific parameters through social interactions (e.g., donating a certain number of GP, Fig. 2), into the Noneless App section.

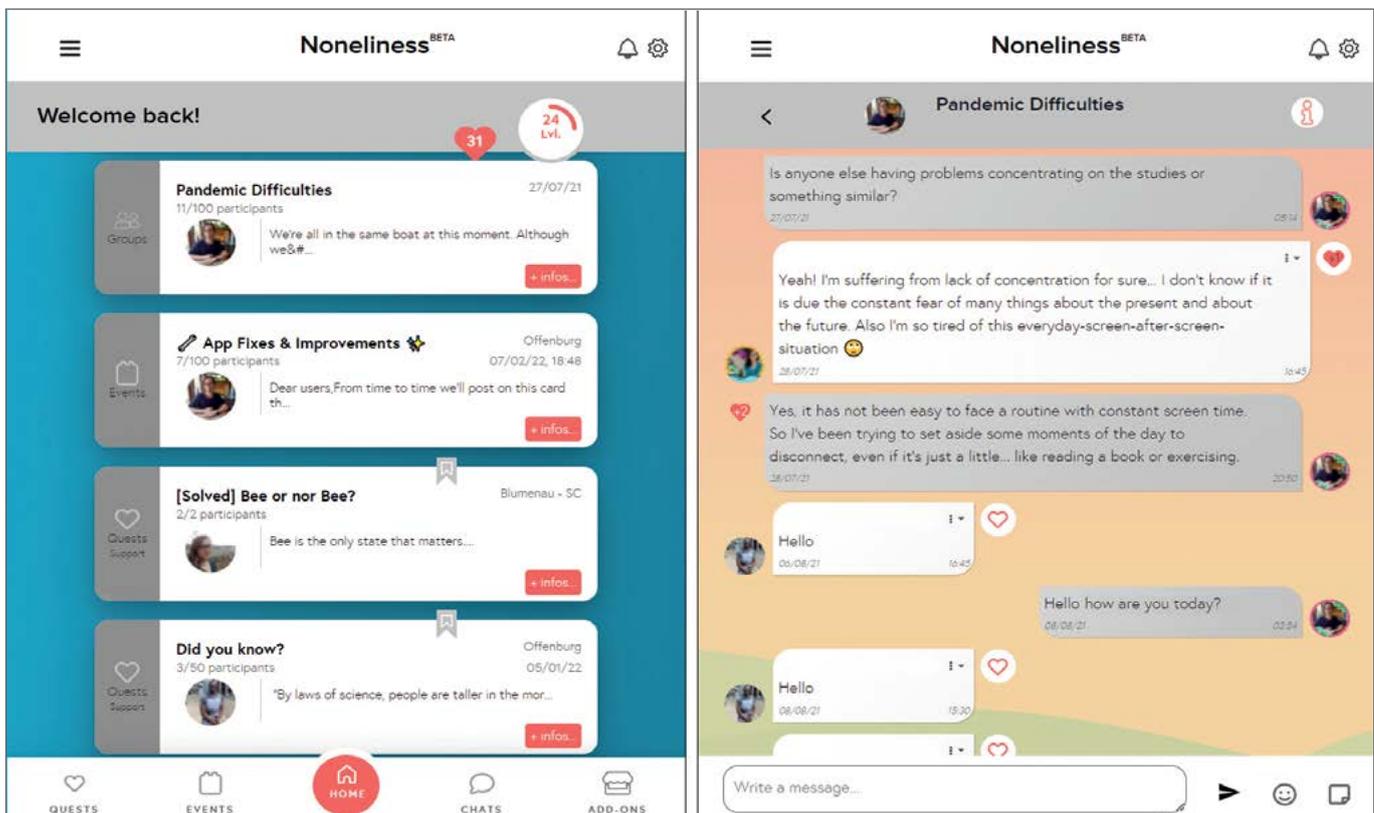
The design of these features was based on evidence related to possible practices to address loneliness [8], such as providing greater social opportunities for students' integra-



Fig. 2: Achievements screen with indication of the social actions to achieve them

tion, creating stronger bonds among international and local students, raising awareness about on-campus psychological services and strengthening connections with local health services [9]. The app was also designed following sets of recommendations on gamification in mental health and well-being to promote engagement and support both for those who seek assistance and those willing to help [10].

Fig. 1: Noneliness App screens: Home on the left and Chat on the right



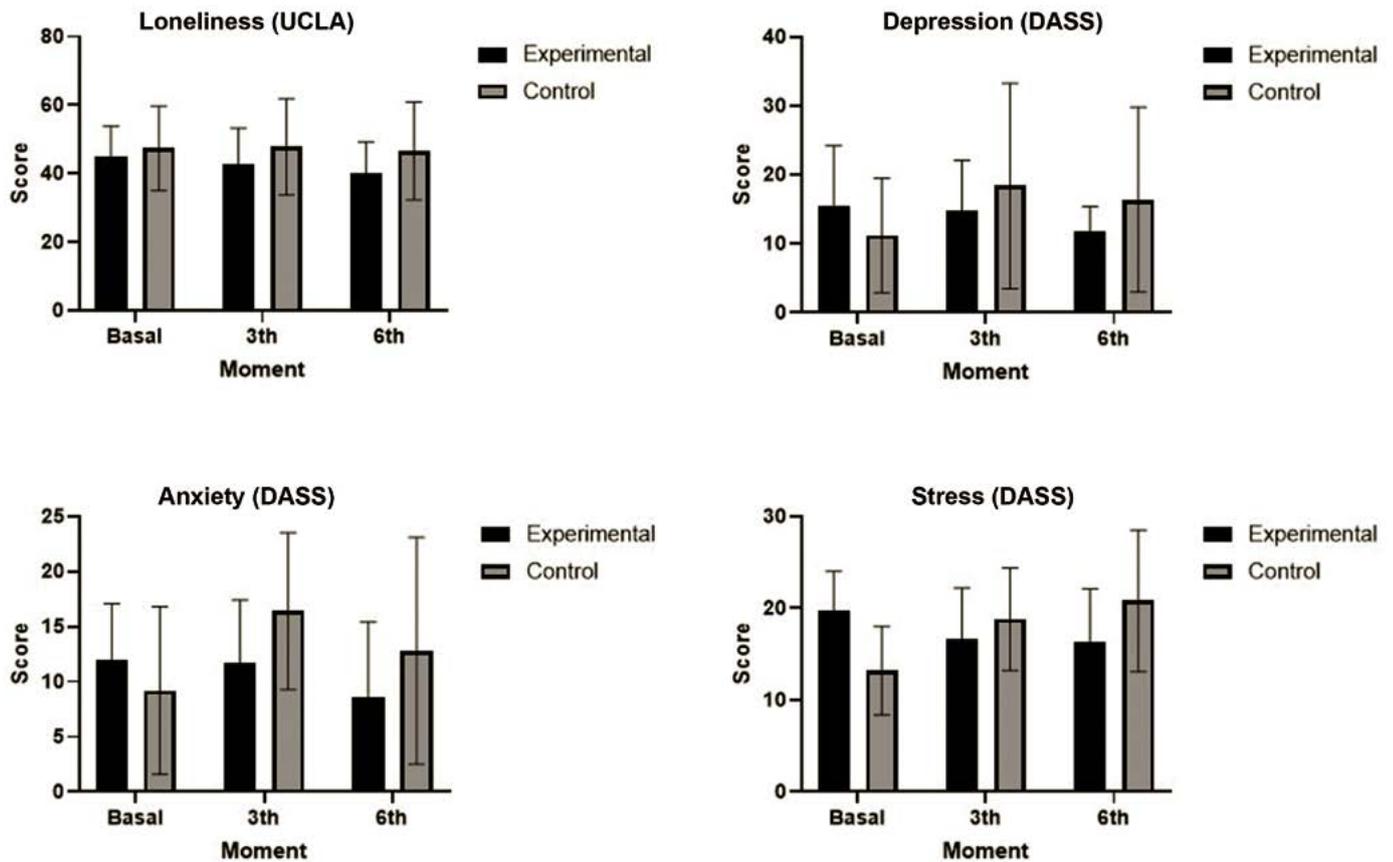


Fig. 3: Scoring changes of the experimental and control group over six weeks of intervention (ANOVA Two-Way)

Following iterative interface and usability evaluations with the target audience (Offenburg University students) [11], a 6-week pilot randomized controlled trial (RCT) with 12 institution's students (6 female, mean age 26.3) suffering from moderate to severe loneliness was conducted in 2022 to test the app's safety, identify side effects and potential efficacy. Participants were divided into two groups: experimental (daily use of the Noneliness App) and control (no app access). Five-point psychometric scales with open-ended questions to assess loneliness [12], and depression, anxiety, stress [13], and usability were sent to participants in the first (baseline), third, and sixth weeks to verify the variation of the points over time.

### Key Findings

Due to the nature of a pilot study with smaller groups, the results did not indicate any statistically significant impacts as expected. However, analysis of rating changes in the experimental group over the weeks demonstrated moderate magnitude changes on loneliness (Fig. 3) and relatively strong on other associated variables, such as depression, anxiety and stress [14]. In addition to

these findings motivating new studies with larger sample sizes, this evidence also points to a potential app's efficacy not only to reduce loneliness, but also other variables that may be associated with the distress.

Regarding the functionalities that brought more acceptance by the participants were related to social interactions, Events, Groups and Chats showed greater acceptability, precisely because they facilitated social interaction among users. Although gamification aspects such as Gratitude Points, Level Progression and Achievements had a good acceptability, options such as Quests and Shop did not raise as much interest as their purposes were based on brief interactions (e.g. answering a quick question or sending a sticker to a person). Qualitative data showed that most students used the resource as a sociable space in which they felt more comfortable to share personal issues and receive guidance. Even if some did not use the app on a regular basis for social interaction, their statements imply that the presence of an online support environment helped them to cope with feelings of loneliness.

Potential recommendations for the future design and use of an application to reduce loneliness among university students could also be outlined: 1) use of minimalist and discreet colored UIs that bring ready access to the app's main functionalities and avoid unnecessary distractions; 2) exploration of gamification and socialization features that motivate cooperation and social interaction among university community members, through functionalities that help foster gratitude, sense of progress and connections that can be transferred and reinforced in the physical world; 3) ensure users' identities and personal information protection through encryption mechanisms, both for private communication and data storage; 4) establish well-defined conduct rules to ensure both mutual respect between users and promote trust, acceptability and empathy and; 5) include periodic app checks in the working hours of university staff (especially psychological practitioners and international center members) to both extend communication (preferably in different languages) and listen to students actively. These practices would potentially reduce the gaps between the social hierarchies in the university community, foster belongingness and, consequently, diminish loneliness among students.

## Future Work

As the next steps of the project, the None-liness App will receive improvements concerning the overall usability and gamification aspects. They will be improved according to the participant's suggestions, such as offering new functionalities in the Chats (e.g. voice messages, images' attachment), incorporating clearer explanations to the Quests and rethinking the Shop function. As the pilot RCT study conducted with the app's Beta version brought important data regarding the required sample size to obtain more evidence about the resource's effectiveness, a main RCT should be conducted in 2023.

## Acknowledgements

This work was supported by the Deutscher Akademischer Austauschdienst (DAAD) [grant number: 57381412]; the Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) [grant number: 001].

### Referenzen/References:

- [1] Cacioppo, J. T., Hawkley, L. C., Crawford, L. E., Ernst, J. M., Burleson, M. H., Kowalewski, R. B., Malarkey, W. B., Van Cauter, E., & Berntson, G. G. (2002). Loneliness and health: potential mechanisms. *Psychosomatic medicine*, 64(3), 407–417. <https://doi.org/10.1097/00006842-200205000-00005>
- [2] Baarck, J., Balahur-Dobrescu, A., Cassio, L.G., D'hombrès, B., Pasztor, Z. and Tintori, G. (2021). Loneliness in the EU -insights from surveys and online media data, EUR 30765 EN, Publications Office of the European Union, Luxembourg, ISBN 978-92-76-40247-3, doi:10.2760/46553
- [3] Villani, L., Pastorino, R., Molinari, E., Anelli, F., Ricciardi, W., Graffigna, G., & Boccia, S. (2021). Impact of the COVID-19 pandemic on psychological well-being of students in an Italian university: A web-based cross-sectional survey. *Globalization and Health*, 17(1). <https://doi.org/10.1186/s12992-021-00680-w>
- [4] Rudnik, A., Anikiej-Wiczenbach, P., Szulman-Wardal, A., Conway, P., & Bidzan, M. (2021). Offering psychological support to university students in Poland during the COVID-19 Pandemic: Lessons learned from an initial evaluation. *Frontiers in Psychology*, 12. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2021.635378>
- [5] Bruehlman-Senecal, E., Hook, C. J., Pfeifer, J. H., FitzGerald, C., Davis, B., Delucchi, K. L., Haritatos, J., & Ramo, D. E. (2020). Smartphone app to address loneliness among college students: Pilot randomized controlled trial. *JMIR Mental Health*, 7(10), e21496. <https://doi.org/10.2196/21496>
- [6] Chandrashekar P. (2018). Do mental health mobile apps work: evidence and recommendations for designing high-efficacy mental health mobile apps. *mHealth*, 4, 6. doi:10.21037/mhealth.2018.03.02
- [7] Bakker, D., Kazantzis, N., Rickwood, D., & Rickard, N. (2016). Mental health smartphone apps: Review and evidence-based recommendations for future developments. *JMIR Mental Health*, 3(1), e7. <https://doi.org/10.2196/mental.4984>
- [8] Masi, C.M, Chen, H.Y., Hawkley, L.C., Cacioppo, J.T. (2011). A meta-analysis of interventions to reduce loneliness. *Personal Soc Psychol Rev.* 2011;15(3):219–266. doi: 10.1177/1088868310377394.
- [9] Vasileiou, K., Barnett, J., Barreto, M., Vines, J., Atkinson, M., Long, K. S., Bakewell, L. Lawson, S., and Wilson, M. (2018). Coping with loneliness at University: A qualitative interview study with students in the UK. *Mental Health & Prevention*. 13. 10.1016/j.mhp.2018.11.002
- [10] Cheng, V. W. S. (2020). Recommendations for implementing gamification for mental health and wellbeing. *Frontiers in Psychology*, 11. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2020.586379>
- [11] Bordini, R. A., Münscher, J.-C., Hagos, S., Hornig, J., Gampe, S., Yaman, B., Herzberg, P. Y., Korn, O. & Baumgartner, K. (2021). Strangers in a Strange Land: Designing a Mobile Application to Combat Loneliness and Isolation Among Foreign University Students. *Journal of Technology in Behavioral Science*. 6. 10.1007/s41347-020-00171-6
- [12] Russell, D. W. (1996). UCLA Loneliness Scale (Version 3): Reliability, validity, and factor structure. *Journal of Personality Assessment*, 66(1), 20–40. [https://doi.org/10.1207/s15327752jpa6601\\_2](https://doi.org/10.1207/s15327752jpa6601_2)
- [13] Lovibond, S. H., & Lovibond, P. F. (1995). Depression anxiety stress scales. *PsycTESTS Dataset*. <https://doi.org/10.1037/t01004-000>
- [14] Bordini, R. A. & Korn, O. (2022a). Strengthening Invisible Ties: Decreasing Loneliness Indices of University Students Through a Gamified Mobile App. *ACM International Conference on Information Technology for Social Good (GoodIT)*, September 07th-09th, 2022, Limassol - Cyprus. doi: <https://doi.org/10.1145/3524458.3548489>

# INSTITUTE FOR TRADE AND INNOVATION [ IfTI ]



Minister Neil Gray,  
Prof. Andreas Klasen  
und Staatssekretärin  
Xiana Méndez beim  
IfTI-Symposium (vlnr)

Das Institut IfTI blickt erneut auf ein sehr erfolgreiches Jahr zurück. Wichtiges Thema war die Neuausrichtung beziehungsweise Fokussierung auf die Forschungsfelder „International Business“, „Public Support for Trade, Investment, Innovation and Climate Action“ sowie „Global Economic Governance“. Neben den Professoren Dr. Andreas Klasen, Dr. Philipp Eudelle und Dr. Mathias Bärthel von der Hochschule Offenburg (HSO) sind die Mitglieder Dr. Roseline Wanjiru (Northumbria), Prof. Dr. Richard Nyuur (Bradford), Dr. Simone Krumaker (Bayes, City, University of London) und Dr. Michael Stopfkuchen (HSO) an den umfangreichen interdisziplinären Aktivitäten des Instituts beteiligt.

Die IfTI-Mitglieder haben im Jahr 2022 die herausragende Zahl von 15 Publikationen vorzuweisen, darunter 11 in peer-reviewed Journals. Desweiteren führten sie zahlreiche Drittmittelprojekte durch, insbesondere mit Entwicklungsbanken und staatlichen Export-

kreditversicherern. Darüber hinaus gab es diverse Vorträge und Veranstaltungen mit Beiträgen von IfTI-Mitgliedern, unter anderem bei der OECD, beim OPEC Fund for Development, bei der Berner Union sowie bei einem Exportworkshop der japanischen Regierung mit der Afreximbank.

Ein weiteres Highlight im Mai war die dritte internationale Konferenz „IfTI Global Symposium 2022“ zu den Themen Export- und Klimafinanzierung. Mehr als 130 Teilnehmende aus über 25 Ländern waren bei der Veranstaltung dabei, unter ihnen auch viele hochrangige Gäste wie Staatssekretär Volker Schebesta, Minister Neil Gray von der schottischen Regierung, die spanische Handelsstaatssekretärin Xiana Margarida Méndez Bértolo sowie OECD-Direktorin Dr. Marion Jansen.

*Institutsleitung*  
Prof. Andreas Klasen LL.M. MLitt DBA

# The „safe haven“ for export credits

Der Artikel diskutiert die dringend notwendige Reform des rechtlichen Rahmens des staatlichen Exportkreditsystems, um einen neuen und umfassenden „safe haven“ für staatliche Exportkredite zu schaffen. Ziel ist, die komplexe Debatte über Regelungen der Welthandelsorganisation (WTO) und der Organisation für wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung (OECD) zu analysieren und einen Bezugspunkt für künftige Debatten über die „Carve-out-Klausel“ des Subventionsübereinkommens (ASCM) und den „safe haven“ im weiteren Sinne zu ermöglichen.

*This article aims to draw attention to an urgent need for reform of the regulatory framework of the broader export credit system in order to ensure a new and comprehensive “safe haven” for officially supported export credits. The purpose is to analyse the complex debate on disciplines of the World Trade Organization (WTO) and the Organisation for Economic Co-operation and Development (OECD), creating a point of reference for future analysis of and debates around the “carve-out clause” of the Agreement on Subsidies and Countervailing Measures (ASCM) and a “safe haven” in a broader sense.*

The global economy in the 21<sup>st</sup> century would not exist but for a complex framework of institutions, rules and regulations, which international organisations, governments, and the private sector have created over the last 70 years. Growing out of the General Agreement on Tariffs and Trade (GATT) in 1995, it is the aim of the World Trade Organization (WTO) to support manufacturers, services providers and thus exporters and importers to conduct their business. In providing legal rules for international commerce, the overall purpose is to support cross-border trade flow by removing obstacles and ensuring transparent and predictable rules of global trade. The international trade regime today has a strong legal basis, a sustainable organisational structure, and an effective dispute settlement process. Furthermore, the Organisation for Economic Co-operation and Development (OECD) plays a crucial role for the broader trade regime. In particular, the Arrangement on Officially Supported Export Credits (the Arrangement) provides a regulatory framework for the orderly use of officially supported export credits. From a trade law perspective, as well as from a global economic governance perspective, the unsettled relationship and unclear reciprocity between the Agreement on Subsidies and Countervailing Measures (ASCM) and the Arrangement play a crucial role, circling around the “safe haven”. In addition, challenges are

closely connected to the inability of the OECD to include emerging economies such as China and India, and the intense discussion about the modernisation of the regulatory framework of the broader export credit system.

## The World Trade Organization Subsidy Framework

The ASCM of the WTO addresses multilateral disciplines regulating the provision of subsidies (as well as countervailing measures). Articles 1 and 2 of the ASCM define the concept of subsidy and specificity in order to strengthen and improve GATT disciplines relating to the use of both subsidies and countervailing measures. The definition includes three elements, i.e., (i) a financial contribution, (ii) by a government or any public body within the territory of a member of the WTO, (iii) which confers a benefit. In order for a subsidy to exist, all three elements must be satisfied. A financial contribution can be a direct transfer of funds such as grants, equity or loans. The ASCM also includes potential direct transfers of funds or liabilities such as financial guarantees and insurance. In addition, fiscal incentives, the provision of goods or services other than general infrastructure, as well as the purchase of goods can be defined as a financial contribution. Furthermore, the financial contribution must be attributed to a government or a pu-



Andreas Klasen  
Prof. LL.M. MLitt. DBA

Fakultät W, Wissenschaftliche Leitung Institut ifTI  
Int. Betriebswirtschaft



Bob Jennekens  
Lecturer

Faculty of Law, Maastricht University, Maastricht, The Netherlands

blic body such as a public development bank or government agency. The ASCM also includes measures of sub-national governments as well as state-owned companies. In short, all possible incarnations of the state are covered. Unless there is a “benefit conferred” by the financial contribution, it is not a subsidy. If and when financial contributions have made recipients “better off” than they would otherwise have been, for example in a case of a subsidised loan, this benefit exists. “Specificity” of a financial contribution by a government or any other public body is a condition both for unilateral and multilateral actions against subsidies.

## The Arrangement on Officially Supported Export Credits

The main purpose of the Arrangement is to provide a regulatory framework for the orderly use of officially supported export credits. Art. 1(2) mentions that the Arrangement seeks to foster a level playing field, preventing a race to the bottom by taking away the possibility to provide officially supported export credits below a minimum level set by the Arrangement. It is a gentlemen’s agreement between Australia, Canada, the EU, Japan, Korea, New Zealand, Norway, Switzerland, Turkey, the UK and the US (Art. 3 Arrangement). Despite missing formal treaty status, research shows that Participants comply with Arrangement. The scope of application is official support provided by or on behalf of a government, for example via export credit guarantees or insurance (“pure cover”), as well as direct credit/financing, refinancing, or interest rate support. The Arrangement does not only contain interest rate provisions but also has, for example, rules on down payments (Art. 11), maximum repayment terms (Art. 12), minimum premium rates (MPRs) for credit risk (Art. 22), and inter-Participant transparency (Part 4). Furthermore, there are articles that regulate actions Participants can take if countries do not abide by the Arrangement rules. In particular, there is a matching process included in Art. 19 and Art. 40 of the Arrangement. Matching allows Participants to measure up to the terms of officially supported export credits from another participant or a non-Participant outside of the terms of the Arrangement.

## Export Credits, the ASCM and the Arrangement

Many governments focus on internationalisation and export-led growth policies. The standard principle is that an export credit

agency (ECA) is not competing with commercial institutions in the provision of financing or insurance and. However, there can be a benefit as the financial contribution of an ECA might make the exporter “better off” as shown by the Appellate Body in Canada-Aircraft when developing the “private investor test”. “Pure cover” support, i.e., guarantees or insurance, is mentioned in Annex I item (j) of the ASCM. Export credit guarantee or insurance programmes by official ECAs thus might constitute prohibited subsidies under Annex I item (j) of the ASCM which can be countervailable. Item (k) indicates officially supported export credits, i.e., direct credit/financing or refinancing, or interest rate support, as a type of illegitimate state aid conduct being inherently trade distorting. However, Annex I item (k) of the ASCM also includes a rare exemption, saving export credits when they are compliant with the relevant interest rate provisions of the Arrangement. This is the only exception mechanism applicable to export credits and has often been labelled in the past as the “safe harbour”.

## How safe is a “Safe Haven” in a broader sense?

The key question is how “safe” a comprehensive and broader “safe haven” is. To answer the question, five main legal and economic governance areas must be analysed: (i) the “carve-out clause”; (ii) the application for “pure cover”; (iii) the relationship between matching under the Arrangement and WTO compliance, (iv) the treatment of pre-export ECA support, as well as (v) subsidies and climate action.

## Carve-out Clause, Long-term Performance and Matching

Looking at the application of the “carve-out clause”, there is a common understanding that Annex I item (k) of the ASCM has to be interpreted narrowly in fact and law. It only deals with direct credits and interest rate support. The “safe haven” in a narrow sense and the exception it provides is available only for export credit support to which interest rate provisions of the Arrangement are applicable. However, the exception extends beyond the mere Participants to the Arrangement – it is relevant for any WTO member. It can be invoked in dispute settlements not only by Participants but also by non-Participants such as Brazil, China or India. The most relevant form of officially-supported export credits is not direct credits but insurance and guarantees (covered in Annex I item (j) of the ASCM). The prevail-

ling opinion is that there is no relief from the “safe haven” in a narrow sense for pure cover support when ECAs offer abstract undertakings to pay to exporters on terms better than could be secured at market, as Annex I item (k) does not include export credit guarantee or insurance programmes. Long-term operating costs and losses of pure cover support programmes thus must be covered by adequate insurance or guarantee premiums, applying a “net cost-to-government standard” rather than a “benefit-to-recipient standard.” This is in line with the spirit of the Arrangement, which advocates additionality to the market and operates on MPRs. However, a breach of the ASCM can be established by evaluating the long-term performance of the programme in its entirety with respective evidence. Export credit support thus might not be WTO-consistent, even where it conforms to MPRs of the Arrangement due to a lack of a legally binding benchmark.

### Pre-export Support and the Arrangement

It is a challenge that term loans, mezzanine financing, equity and working capital guarantees granted by or on behalf of a government to exporters or their banks fall outside the Arrangement’s scope. Although these instruments are now provided to exporters by many ECAs, term loans, mezzanine financing or equity are not export credits in terms of the Arrangement. The same applies for working capital guarantees covering the exporter’s default. There is no need that a concrete export transaction exists when providing the respective instrument to the exporter or the exporter’s bank. Furthermore, there is no contractual relationship between the lender or guarantor and the foreign buyer. However, most ECAs only support exporters with the financing solutions described above, thus providing loans, guarantees or insurance contingent, in law or in fact, on export performance. As a consequence, there is no “safe haven” for this support as the Arrangement does not create a defence to export subsidy claims in a WTO dispute.

### Subsidies and Climate Goals

Based on climate finance-related mandates, many ECAs introduced ambitious climate strategies in recent years. Several institutions pledged commitments to net zero. Export Development Canada (EDC) was the first agency to announce its commitment by 2050. The strategy of South Korea’s export-import bank

also includes a net zero commitment, as well as ambitious quantitative climate targets. UK Export Finance committed to net zero by 2050 across its portfolio and operations. ECAs also created new or significantly amended existing products for climate finance. However, public climate finance such as support for renewable energy is a challenge from a trade law perspective. WTO law has no specific dispensations or does not provide a special code for green industrial policy. New export-related financing for climate change mitigation or adaptation currently developed by Participants outside the Arrangement such as green innovation guarantees for exporters can create significant risks of new WTO trade disputes, again without any “safe haven”.

### Creating a new and comprehensive “Safe Haven”

Limitations of the application of the “safe haven” only for financing, refinancing and interest rate provisions, ongoing uncertainty concerning the interplay between WTO regulations and Arrangement provisions with regard to “pure cover”; the challenge of two fundamentally different sets of disciplines with a binding dispute settlement, subsidies and a “notice and match” principle without formal enforceability, growing pre-export ECA being outside of the Arrangement scope, as well as growing activities combining officially-supported export credits with climate action goals lead to an urgent need for a new and comprehensive “safe haven.” This is also due to the fact that the Arrangement was written at a time when the Participants were - by far - the largest providers of officially supported export credits in the world. With new global players such as China and India taking up an increasing share of officially supported exports, this urgent need resulted in two parallel tracks of Arrangement modernisation or succession, the “IWG Track” and the “Modernisation Track”.

The “IWG Track” is, at its core, an expansion of the Arrangement by including new partners such as Brazil, China, India and South Africa into the regulatory umbrella. The aim of the IWG is to agree on a new set of international disciplines among the main global providers of government export credit support concerning financial terms and conditions for export credits. In 2020, however, technical negotiations were suspended, particularly mentioning a lack of commitment to transparency. In parallel, both Participants and interests

groups have taken it on themselves to review the Arrangement in order to preserve its relevancy. In addition to increased local cost provisions implemented in, there are ongoing discussions regarding relaxed repayment profiles, increased maximum repayment terms and more flexibility regarding down payments. In order to create a “safer haven” regarding just and equitable government support, the discussion around the implementation of a strong matching tool is most relevant.

## Concluding Remarks

After assessing the most present questions regarding WTO subsidy rules and the Arrangement, as well as the two tracks aiming to create a new and broader “safe haven”, there is evidence for an urgent need for reform of the regulatory framework for officially supported export credits. The most important (and ongoing) challenge is the existence of two interconnected but very different sets of disciplines. While the ASCM is a concise multilateral framework regulating the provision of subsidies and the application of countervailing measures to offset injuries with a binding dispute settlement mechanism, the “safe haven” provisions of Annex I item (k) only cover a relatively small part of officially supported export credits, i.e., direct credits and interest rate support. There is no explicit link to the Arrangement in Annex I item (j) of the ASCM, requiring interpretation regarding the objective and purpose of the Arrangement, which advocates additionality to the market and operates on MPR. This might be insufficient under WTO law, requiring a defence that the offering of such products covers an ECA’s costs of operation. Merging export credit disciplines in one forum under a larger umbrella would resolve this issue.

The WTO could be the right umbrella for these merged export credit disciplines following the arguments above, but the OECD also has its significant advantages. Transparency is one of the cores of the current Arrangement system, and without it, the Arrangement would function in a very different way. Comprehensive disciplines thus might be located at the WTO with a broad membership but with significant OECD input and Arrangement characteristics. We see an urgent requirement to create a common ground located at the WTO. IWG negotiations at the technical level are halted, making it difficult to expect a successor agreement at IWG level within a short time-

frame. If the IWG talks were to be resumed, the current “safe harbour” provision would require that the Participants officially disband the Arrangement and allow the result of the IWG to succeed it – or they would have to adopt the full text of the resultant agreement into the Arrangement after each negotiation round. It might not be a realistic scenario in the current political and economic environment, but a long-term objective should be to create a new and broad “safe haven” under a WTO umbrella. As an interim solution, a more efficient matching clause would allow Arrangement Participants to enforce disciplines within their own system. This would leave the WTO for any cases outside the “safe harbour” which are determined to be litigious under WTO procedural timeframes.

Looking at financing provided by government in a pre-export phase, these instruments are not covered by the Arrangement. The practice since the existence of the Arrangement shows that governments and ECAs now offer exporters a large amount of financing instruments such as working capital guarantees or term loans. Equity, debt or loan guarantee programmes do not follow Arrangement regulations. Policymakers thus should include provisions under a new umbrella in an “IWG Track”, in the Arrangement under the “Modernisation Track”, or in disciplines under a new and comprehensive “safe haven” WTO umbrella, as this would resolve this issue.

Lastly, climate-related activities are a key challenge to solve under an extended “safe haven”. Effective ECA climate finance requires a consistent policy framework and effective multilateral regulations including incentives under the Arrangement such as lower minimum pricing. However, creating new instruments for climate change mitigation and adaptation contingent on export can run into conflict with the WTO disciplines. It thus must be discussed how officially supported exports can be used in an appropriate way to fight climate change.

## Note

This contribution is a summary of the article provided by Jennekens, B. & Klasen, A. (2023) ‘How “safe” is the WTO “safe haven”? A need to modernise disciplines for officially supported export credits’ published in the *Journal of International Trade Law and Policy*, 22(1). The list of references is available in the article.

# Financing the Green Transition in Times of Crisis

Für Exporteure, Banken und Regierungen ist es eine große Herausforderung, die Ziele von Innovations-, Handels-, Investitions- und Umweltpolitik miteinander zu vereinbaren. Wie können öffentliche Hand und Banken zusammenarbeiten, um den globalen Übergang zu „Net-zero“ zu ermöglichen und zu beschleunigen? Welche Innovations-, Handels- und Investitionsmöglichkeiten gibt es für grünes Wachstum? Dieser Artikel fasst wesentliche Beiträge des IfTI Global Symposium 2022 zusammen.

*Making innovation, trade, investment and environment policy goals mutually supportive creates challenges for internationally-oriented firms, financial institutions, governments and other stakeholders. How can governments and the financial system work together to broaden, deepen, and accelerate the global transition to net-zero? What are innovation, trade and investment opportunities for green growth? The IfTI Global Symposium 2022 discussed challenges to trade in a new global order, as well as opportunities and threats of the green transition.*

Many governments have sought to implement and strengthen climate policies for the global pathway to net-zero emissions by 2050. In recent years, increased urgency has led to a broad range of policy approaches, strategic directions, and concrete government actions. Some economies such as Canada, Denmark, Japan and the United Kingdom have an overarching climate plan or strategy which systematically links industry strategies, targets, and actions. The British government, for example, sees the country as being well placed to bring trade and environmental agendas together, and to be a leader in decarbonisation and free trade. Spain is committed to incorporating sustainability as a cross-cutting vector in the design of public policies. In the area of trade policy, the growing relevance of sustainability is reflected in the Spanish support for the inclusion of sustainability in the negotiation of all trade agreements as a fundamental element. The same applies for the adaptation of instruments to encourage the financing of projects that contribute to the fight against climate change in both its mitigation and adaptation aspects.

Mandates of export-import banks (EXIMs) and public export credit agencies (ECAs) mostly focus on export-led growth while international bilateral and multilateral development banks' mandates traditionally revolved around development and poverty reduction.

Many public finance institutions also have a strong climate finance mandate. A clearly expressed climate mandate is a natural continuation of the increased focus on public export finance institutions, having to shoulder a special responsibility for delivering sustainability and help deliver positive impact of the financing provided that goes beyond supporting exports and national jobs. The difference is that governments are making it part of the mandate of institutions now and not just an additional add-on requirement, EXIMs and ECAs are expected to offer risk mitigation or a management tool, such as investment insurance, to facilitate more investment in green and energy transition spaces. There is also an expectation that the ECA, as a public institution, delivers more than just the financial product.

Examples of changing mandates are Korea, the United Kingdom, Canada and Denmark: The Export-Import Bank of Korea is an important actor for Korea's trade and climate policy, supporting the 'Korean New Deal 2.0' and its component 'Green New Deal'. UK Export Finance's new strategy focuses on an increase of support for clean growth, climate adaptation and resilience sectors, supporting global mitigation and adaptation efforts. Export Development Canada (EDC) plays a crucial role for the government's trade and climate policy. Other public finance institutions such



Andreas Klasen  
Prof. LLM MLitt DBA

Fakultät W, Wissenschaftliche Leitung Institut ifTI  
Int. Betriebswirtschaft



Mariane Søndergaard-Jensen, Senior Director

Senior Director Denmark's  
Export and Investment Fund  
(EIFO), Copenhagen, Denmark

as EKF Denmark's Export Credit Agency have an important and effective toolbox when it comes to accelerating and shaping development through financing and dealing with risk. However, to truly deliver on the green transition, all parts of government and society are needed to adapt.

## The Need for Global Governance

Unlocking and mobilising public (and private) finance is fundamental towards radically scaling climate action. On an international level, EXIMs, ECAs, development banks and commercial financial institutions collaborate in different ways. Examples are regulatory approaches, information exchange, co-financing, and reinsurance. Trade-related finance for climate action has advanced despite an existing regulatory framework for export credits and in the absence of an overarching commitment framework. However, it is still unclear for public financial institutions what a comprehensive governance response to meet the requirement of the Paris Agreement would be. Governments have stated clear expectations as seen in the recent European Union Council Conclusions on export credits recognising the "role of officially supported export credits in promoting and supporting a shift in investments towards climate-neutral, climate resilient projects"; and governments as well as their EXIMs and ECA are tackling how to do this at

G7, Export Finance for Future E3F and OECD level among others. However, a clear benchmark and global governance framework for both public and private providers of international finance does not yet exist. Bringing together existing and new net-zero finance initiatives in the Race to Zero into one sector-wide coalition, Net Zero Export Credit Alliance (NZECA) can play an important role to accelerate the orderly transition to a net-zero global economy.

## Conclusion

National policy objectives can form the foundation of public sector entities' strategic directions and institutional level policies, for example regarding trade and climate policy. Many countries such as Canada or Denmark have established respective policies and net-zero goals of varying ambition, systematically linking climate action and trade policy. EXIMs and ECAs play a crucial role in this context. Based on climate finance-related mandates, many institutions introduced ambitious climate strategies in recent years. However, significant challenges such as a just transition, as well as a concise international commitment framework remain.

Further details are available in the Special Section "Financing the Green Transition in Times of Crisis" of the Global Policy Journal, 13(4), pp. 523-562.



Abb. 1:  
Panel beim  
IfTI-Symposium

# VEGA

**SIND MEINE IDEEN  
VON HEUTE,  
EURE VON MORGEN?  
SICHER. MIT VEGA.**

## **STELLENANGEBOTE BEI UNS**

- **Frontend Web Developer (m/w/d)**
- **Entwickler (m/w/d)** – Hochfrequenztechnik
- **IT-Softwareentwickler (m/w/d)**
- **Softwareentwickler (m/w/d)** – IoT
- **Softwareentwickler (m/w/d)** – Automatisierungstechnik/Prüfanlagenbau



## **UNSERE ANGEBOTE FÜR STUDENTEN**

- **Bachelorthesis** · **Masterthesis** · **Praktikum** · **Werkstudent**

Werde Teil unseres Teams, das nicht nur für international anerkannte Spitzentechnologien steht, sondern auch für ein vertrauensvolles Miteinander, Wertschätzung, langfristige Sicherheit und erfolgreiche Zukunftsperspektiven. Interessiert? Mehr Infos gibt's auf [www.vega.com/karriere](http://www.vega.com/karriere).

# INSTITUTE FOR UNMANNED AERIAL SYSTEMS [ IUAS ]



Das geht unter die  
Haut (und die Erde)

Spannende Projekte begleitete das Institut auch 2022. Zu den bewährten Forschungsfeldern der unbemannten Flugsysteme sowie Radartechnologien und deren Anwendungen (RADALYSE – „geht unter die Erde“), tat sich im Feld der Hochfrequenztechnik (MiDeSCa – „geht unter die Haut“) ein weiterer wegweisender Anwendungsbereich auf – alles Felder, deren Forschungsergebnisse wertbringend zurück in die Praxis und Gesellschaft transferiert werden sollen.

Durch den neuen stellvertretenden Leiter Prof. Dr.-Ing. Jörg Fischer werden zudem Forschungsthemen wie die Regelung vernetzter Systeme (zum Beispiel in Drahtlosnetzwerken) oder die modellprädiktive Regelung mechatronischer Systeme (MPC) forciert. So können im Sub-Millisekundenbereich unter anderem die Regelung von Drohnen und Flugwindkraftanlagen besser analysiert und optimiert werden.

Im Januar 2022 startete das Projekt „RADALYSE – Entwicklung eines berührungslosen Analyseverfahrens zur Erkennung von Bodenschichten mit Radar“, ein durch das Zentrale Innovationsprogramm Mittelstand (ZIM) bewilligtes Forschungsprojekt. Ziel des Projekts ist, ein neuartiges berührungsloses Analyseverfahren zur Bestimmung von Bodenschichten und auftretenden Anomalien wie auch Felsgestein zu erforschen und zu evaluieren. Damit soll eine schnelle und einfache Schichtenanalyse möglich sein, sodass Bodenanalysen, die

über stichpunktartig verteilte Probebohrungen durchgeführt werden, besser geplant werden können. Perspektivisch ist dies von großem Nutzen im Straßen-, Brücken- oder Hausbau.

„MiDeSCa“ (Millimeter-Wave Based Detection of Skin Cancer), ein Kooperationsprojekt zusammen mit der Hochschule Karlsruhe, das wahrlich unter die Haut geht, startete im Oktober 2022. Mit Millimeter-Wave Based Detection of Skin Cancer sollen die Grundlagen zur Hautkrebsdetektion für Millimeterwellen erarbeitet werden. Hier soll die Frequenz- und Tiefenabhängigkeit von gesundem und malignem Hautgewebe untersucht, modelliert und erforscht werden. Auf Basis der Identifikation relevanter Frequenzen für die Hautkrebsdetektion und durch die effiziente Ausnutzung der Bandbreite hinsichtlich der zukünftigen Implementierung eines Millimeterwellen-basierten Hautkrebsdetektors sollen auch 3-D-Visualisierungen für medizinisch valide Diagnosen realisiert werden.

Das IUAS bietet für Studierende aus der ganzen Welt eine Vielzahl an Möglichkeiten spannende Projekte, Aufgaben und Herausforderungen für einen Forschungsaufenthalt im Rahmen von Praktika, Abschlussarbeiten oder sonstigen wissenschaftlichen Aufenthalten am IUAS zu absolvieren.

*Institutsleitung*  
*Prof. Dr.-Ing. Marlene Harter*

# Pseudo-Noise basiertes Ultrabreitband Radar System

In dieser Studie wurde ein Pseudo-Noise (PN) Signalmodulationsverfahren für Radarsysteme untersucht. Das PN-Verfahren bietet gegenüber herkömmlichen Modulationsverfahren eine verbesserte Zuverlässigkeit auch bei schlechtem Signal-zu-Rausch-Verhältnis sowie die Eigenschaft der Orthogonalität, die Interferenz zwischen mehreren PN-Systemen effektiv vermeidet. Dazu wurde ein flexibles PN-Radarsystem realisiert, mit dem im Anschluss Messungen zum Nachweis der Funktionalität und zur Bestimmung der Messgenauigkeit des Systems durchgeführt wurden.

*In this study, a Pseudo-Noise (PN) signal modulation technique for radar systems has been investigated. Compared to conventional modulation methods, the PN method offers improved signal integrity even with a low signal-to-noise ratio, as well as the property of orthogonality, which effectively avoids interference between multiple PN systems. A flexible PN radar system was implemented and measurements were then carried out to verify the functionality and to determine the measurement accuracy of the system.*

## Einleitung

Das Pseudo-Noise (PN) Modulationsverfahren ist derzeit ein aktuelles Thema in der Radarforschung, da es entscheidende Vorteile gegenüber konventionellen Verfahren wie Stepped Frequency und Frequency Modulated Continuous Wave (FMCW) Systemen verspricht. Während Stepped Frequency und FMCW auf der Modulation der Frequenz des verwendeten Signals beruhen, wird bei der PN-Modulation die Amplitude des Signals nach dem Muster einer Pseudo Random Bit Sequenz (PRBS) moduliert, (siehe Abbildung 1). Dadurch wird im Vergleich zu den anderen Verfahren die Störanfälligkeit reduziert, die Interferenz zwischen gleichartigen Sensoren vermieden und ein höherer Dynamikbereich erzielt. Gleichzeitig wird die Implementierung

durch Fortschritte in den benötigten Hardwarekomponenten auch in kostensensitiven Einsatzfeldern zunehmend realisierbar.

Die Namensgebung der PN-Signale beruht auf der Eigenschaft der Mittelwertfreiheit und dem rauschähnlichen Spektrum. PN-Signale sind jedoch deterministisch und können durch die Korrelation des Sendesignals mit dem reflektierten und zeitlich verzögerten Empfangssignal zur Entfernungsbestimmung verwendet werden [1]. Die Abbildung 2 dient zur Veranschaulichung der Funktionsweise eines PN-Radarsystems. Das reflektierte PN-Empfangssignal wird mit dem PN-Sendesignal korreliert. Hierdurch kann aufgrund der Autokorrelationsfunktion zuverlässig die Signallaufzeit ermittelt werden.

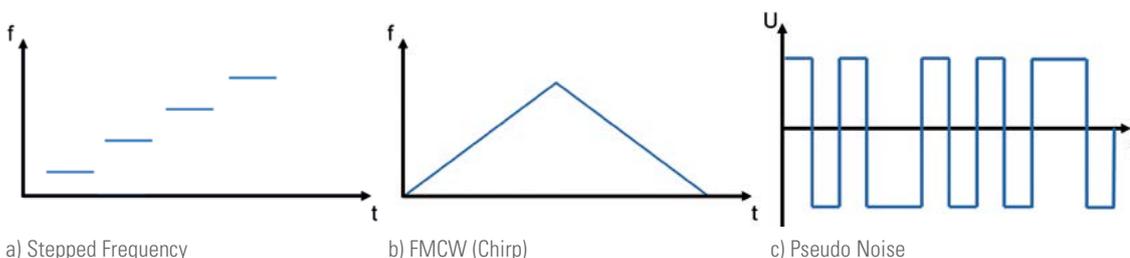


Abb. 1

Gegenüberstellung der unterschiedlichen Signalmodulationsverfahren



Marlene Harter  
Prof. Dr.-Ing.

Fakultät EMI, Leitung Institut  
IUAS  
Hochfrequenz- und Radar-  
technik



Mathias Kromer  
B.Eng.

Institut IUAS  
Akademischer Mitarbeiter



Reinhard Echle  
Dipl.-Ing. (FH), M.Eng.

Fakultät EMI  
Akademischer Mitarbeiter

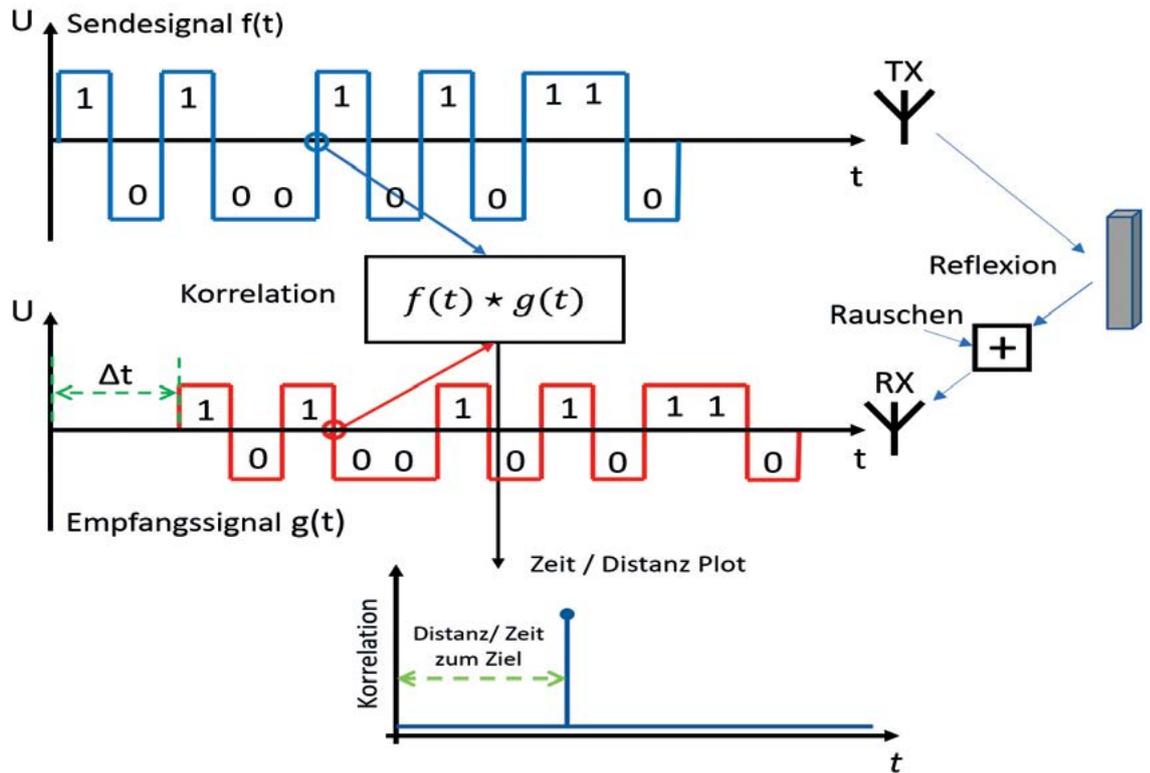


Abb. 2:  
Funktionsprinzip eines  
PN-Radar

Eines dieser Einsatzfelder, auf dessen Anforderungen das hier beschriebene System ausgelegt wurde, ist die Medizintechnik. Für die Medizintechnik gibt es seit einigen Jahren das Bestreben, eine neue Methode zur Diagnostik von Brustkrebs und Schlaganfällen zu entwickeln, die auf einem breitbandigen Radarsystem im Mikrowellenbereich basiert. Hierdurch könnten gesundheitliche Risiken bei der Diagnose mit ionisierender Röntgenstrahlung vermieden werden. Ebenfalls könnte die Verfügbarkeit der Diagnosegeräte durch reduzierte Größe und Kosten im Vergleich zu Röntgen- und insbesondere Magnetresonanztomografie (MRT) Systemen verbessert werden. Bislang untersuchte Systeme wie pulsbasierte Ultrabreitbandssysteme (englisch Ultra-wideband, UWB) scheitern hier jedoch oft an dem benötigten Dynamikbereich [2]. Wegen der ausgezeichneten Autokorrelationsfunktionen der PRBS verfügen PN-Radarsysteme über einen großen Dynamikbereich und es können auch noch bei sehr geringem Signal-zu-Rausch Verhältnis präzise Messungen durchgeführt werden [3][4].

Ein anderer Bereich, in dem Radarsensoren bereits nicht mehr wegzudenken sind, ist der Automobilbereich. Eine Mehrzahl der Fahrzeuge verfügt über Radarsensoren zur Abstandskontrolle, Erkennung anderer Verkehrsteilnehmer und einer Vielzahl weiterer Assistenz- und Sicherheitssysteme. Die

Zuverlässigkeit der Sensoren sollte auch in schwierigen Umgebungen mit zahlreichen Störquellen und hohem Rauschpegel gegeben sein. Aktuell eingesetzte Sensoren nutzen das FMCW-Verfahren. Hierbei wird die Frequenz eines kontinuierlichen Sinussignals über der Zeit moduliert. Diese Modulation kann die Form einer positiven oder negativen Rampe (Chirp) sowie eine Dreiecksform annehmen. Durch die Analyse der Differenzfrequenz zwischen dem gesendeten und empfangenen Signal sowie der Dopplerfrequenz werden Entfernung und Geschwindigkeit der Ziele ermittelt. FMCW-Systeme sind jedoch anfällig für eine Interferenz zwischen gleichartigen Radarsensoren in Umgebungen mit zahlreichen Fahrzeugen [5][6]. Auch hier zeigt sich ein Vorteil des PN-Radars. Aufgrund der Eigenschaft der Orthogonalität innerhalb bestimmter Gruppen der PRBS und der hiermit verbundenen Interferenzfreiheit zwischen PN-Radarsystemen könnten diese auch im Automotive-Bereich in Zukunft eine bessere Alternative bieten [7].

Es existieren zahlreiche Vertreter der PRBS, die sich in Erzeugungsmethode, Autokorrelationsfunktion, Anzahl sowie Eigenschaften erzeugter Sequenzen unterscheiden. Zu den relevanten Codes gehören unter anderem Maximum Length, Gold sowie Kasami-Codes die auch in dem implementierten System nutzbar sind.

Für die Synthese dieser Sequenzen werden durch Generatorpolynome definiert. Hierbei handelt es sich um primitive Polynome [8], die den Grad sowie die Positionen der Rückkopplungen eines linear zurückgekoppelten Schieberegisters (LFSR) beschreiben.

In diesem Forschungsbericht wird auf den Entwurf und die Umsetzung eines flexiblen PN-Radar-Systems eingegangen. Im Anschluss werden Messergebnisse zur Ermittlung der Eignung des realisierten Systems für das angedachte Einsatzfeld durch die exemplarische Messung einer Gummischicht zur Repräsentation von menschlichem Gewebe vorgestellt.

## Systementwurf und -umsetzung

Basierend auf den Anforderungen möglicher Anwendungsgebiete in Bezug auf die Medizintechnik wurde das System zunächst parametrisiert. Unter Abwägung der Systemkosten, Verfügbarkeit und angestrebter Entfernungsauflösung des Systems wurde ein verwendbarer Frequenzbereich von einigen wenigen MHz bis 4 GHz angestrebt. Das Blockdiagramm in Abbildung 3 gibt eine Gesamtübersicht des Systems, während im Folgenden auf die Auswahl entscheidender Komponenten genauer eingegangen wird.

Um die Flexibilität des Systems bei der Erzeugung des PN-Signals zu ermöglichen, wurde nach Analyse der Möglichkeiten zur Signalerzeugung ein Digital-Analog Wandler (DAC) der Firma Texas Instruments ausgewählt. Dieser ermöglicht die Synthese diverser, frei programmierbarer Ausgangssequenzen innerhalb der gewählten Bandbreite von 4 GHz unter Einhaltung der benötigten Anstiegs- und Abfallzeiten sowie Stabilität des Ausgangssignals bei gleichzeitig geringem Platzbedarf. Ein FPGA (Arria V GZ) und eine Speicherkomponente (32 GB 800 MHz DDR3 RAM) ermöglichen die kontinuierliche und zeitlich korrekte Übermittlung der in einer Softwareumgebung erstellten PRBS Sequenz an den DAC mittels eines konfigurierbaren JESD-Interfaces.

Das Foto in Abbildung 4 zeigt das realisierte Gesamtsystem mit den für die Signalübertragung ausgewählten Vivaldi-Antennen und der verwendeten Linearachse. Hierzu wurden zwei besonders breitbandige Vivaldi-Antennen als Sende- und Empfangsantenne, die für den Betrieb um eine Mittenfrequenz von 2,5 GHz entworfen wurden, eingesetzt.

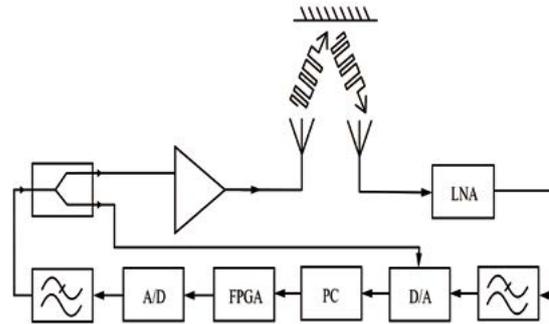


Abb. 3: Blockbild des realisierten PN-Radars

Zur Analog-Digital-Wandlung (ADC) des durch einen Low Noise Amplifier (LNA) verstärkten Empfangssignals wurde ein Oszilloskop (Keysight MSOS804A) genutzt. Hierdurch wird ebenfalls das für die softwareseitige Korrelation benötigte und durch einen Leisterteiler aus dem Sendepfad abgezweigte Referenzsignal durch das Oszilloskop digitalisiert.

Die Erzeugung des Sendesignals, die Steuerung des Messvorgangs, die Konfiguration des Oszilloskops sowie die Auswertung erfolgen softwarebasiert. Die Konfiguration des DAC, FPGA und Interfaces erfolgen mit einer eigenständigen Treibersoftware.

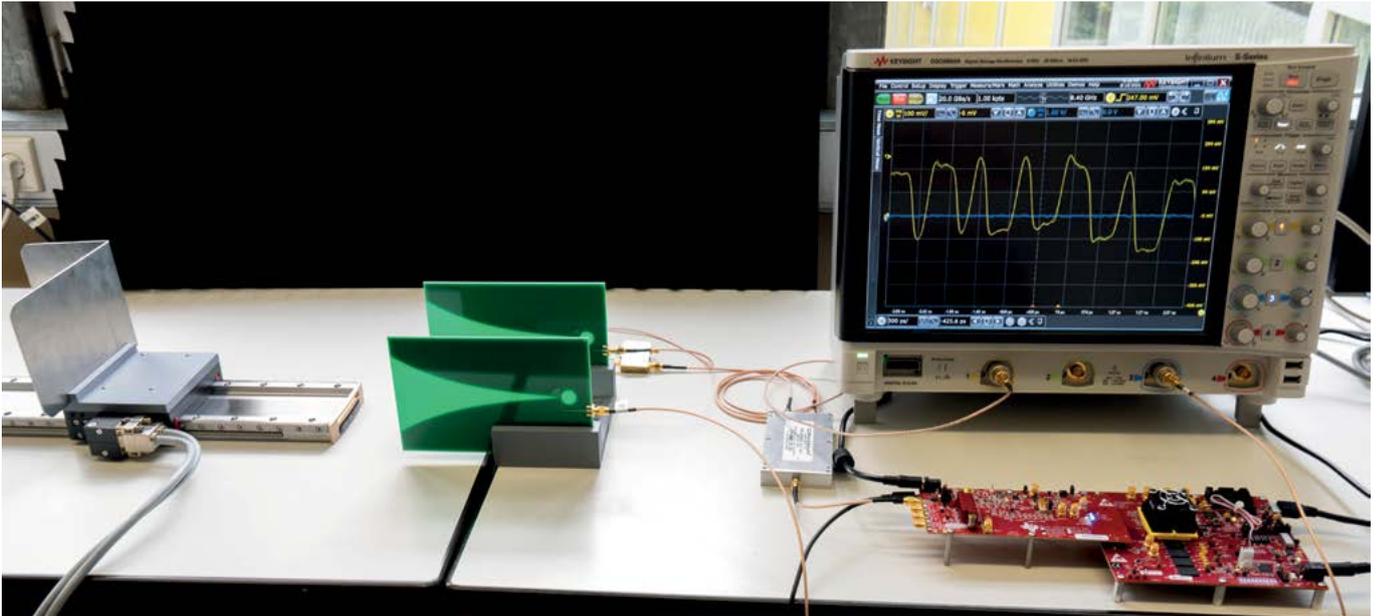
## Messergebnisse

Im Folgenden werden die Ergebnisse der unter Verwendung des realisierten Systems durchgeführten Messungen vorgestellt. Zunächst wurden Entfernungsmessungen mit einem Aluminiumreflektor durchgeführt und die zu erwartende Abweichung bestimmt. Im Anschluss wurden durch weitere Messungen die dielektrischen Eigenschaften einer homogenen Schicht bestimmt.

## Entfernungsmessung

Für die präzise und wiederholbare Distanzmessung wurde eine 120 cm lange Linearachse mit einem Positionsincrement von 100 nm genutzt. Die Steuerung und Überwachung der Linearachse erfolgte über die implementierte Treibersoftware, die die Automatisierung des Messvorgangs ermöglichen.

Nach der Kalibrierung des Systems wurden durch das schrittweise Abfahren von vordefinierten Achsenpositionen wiederholte Messreihen erstellt. Durch den Vergleich der gemessenen Distanzen zwischen einem zuvor definierten Referenzpunkt und der ausgelesenen tatsächlichen Achsenstellung konnte im Mittel eine Standardabweichung der Entfernungsmessung zu 2,3 mm bestimmt werden.



**Abb. 4:**  
Foto des realisierten  
Messaufbaus mit zwei  
Vivaldi-Antennen und  
einer Linearachse, auf  
der sich das Referenz-  
ziel befindet

## Messung einer Schicht

Anhand eines weiteren Versuchsaufbaus sollte die Fähigkeit des implementierten Systems, eine Schicht mit einer dem menschlichen Fettgewebe entsprechenden relativen Permittivität zu durchdringen, bestätigt werden. Dazu wurden zunächst die an den Übergängen der Übertragungsmedien auftretenden Reflexionsstellen detektiert und anschließend über die bekannten räumlichen Dimensionen des Testobjekts die relative Permittivität des Materials ermittelt. Ebenfalls kann invers durch bekannte dielektrische Eigenschaften der Schicht die Dicke dieser ermittelt werden. Als Testobjekte wurden hierzu Blöcke aus Gummimaterial verwendet. Es konnte bereits bestätigt werden, dass sowohl Reflexionen, verursacht durch den Eintritt in das Material, als auch der Austritt aus dem Material durch das System erfasst werden können. In der Messung konnte für die relative Permittivität des Materials ein Wert bestimmt werden, der in dem theoretischen Permittivitätsbereich des verwendeten Materials liegt.

## Zusammenfassung

Im Rahmen dieser Arbeit wurde zunächst der Stand der Technik von Pseudo-Noise basierten Radarsystemen untersucht. Im Anschluss wurde die Systemarchitektur eines PN-Radars konzeptioniert und parametrisiert. Es wurden Softwarefunktionen zur Erzeugung diverser PN-Signale implementiert und zusammen mit der ausgewählten Hardware ein flexibles Radarsystem aufgebaut. Um präzise und wiederholbare Messungen für die Bewertung des Systems zu ermöglichen, wurde unter Verwendung einer hochgenauen Linearachse ein über Software steuerbarer Messaufbau realisiert. Es wurde ein Verfahren zur präzisen Distanzbestimmung und ein Verfahren zur Ermittlung der Dicke einer homogenen Schicht im Freiraum entwickelt. Dabei wurde die Standardabweichung bei der Distanzmessung zu 2,3 mm ermittelt und die Transmission des PN-Signals durch eine dem menschlichen Fettgewebe ähnlichen Schicht bestätigt.

### Referenzen/References:

- [1] Y. Liu, Z. Yu, W. Chen, J. Yu, J. Geng, "The Effects of Noise, Sparsity and Phase on Pseudo-Random Time-Space Modulation SAR Performance", IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium pp. 1169-1172, Beihang University Beijing, 2020
- [2] J. Sachs, S. Ley, M. Helbig, B. Faenger, I. Hilger, „Differential Microwave Imaging in Medicine based on Ultra-Wideband Pseudo-Noise MIMO-Radar“, Technische Universität Ilmenau, 2017.
- [3] X. Li, S. Scherr, L. Sit, E. Pancera, T. Zwick, "Performance Analysis of various UWB Radar Approaches for Medical Diagnostics", Institut für Hochfrequenztechnik und Elektronik ,KIT, Karlsruhe, 2011
- [4] X. Li, S. Scherr, H. Wu, E. Pancera, T. Zwick, "Feasibility Study of an Ultra Wideband Pseudo-Noise-Radar for Medical Applications", Proceed-

- ings of the 5th European Conference on Antennas and Propagation pp. 290-293, Institut für Hochfrequenztechnik und Elektronik, KIT, 2011
- [5] S. Stephany, B. Schweizer, C. Knill, C. Waldschmidt, "Impact of an Automotive Chirp-Sequence Interferer on a Wideband Pseudo-Noise Radar", Institute of Microwave Engineering Ulm University, 2019
- [6] M. Alhumaidi, M. Wintermantel, "Interference Avoidance and Mitigation in Automotive Radar", Proceedings of the 17th European Radar Conference, pp. 172-173, 2021
- [7] S. D. Brückner, "Maximum Length Sequences for Radar Synchronization", Dissertation, Technische Universität Braunschweig, 2015
- [8] M. Zivkovic, "A Table of Primitive Binary Polynomials", Institute for Applied Mathematics and Electronics, Belgrad

# Karriere mit System. Und Zukunft.

Wir sind Systemanbieter und gehören zu den 100 innovativsten Unternehmen Deutschlands. Für unser Team suchen wir Talente, die so arbeiten wollen wie wir: **mit flachen Hierarchien, kurzen Entscheidungswegen und der Möglichkeit, eigene Ideen umzusetzen.** Profitieren Sie von den Vorteilen unseres mittelständischen Unternehmens und bewerben Sie sich für einen **sicheren Arbeitsplatz mit spannenden Aufgaben.**

**Starten Sie durch. Bei uns. Als:**

- **HARDWAREENTWICKLER** (m/w/d)
- **PCB-DESIGNER** (m/w/d)
- **ELEKTRONIKER/TECHNIKER FACHRICHTUNG ELEKTRONIK** (m/w/d)
- **PRAXISSEMASTER** (m/w/d)
- **ABSCHLUSSARBEITEN** (m/w/d)



Eltroplan Engineering GmbH  
Vogesenstraße 7  
79346 Endingen  
[eltroplan-group.com/karriere](http://eltroplan-group.com/karriere)



## STEINBEIS – TRANSFERPARTNER DER HOCHSCHULE OFFENBURG

Eine Unternehmensgründung ist Vertrauenssache. Steinbeis, eine der größten Start-up-Plattformen in Europa, ist ein starker Partner für Gründer – Hochschulangehörige, die neben Forschung und Lehre ihre Expertise in die Wirtschaft und Industrie bringen, aber auch Absolventen, die ihre Geschäftsidee am Markt realisieren wollen. Davon profitieren Hochschule und Wirtschaft gleichermaßen – die Praxisnähe sichert die Aktualität der Lehre, der wissenschaftliche Fortschritt der Hochschule fördert direkt den Marktvorsprung der Unternehmen.

Die Hochschule Offenburg und Steinbeis verbindet eine jahrelange erfolgreiche Zusammenarbeit: Verlässlich und unbürokratisch finden vor allem kleine und mittlere Unternehmen Partner für Entwicklungs- und Beratungsprojekte.



**GRÜNDEN  
mit Steinbeis**

**Steinbeis-Stiftung | Vor Ort in der Region Südlicher Oberrhein: [www.steinbeis-offenburg.de](http://www.steinbeis-offenburg.de)**

146208-2023-03-06

# Dissertationen 2022

---

## *Intern, abgeschlossen:*

*Name, Titel, HSO-Betreuer, kooperierende Universität, Betreuer*

---

**Angermeier, Julian:** Einfluss des Referenz-ITD auf das binaurale Hören, *HSO Prof. Dr. rer. biol. hum. Stefan Zirn, Technische Universität München – Prof. Dr.-Ing. Werner Hemmert*

**Fischer, Carl:** Schädigungsentwicklung und mechanismenbasierte Lebensdauermodellierung von Aluminiumgusslegierungen unter thermomechanischen Ermüdungsbelastungen, *HSO Prof. Dr.-Ing. Thomas Seifert, Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg – Prof. Dr.-Ing. habil. Holm Altenbach.*

**Grünwald, Waldemar:** Induktive Übertragungsschnittstelle für medizinische Implantate mit metallischer Kapselung, *HSO Prof. Dr.-Ing. Dirk Jansen, Albert-Ludwigs-Universität Freiburg – Prof. Dr. Leonhard Reindl*

**Jung, Philip:** Zweckadäquanz der kaufmännischen Rechnungslegung für öffentliche Hochschulen. Kritische Würdigung unter Berücksichtigung öffentlicher Governance-Aspekte, *HSO Prof. Dr. rer. pol. Anne Najderek, Johannes Gutenberg-Universität Mainz – Prof. Dr. Christopher Koch*

**Vauderwange, Oliver:** Characterization of color vision by spectroscopy and nanotechnology : application to media photonics, *HSO Prof. Dr. Dan Curticapean, Université de Strasbourg – Prof. MC habil. Nicolas Javahiry*

## *Intern, laufend:*

*Name, Titel, HSO-Betreuer, kooperierende Universität, Betreuer*

---

**Abdolinezhad, Saeed:** MEMS Based Physical Unclo-nable Functions, *HSO Prof. Dr.-Ing. Axel Sikora, Albert-Ludwigs-Universität Freiburg – Prof. Dr.-Ing. Axel Sikora, ass. Prof. der Techn. Fak. / Prof. Dr. Alfons Dehé*

**Admassu, Tinbit:** How to test distributed time synchro-nized networks with routing and forwarding; verifying timing accuracy and stability, *HSO Prof. Dr.-Ing. Axel Sikora, Bahir Dar Institute of Technology, Bahir Dar University – Dr. Fikreselam Gared*

**Ahmed, Uzair:** Development of a tailored endo- and exo-peptidase platform to be employed under alkaline and acidic conditions for the hydrolysis of food and feed proteins, *HSO Prof. Dr. rer. nat. Thomas Eisele, Karlsruher Institut für Technologie (KIT) – Prof. Dr.-Ing. Katrin Ochsenreither*

**Bechler, Nikolaus:** A wireless ultra low power system for passive biotelemetry applications, *HSO Prof. Dr.-Ing. Thomas Seifert, Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg – Prof. Dr.-Ing. habil. Dr. h. c. mult. Holm Altenbach*

**Bordini, Rogério Augusto:** The Role of Sound in Gamification. An Experimental Approach, *HSO Prof. Dr. phil. Oliver Korn, THelmut-Schmidt-Universität/Uni. d. Bundeswehr Hamburg – Univ.-Prof. Dr. Philipp Yorck Herzberg*

**Braun, Jonas:** Operando Diagnostik des Gesundheitszustands von Lithium-Ionen-Batterien mittels physikalisch-chemischer Zellerungsmodelle, *HSO Prof. Dr. rer. nat. habil. Wolfgang Bessler, KIT Karlsruhe – Prof. Dr. rer. nat. habil. Wolfgang Bessler*

**Brucker, Jennifer:** Einsatz von neuronalen Differentialgleichungen bei der Grey-Box-Modellierung von Lithium-Ionen-Batterien, *HSO Prof. Dr. rer. nat. habil. Wolfgang Bessler, Prof. Dr.-Ing. Rainer Gasper, KIT Karlsruhe – Prof. Dr. rer. nat. habil. Wolfgang Bessler*

**Degel, Philipp:** Stranggrößenbasierte Parameter-schätzung und adaptive Regelung unsymmetrischer, hochausgenutzter E-Maschinen, *HSO Prof. Dr.-Ing. Christian Klöffler, Karlsruher Institut für Technologie (KIT) – Prof. Dr.-Ing. Martin Doppelbauer*

**Demaeght, Annebeth:** Analyse von Stimmerkmale-n zur Messung von Nutzeremotionen bei der Anwendung sprachgesteuerter Assistenzsysteme, *HSO Prof. Dr. rer. oec. Andrea Müller, Pädagogische Hochschule Freiburg – Prof. Dr. Josef Nerb*

**Elayanithottathil, Jubin Sebastian:** Seamless and unified test environment for spatially distributed wireless networks, *HSO Dr.-Ing. Axel Sikora, Technische Universität Clausthal – Prof. Dr. Andreas Rausch*

**Fischer, Anke:** Entwicklung einer intuitiven Augen-steuerung mithilfe sensorischen Feedbacks zur Bedienung von Assistenzsystemen, *HSO Prof. Dr.-Ing. Thomas Wendt, Universität Siegen – Prof. Kristof Van Laerhoven*

**Föll, Dario:** Hochdynamische nichtlineare Zustands-regelung von Drehstromantrieben mit ausgeprägter Sättigungscharakteristik, *HSO Prof. Dr.-Ing. habil. Uwe Nuß, Universität Stuttgart – Prof. Dr. Jörg Roth-Stielow*

**Gawron, Philipp:** Additiv hergestellte Energy Har-vester, *HSO Prof. Dr.-Ing. Thomas Wendt, Albert-Ludwigs-Universität Freiburg – Prof. Dr. Leonhard Reindl*

**Gehring, Alexander:** Strategy, Innovation and Leadership - Identifying and Exploring Critical Shared Success Factors Towards Firm Performance, *HSO Prof. Dr.-Ing. Thomas Wendt, Northumbria University Newcastle, England, UK – Prof. Prof. David Charles*

# Dissertationen 2022

---

**Ghovanlooy Ghajar, Fatemeh:** Trust Management Systems for Distributed Ledgers in Secure Industrial IoT, *HSO Prof. Dr.-Ing. Axel Sikora, Albert-Ludwigs-Universität Freiburg – Prof. Dr.-Ing. Axel Sikora, ass. Prof. der Techn. Fak.*

**Gießler, Maximilian:** Übertragen von menschlichen (bio-inspirierten), stabilitätsfördernden Paradigmen für das zweibeinige Gehen während externer Perturbationen auf einen humanoiden Roboter, unter Berücksichtigung eigens entwickelter Sensorik, der Mehrkörperdynamik (Kinematik und Kinetik), Simulationstechnologie und genetischen Algorithmen, *HSO Prof. Dr.-Ing. Bernd Waltersberger, Prof. Dr. Steffen Willwacher, Deutsche Sporthochschule Köln (Institut für Biomechanik und Orthopädie); South Bank University London (LSBU) – Univ.-Prof. Dr. Wolfgang Potthast, Prof. Dr. Kiros Karamanidis*

**Göppert, Julian:** Lifecycle Oriented Certificate Management for Heterogeneous Industrial Fieldbus Environments, *HSO Prof. Dr.-Ing. Axel Sikora, Albert-Ludwigs-Universität Freiburg – Prof. Dr.-Ing. Axel Sikora, ass. Prof. der Techn. Fak.*

**Grafmüller, Jannis:** Biochar-based fertilization and its impact on plant growth, soil nutrient retention and transformation, *HSo Prof. Dr.-Ing. Daniel Kray, Universität Tübingen – Juniorprof. Dr. Eva Maria Mühle*

**Hähnlein, Stefan:** Dynamische Regelung hochausgenutzter Synchronmaschinen durch Rechenzeitoptimierung und stranggrößenbasierte Parameteridentifikation, *HSO Prof. Dr.-Ing. Christian Klöffer, Karlsruher Institut für Technologie (KIT) – Prof. Dr. Leonhard Reindl*

**Hangst, Nikolai:** 3D-gedruckte Sensorik in Mensch-Roboter-Kollaborations-Greifsystemen, *HSO Prof. Dr.-Ing. Thomas Wendt, Albert-Ludwigs-Universität Freiburg – Prof. Dr. Leonhard Reindl*

**Hazubski, Simon:** Visuelle Steuerung von Handprothesen durch Tracking mittels Augmented-Reality-Brille, *HSO Prof. Dr.-Ing. Harald Hoppe Prof. Dr. med. Andreas Otte, Universität Leipzig – Prof. Dr. Martin Bogdan*

**Henninger, Corinna:** Novel Phytases - Bioanalytics and Biochemical Characteristics, *HSO Prof. Dr. rer. nat. Thomas Eisele, Karlsruher Institut für Technologie (KIT) – Prof. Dr.-Ing. Katrin Ochsenreither*

**Himmelsbach, Urban:** A novel approach of chieving SIL3 with wireless communication in safety-critical industrial applications, *HSO Prof. Dr.-Ing. Thomas Wendt, Albert-Ludwigs-Universität Freiburg – Prof. Dr. Leonhard Reindl*

**Huber, Andreas:** Netzankopplung von regenerativen Energiesystemen mittels neuartiger Filter- und Regelungskonzepte, *HSO Prof. Dr.-Ing. habil. Uwe Nuß, Albert-Ludwigs-Universität Freiburg – Prof. Dr. Leonhard Reindl*

**Klerch, Benjamin:** Aufbau eines Modells zur simulationsgestützten Entwicklung additiv gefertigter Produkte aus faserverstärkten Polymeren, *HSO Prof. Dr.-Ing. Stefan Junk, KIT Karlsruhe – Univ.-Prof. Dr.-Ing. Dr. h. c. Albert Albers*

**Knäble, David:** Circular economy indicators and their impact on economic growth in the European Union, *HSO Prof. Dr. rer. pol. Thomas Baumgärtler, Universidad de Burgos, Spanien – Prof. Dr. Esther de Quevedo Puente*

**Le, Vy:** Erforschung von ganzheitlichen EnergyHarvesting-Konzepten unter Verwendung von druckbaren Energiewandlern und -speichern, *HSO Prof. Dr.-Ing. Elke Mackensen, KIT Karlsruhe – Prof. Dr. rer. nat. Uli Lemmer*

**Mathew, Anu Sathyajith:** Wireless Security Extensions for Smart Metering Applications, *HSO Prof. Dr.-Ing. Axel Sikora, Albert-Ludwigs-Universität Freiburg – Prof. Dr.-Ing. Axel Sikora, ass. Prof. der Techn. Fak.*

**Miclau, Christina:** Untersuchung der emotionalen Wahrnehmung und Wirkung der Marke einer öffentlichen Einrichtung - Am Beispiel der Hochschule Offenburg, *HSO Prof. Dr.-Ing. Bernhatd Denne, Pädagogische Universität Freiburg – Prof. Dr. Josef Nerb*

**Nugroho, Saptadi:** Fast Gossiping Algorithm using Time-to-Live Mechanism in Dynamic Network, *HSo Prof. Dr.-Ing. Andreas Christ, Albert-Ludwigs-Universität Freiburg – Prof. Dr. Schindelhauer*

**Prinzbach, Jürgen:** Optimierung von Subspace-Clustering-Verfahren durch Parallelisierung und Deep Learning, *HSO Prof. Dr. Tobias Lauer, Albert-Ludwigs-Universität Freiburg – Jun.-Prof. Dr. Joschka Bödecker*

**Quarti, Michael:** Modellbasierte Entwicklung dynamischer Methoden für die Zustandsdiagnostik von Lithium-Ionen-Batterien, *HSO Prof. Dr. rer. nat. habil. Wolfgang Bessler, KIT Karlsruhe – Dr. rer. nat. habil. Wolfgang Bessler*

**Roth, Sebastian:** Plastizität des auditorischen Systems in Bezug auf statische Zeitunterschiede der Ohrsignale, *HSO Prof. Dr. rer. biol. hum. Stefan Zirn, Technische Universität München – Prof. Dr. Werner Hemmert*

**Schiffer, Lutz:** Modellgestützte Entwicklung und Bewertung der elektrochemischen Druckimpedanzspektroskopie (EPIS) als Mess- und Diagnosewerkzeug von Transportprozessen in PEM-Brennstoffzellen, *HSO Prof. Dr. rer. nat. habil. Wolfgang Bessler, KIT Karlsruhe – Prof. Dr. rer. nat. habil. Wolfgang Bessler*

**Schilli, Simon:** Numerische Untersuchung zur Verfestigung in Ein- und Polykristallen bei zyklischer Belastung (Bauschinger Effekt), *HSO Prof. Dr.-Ing. Thomas Seifert, Otto-von-Guericke Universität Magdeburg – Prof. Dr.-Ing. habil. Dr. h. c. mult. Holm Altenbach*

**Schlayer, Markus:** Mechanismen basierte Plastizitäts- und Lebensdauermodelle zur Beschreibung des Werkstoffverhaltens martensitischer Stähle in Hochtemperaturanwendungen, *HSO Prof. Dr.-Ing. Thomas Seifert, Otto-von-Guericke Universität Magdeburg – Prof. Dr.-Ing. habil. Dr. h. c. mult. Holm Altenbach*

**Schlecht, Michael:** Linking the real production system with its digital twin in context of industry 4.0, *HSO Prof. Dr. Jürgen Köbler, INSA Strasbourg – Prof. Roland de Guio*

**Schmider, David:** Chemische, mechanische und Transport-Wechselwirkungen zwischen den Elektroden einer Lithium-Ionen-Batterie: Einfluss auf Zellleistung und -Alterung, *HSO Prof. Dr. rer.nat. habil. Wolfgang Bessler, KIT Karlsruhe – Prof. Dr. rer. nat. habil. Wolfgang Bessler*

**Schrock, Steffen:** Entwicklung und Validierung einer Methode und Konstruktionsrichtlinien zur Nutzung additiv gefertigter Spritzgusswerkzeuge im Produktentwicklungsprozess zur effizienten und agilen Ableitung einer hohen Variantenzahl, *HSO Prof. Dr.-Ing. Stefan Junk, KIT Karlsruhe – Prof. Dr.-Ing. Dr. h. c. Albert Albers*

**Strzeletz, Simon:** Peer-to-Peer Navigation Concepts for Computer-Assisted Medical Interventions, Medical Robotics and Augmented Reality Applications, *HSO Prof. Dr.-Ing. Harald Hoppe, Albert-Ludwigs-Universität Freiburg – Prof. Dr. med. Ulrich Hubbe*

**Walz, Andreas:** Testing Embedded Implementations of Cryptographic Protocols using Differential Testing, *HSO Prof. Dr.-Ing. Axel Sikora, Universität Rockstock – Prof. Dr. Dirk Timmermann*

**Yagci, Mehmed Can:** Determination of aging indicators and state of health diagnostics of LFP/graphite lithium-ion batteries for stationary energy storage, *HSO Prof. Dr. rer.nat. habil. Wolfgang Bessler, KIT Karlsruhe – Prof. Dr. rer. nat. habil. Wolfgang Bessler*

## Patente 2022

---

*Jahresangabe in Klammern ist das Datum der Offenlegung*

**Böhme, U.; Degel, J.; Hähnlein, S.; Haußmann, M.; Klöffler, C.; Weigold, J. (2022):** Circuit Arrangement for a Motor Vehicle, in Particular for a Hybrid or Electric Vehicle (US20220032798A1), 11 Seiten, abrufbar unter: <https://depatisnet.dpma.de/DepatisNet/depatisnet?action=bibdat&docid=US020220032798A1>

**Heinke, M.; Hörth, J.; Eschinger, S.; Simundic, I. (2022):** Control for an extracorporeal circulatory support (W02022029139A1), 47 Seiten, abrufbar unter: <https://depatisnet.dpma.de/DepatisNet/depatisnet?action=bibdat&docid=W0002022029139A1>

**Heinke, M.; Hörth, J.; Eschinger, S.; Simundic, I. (2022):** Steuerung für eine extrakorporale Kreislaufunterstützung (DE102020004698A1), pp. 1-25, abrufbar unter: <https://depatisnet.dpma.de/DepatisNet/depatisnet?action=bibdat&docid=DE102020004698A1>

**Heinke, M.; Hörth, J.; Eschinger, S.; Simundic, I.; Bracker, C. (2022):** Control for an extracorporeal circulatory support (W02022029146A1), 36 Seiten, abrufbar unter: <https://depatisnet.dpma.de/DepatisNet/depatisnet?action=bibdat&docid=W0002022029146A1>

**Heinke, M.; Hörth, J.; Eschinger, S.; Simundic, I.; Bracker, C. (2022):** Steuerung für eine extrakorporale Kreislaufunterstützung (DE102020004697A1), pp. 1-16, abrufbar unter: <https://depatisnet.dpma.de/DepatisNet/depatisnet?action=bibdat&docid=DE102020004697A1>

# Auszeichnungen 2022

**Prof. Dr. Ing. Ulrich Hochberg und Prof. Dr.-Ing. Christiane Zell:** Biogas-Innovationspreis der deutschen Landwirtschaft, *Deutsche Bundesstiftung Umwelt*

Die Auszeichnung wurde auf dem 15. Biogas-Innovationskongress am 11. und 12. Mai 2022 in Osnabrück verliehen für die vorgestellten Ergebnisse des Projekts BioMeth - Ein neues Verfahrenskonzept zur kontinuierlichen biologischen Methanisierung“. Die Biologische Methanisierung ist ein Verfahren zur Erzeugung von Methan aus Kohlenstoffdioxid und regenerativ erzeugtem Wasserstoff. Bei den im Rahmen des Projekts entwickelten Anlagenkonzepten zur Biologischen Methanisierung ermöglicht die gezielte Kombination unterschiedlicher hydraulischer Drücke jeweils zum Be- und Entgasen von Wasserstoff bzw. Methan einen besonders energieeffizienten Betrieb im Vergleich zu etablierten Verfahren



## WERDE EIN GRAF

Wir sind Weltmarktführer in Sachen Regenwassermanagement und spielen eine wichtige Rolle bei Klimaschutz und Nachhaltigkeit. Wir recyceln Kunststoffe, setzen auf die weltweit modernsten Maschinentechnologien und produzieren ressourcenschonend an mehreren Standorten in der Region hochwertige Umweltprodukte. Daher sind wir der richtige Arbeitgeber für einen sicheren Arbeitsplatz in einer absoluten Zukunftsbranche.

Aktuell suchen wir Verstärkung in nahezu allen Bereichen unserer Standorte Teningen, Herbolzheim und Neuried. In Teilzeit wie in Vollzeit. Quereinsteiger ebenso wie junge Talente, alte Hasen, echte Experten und solche, die es noch werden wollen (m/w/d).



Starke Zukunft,  
sicherer Job

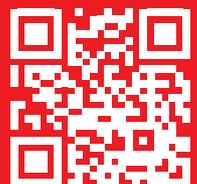


Gutes Gehalt,  
wichtige Extras



Mit uns  
die Welt retten

**GRAF Unternehmensgruppe**  
Personalbüro  
Carl-Zeiss-Str. 2-6, 79331 Teningen  
E-Mail: [bewerbung@graf.info](mailto:bewerbung@graf.info)  
Telefon: 07641 589 7827



[www.graf.info/jobs](http://www.graf.info/jobs)

# Kontakt

---

## Hochschule Offenburg

---

Campus Offenburg  
Badstr. 24  
77652 Offenburg  
Telefon: +49 781 205-0  
E-Mail: [info@hs-offenburg.de](mailto:info@hs-offenburg.de)

Campus Gengenbach  
Klosterstr. 14  
77723 Gengenbach  
Telefon: +49 7803 9698-0  
E-Mail: [info@hs-offenburg.de](mailto:info@hs-offenburg.de)



## Campus Research & Transfer [CRT]

---

Dr. oec. troph. Ira Pawlowski

Leitung  
E-Mail: [ira.pawlowski@hs-offenburg.de](mailto:ira.pawlowski@hs-offenburg.de)

Telefon: +49 781 205-4618  
<https://www.hs-offenburg.de/forschung-und-transfer>

Unter dem Dach der Hochschule Offenburg wird in neun fachübergreifenden Forschungsinstituten und einer Forschungsgruppe geforscht, entwickelt und Wissen transferiert:

Die Campus Research & Transfer (CRT) ist Ansprechpartner für interessierte Unternehmen, öffentliche Institutionen und andere Hochschulen und Forschungseinrichtungen. Sie agiert zudem als Serviceeinrichtung für alle Forschenden an der Hochschule und unterstützt die Anbahnung, Konzeption und Umsetzung von F&E-Projekten.

## Institute

### Institut für verlässliche Embedded Systems und Kommunikationselektronik [ivESK]

---

Prof. Dr.-Ing. Axel Sikora

Institutsleitung  
E-Mail: [axel.sikora@hs-offenburg.de](mailto:axel.sikora@hs-offenburg.de)

Prof. Dr. phil. Andreas Schaad  
Mitglied  
E-Mail: [andreas.schaad@hs-offenburg.de](mailto:andreas.schaad@hs-offenburg.de)

Telefon: +49 781 205-4691  
<https://ivesk.hs-offenburg.de>

### Institut für nachhaltige Energiesysteme [INES]

---

Prof. Dr. rer. nat. habil. Wolfgang Bessler

Institutsleitung  
E-Mail: [wolfgang.bessler@hs-offenburg.de](mailto:wolfgang.bessler@hs-offenburg.de)

Prof. Dr. rer. nat. Michael Schmidt  
Stellvertretende Institutsleitung  
E-Mail: [schmidt@hs-offenburg.de](mailto:schmidt@hs-offenburg.de)

Telefon: +49 781 205-4779  
<https://www.ines.hs-offenburg.de>

## KONTAKT

### Affective and Cognitive Institute [ACI]

---

Prof. Dr. phil. Oliver Korn

Institutsleitung  
E-Mail: [oliver.korn@hs-offenburg.de](mailto:oliver.korn@hs-offenburg.de)

Prof. Dr. rer. oec. Andrea Müller  
Stellvertretende Institutsleitung  
E-Mail: [andrea.mueller@hs-offenburg.de](mailto:andrea.mueller@hs-offenburg.de)

Telefon: +49 781 205-4690  
<https://aci.hs-offenburg.de>

### Institute for Unmanned Aerial Systems [IUAS]

---

Prof. Dr.-Ing. Marlene Harter

Institutsleitung  
E-Mail: [marlene.harter@hs-offenburg.de](mailto:marlene.harter@hs-offenburg.de)

Prof. Dr.-Ing. Jörg Fischer  
Stellvertretende Institutsleitung  
E-Mail: [joerg.fischer@hs-offenburg.de](mailto:joerg.fischer@hs-offenburg.de)

Telefon +49 781 205-4853  
<https://iuas.hs-offenburg.de>

### Institute for Machine Learning and Analytics [IMLA]

---

Prof. Dr.-Ing. Janis Keuper

Institutsleitung  
E-Mail: [janis.keuper@hs-offenburg.de](mailto:janis.keuper@hs-offenburg.de)

Prof. Dr. rer. nat. Tobias Hagen  
Stellvertretende Institutsleitung  
E-Mail: [tobias.hagen@hs-offenburg.de](mailto:tobias.hagen@hs-offenburg.de)

Telefon: +49 781 205-4630  
<https://imla.hs-offenburg.de>

### Peter-Osypka-Institut für Medizintechnik [POIM]

---

Prof. Dr. rer. biol. hum. Stefan Zirn

Institutsleitung  
E-Mail: [stefan.zirn@hs-offenburg.de](mailto:stefan.zirn@hs-offenburg.de)

Dr. phil. Tobias Haber  
Stellvertretende Institutsleitung  
E-Mail: [tobias.haber@hs-offenburg.de](mailto:tobias.haber@hs-offenburg.de)

Telefon: +49 781 205-287  
<https://poim.hs-offenburg.de>

### Institute for Trade and Innovation [IfTI]

---

Prof. Dr. Andreas Klasen

Institutsleitung  
E-Mail: [andreas.klasen@hs-offenburg.de](mailto:andreas.klasen@hs-offenburg.de)

Prof. Dr. Philipp Eudelle  
Stellvertretende Institutsleitung  
E-Mail: [philipp.eudelle@hs-offenburg.de](mailto:philipp.eudelle@hs-offenburg.de)

Telefon: +49 7803 9698-4426  
<https://ifti.hs-offenburg.de>

### Institute for Advanced Biomechanics and Motion Studies [IBMS]

---

Prof. Dr. Sportwiss Steffen Willwacher

Institutsleitung  
E-Mail: [stefen.willwacher@hs-offenburg.de](mailto:stefen.willwacher@hs-offenburg.de)

Telefon: +49 781 205-4865  
<https://ibms.hs-offenburg.de>

## Forschungsgruppe

### Work-Life Robotics Institute [WLRI]

---

Prof. Dr.-Ing. Thomas Wendt

Institutsleitung  
E-Mail: [thomas.wendt@hs-offenburg.de](mailto:thomas.wendt@hs-offenburg.de)

Telefon: +49 7803 9698-4956  
<https://wlri.hs-offenburg.de>

### 4D-Printing

---

Prof. Dr.-Ing. Stefan Junk

Ansprechpartner  
E-Mail: [stefan.junk@hs-offenburg.de](mailto:stefan.junk@hs-offenburg.de)

Telefon: +49 7803 9698-4421



**„MACH DIE ENERGIEWENDE  
ZU DEINEM WERK.  
WERDE TEIL DER ENERGIE-  
GEMEINSCHAFT!“**

Jetzt bewerben unter  
[e-werk-mittelbaden.de/  
karriere](https://e-werk-mittelbaden.de/karriere)



**E-Werk  
Mittelbaden**

*Daheim gut versorgt*

ARBEITEN IN EINEM DER MODERNSTEN STAHLWERKE EUROPAS

LIEBER  
HIGHTECH  
STATT STAUB  
UND HITZE?

**Matthias Preissler**

Betriebs- / Projekttechniker

Absolvent der Hochschule Offenburg als  
Bachelor of Engineering 2016 im Studiengang  
Elektrische Energietechnik/Physik plus

 **BSW**

Du kannst vieles und willst noch mehr? Super! Denn bei uns bist du nicht nur Ingenieur, sondern immer auch Praktiker. Du musst dir nicht die Hände schmutzig machen. Aber du kannst. Denn wir haben Kehls heißeste Jobs. Garantiert.

Dein Job unter: [www.bsw-kehl.de](http://www.bsw-kehl.de)  
**BADISCHE STAHLWERKE. MEHR ALS NUR STAHL.**