

# forschung im fokus

**[Flipped Mastery: Probleme lösen lernen]**

Lehransatz in der akademischen Lehre | 8

**[LogIKTram]**

Nachhaltiger straßenbahnbasierter Gütertransport | 66

**[Export Credits and the Climate Transition]**

Klimafinanzierung für „Net Zero“-Ziele | 108



Und wann trittst du bei  
MEIKO auf? Jetzt bewerben.



Ideen sprudeln, Grenzen fließen, Menschen unterschiedlicher Kulturen kommen zusammen und arbeiten gemeinsam an einer Vision: die Welt sauberer und hygienischer zu machen. Das ist MEIKO. Weltweit arbeiten über 2.600 Mitarbeiter mit Leidenschaft an den nachhaltigen Lösungen zum professionellen Spülen, Reinigen und Desinfizieren. Sie alle prägen die Kultur eines wertegeleiteten Unternehmens, das seine Mitarbeiter und Mitarbeiterinnen fördert und Erfolge teilt. Willkommen an der Quelle für Sauberkeit! [www.meiko-global.com](http://www.meiko-global.com)

**Starte deine Zukunft bei MEIKO**  
Professionelle Spül-, Reinigungs- und Desinfektionstechnik





Dr. Ira Pawlowski [operative Leitung CRT], Prof. Dr. Stephan Trahasch [Rektor] und Prof. Dr. Thomas Seifert [Prorektor für Forschung und Transfer, wissenschaftliche Leitung CRT]

## Liebe Leserinnen, liebe Leser,

die Hochschule Offenburg hat sich als eine der forschungstärksten Hochschulen für Angewandte Wissenschaften (HAW) in Baden-Württemberg in ihrer Spitzenposition etabliert. Im Jahr 2021 forschten unsere Professorinnen und Professoren zusammen mit rund 140 wissenschaftlichen Mitarbeitenden in 145 Projekten mit einem Drittmittelumsatz in Höhe von 6,75 Millionen Euro. In den Forschungsprojekten arbeiten sie daran, Lösungen für eine digitale Wirtschaft und Gesellschaft, für nachhaltiges Wirtschaften und erneuerbare Energien, für gesundes Leben und intelligente Mobilität zu finden und diese Lösungen in die Wirtschaft und die Gesellschaft zu transferieren.

In dieser 25. Ausgabe unseres Forschungsmagazins „forschung im fokus“ finden Sie kurze spannende Berichte zu den Forschungsprojekten und -ergebnissen aus den Fakultäten und Forschungsinstituten der Hochschule Offenburg. Es werden Ihnen dabei Neuentwicklungen aufgezeigt, die beispielsweise in der Industrieautomation („Blockchain für verlässliche Prozesse in der Industrieautomation“, Seite 90) oder der nachhaltigen Energiesystemtechnik („Elektrische Energiespeicherung mit Batterien und Brennstoffzellen“, Seite 100) eingesetzt werden können. Außerdem spielt die Nutzung und Anwendung von Künstlicher Intelligenz eine wichtige Rolle, zum Beispiel in der Produktionsplanung und -steuerung („Maschinelles Lernen in Produktionsplanung und -steuerung, Seite 78) oder in der Robotik („Deep Reinforcement Kick: Lernen von einem simulierten Roboter mit

Zehen“, Seite 86). Um aus unseren Forschungsergebnissen wirtschaftlich verwertbare Innovationen hervorgehen zu lassen, beschäftigt sich die Hochschule Offenburg darüber hinaus mit den Themen Unternehmertum („Entrepreneurship: Hochschulweiterbildung für das Unternehmertum“, Seite 26) und kreativer „Spielraum“ für die Erschaffung innovativer Produkte („Edu FabLab HSO: Raum für Kreativität und Forschungsprojekte“, Seite 74).

Die in diesem Forschungsmagazin dargestellte große thematische Bandbreite der Forschung an der Hochschule Offenburg macht es uns möglich, die aktuellen Herausforderungen wie Digitalisierung, Energie- und Mobilitätswende mit einem ganzheitlichen, systemischen Blick zu betrachten. Dank des Fokusses auf die Anwendung können wir mit international anerkannter Forschungskompetenz unmittelbar nutzbare Beiträge für Wirtschaft und Gesellschaft liefern. Dafür stehen die Campus Research & Transfer, die zentrale Anlaufstelle für Forschungs- und Entwicklungsvorhaben an der Hochschule Offenburg, ebenso wie das neue Rektorat um Prof. Dr. Stephan Trahasch.

Bis dahin wünschen wir Ihnen viel Spaß und Kurzweil mit den Beiträgen. Gern laden wir Sie ein, mit uns über das weite Feld der Forschung, in den Dialog zu treten.

*Prof. Dr. Stephan Trahasch, Prof. Dr. Thomas Seifert und Dr. Ira Pawlowski*

# Frauen in der Wissenschaft

Linda Kunath-Ünver M.Sc.

Junge Frauen für ein MINT Studium zu begeistern, ist auch heute noch eine herausfordernde Aufgabe. Mit dem Projekt MINT4GIRLS hat die Gleichstellung der Hochschule Offenburg ein Forschungsprojekt ins Leben gerufen, das sich dieser Thematik widmet. Es gilt die Entscheidungen junger Frauen in der Berufsorientierung zu evaluieren und darum, neue Marketingkonzepte zu entwickeln, um eine nachhaltige Kommunikation mit dieser Zielgruppe zu ermöglichen.

*Getting young women interested in studying MINT is still a challenging task today. With the project MINT4GIRLS, the Equality Department of Offenburg University has launched a research project to address this issue. The aim is to evaluate the decisions of young women in career orientation and to develop new marketing concepts to enable sustainable communication with the target group.*



Löt-Workshop 2021 mit Kooperationspartner Cybermentor im Rahmen von MINT4GIRLS

## Einleitung

Die fortschreitende Digitalisierung und das Bedürfnis, eine nachhaltige Welt mitzugestalten, sorgen bundesweit für einen Anstieg der MINT-Studierendenzahlen. MINT Akteur\*innen sind die Treiber\*innen und Gestalter\*innen einer andauernden und fortschreitenden Digitalisierung.

Bei steigender Bewerber\*innenzahl für Mint-Studiengänge fällt jedoch auf, dass der Frauenanteil dabei prozentual und auch verhältnismäßig geringer wächst. So waren nur rund 15,4 Prozent aller sozialversicherungspflichtigen Beschäftigten in MINT-Berufen im

Jahr 2018 weiblich (vgl. Statistik der Bundesagentur für Arbeit 2019: acht MINT-Berufe).

Diese Divergenz fällt auch bei der Hochschule Offenburg auf, die ihre Studierendenzahlen kontinuierlich evaluiert und nach Ursachen und Lösungskonzepten sucht, um diesem Trend entgegenzuwirken. Deshalb hat die Gleichstellung der Hochschule Offenburg bereits 2020 eigens dafür das Projekt Mint4Girls entwickelt, das sich neben der Problemanalyse mit der Entwicklung nachhaltiger Konzepte, um mehr junge Frauen für ein wissenschaftliches Studium zu begeistern, beschäftigt.

## Einführung in die Zielgruppe

Um ein nachhaltiges Marketingkonzept zu entwickeln, müssen elementare Fragen über die Zielgruppe gestellt werden:

- Wie entscheidet sich eine junge Frau bei der Studienwahl?
- Ist ihre Entscheidung noch geprägt von gängigen Rollenbildern?
- Inwieweit spielen Zeitgeist und Trends eine Rolle beim eigenen Entscheidungsprozess?
- Wie verändert die Pubertät Meinungen, Vorlieben oder den Geschmack?
- Stereotype, sozialstrukturelle Einflüsse und fehlende Rollenbilder?

Laut Forschung sind die Ursachen für eine Ablehnung eines naturwissenschaftlichen Studiums vielfältig und individuell (vgl. Yvonne Haffner, Lena Loge (Hrsg.): Frauen in Technik und Naturwissenschaft: Eine Frage der Passung. Verlag Barbara Budrich, Opladen 2019). Jedoch gibt es bestimmte Gründe, die einen maßgeblichen Einfluss auf die Bildungsentwicklung von jungen Frauen haben. So sind stereotype Rollenbilder auch in kommenden Generationen noch fest verankert. Ohne ein aufgeschlossenes und unterstützendes Elternhaus haben es junge Frauen schwer, einen eigenen Antrieb für einen wissenschaftlichen oder technischen Werdegang zu entwickeln. Auch sozialstrukturelle Einflüsse spielen bei der Berufswahl eine große Rolle. Migrationshintergrund, Milieu und sozialer Status sind schon vor dem Studium bedeutende Wegweiser, die Einfluss auf die spätere Berufswahl haben. Ein weiteres Problem in der Berufsorientierung junger Frauen ist der Mangel an weiblichen Vorbildern. Der sogenannte „Scully“-Effekt beschreibt, wie wichtig lebensnahe, positive, motivierende weibliche Vorbilder für junge Frauen sind. In einer männerdominierten Umgebung gibt es mehr männliche Erfolgsgeschichten, die von männlichem Nachwuchs adaptiert und angestrebt werden können.

MINT4GIRLS versucht diese Ursachegeflechte zu erkennen und mit einer gezielten Ansprache entgegenzuwirken. Die Ansprache von zukünftigen Studentinnen in technischen und wissenschaftlichen Studiengängen ist das Leitmotiv des MINT4GIRLS Instagram Accounts. Dabei wird die Zielgruppe durch Alter, Interessensgebiete und Bildungsstand genauer definiert. Die jungen Frauen stammen aus unterschiedlichen Bildungsmilieus, sind aber vorzugsweise auf einem weiterführenden Gymnasium oder befinden sich am Anfang einer technischen oder wissenschaftlichen Ausbildung.

Um sich dieser agilen und diversen Zielgruppe zu nähern, entwickelt die Gleichstellung ein nachhaltiges Konzept zur Marketingstrategie. Die Entwicklung der Strategie ist dabei genauso agil und flexibel wie die Zielgruppe selbst. Neben der Wahl der Plattform spielt die Wahl des Formats eine ebenso signifikante Rolle.

Die Schnellebigkeit von Social Media, die unberechenbare Macht der Masse und die Auswirkungen von Nachrichten auf Stimmungsbilder erschweren die Entwicklung eines nachhaltigen Marketingkonzepts. So müssen verschiedenste Parameter der Zielgruppenforschung ständig beobachtet werden, um eine nachhaltig gelungene Kommunikation zu ermöglichen.

## Entwicklungsprozess einer nachhaltigen und agilen Marketingstrategie

Um ein geeignetes Marketingkonzept zu entwickeln, muss die Zielgruppe erforscht und ihr Handeln beobachtet werden. In einer Studie unter Akteurinnen im MINT-Bildungsbereich zur Analyse vom Verhalten junger Frauen bei der Studienwahl im wissenschaftlichen und/ oder technischen Bereich konnte die Gleichstellung dafür wichtige Anhaltspunkte gewinnen.

Zielgruppengerechte Gestaltung einer Grafik für den Instagram Kanal MINT4GIRLS, Frauen in MINT Berufen (Illustrationen: Jacqueline Linsenmeier)



Beispielsweise wurde die Bedeutung von Social Media in der Kommunikation mit potenziellen MINT-Studierenden abgefragt. Die Studie von 2021 mit dreißig Teilnehmer\*innen belegt, dass Social Media einen großen Bedeutungszuwachs bei der Informationssuche über Studienangebote erfährt. Über 70 Prozent der Befragten geben an, dass Instagram die meistgenutzte soziale Plattform für junge Frauen bei der Studienwahl ist.

### Agiles Marketing

Bei der Entwicklung einer nachhaltigen Marketingstrategie für eine diverse Zielgruppe ist flexibles Handeln Voraussetzung für eine erfolgreiche Kommunikation. Die Schnelligkeit von Social Media, die Beeinflussung durch Trends und Nachrichten machen ein kontinuierlich aktives Handeln unabdingbar. Mit agilem Marketing kann spontan und flexibel auf äußere Einflüsse reagiert werden. So kann die Forschung nicht von der Zielgruppe verlangen, sich von alten Konventionen loszulösen, ohne selbst agil und flexibel zu sein. Die Möglichkeit, direkt auf Mikro-Momente zu reagieren, kann zu einem effizienten Marketing beitragen. In der Marketingkonzeption werden wenig langfristige Ziele gesetzt, vielmehr sind es kleinere Zwischenschritte, die durch den Kommunikationsalltag leiten. Die Hauptaufgabe des agilen Marketings besteht darin, den richtigen Content zum richtigen Zeitpunkt bei der entsprechenden Zielgruppe zu positionieren.

Die Frage nach dem richtigen Content ist dabei zu einer elementaren Forschungsfrage des Projekts geworden.

Aus welchen Einheiten Content besteht, entscheidet vor allem die Wahl der sozialen Plattform. So werden auf Instagram vorwiegend Bilder und Videos mit einer geringen Menge Text präsentiert. Die Bild- und Textebene sind dabei verknüpft und müssen korrelieren. So kann eine bunte, jugendliche Bildsprache nicht mit einem sachlichen, wissenschaftlichen Text kombiniert werden. Text und Bild beziehungsweise Video müssen zu einer Einheit werden. Ein Schwerpunkt bei der Erforschung einer geeigneten Gestaltung liegt auf der Grafik der generierten Posts. Einige Fragen werden immer wieder neu gestellt werden - und die Antwort, der Content, wird angepasst.

Nicht nur die Frage nach den Inhalten, sondern auch die Wahl der passenden Gestaltungsmittel und ihre Umsetzung werden analysiert. Techniken sind beispielsweise Fotografie, Illustration, Bewegtbild oder Collage. Die Frage nach der Ästhetik des Contents ist dabei wichtiger als die Wahl der Technik.

Um die Gestaltung stetig weiterzuentwickeln und um kontinuierlich an der Bildsprache zu arbeiten, werden mit regelmäßigen Umfragen auf der Plattform Rückschlüsse zur Gestaltung gezogen. Dabei wird die Beliebtheit bestimmter Techniken ebenso abgefragt wie kompositorische oder gestalterische Entscheidungen. Thema einer Umfrage im Dezember 2021 unter den 700 Abonent\*innen des Instagram-Kanals war beispielsweise die Illustrationstechnik. Konkret ging es dabei um die Darstellung von Frauen in der Wissenschaft. Wie viel Weiblichkeit wirkt seriös, welche Farben wirken weiblich und trotzdem professionell? Die Ergebnisse der Umfrage zeigen, dass sich die Zielgruppe eine gezielt weibliche Darstellung von Frauen in der Wissenschaft wünscht. Die Farben sollen dabei kräftig und bunt gewählt werden und Klischees sollen generell vermieden werden.

Instagram ist so zum wichtigsten Rückkopplungskanal mit der Zielgruppe und für die Entwicklung einer nachhaltigen Strategie geworden.

Die Contententwicklung wird genauso agil gestaltet wie das Marketingkonzept. Bei der Arbeit mit der Zielgruppe ist aufgefallen, wie wichtig die richtige Bildsprache ist. Dabei spielt Authentizität eine elementare Rolle. Je näher man hier an der Zielgruppe ist, desto authentischer wird die Kommunikation mit ihr. Der Gebrauch von Sprache oder die Auswahl an Gestaltungsmitteln können zwar als Trends beschrieben und als Richtlinien festgehalten werden, müssen aber vor allem spontan angewendet werden können.

#### AUTORIN



Linda Kunath-Ünver M.Sc.  
Projektleitung MINT4GIRLS  
linda.kunath-uenver@hs-offenburg.de



1	<b>Grußwort</b>	74	Edu FabLab HSO: Raum für Kreativität und Forschungsprojekte
2	Frauen in der Wissenschaft	77	<b>Institute for Machine Learning and Analytics [IMLA]</b>
7	<b>Medien [M]</b>	78	Maschinelles Lernen in der Produktionsplanung und -steuerung
8	Flipped Mastery: Probleme lösen lernen	82	Beschleunigung rechenintensiver Clustering: Verfahren in hochdimensionalen Daten
12	Bildung und Digitalisierung: Lehren aus der Pandemie	86	Deep Reinforcement Kick: Lernen von einem simulierten Roboter mit Zehen
16	Psychologie in Recruiting and Onboarding	89	<b>Institut für verlässliche Embedded Systems und Kommunikationselektronik [ivESK]</b>
19	DE\GLOBALIZE Teil 4: ERBE/ERDE – Matters of Violence	90	Blockchain für verlässliche Prozesse in der Industrieautomation
22	Medienökologische Topologien	94	LPWAN-Funktechnologien im 2,4 GHz-Band
24	The Data Aggregation: using Grouping Algorithm in Peer-to-Peer Network	99	<b>Institut für nachhaltige Energiesysteme [INES]</b>
26	Entrepreneurship: Hochschulweiterbildung für das Unternehmertum	100	Elektrische Energiespeicherung mit Batterien und Brennstoffzellen
31	<b>Maschinenbau und Verfahrenstechnik [M+V]</b>	104	<b>Institut für nachhaltige Silikatforschung Offenburg [NaSiO]</b>
32	2GenBug und BW2Pro: Bioökonomieprojekte an der Hochschule	105	Vitan®: an alternative to Ordinary Portland Cement
36	Auf dem richtigen Pfad trotz Risse in Komponenten	107	<b>Institute for Trade and Innovation [IfTI]</b>
39	Achtung heiß: Das neue Werkstoffmodell für Warmumformwerkzeuge	108	Export Credits and the Climate Transition
42	Neue Qualitätskriterien zur Beurteilung von Stahlgussbauteilen	113	<b>Peter-Osypka-Institut für Medizintechnik [POIM]</b>
45	Ethanolbetriebene Ottomotoren für den Einsatz in Hocheffizienzfahrzeugen	114	Pilotstudie: mechanischer Parameter für ein kardiovaskuläres Implantat
49	<b>Betriebswirtschaft und Wirtschaftsingenieurwesen [B+W]</b>	118	<b>Institute for Unmanned Aerial Systems [IUAS]</b>
50	EUMODFRAUD: Projekt zur Betrugs- und Korruptionsbekämpfung in EU-Fonds	119	Ultra-Breitband Mikrowellen-System zur medizinischen Bildgebung
54	Management der Digitalisierung	122	<b>Publikationen 2021</b>
57	Nutzerbedürfnisse erforscht: Was erwarten User vom neuen HSO-Intranet?	133	<b>Dissertationen 2021</b>
62	Die Notwendigkeit interdisziplinären Projektmanagements beGreifen	135	<b>Patente 2021 // Impressum</b>
66	LogIKTram: Nachhaltiger straßenbahn- basierter Gütertransport	136	<b>Kontakt</b>
71	<b>Elektrotechnik, Medizintechnik und Informatik [EMI]</b>		
72	Vorlesungsnachverfolgung zur Unterstützung von Hybrid-Vorlesungen		

**JUNKER  
GROUP**

Beste Voraussetzungen

für eine erfolgreiche Zukunft

Entlang der gesamten Wertschöpfungskette verpflichtet sich die JUNKER Gruppe absoluter Präzision und entwickelt zukunftsweisende Lösungen. Im umfangreichen Produktportfolio finden sich Schleifmaschinen mit CBN- oder Korund-Schleifscheiben und Filtrationssysteme für jede Aufgabe und Anforderung. Die JUNKER Gruppe überzeugt mit einem ganzheitlichen Systemverständnis und definiert langlebige sowie nachhaltige Produkte und Services mit größter Sorgfalt.

# Mitgestalten

[junker-group.de/karriere](https://junker-group.de/karriere)







## MEDIEN

Das Mediengebäude  
auf dem Hauptcampus  
in Offenburg

In Lehre und Forschung zeichnet sich die Fakultät Medien durch ihren besonderen interdisziplinären Charakter aus, der durch verschiedene Schwerpunkte in der Medieninformatik, der Medienwirtschaft, der Mediengestaltung und der Medientechnik geprägt wird.

2021 wurden in nahezu allen Mediendisziplinen Drittmittelprojekte verschiedenster Art bearbeitet. Im Projekt „KompiLe“ wird zum Beispiel das Lernen mit Künstlicher Intelligenz (KI) unmittelbar mit dem Lernen über KI verknüpft, um so einen reflexiven Lernprozess zu ermöglichen. Im Bereich IT-Sicherheit sind zudem die Projekte „OVVL“ und „ML-Sec IV“ zu nennen. Bei „ML-Sec IV“ wird zum Schutz des gesamten Machine Learning Lebenszyklus im Bereich der industriellen Software geforscht. Der Schwerpunkt liegt dabei auf der Binary Similarity Erkennung durch Machine Learning und dem Schutz vor Data Poisoning Angriffen. Das Projekt „OVVL“ widmet sich hingegen der automatisierten Unterstützung eines „Secure by Design“-Ansatzes, der den gesamten sicheren Softwarelebenszyklus adressiert.

Zudem ist die Hochschule Offenburg seit Januar 2021 Teil des neuen grenzüberschreitenden Netzwerks „CinEuro“. Hierbei handelt es sich um eine einzigartige grenzüberschreitende Kooperationsinitiative, die zum ersten Mal alle für die Förderung des Film- und audiovisuellen Sektors zuständigen Strukturen im Grand Est, in Luxemburg, Deutschland, Belgien und in der Schweiz zusammenbringt. Ziel des Projekts ist, einen strategischen und wettbewerbsfähigen Filmstandort im Herzen Europas zu etablieren. In den AV-Studios der Hochschule Offenburg sind hierzu trinationale Workshops zur Stereoskopie im Spiel-, Dokumentar- und Animationsfilm und zum Drehbuch-Schreiben geplant. Darüber hinaus ist die Gestaltung von User Interfaces und die Analyse der damit eng

verbundenen User Experience ein typisches Forschungsfeld der Fakultät, mit dem sich zahlreiche Kolleginnen und Kollegen aus unterschiedlichen Blickwinkeln beschäftigen.

Eine weitere Besonderheit der Fakultät Medien sind Ideenwettbewerbe, kulturelle Veranstaltungen, künstlerische Ausstellungen und Performances. Angesichts der Pandemie konnten diese 2021 nur eingeschränkt realisiert werden. So wurde die jährliche WERKSCHAU erstmals online umgesetzt. Bei diesem besonderen Event wurden Projekt- und Abschlussarbeiten aus den Bereichen der Medieninformatik, -technik, -wirtschaft und der Mediengestaltung webbasiert präsentiert. In einem digitalen Ausstellungs- und Spielraum wurden auch Installationen, Live-Musik und ein vielfältiges Kinoprogramm geboten. Auch die trinationalen studentischen Filmprojekte bei den SHORTS wurden im Live-Stream aus den FORUM Cinemas in Offenburg mit geladenen Gästen und Filmemacher\*innen vorgestellt. Des Weiteren existiert an der Fakultät das Innovationsnetzwerk THINK NEW, um verschiedenste Organisationen aus Wirtschaft, Kultur und Gesellschaft mit den Studierenden zu vernetzen. Diese Netzwerk- und Transferarbeit konnte online ebenso erfolgreich weitergeführt werden.

Ihre interdisziplinäre Vielfalt zeigt die Fakultät auch in zahlreichen Publikationen. In diesem Zusammenhang stehen unter anderem medienökologische Topologien, das Entrepreneurship, die Psychologie im Recruiting und Onboarding, das Problemlösen durch Flipped Mastery oder die Bildung und Digitalisierung angesichts der Lehren aus der COVID-19-Pandemie im Fokus. Einblicke in die Forschungsarbeit der Fakultät werden in den folgenden Beiträgen gegeben.

*Dekanin Prof. Dr. rer. pol. Ute Rohbock*

# Flipped Mastery: Probleme lösen lernen

Prof. Dr. rer. nat. Erik Zenner

In seinem Forschungssemester im Sommer 2021 hat sich der Autor mit Fragen des menschlichen Problemlösens beschäftigt. Denn während Routineprobleme zunehmend von Computern übernommen werden, gewinnt die Fähigkeit, völlig neue Probleme zu bearbeiten, noch mehr an Bedeutung. Dieser Artikel geht der Frage nach, was dazu erforderlich ist und wie Problemlösen in der akademischen Lehre gelehrt werden kann.

*In his sabbatical in summer 2021, the author worked on the topic of human problem solving. While routine problems are increasingly solved by computers, the ability to solve completely new problems grows in importance. In this article, we ask how this can be achieved and how problem solving can be taught in an academic context.*

## Das Problem mit dem Problemlösen

In der Psychologie unterscheidet man zwischen Routineproblemen und solchen, für die eine wie auch immer geartete neue Idee erforderlich ist – sogenannte Insight Problems:

- Bei Routineproblemen ist die Lösungsmethode bereits bekannt. Sie können daher für gewöhnlich durch Algorithmen beschrieben werden. In der beruflichen Praxis werden sie zunehmend von Computern bearbeitet. Arbeitsplätze, in denen Routineprobleme den Hauptteil der Arbeit ausmachen, gelten als gefährdet [1].
- Bei Insight Problems dagegen muss erst eine Lösungsmethode gefunden werden. Da dazu kreatives Denken erforderlich ist, sind sie (abgesehen von eng abgegrenzten Gebieten wie dem Schachspielen) zumindest vorläufig noch eine Domäne menschlicher Denker. Wenn im Folgenden von „Problemlösen“ die Rede ist, sind damit solche Insight Problems gemeint.

Aus der Sicht der Hochschullehre wirft dies natürlich die Frage auf, wie wir selbst eigentlich solche neuen Probleme lösen und wie wir anderen beibringen können, sie zu lösen. Tatsächlich ist dies eine Fähigkeit, die selten explizit gelehrt wird, und für Außenstehende wirken die Fähigkeiten erfolgreicher Problemlöser nicht selten wie eine Art Magie. Der Physiker Murry Gell-Man (immerhin selbst Träger des Nobelpreises) beschrieb einmal im Scherz die Vorgehensweise seines

berühmten Kollegen Richard Feynman wie folgt:

1. Write down the problem.
2. Think real hard.
3. Write down the solution.

Dieser sogenannte Feynman-Algorithmus soll die Genialität Feynmans beschreiben, ist aber natürlich für Außenstehende wenig hilfreich. Wie also gehen echte Problemlöser vor?



Abb. 1:

Richard Feynman (Copyright Tamiko Thiel 1984, CC BY-SA 3.0 <<https://creativecommons.org/licenses/by-sa/3.0/>>, via Wikimedia Commons)

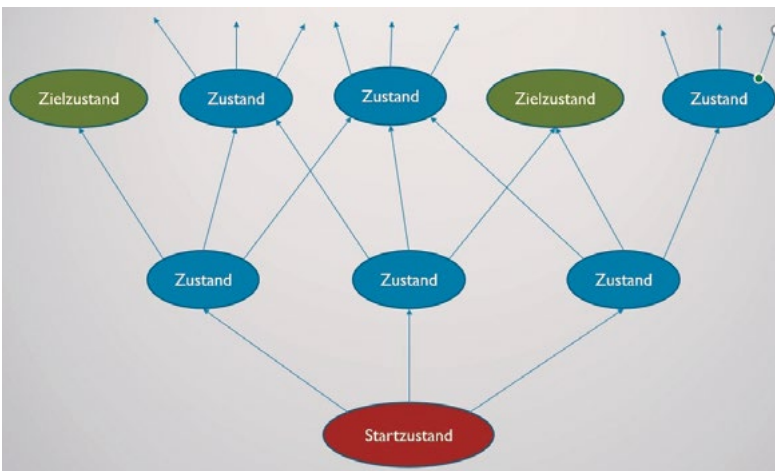
Da sich die Informatik ja in der Hauptsache mit Algorithmen beschäftigt, liegt die Vermutung nahe, dass sie auch nützliche Werkzeuge für das Lösen von Problemen bereithält. Diese Hoffnung wurde von der „Computational Thinking“-Bewegung so auch explizit postuliert [2]. Allerdings stellte sich heraus, dass die Übertragung von Wissen aus der Informatik in ein anderes Anwendungsfeld nicht ohne Weiteres gelingt – ein Zusammenhang zwischen informatischer Schulung und praktischer Problemlösungskompetenz konnte tatsächlich nicht nachgewiesen werden [3].

### Problemlösendes Denken

Weitere Wissenschaften, die sich mit dem Problemlösen beschäftigen, sind Psychologie und Kognitionswissenschaft. Allerdings ist die Faktenlage hier überraschend dünn; so sucht man vergeblich nach aktuellen Lehrbüchern oder Kursen zum Thema, wie es sie etwa für logisches Denken gibt. Zwar gibt es eine Reihe von Modellen, die das menschliche Problemlösen erklären, diese stammen aber häufig schon aus der Frühzeit der Kognitionswissenschaft. Ein besonders verbreitetes Beispiel ist die Problem Space-Theorie von Newell und Simon aus dem Jahr 1972 [4], die eine Problemsuche als Suchproblem in einem Zustandsgraphen modelliert. Sie beschreibt ein Problem durch:

- Zustände - Startzustand, Zielzustände (und ihr Wert), Zwischenzustände
- Operatoren - Ermöglichen den Übergang von einem Zustand zum nächsten

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



Beim Problemlösen geht es dann darum, einen Weg vom Startzustand zu einem möglichst guten Zielzustand zu finden und dabei bestimmte Nebenbedingungen (zum Beispiel Kosten der Operatoren) zu optimieren. Ein Problem ist dann umso schwieriger, je mehr

Operatoren zur Auswahl stehen bzw. erforderlich sind, um vom Start- in einen Zielzustand zu gelangen. Und ein kompetenter Problemlöser zeichnet sich dadurch aus, dass er mehr oder komplexere Operatoren beherrscht als sein untrainiertes Pendant und dass er besser ist, wenig zielführende Wege frühzeitig als solche zu erkennen und nicht weiterzuverfolgen.

Dieses Modell ist gerade für Informatiker unmittelbar einleuchtend (kein Wunder, stammt es doch aus dem Umfeld der Künstliche-Intelligenz-Forschung), und es erklärt auch eine Vielzahl von Alltagsbeobachtungen. Allerdings hat es den Nachteil, dass es nicht so recht zu dem passen will, was wir heute über die physische Beschaffenheit des Gehirns wissen. Wir müssen es also als eher abstrakte Darstellung des Problemlösens an sich verstehen und nicht als konkrete Anleitung, wie das Gehirn tatsächlich konkrete Probleme löst – es geht eher um das „was“ als um das „wie“ des Problemlösens.

Eine besondere Rolle spielen Probleme, bei denen eine Lösung mit den vorhandenen Operatoren gar nicht möglich ist. Hier müssen also neue Operatoren entwickelt werden, beispielsweise indem man welche aus anderen Disziplinen entnimmt und an das neue Problem anpasst. Die Psychologie spricht hier von Plastizität – der Fähigkeit, Ideen und Konzepte außerhalb des Kontexts zu betrachten, in dem man sie kennengelernt hat. Dies fällt den meisten Menschen überraschend schwer und scheint tatsächlich ein Kennzeichen guter Problemlöser zu sein. Zwei Faktoren sind dazu aber offenkundig Voraussetzung:

- Der Problemlöser muss über ein umfangreiches Wissen (auch außerhalb des eigenen Spezialgebiets) verfügen, aus dem er Konzepte „borgen“ kann.
- Der Problemlöser muss es gewohnt sein, Konzepte von verschiedenen Seiten zu betrachten und in neue Kontexte zu übertragen.

Blickt man auf die Biografien erfolgreicher Forscher, so fallen gerade diese beiden Punkte immer wieder auf und haben auch in Form von Anekdoten (wie Newtons Apfel oder Archimedes Badewanne) Eingang in die Populärkultur gefunden. Auch der oben bereits genannte Richard Feynman hatte dazu einen Vorschlag, der als Feynman-Methode bekannt geworden ist: Man solle jedes Konzept so gut verstehen, dass man es einem Sechstklässler erklären könne. Tatsächlich muss man dazu mit Analogien arbeiten (entsprechende Vor-

träge Feynmans finden sich beispielsweise auf Youtube) und so genau die Art mehrseitiger Betrachtung vornehmen, die später dabei hilft, die Konzepte auch in einen anderen Kontext zu setzen.

## Konsequenzen für die Lehre

Für die Lehre bedeutet das, dass die Fähigkeit zu echtem Problemlösen nicht automatisch dadurch entsteht, dass Studierende viel Wissen anhäufen oder souverän Routineprobleme bearbeiten können. Sie müssen vielmehr Zeit und Gelegenheit haben, mit neuen Konzepten zu arbeiten und sie in verschiedenen Kontexten auszuprobieren. Dabei gibt es in der Praxis zwei typische Hindernisse:

- **Stoffmenge:** Gerade in den ersten Studiensemestern wird in vielen Fächern eine große Stoffmenge vermittelt. Dies steht aber im direkten Widerspruch zur Notwendigkeit, mit jedem der behandelten Themen auch intensiv und unter verschiedenen Blickwinkeln zu arbeiten.
- **Prüfungen:** Die verbreitetste Prüfungsform ist immer noch die Klausur. Diese ist aber meist zu kurz, um Insight Problems zu bearbeiten. Stattdessen konzentriert sie sich auf Routineprobleme und das Abprüfen von Fachwissen und setzt so den Anreiz, genau diese vorzubereiten.

Die Konsequenzen sind eigentlich bekannt und werden von Studierenden wie Professoren gleichermaßen beklagt: Erworben wird oft reines Klausurwissen, das häufig nur kurzfristig behalten und schnell wieder vergessen wird. Tiefes Verständnis und echte Problemlösungskompetenz entstehen dagegen nur in Ausnahmefällen.

## Flipped Mastery

Aus dem bisher Gesagten sollte (wenn es nicht ohnehin schon bekannt war) deutlich geworden sein, dass gerade das aktive Arbeiten mit dem Stoff eine größere Rolle bei der Entwicklung von Problemlösungskompetenz spielt als der passive Konsum wie das Lesen eines Buchs oder der Besuch einer Vorlesung. Dies steht aber im Widerspruch zur klassischen Vorgehensweise an Hochschulen, wo die Vorlesung in Präsenz durch einen Professor erfolgt, während die Übung einem Tutor überlassen oder gleich ganz zur Privatsache der Studierenden erklärt wird.



Abb. 3: Beim Flipped Classroom wird die Rolle von Präsenzunterricht und Selbststudium vertauscht

Ein entgegengesetzter Ansatz wird von der sogenannten Flipped Classroom-Methode verfolgt. Hier werden die Rollen von Theorie und Praxis im Unterricht vertauscht: Die Theorie wird von den Studierenden daheim erarbeitet (beispielsweise anhand von Lernvideos, Skripten oder Ähnlichem), während die Anwendung in betreuten Übungen an der Hochschule erfolgt. Die Rolle des Lehrenden wandelt sich dabei vom Dozenten zum Coach: Er sorgt für Hilfestellungen, korrigiert Fehlentwicklungen und gibt Feedback.

Eine verbreitete Sorge in diesem Zusammenhang ist, dass Studierende unvorbereitet im Unterricht erscheinen und so dem Kurs schon bald nicht mehr folgen könnten. Genau genommen geschieht ja genau das Gleiche auch in der klassischen Hochschullehre, nur dass es nicht so sehr auffällt, wenn jemand in der letzten Reihe sitzt, der schon seit Wochen nicht mehr auf dem Stand der Dinge ist. Die gemeinsame Übung würde dieses Defizit jetzt aber sichtbar machen und – schlimmer noch – die Gefahr bergen, dass gut vorbereitete Studierende durch nachlässige Kommilitonen ausgebremst würden.

In diesem Zusammenhang lohnt ein Blick auf ein zweites didaktisches Konzept, nämlich das sogenannte Mastery Learning [5]. Dabei geht man davon aus, dass die meisten Menschen die meisten Konzepte lernen können, dass sie aber unterschiedliche Voraussetzungen mitbringen und unterschiedlich lang dafür brauchen. Gerade in Fächern, bei denen Inhalte aufeinander aufbauen, werden langsamere Studierende aber früher oder später „abgehängt“ – die kumulierten Defizite aus den ersten Lehreinheiten werden irgendwann so groß, dass man den späteren Lehreinheiten gar nicht mehr folgen kann. Beim Mastery Learning dagegen lässt man Lernen mit unterschiedlichen Geschwindigkeiten zu: Man arbeitet so lange an einem Thema, bis man es wirklich verstanden hat, und geht erst dann zum nächsten Thema über.

In der klassischen Vorlesung ist das natürlich nicht möglich – der Dozent kann ja nicht jeweils auf den langsamsten Teilnehmer im Saal warten. Beim Flipped Classroom dagegen kann ein solches Konzept umgesetzt werden: Jeder lernt und arbeitet in seinem eigenen Tempo. Für den Professor (jetzt Coach) spielt es bei der Betreuung kaum eine Rolle, dass ein Teilnehmer noch bei Kapitel zwei ist, während ein anderer schon an Kapitel vier arbeitet. Die so entstehende Mischform wird als Flipped Mastery bezeichnet [6] und beispielsweise von der Khan Academy verwendet [7].

## Ein Praxistest

Im Wintersemester 2021/22 wurde das Konzept im Rahmen der Veranstaltung „Applied Cryptanalysis“ einem ersten Praxistest unterzogen. Das Modul ist Teil des internationalen Masterstudiengangs Enterprise and IT Security (ENITS) an der Hochschule Offenburg und litt von Anfang an unter den sehr heterogenen Vorkenntnissen der Studierenden. Teilnehmer mit einem abgeschlossenen Bachelor in IT-Sicherheit trafen hier auf Teilnehmer, die zuvor lediglich einen 6-Credit-Kurs zum Thema besucht haben. Entsprechend schwierig war es, hier einen gemeinsamen Nenner zu finden.

Die Flipped-Mastery-Version des Kurses wurde wie folgt organisiert:

- Es gab zehn Lehreinheiten (Lessons), die als Lehrbriefe gestaltet waren und jeweils daheim vorzubereiten waren.
- Zu jeder Lehreinheit gab es eine Übung/Laboreinheit, die in Präsenz an der Hochschule stattfand und in der Theorie- und Programmieraufgaben kombiniert wurden (keine Routineaufgaben, sondern Insight Problems).
- Die Arbeit erfolgte in Gruppen zu ein bis drei Studierenden; es galt grundsätzlich Anwesenheitspflicht.
- Jede Gruppe konnte in ihrem eigenen Tempo arbeiten. Eine neue Lehreinheit wurde erst begonnen, wenn die letzte Laboreinheit erfolgreich bearbeitet (und vom Dozenten bestätigt) worden war.
- Die Bewertung erfolgte nach der Anzahl bewältigter Lehreinheiten – je mehr Einheiten geschafft wurden, desto besser die Note.

Die Erfahrungen im Kurs waren durchweg positiv. Die Arbeitsmotivation, die Kooperation und der Lernfortschritt der Studierenden waren sehr hoch, und alle erreichten das Mindestpensum zum Bestehen (fünf von zehn Lehreinheiten). Auch die Zufriedenheit der Studierenden war hoch.



Abb. 4: Anzahl bewältigter Lehreinheiten im Kurs: Alle 18 Teilnehmer schafften die Lehreinheit 1-5, aber nur einer kam bis Lehreinheit 9.

Allerdings muss auch gesagt werden, dass der Betreuungsaufwand teilweise beachtlich war. Aufgrund der geringen Gruppengröße von 18 Teilnehmern war dies kein Problem, aber Kurse mit mehr als 25 Teilnehmern müssten wohl auf mehrere Labortermine aufgeteilt werden. In der Betreuung muss man außerdem aufpassen, dass nicht die Teilnehmer mit hoher Extraversion die gesamte Aufmerksamkeit des Coaches für sich beanspruchen.

## Fazit

Während das Lösen von Routineproblemen künftig wohl zunehmend von Computern übernommen wird, wird das echte Problemlösen vorerst weiterhin eine Domäne des Menschen bleiben und als solches wohl sogar an Bedeutung gewinnen. Umso wichtiger ist es, dass Hochschulen darauf achten, solche Problemlöser auszubilden. Dazu genügt es nicht, große Mengen an Wissen und Routineanwendungen zu vermitteln – es muss Zeit und Gelegenheit zum tiefen Verständnis und interkontextuellen Arbeiten gegeben werden. Eine Möglichkeit dazu bietet das Lehrkonzept der Flipped Mastery, das über reines Flipped Learning hinausgeht und so jedem ein individuell angemessenes Lerntempo ermöglicht. Das Konzept ist zwar schon seit einem Jahrzehnt in der Diskussion, hat aber gerade jetzt, da viele Kollegen ihr Lehrmaterial durch die Onlinesemester ohnehin digitalisiert haben, größere Chancen, auch einmal in der Praxis erprobt zu werden.

### AUTOR



Prof. Dr. rer. nat. Erik Zenner  
 Prodekan der Fakultät Medien,  
 Lehrgebiete: Kryptografie, Algorithmik,  
 Denken und Entscheiden  
 erik.zenner@hs-offenburg.de

### Referenzen/References:

- [1] J. Kaplan: „Künstliche Intelligenz – eine Einführung“, mitp Verlag, 2017
- [2] J. Wing: „Computational Thinking“, Communications of the ACM 49(3), March 2006
- [3] P.J. Denning, M. Tedre: „Computational Thinking“, MIT Press, 2019
- [4] A. Newell, H.A. Simon: „Human Problem Solving“, Prentice Hall, 1972
- [5] B.S. Bloom: „Learning for Mastery“, UCLA Center for the Study of Evaluation of Instructional Programs, 1968. <https://programs.honolulu.hawaii.edu/intranet/sites/programs.honolulu.hawaii.edu/intranet/files/upstf-student-success-bloom-1968.pdf>
- [6] J. Bergmann, A. Sams: „Flip Your Classroom“, Intl. Society for Technology Education, 2012
- [7] Khan Academy. <https://www.khanacademy.org/>

# Bildung und Digitalisierung: Lehren aus der Pandemie

Prof. Dr. phil. Ralf Lankau

Durch Covid 19 erzwungene (Hoch-)Schulschließungen und Onlinelehre waren ein unfreiwilliger Praxistest für netzbasierte Lehre. Das Ergebnis vieler Studien zeigt für alle Schulformen das Alter der Probanden und Fachinhalte: Nicht Medientechnik ist entscheidend, sondern Lehrpersönlichkeit, ein gut strukturierter Unterricht und der lernförderliche Dialog der Beteiligten. Das kann zur Not zeitlich begrenzt (!) digital substituiert werden, den Sozialraum Schule aber nicht permanent ersetzen.

*Covid 19 forced (high) school closures, distance learning, and online teaching have been an involuntary practice test for digital and network-based teaching. The results of most studies show, regardless of the type of school, age of students and subject content: It's not media technology that is decisive, but the teaching personality, well-structured lessons and the social connection of all participants, which can also be realized via the Internet if necessary for a limited period of time. But: Online teaching is not the „new normal. Instead, the pandemic shows why educational institutions are necessary as social places for learning in presence and together.*



## Das Zauberwort „digital“

Auf 177 Seiten des Koalitionsvertrags der Ampel-Regierung vom Dezember 2021 steht fast 270-mal der Begriff „digital“ in allen denkbaren Varianten, als Substantiv, Verb oder Adjektiv und ohne zu definieren, was jeweils gemeint ist. Vom digitalen Aufbruch über digitale Bildung, Teilhabe und Bürgerrechten findet sich ein bunter Reigen an Komposita bis zum pauschalisierten digitalen Zeitalter. „Digital

first for anything?“ Ein Schüler des Konfuzius fragte den Meister, was dieser als Erstes täte, wenn er regieren müsste. Die Antwort: „Die Richtigstellung der Begriffe.“ Dem erstaunten Schüler antwortet Konfuzius, dass durch den falschen Gebrauch von Worten und Begriffen die Sprache konfus würde. Es käme zu Unordnung und Misserfolg. Anstand, gute Sitten und Werte würden unsicher, das Volk wüsste nicht, was zu tun und zu lassen sei. Darum sei es wichtig, Begriffe und Worte korrekt zu

Abb. 1: Collage RL

benutzen und danach zu handeln. „Der Edle duldet nicht, dass in seinen Worten irgendetwas in Unordnung ist. Das ist es, worauf alles ankommt“ (Konfutse 1975, Seite 131).

## Von Digitalisierung zu Digitalität

Die Definition wichtiger Begriffe steht daher am Beginn dieses Beitrags. Digitalisierung als Substantiv oder digitalisieren als Verb bedeuten, beliebige Information maschinenlesbar zu machen. Ob Text oder Bild, Mimik oder Gestik oder Raumtemperatur und Luftfeuchtigkeit: Alles wird durch passende Sensoren, Kameras oder Mikrofone aufgezeichnet und technisch zu Daten und Datensätzen konvertiert. Diese Digitalisate werden anschließend nach der Logik von Datenverarbeitungssystemen (!) und mit entsprechenden Programmen weiter ver- und bearbeitet.

Spricht man von Digitalisierung im Kontext von Sozialsystemen (Arbeit, Bildung, Gesundheit), bedeutet Digitalisierung, dass man Daten über menschliches Verhalten, aber auch Emotionen (Fünf-Faktorenmodell, siehe unten) und Stimmungen aufzeichnet und maschinenlesbar macht. Algorithmen (Handlungsanweisungen beziehungsweise Operationsbefehle wie Rechner Daten zu verarbeiten haben) werten diese Verhaltensdaten aus und berechnen zum Beispiel die nächsten Aktionen, Angebote oder Inhalte, um die Nutzer möglichst lange am Bildschirm zu halten.

Digitale Transformation bezeichnet die Forderung der IT- und Wirtschaftsverbände, zunehmend alle menschlichen Lebensbereiche nach den Parametern der Logik und den Anforderungen von Datenverarbeitungssystemen und der Datenökonomie umzustrukturieren und so der Logik von Algorithmen und Berechenbarkeit anzupassen. Die Konsequenz: Es zählt zunehmend nur noch das, was als Daten erfasst (datafiziert) und berechnet werden kann. Nicht mehr der Mensch mit seinen Bedürfnissen steht im Mittelpunkt technischer Anwendungen, sondern die Effizienz und Optimierung der Datenverarbeitungssysteme. Big Data oder, da Big Data nach Big Brother klingt, die vermeintlich objektivierenden Data Sciences, sind die neue Leitdisziplin der Automatisierer und Kontrolleure, wenn man den Zuboffschen Dreisatz der IT-Logik (Automatisieren – Digitalisieren – Kontrollieren) zugrunde legt (Zuboff 1988).

Der relativ neue Begriff „Digitalität“ soll die digital codierte Verbindung zwischen Men-

schen, zwischen Menschen und Objekten und zwischen Objekten des „Internet of Things (IoT)“ umfassen. Statt der eher technischen Definition von Digitalisierung sollen mit Digitalität soziale und kulturelle Praktiken beschrieben werden, ähnlich dem (ebenso ungenauen) „Digital Lifestyle“. Der Begriff beschreibt de facto aber nur die Akzeptanz der Allgegenwart und permanenten Interaktion von Menschen mit digitalen Endgeräten und netzbasierten Diensten. Damit wird im Gewand einer kulturwissenschaftlichen Diskussion der Raum für das bereitet, was Marc Zuckerberg (Meta, vormals Facebook) als kommerzielles Metaverse (deutsch Metaversum) auf den Markt bringen will: das Verschmelzen von realer und virtueller Welt als neuer Geschäftsbereich. Metaverse wurde von Virtual Reality-Fans bereits für Second Life adaptiert. Eingeführt hat ihn der Science-Fiction-Autor Neal Stephenson 1992 in seinem Roman „Snow Crash“. Der Roman ist eine Dystopie: In den USA herrschen nach einer schweren Wirtschaftskrise hohe Arbeitslosigkeit, Armut und Gewalt. Viele Menschen flüchten daher in virtuelle Scheinwelten.

## Vermessen statt Unterrichten

Für alle drei Begriffe wird Alternativlosigkeit behauptet und der Mensch als selbstbestimmt Handelnder negiert. Für den Bildungsbereich sind es Akteure der Global Education Industries (GEI) und Start-ups der eLearning- und EdTech-Branche (Education Technologies) neben formal gemeinnützigen Stiftungen. Damit verbunden ist ein Paradigmenwechsel, der aus dem angelsächsischen Raum massiv nach Europa drängt: die Privatisierung und Kommerzialisierung von Bildungsangeboten. Bildung wird zum Geschäftsfeld. Wer „Bildung“ als Dienstleistung verkaufen will, muss Bildungsprozesse als steuerbar behaupten und Erfolgskontrollen anbieten. Lernprozesse müssen mess- und regelbar werden. Das ist das Feld der empirischen Bildungsforschung der Psychologie. Das Ergebnis: Messmethoden für Lernleistungen statt Pädagogik und Didaktik.

Diese Ideen sind nicht neu. Ein Vorläufer und Impulsgeber war zum Beispiel William Stern, einer der Vordenker der Allgemeinen Psychologie. Er prognostizierte bereits 1900 die „Psychologisierung des gesamten menschlichen Lebens“. Stern und Kollegen wie Hugo Münsterberg postulierten schon 1912 als psychotechnische Maxime: „Alles muss messbar sein“ (Stern 1903). Dafür entwickelten Psycho-Ingenieure passende Psycho-Techniken und daraus wurde dann die

„Lehre der unbegrenzten Formbarkeit des Einzelnen“ (Gelhard 2011, Seite 100). Der Psychologe David McClelland wiederum leitete daraus das „pädagogische Versprechen einer umfassenden Formbarkeit des Menschen“ ab (ebenda, Seite 120).

Auch Emotionen sind nach diesem Verständnis Kompetenzen, die man trainieren und zur Selbstoptimierung verändern kann. Dazu dient unter anderem das Fünf-Faktoren-Modell (engl. OCEAN) nach Louis Thurstone, Gordon Allport und Henry Sebastian Odbert. Die Persönlichkeitsmerkmale Offenheit, Gewissenhaftigkeit, Extrovertiertheit, Verträglichkeit und emotionale Stabilität ergeben in der jeweiligen Stärke und wechselseitigen Abhängigkeiten präzise Abbilder der Persönlichkeitsstruktur, der mentalen und psychischen Belastbarkeit, des emotionalen wie sozialen Verhaltens, der sexuellen Präferenzen und vieles mehr. Der Mensch und seine Psyche werden durch das Vermessen transparent, das Individuum steuerbar. Hierfür muss man personalisierte Daten mit digitalen Endgeräten und die Identifikation der Probanden durch das Login erfassen und anschließend auswerten. Die personalisierten Daten werden zu Profilen mit charakteristischen Merkmalen von Personen kondensiert, sogenannte „Digitale Zwillinge“, mit denen menschliches Verhalten per Web und App modifiziert (Nudging, Selftracking) oder manipuliert werden kann (Influencing, Propaganda, Werbung). Software mit vergleichbaren Aufzeichnung- und Steuerungspotenzialen kommen aktuell verstärkt als Lernsoftware, Lernmanagementsoftware, Serious Games und Virtual Reality (VR)-Anwendungen in die Bildungseinrichtungen.

Nur funktioniert es nicht. Das bestätigen aktuelle Untersuchungen aus der Pandemie-Zeit mit erzwungenem Fern- und Onlineunterricht. Die Studie von Engzell et al. belegt, dass selbst Schülerinnen und Schüler von technisch sehr gut ausgestatteten niederländischen Schulen, die den Einsatz von Digitaltechnik gewohnt sind, durch Fernunterricht Lerndefizite entwickeln, die der Zeit der Schulschließung entsprechen. Sind es Kinder aus bildungsfernen Familien, eventuell mit Migrationshintergrund, sind die Lernrückstände noch deutlich größer (Maldonado et al.). Eine Frankfurter Forschergruppe formuliert griffig (und sicher auch mit Blick auf eine Pressewertung): Distanzunterricht ist so effektiv wie Sommerferien (Hammerzell et al. 2021). Die Studien von Andresen (Jugend und Corona)

oder Ravens-Sieberer (CoPsy I + II) zeigen die gravierenden Folgen für sowohl die körperliche als auch die psychische Entwicklung durch die erzwungene soziale Isolation. Gleiches gilt für Studierende: Hier sind es Ängste, psychische Störungen oder Studienabbrüche (DZHW 2021).

## Präsenzunterricht als Normalfall

Wir stehen vor grundlegenden Entscheidungen. Welche Form von Unterricht, Lehre und Bildung wollen wir? Verstehen wir es weiterhin als Aufgabe der Pädagogik „Verstehen zu lehren“ (Gruschka 2011)? Oder bestimmen Parameter der produzierenden Industrie (Produktion von Humankapital mit validierten Ergebnissen) und der Daten-Ökonomie das Lehren und Lernen? Ist die automatisierte Messbarkeit von Lernleistungen das Ziel oder haben Bildungseinrichtungen einen übergeordneten Auftrag für Allgemeinbildung und Persönlichkeitsentwicklung, der sich nicht utilitaristisch auf Ausbildung verkürzen lässt? Bleiben Lehranstalten soziale Orte und Schutzraum für Präsenzunterricht und das Lernen in Sozialgemeinschaften? Wird Lehren und Lernen verstanden als soziale Interaktionen auf Basis von wechselseitiger Beziehung, Bindung und Vertrauen zwischen Menschen? Oder etablieren wir einen zunehmend „autonom“ agierenden Maschinenpark zum Beschulen und Testen der nächsten Generation?

Zum Denken lernen als Ziel von Lehre und Unterricht brauchen wir ein menschliches Gegenüber, den direkten Dialog. So jedenfalls Immanuel Kant 1786 im Text „Was heißt: sich im Denken orientieren?“ Sonst bekämen wir nur leere Köpfe, die zwar das Repetieren (heute: Bulimie-Lernen) trainieren, aber nicht selbstständig denken und Fragen stellen könnten. Carlo Ratti (MIT) berichtet von einem Experiment in Corona-Zeiten als Update einer Studie des Soziologen Mark Granovetter von 1973 über „starke Bindungen“ (enge Beziehungen) und „schwache Bindungen“ (zufällige Bekanntschaften). Digitale Kommunikation funktioniert nur in der eigenen Gruppe gut, so Ratti im Preview. Für Kreativität und Innovation seien aber zufällige Begegnungen in der Mensa, auf dem Campus oder Bus entscheidend. Dort würden andere Fragen gestellt und neue Perspektiven eröffnet. Die Quintessenz ist: Ob Schule oder Hochschule – wir brauchen echte Begegnungen. Lernen ist ein individueller und sozialer Prozess, der nicht digital kompensiert werden kann, wenn Verstehen das Ziel ist, nicht nur Repetition.

### Literatur und Quellen:

- Andresen, Sabine; Heyer, Lea; Lips, Anna; Rusack, Tanja; Schröder, Wolfgang; Thomas, Severine; Wilmes, Johanna (2021) Das Leben von jungen Menschen in der Corona-Pandemie: Erfahrungen, Sorgen, Bedarfe; hrsg. v. d. Bertelsmann-Stiftung 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> (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) (3.2.2022) Gelhard, Andreas (2011) Kritik der Kompetenz Gruschka, Andreas (2011) Verstehen lehren. Ein Plädoyer für guten Unterricht Hammerstein, Svenja; König, Christoph; Dreisörner, Thomas; Frey, Andreas (2021) Effects of COVID-19-Related School Closures on Student Achievement — A Systematic Review, <https://psyarxiv.com/mcnvk/> Krautz, Jochen (2020) Digitalisierung als Gegenstand und Medium von Schule. Keine digitale Transformation von Schule. <https://bildung-wissen.eu/gbw-flugschriften/>; PDF: [https://bildung-wissen.eu/wp-content/uploads/2020/10/krautz\\_flugschrift\\_digitalisierung.pdf](https://bildung-wissen.eu/wp-content/uploads/2020/10/krautz_flugschrift_digitalisierung.pdf) Kungfutse: Lun Yu. Gespräche. Düsseldorf/Köln 1975, S. 131; <http://www.zeno.org/nid/20009201440> (08.12.2021) Lankau, Ralf (2020a) Alternative IT-Infrastruktur für Schule und Unterricht. Wie man digitale Medientechnik zur Emanzipation und Förderung der Autonomie des



Medien und Medientechnik können Lernprozesse unterstützen, aber wir lernen durch Dialog und Diskurs (Lankau 2020b).

Technische Medien sind mögliche, keine notwendigen Hilfsmittel für Bildungsprozesse. Jochen Krautz hat in seiner Schrift „Digitalisierung als Gegenstand und Medium von Schule“ (Krautz 2020) die grundlegenden pädagogischen Prämissen für IT im Kontext von Unterricht formuliert. In der Flugschrift „Alternative IT-Infrastruktur für Schule und Unterricht“ (Lankau 2020a) wird bis auf die Hard- und Software-Ebene skizziert, wie man Digitaltechnik einsetzt, ohne Nutzerdaten zu generieren. Der Untertitel präzisiert die Funktion sinnvoller Medien(-technik) in Lehr- und Lernprozessen: „Wie man digitale Medientechnik zur Emanzipation und Förderung der Autonomie des Menschen einsetzt, statt sich von IT-Systemen und Algorithmen steuern zu lassen.“ Denn es ist nicht die Technik an sich, die zu Fehlentwicklungen führt, sondern der Missbrauch für Partikularinteressen der Datenwirtschaft und Plattformökonomie und deren Geschäftsmodelle.

Das heißt, der Einsatz von Digitaltechnik muss hinsichtlich der Frage, was der „Normalfall Unterricht“ sein soll, überdacht werden. Bleiben Bildungseinrichtung Lernorte für das Individuum oder werden es Lernfabriken für die zunehmend algorithmisierte Steuerung von Menschen mit dem Ziel des messbaren Kompetenzerwerbs samt absehbarer Konsequenzen für das Individuum wie die Gemeinschaft? Das ist eine der Lehren aus Corona: Präsenz ist nicht zu ersetzen, in keiner Schulform und in keinem Lebensalter. Ob wir dabei analoge und/oder digitale Medien als Ergänzung zum Unterricht einsetzen, bleibt nachgeordnet. Das war auch Thema der Fachtagung „Bildung und Digitalisierung: Lehren aus der Pandemie“ im Mai 2022 in Offenburg. Denn es sollte zu denken geben, was der israelische Historiker Harari zu Covid-19 im Interview formulierte:

*„In 50 Jahren werden sich die Menschen gar nicht so sehr an die Epidemie selbst erinnern. Stattdessen werden sie sagen: Dies war der Moment, an dem die digitale Revolution Wirklichkeit wurde. (...) Im schlimmsten Fall werden sich die Menschen in 50 Jahren daran erinnern, dass im Jahr 2020 mithilfe der Digitalisierung die allgegenwärtige Überwachung durch den Staat begann“ (Lüpke, Harms 2020).*

Menschen einsetzt, statt sich von IT-Systemen und Algorithmen steuern zu lassen., <https://bildung-wissen.eu/gbw-flugschriften/>; PDF: [https://bildung-wissen.eu/wp-content/uploads/2020/09/lankau\\_flugschrift\\_web.pdf](https://bildung-wissen.eu/wp-content/uploads/2020/09/lankau_flugschrift_web.pdf)  
Lankau, Ralf (2020b) Zum „Denken lernen“ brauchen wir ein Gegenüber. Über die Bedeutung des Präsenzunterrichts gerade in Pandemie-Zeiten, in: Magazin Campus der Hochschule Offenburg, Heft 46/2020, S. 52; <https://futur-iii.de/2020/10/13/zum-denken-lernen-brauchen-wir-ein-gegenueber/> (24.10.2020)  
Lüpke, Marc von; Harms, Florian (2020) Interview mit Yuval Noah Harari - „Im schlimmsten Fall kollabiert unsere Weltordnung“, T-Online; 23.10.2020; [https://www.t-online.de/nachrichten/wissen/geschichte/id\\_88582030/harari-zur-pandemie-corona-hat-das-potential-die-welt-besser-zu-machen-hhhtml?utm\\_source=pocket-newtab-global-de-DE](https://www.t-online.de/nachrichten/wissen/geschichte/id_88582030/harari-zur-pandemie-corona-hat-das-potential-die-welt-besser-zu-machen-hhhtml?utm_source=pocket-newtab-global-de-DE) (24.10.2020)  
Maldonado, Joana & De Witte, Kristof. (2020) The effect of school closures on standardised student test outcomes.  
Ravens-Sieberer, U.; A. Kaman, C. Otto, A. Adedeji, A. K. Napp, M. Becker, U. Blanck Stellmacher, C. Löffler, R. Schlack, H. Hölling, J. Devine, M. Erhart, K. Hurrelmann: 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  
Zuboff, Shoshana (2018a) Zeitalter des Überwachungskapitalismus  
Zuboff, Shoshana (1988) In the Age of the Smart Machine

## Kooperationsprojekte

- AG Medienwerkstatt (<https://ganz-real.de>)
- Bündnis für humane Bildung (<https://aufwachsen.de>)
- Lehren – Lernen – Unterricht (<https://llu.futur-iii.de>)
- Gesellschaft für Bildung und Wissen e.V. (<https://bildung-wissen.eu>)
- Vereinigung Deutscher Wissenschaftler e-V. (<https://vdw-ev.de>)

## Fachtagung Mai 2022 // Tagungsband

Am 20. und 21. Mai 2022 fand dazu an der Hochschule Offenburg die Fachtagung „Bildung und Digitalisierung: Lehren aus der Pandemie“ statt. Veranstalter ist die Hochschule Offenburg in Kooperation mit der Gesellschaft für Bildung und Wissen e.V., dem Bündnis für humane Bildung und der Vereinigung Deutscher Wissenschaftler (VDW e.V.).



### AUTOR



Prof. Dr. phil. Ralf Lankau  
Digitaldesign, Mediengestaltung und -theorie, Forschungsprojekt futur iii (<https://futur-iii.de>) mit dem Projekt „Lehren – Lernen – Unterricht“ (<https://llu.futur-iii.de>)  
[ralf.lankau@hs-offenburg.de](mailto:ralf.lankau@hs-offenburg.de)

# Psychologie im Recruiting und Onboarding

Prof. Dr. phil. Robert Gücker

Nachfolgend wird ein Forschungsprogramm skizziert, auf dessen Grundlage in den nächsten Jahren studentische Projekte sowie Forschungsvorhaben an der Professur „Medien in der Bildung“ durchgeführt werden können. In dieser kurzen Darstellung wird am Beispiel des Handwerks die allgemeine Denkrichtung und methodische Ausrichtung erläutert.

*A new approach to recruiting trainees has been developed at the Media in Education professorship recently. The research categories are derived from Morphologische Psychologie. This is illustrated using the example of crafts.*

## Ausgangslage des Handwerks

Das Handwerk insgesamt hat Nachwuchsprobleme. Ausbildungsplätze werden sehr schleppend besetzt und hinzukommt, dass viele der angefangenen Ausbildungen abgebrochen werden. Insgesamt ist eine Entfremdung von der Arbeitsform des Handwerks Realität geworden.

Die bisherigen Lösungen: Man muss dort präsent sein, wo die Jugendlichen sind (Internet, Social Media) und man muss Medien ansprechend gestalten. Die Innovationen bestehen meist in gefälliger Optik und Sound, die Hygienefaktoren (Becker, 2019) der betrieblichen Situationen aufzulisten und diese in den Kanälen der Social Media zu posten [1].

Sicherlich sind das alles notwendige Schritte. Aber, um junge Männer und junge Frauen wirklich dafür zu gewinnen, die Berufe des Handwerks zu der eigenen Lebensperspektive zu machen, muss man ganz andere Inhalte fokussieren und in den Vordergrund stellen:

Betrachtet man das Handwerk zukunftsgerichtet und sucht man nach positiven Beispielen, so erkennt man, dass in diesem Berufszweig viele Menschen ihren Sinn gefunden haben, erfolgreich und höchst zufrieden jahrzehntelang in ein und demselben Betrieb tätig zu sein oder diesen schon sehr lange zu leiten (Sennett, 2008).

Ist das lediglich eine andere Generation und hat diese mit den heutigen Werten der Jugendlichen nichts mehr zu tun? Oder gibt es tieferliegende menschliche Bedürfnisse, die so ein Beruf erfüllen kann?

Hier setzt die Forschungsgruppe einen neuen Blickwinkel an. Der Beruf muss erstens wieder mit Inhalten aufgeladen werden, die er auch wirklich vertreten kann: Inhalte, die von einem gelingenden Leben mit Sinn, Orientierung, Zugehörigkeit und Wertschätzung erzählen - sowohl für junge Männer als auch für junge Frauen. Lebensläufe von Menschen aus der Region bilden die empirische Grundlage. Unser Ansatz basiert auf empirischen Erhebungen von in der Region lebenden Menschen, die in Handwerksbetrieben seit Jahrzehnten erfolgreich arbeiten.

Man muss zweitens den Handwerksbetrieb als eine Marke auffassen, die unverwechselbar ist und eine Verbindung von Tradition und Innovation in der eigenen Region darstellt und langfristig dazu in der Lage ist, Versprechen zu halten. Gleichzeitig ist der Betrieb aber auch ein Ort, wo Zukunft gestaltet wird und wo Lebensperspektiven gewonnen werden können.

## Morphologische Psychologie

Dies kann das Handwerk alles selbstbewusst und ungeschminkt kommunizieren. Dieser neue Ansatz hat somit einen dokumentarischen Charakter und geht sogar darüber hinaus: Es werden Inhalte anhand der Konzepte der Produktwirkungseinheit und der Bildwirkungseinheit aus der morphologischen Marktpsychologie betrachtet und analysiert (Fitzek, 2010, Lönneker, 2011).

Eine Wirkungseinheit in der morphologischen Marktpsychologie ist das Verhältnis, das der Konsument oder die Konsumenten

tin gegenüber einem Produkt einnimmt. Es geht wesentlich über das kognitive Konstrukt der Einstellung (Felser, 2015) hinaus, da die Wirkungseinheit auch die inneren Bilder, Verwandlungsmöglichkeiten und Zukunftsversprechen, die ein Produkt für die Konsumenten bereithält, mitberücksichtigt.

Die Perspektive der Wirkungseinheiten wird durch das Team erstmals auf Recruiting übertragen und so neu für Handwerksberufe gedacht:

- als Berufswirkungseinheit für die neue Kommunikation des Berufs (Erforschung des allgemeingültigen Sinns und eines übergreifenden Berufsbilds, unabhängig vom jeweiligen Betrieb)
- als Betriebswirkungseinheit für die neue Kommunikation der Betriebe (Employé Branding, Erforschung der Arbeitgeber-DNA)
- und Ausbildungswirkungseinheit für die Einführung wie Umgestaltung von Onboarding Maßnahmen

Das Forschungsteam will in der Generierung von Content einen völlig neuen Weg gehen. Das Konzept der Explikation von implizitem Wissen (Gücker, 2017) wird mit Tiefeninterviews und Gruppendiskussionen aus der morphologischen Marktpsychologie (Fitzek, 2010) kombiniert. Die Gesprächspartner\*innen werden Meister\*innen (Betriebsinhaber), momentane Auszubildende (Generation Y und Z) und künftige mögliche Auszubildende (Generation Z) sein.

Dadurch wird die Perspektive von mehreren Jahrzehnten Berufserfahrung mit gerade erlebten Ausbildungserfahrungen und den momentanen Ansprüchen (etwa auch Erfahrungen der Corona-Krise) der Jugendlichen an Berufe miteinander verbunden, verglichen und vor dem Hintergrund der Methodologie der morphologischen Marktpsychologie bereichernd ausgewertet: Aufbauend auf den Konzepten Produktwirkungseinheit und der Bildwirkungseinheit können so Innovationen erzielt werden, die darin begründet liegen, dass man verbesserte Prozesse und Kommunikation im Recruiting und Onboarding erreicht.

Die Produktwirkungseinheit besagt, dass jedes Produkt ein Wirkungsfeld hat, das einem suggeriert, dass man mit diesem Produkt bestimmte Funktionen erzielen kann. Im Marketing bedeutet dies, dass beispielsweise das

Produkt Coca-Cola anzeigen kann, dass man damit spritzig, jugendlich und sozial integriert sein kann.

Wenn man die Perspektive vom täglichen Konsum auf die größeren Fragen des Lebens lenkt, dann wird deutlich, dass die Gesellschaft auch Berufe verwenden, um damit bestimmte Funktionen zu erfüllen. Diese Perspektive werden künftig als Berufswirkungseinheit bezeichnen.

Folgende Analysekategorien werden in Interviews angewandt:

- Welche Berufe setzen eine neue Seite von mir frei?
- Wo kann ich über die Grenzen gehen?
- Welche Berufe erfordern ein anderes Leben?
- Wo kann ich Sicherheit empfinden und mich wappnen?
- Wo kann ich unmittelbare Ergebnisse sehen?
- Wo kann ich Wirksamkeit erleben?
- Welcher Beruf hat die minimalsten Auswirkungen auf mein bisheriges Leben, das ich gerne beibehalten möchte?

Nun kann man diese Berufe in vielen verschiedenen Betrieben auswählen. Woher weiß ich, welcher Betrieb für mich der Richtige ist? Wie es unterschiedliche Betriebe gibt, so gibt es viele unterschiedliche Marken der Cola. Die Bildwirkungseinheit sagt dann, welches Image das jeweilige Produkt hat. So wie sich Coca-Cola von Pepsi-Cola unterscheidet, so unterscheiden sich auch die Betriebe voneinander, bei denen die Auszubildenden ihre Ausbildung anfangen können. Dies drückt die Kennzahl Betriebswirkungseinheit aus. Auch hier wird das Team durch die Betriebswirkungseinheit die Grundlagen für eine verbesserte betriebspezifische Kommunikation im Recruiting legen.

Folgende Analysekategorien werden in Interviews angewandt:

- Wie ordnet sich der Betrieb selbst ein?
- Wohin möchte sich der Betrieb verwandeln?
- Was ist das Beeindruckende am Betrieb?
- Auf welchen Füßen steht der Betrieb ganz sicher und fest?
- Wie kann der Betrieb die Zukunft meistern?
- Wie ist der Betrieb gewachsen?
- Was kann man ganz selbstbewusst als Stärke und Ressource bezeichnen?
- Was können wir besonders? Was macht uns besonders?

Als Auszubildende/r ist es am Anfang schwer. Hohe Abbruchquoten sprechen eine deutliche Sprache. An dieser Stelle soll mit der Ausbildungswirkungseinheit ein Verständnis dafür entwickelt werden, wie die ersten Ausbildungsmonate wahrgenommen werden und welche Routinen und Praktiken geholfen haben, diese Zeit für sich sinnvoll abzuschließen.

Folgende Analysekategorien werden in Interviews angewandt:

- Brauche ich überhaupt eine Ausbildung oder kann ich mir das alles selbst beibringen?
- Wie kann ich eine gute Betreuung und Begleitung sicherstellen?
- Wie kann ich den erfolgreichen Abschluss der Ausbildung garantieren?
- Wie sehr werde ich gefordert, wie viel kann ich selbst machen?
- Werde ich sinnvolle Tätigkeiten übertragen bekommen?
- Wie viel Freiheit habe ich bei der Ausbildung, wie sehr muss ich mich anpassen?
- Wie sehr lege ich mich jetzt schon fest?
- Will ich für die Ausbildung mein Leben verändern und unter Umständen umziehen?
- Wie kann ich die Ausbildung möglichst ohne großen Aufwand in mein bisheriges Leben einordnen?

Die Forschungsgruppe hat mit diesem Forschungsprogramm die vielversprechende Möglichkeit, mit mehreren Betrieben zusammenzuarbeiten. Sie will gemeinsam Handwerksberufe erforschen, dem Sinn der Zugehörigkeit, der Identität wirklich auf den Grund gehen und so Content für ehrliche Kommunikation und Kampagnen gewinnen.

Sie will zudem ein Best Practice der Erforschung solcher Motive hinter einer langjährigen, sinnvoll gelebten Berufstätigkeit herstellen. Es ist vergleichbar mit der Explikation von implizitem Wissen. Erst nach und nach in lang andauernden Gesprächen wird das, worüber man nicht reden kann, sondern was gefühlt wird, deutlich werden. Auch ist eine gekonnte Auswertung mit qualitativen Analysemethoden (wie der Grounded Theory) notwendig, um an die gemeinten Inhalte zu kommen.

Prinzipiell ist das für jeden Beruf übertragbar, der momentan an Nachwuchsproblemen leidet. Auch für solche Tätigkeiten, die im Ehrenamt bekleidet werden, ist dieses Forschungsprojekt gewinnbringend.

#### AUTOR



Prof. Dr. phil. Robert Gücker  
Dipl.-Psych., Schwerpunkte: Personalentwicklung und Corporate Learning.  
Seit 2015 Ltg. Steinbeis-Beratungszentrum  
Expertenwissen  
robert.guecker@hs-offenburg.de

#### Referenzen/References:

[1] Vgl. die Fallgeschichten auf <https://socialnatives.de/>

#### Literatur:

- Becker, F. (2019). Mitarbeiter wirksam motivieren. Berlin
- Felser, G. (2015). Werbe- und Konsumentenpsychologie. 4. Aufl. Berlin
- Fitzek, H. (2010). Morphologische Beschreibung. In G. Mey & K. Mruck (Hg.). Handbuch Qualitative Forschung in der Psychologie (S. 692 – 706). Wiesbaden
- Gücker, R. (2017). Reflection on Action: Werkzeuge und Methoden. In: ders. (Hg.). Hochschullehrende als Reflective Practitioner. Praxis und Reflexion. S. 165-174, Hamburg
- Lönneker, J. (2011). Morphologie. Die Wirkung von Qualitäten – Gestalten im Wandel. In G. Naderer & E. Balzer, E. (Hg.). Qualitative Marktforschung in Theorie und Praxis. Grundlagen – Methoden – Anwendungen (2., überarbeitete Auflage, S. 83-110). Wiesbaden
- Sennett, R. (2008). Handwerk. Berlin

# DE\GLOBALIZE Teil 4: ERBE/ERDE – Matters of Violence

Prof. Dipl.-Ing. Daniel Fetzner

Das künstlerische Forschungsprojekt DE/GLOBALIZE ist eine medienökologische Suchbewegung nach dem Terrestrischen [1]. Eine Expedition in den Kongo [2] richtet 2022 den Blick auf die Matters of Violence. Über die Ambivalenz von Sorge und Gewalt in Gebieten, die von fremden Mächten beherrscht sind.

*The artistic research DE/GLOBALIZE is a media-ecological search movement for the terrestrial. An expedition to the Congo in 2022 focuses on the Matters of Violence. On the ambivalence of care and violence in territories controlled by external powers.*



Abb. 1:  
Terrestrische Wut/  
Blutrede von Adrian  
Schwartz im Kunstver-  
ein Freiburg (11/2021)

*„Überall auf der Welt, wo Wissen unterdrückt wird, überall dort spielt sich das Herz der Finsternis ab. Wissen das, wenn es bewusstwürde, unser Weltbild erschüttern und uns selbst infrage stellen würde. Was fehlt, ist der Mut begreifen zu wollen, was wir wissen und daraus die Konsequenzen zu ziehen.“*  
- Sven Lindqvist -

Im Anschluss an die Matters of Fact in Indien (2014-18), die Matters of Concern in Ägypten (2016-2019) und die Matters of Care am Oberrhein (2018-22) schwenkt in Teil 4 von DE\GLOBALIZE der Fokus hin zur Frage der Gewalt. Von Matter, Materie, über Mater, die Mutter-Erde, dem Garten hin zur Ausbeutung. Von Wissenschaft, Wasser und Klima hin zu Migration, Unterdrückung und Vernichtung. Mit Abschied vom Außen [3] stellen wir vor zwei Jahren das moderne Paradigma der

kolonialen Landnahme und unbeschränkten Expansionen der letzten 500 Jahre infrage. Der Titel liest sich im Nachhinein wie eine Anspielung auf die Pandemie, die unmittelbar nach der Ausstellung ihren Anfang nahm und uns auf uns selbst zurückwarf. Jetzt stellen wir fest, dass das Außen nur scheinbar verschwunden war.

Wir überschreiben den neuen Abschnitt unserer Suchbewegung mit ERBE/ERDE [4]. Das Erbe der Moderne sind Hochseecontainer, künstliche Hüften und die Sozialversicherung. Aber auch Treibhausgase, Völkermorde und atomarer Endmüll. Kein Fortschritt ohne Verdrängung, keine Innovation ohne Vergessen.

Die Wurzeln, aus denen heraus wir leben, sind vielschichtig: die Mutterstimme, die Gerüche und Geräusche aus dem Elternhaus,

Gene, Umwelten, Traditionen. Jedes Lebewesen ist ein ganzer Planet, der eine Vielzahl von Prägungen und anderen Lebewesen in sich trägt. Und zugleich auch sich und seine Umwelt über seinen Stoffwechsel fortlaufend verändert. Ohne Abhängigkeit, Symbiosen, gegenseitige Einflussnahme und Symbiogenese gibt es kein Leben, keinen Organismus ohne Sonne, Luft und Parasiten.

Immer bevölkert uns ein Erbe: Besiedelung und Inbesitznahme sind überall. Es gibt keinen Ort, an dem keine Besetzungen stattfinden, verhandelt werden, gar enden oder abgelöst werden. Immer leben wir durch ein Erbe und geben ein anderes weiter. Auch Mikrobiologen und Immunologen sprechen von Kolonialisierung. Immer beinhaltet dies auch eine Konfrontation mit dem Fremden, dem Dunklen in uns.

Der Philosoph Jean-Luc Nancy beschrieb das Spenderherz, das ihn 20 Jahre am Leben hielt, als Eindringling. Er spekuliert darüber, ob es vielleicht von einer jungen Afrikanerin stammt. Ohne Immunsuppressiva wäre das Fremde in seinem Selbst angegriffen und zerstört worden. „Die Erde ist voll von sich selbst. Die Erde ist das Unbewusste, die Samen der Vorfahren“ [5]. Wenn wir dieses Erbe immer weiter glätten und leugnen, drohen die Unschärfen, die Zweifel und die Hoffnung, kurzum das eigentlich Menschliche zu verschwinden. Ein Rest des Fremden wird immer bleiben.

Uns verfolgen bei der Suchbewegung nach ERBE/ERDE die Banalitäten des Bösen wie die des Guten. Beide sind untrennbar miteinander verwoben. Da der Antagonismus kaum auszuhalten ist, wird das Böse von Werbetextern, Dramaturgen und anderen Predigern ästhetisiert. Und falls das nicht gelingt, tabuisiert und unter den Teppich gekehrt. In jedem Fall aber Gebieten zugeschrieben, die von fremden Mächten beherrscht sind und nicht selbst zu verantworten sind. Üblicherweise sind das die fernen Kolonien. Nicht nur in der Geografie der Erde, sondern auch in der Psychogeografie unseres Seelenlebens [6].

Wir Europäer haben im Prozess der Dekolonisierung viele Außen zu unserem Inneren gemacht und davon nicht nur ökonomisch profitiert [7]. Jede Kultur, auch in der raffiniertesten Form, basiert auf Prozessen der Aneignung und der Verdrängung. Sie bedient sich dabei der strukturellen, der symbolischen und nicht zuletzt der epistemischen Gewalt - also der Frage, wer die wirklich guten Storys

erzählt und im Besitz der Wahrheit ist. Es ist dringend an der Zeit, hier zu intervenieren.

Eine unserer modernen Lebenswelt zugrunde liegende Ausbeutung und Gewalt wandert in immer verschachteltere Zonen von Intransparenz und Verdrängung. Geisterflächen [8] der Rohstoffproduktion, die den Wohlstand im globalen Norden sicherstellen, werden ausgeblendet. Wunden, die der Erde zugefügt werden, werden unsichtbar gemacht, ihr kritisches Moment verdeckt [9]. Doch die Gewalt ist nur scheinbar abwesend, tatsächlich geht sie mit ungebremsster Brutalität in Form transnationaler Ausbeutung weiter. Angst und Einschüchterung steckt dabei in den Fasern aller Körper. Auch den Ausbeutern sitzt sie im Nacken.

So wie unser Stratosphärenballon in JARDIN GLOCAL knapp hinter der B27 zu Boden fiel, [10] landen wir in Teil 4 von DEGLOBALIZE mitten im Herz der Finsternis [11]. Die Dunkelheit liegt dabei, wie schon zu Zeiten Joseph Conrads, auch im Auge des Betrachters. Mit den Worten des Philosophen Achille Mbembes im Dazwischen, im Verwobenen der Afromoderne.

Wir folgen der Empfehlung Mbembes und nutzen Afrika, um daraus ein Denken der Zirkulation und des Durchquerens in Gang zu setzen – während Europa sich verirrt, gefangen in dem Unbehagen, nicht zu wissen, wo es in der Welt und mit der Welt steht [12].

Ein Vierteljahrhundert nach der Medienexploration lüderitzcargo [13] landen wir erneut in einer kritischen Zone [14] aus Sorge und Gewalt in Afrika. Wir – eine Gruppe von fünf weißen Männern [15] – wollen uns auf dieser Expedition nicht nur mit dem Fremden im Außen, sondern auch mit den verdrängten Gespenstern in uns selbst konfrontieren. Wir reisen auch in unseren inneren Kongo [16]. Das umfasst zugleich unsere Werkzeuge, Medien und Methoden [17]. Unsere technischen Aufzeichnungsgeräte wie Kameras, Mikrofone, Filme und Software sowie die ethnografischen Vorgehensweisen und Dokumente [18] werden dabei selbst zur kritischen Zone. Wie alle schöpferischen Formgebungen basiert auch der Wissens- und Methodenspeicher unserer Webdokumentation auf Aneignung, Selektion, Zuschreibung und Kontrolle. Gleichzeitig schafft sie als hybride Form unseres Extended Mind [19] eine bestimmte Ordnung der Dinge, die wie jedes Ordnungssystem von den unbewussten Grundeinstellungen der Akteure geprägt und damit auch übergreifend ist [20].

Quellen:

1 Unter diesem Begriff versucht der französische Soziologe Latour ein alternatives Verständnis von Natur, Wissenschaft und Ökologie, eine neue Perspektive, in der wir die Erde nicht kalt wie von ferne betrachten, sondern aus der Nähe, teilnehmend. Alle Fragen der Zukunft – auch die sozialen Fragen der Umverteilung und Gerechtigkeit – werden daher geopolitische Fragen sein.

2 Der Kongo ist eines der rohstoffreichsten Länder der Welt. Kupfer, Diamanten, Kobalt, Koltan und Gold finden sich dort im Überfluss. Gleichzeitig ist das zentralafrikanische Land von bitterer Armut geprägt. Die großen Gewinne der Ausbeutung teilen sich Rebellen und Milizen mit, transnationalen Konzernen. Die technokratischen Anteile unseres Seelenlebens akzeptieren die Ausbeutung des Landes als notwendige Phase des zivilisatorischen Projektes der Aufklärung.

3 Ausstellung mit Symposien und Performances im Kunstverein FB (13.9.-27.10.2019) <https://deglobalize.com/#AVA>

4 Siehe unsere gleichnamige Veranstaltung im Kunstverein FB am 6.11.2021 [http://deglobalize.com/#ERBE\\_ERDE](http://deglobalize.com/#ERBE_ERDE), <https://www.kunstvereinfreiburg.de/abschied-vom-aussen-revisited-2021>

5 Jean-Luc Nancy/Martin Dornberg über die Erde in [http://deglobalize.com/#Jean-Luc\\_Nancy](http://deglobalize.com/#Jean-Luc_Nancy)

6 Für DEGLOBALIZE ist v. a. deren mediale Dimension von Interesse

7 Michaela Ott (2018): Welches Außen des Denkens, S. 208

8 <https://zkm.de/en/ghost-acreage>

9 Die Ausstellung Critical Zones <https://critical-zones.zkm.de/#/> von Bruno Latour am ZKM KA (2020-22) fordert daher eine neue

Erddpolitik und erforscht den realen Verbrauch von Ressourcen und deren Herkunft. Sorge und Gewalt sind, was die kritische Zone angeht, eng miteinander verbunden.

10 fif 2021 und <https://deglobalize.com/#JARDINGLOCAL>

11 Erzählung von Joseph Conrad (1899) über den englischen Kolonialismus und Rassismus. Sie gilt als eines der wichtigsten Prosawerke in englischer Sprache und war Vorlage

für den Film *Apocalypse Now* (1979).  
 12 Achille Mbembe (2017): Kritik der Schwarzen Vernunft, S.23  
 13 Suchbewegung nach dem Terrestrischen in Namibia 1995/96 mit einem zum Wanderkino umgebauten Hochseecontainer, siehe <http://cargo.metaspaces.de>  
 14 DEGLOBALIZE war Teil der Ausstellung CRITICAL ZONES am ZKM in KA (2020-22) <https://critical-zones.zkm.de/#!/detail:de-globalize-an-artistic-research-about-how-to-deglobalize-the-global>  
 15 Ein Arzt, Philosoph und Psychosomatiker, Theatermacher und Jugendtherapeut, Filmemacher, Sound- und ein Medienkünstler  
 16 Performance mit Kassettenspieler mit Thelonious Cassidy und Thomas Wenk im Kunstverein FB (11/2021) 2021 [http://deglobalize.com/#ERBE\\_ERDE](http://deglobalize.com/#ERBE_ERDE) > TRANCE  
 17 Im Hinblick auf Matters of Care/Violence kann auch das Internet als koloniales Instrument verstanden werden  
 18 <http://deglobalize.com>  
 19 In den vier Dimensionen Embodied, Embedded, Enacted und Extended, siehe [https://en.wikipedia.org/wiki/Extended\\_mind\\_thesis#%22The\\_Extended\\_Mind%22](https://en.wikipedia.org/wiki/Extended_mind_thesis#%22The_Extended_Mind%22)  
 20 Mbembe (2017, 23f) beschreibt, wie die kolonialen Bemühungen zu teilen, klassifizieren, hierarchisieren und zu differenzieren Wunden und Verletzungen zurückgelassen haben  
 21 Bekannt wurde der Fluss Ebola durch das an seinen Ufern erstmals aufgetretene Fieber, das 1976 von belgischen Wissenschaftlern entdeckt wurde  
 22 Hal Foster (1995): *The artist as ethnographer*  
 23 Laut Mbembe liegt die Hauptmacht des Körpers darin, die Potenzen seiner Organe gesondert in Einsatz zu bringen.  
 24 Hubert Fichte (1990): *Die Geschichte der Empfindlichkeit. Psyche. S. Fischer, Frankfurt/M*  
 25 Buchtitel des Psychiaters und postkolonialen Theoretikers Frantz Fanon von 1952. Siehe hierzu das gleichnamige Rollenspiel mit Masterstudierenden aus dem globalen Süden unter <http://moe.lab.mi.hs-offenburg.de/masks/#MAP> im Wintersemester 2017/18 HSO



Abb. 2: Kunstakademie Kinshasa: Daniel Fetzner, *White Skin* (Öl auf Leinwand) und Performance Ngalamulume/Cassidy

Care und Violence sind ambivalente Figuren ein und desselben Erbes. Unsere Expedition möchte diesen innerpsychischen Abspaltungen nachspüren. Wir reisen in eine Missionsstation im Osten Kongos, in der traumatisierte Jugendliche und Kindersoldaten von Augustinerinnen versorgt werden.

Die Übergänge zwischen einer jeden Sorge und der Gewalt sind fließend, oft verworren und mitunter verlogen. Unser Blick auf die kritischen Zonen im Kongo betrifft bei weitem nicht nur menschliches Tun, sondern auch die Handlungsmacht der Mikroben, Pilze, der seltenen Erden und der Sümpfe, der agency des Ebola [21] und des Kongo. Die kritische Zone unserer privilegierten Position des quick in, quick out [22] wird dabei selbst Thema. Über die Reflexion eigener Erfahrungen und Selbstbeobachtungen spüren wir den Möglichkeiten und den Unmöglichkeiten unserer Intervention nach.

Wir sind in die Welt geworfen und müssen uns da erden, wo wir landen. Wir verbieten uns bei diesem Zu/fall keine (Wort-)Spiele, auch wenn sie ein koloniales Signum tragen. Nicht um diese wieder salonfähig und stark zu machen, sondern aus einer Haltung des Fragens, des eigenen Unvermögens und mitunter der Beschämung heraus. Wir explorieren unsere Möglichkeiten und Unmöglichkeiten.

Wir suchen Alterität, ohne die Differenz idealisieren zu wollen. Wir suchen das Fremde, das uns gleichzeitig ängstigt. Wir konfrontieren uns mit der Tatsache, dass das koloniale Erbe in unseren Körpern, unseren

Institutionen, Wirtschaftsweisen und unseren medialen Praktiken weiterwirkt. Wir wollen herausfinden, wo und in welchen Organen es steckt [23]. Als Europäer wollen wir uns den Wirkmächtigen und Dämonen innerhalb und außerhalb unserer selbst stellen, in die wir verwickelt sind. Um eigene und fremde Grenzen anzunehmen. Wir sind nicht Missionare, sondern Reisende auf der Suche.

Die Expedition ist eine Erkundung der terrestrischen Empfindsamkeit im Sinne Alexander Kluges und Hubert Fichtes [24]. Auf unserer Suchbewegung bedienen wir uns medialer, psychoanalytischer, performativer und hypnotischer Techniken. Als desorientierte Weiße nähern wir uns der Umkehrung von Black Skin, White Masks [25] ohne Blackfacing. Wir sorgen uns nicht nur um die Verletzlichkeit unserer Haut, sondern auch um die unserer Gastgeber und die von Mother Earth.

*Der Autor dieses Beitrags ist Daniel Fetzner und der nachfolgende Artikel entstand in Co-Autorenschaft mit Ephraim Wegner.*

AUTOREN	
	Prof. Dipl.-Ing. Daniel Fetzner Labor für Medienökologie HS Offenburg Künstlerische Forschung <a href="mailto:daniel.fetzner@hs-offenburg.de">daniel.fetzner@hs-offenburg.de</a>
	Prof. Ephraim Wegner, Dipl. der KHM Köln Akademischer Mitarbeiter Medienprogrammierung <a href="mailto:ephraim.wegner@hs-offenburg.de">ephraim.wegner@hs-offenburg.de</a>

# Medienökologische Topologien

Prof. Dipl.-Ing. Daniel Fetzner, Prof. Ephraim Wegner Dipl. der KHM Köln

DE\GLOBALIZE fragt metaphorisch: wo landen? Mit dem Flug unseres Stratosphärenballons nehmen wir die Frage wörtlich. Unsere topologischen Bildexperimente stehen unter der Vorgabe, dass wir weder alle Fäden in der Hand halten, noch dass alle auf uns zulaufen, wir aber trotzdem komplett darin verstrickt sind.

*DE\GLOBALIZE asks metaphorically: where to land? With the flight of our stratospheric balloon, we take the question literally. Our topological picture experiments are under the premise that we neither hold all the threads in our hands, nor that they all run towards us, but we are nevertheless completely entangled in them.*



Wie können im Zeitalter der Technosphäre Materie, Organismen und Geografie als flache relationale Verbindungen veranschaulicht werden? Alles eine Frage der Perspektive, könnte man vermuten. Als Medienökologen sind wir daher auf der Suche nach einer Art von Null-Personen-Perspektive [2].

Unsere ersten Versuche einer solchen Formfindung gehen zurück auf die Dokumentation einer Performance in der Müllstadt in Kairo [3]. Der Philosoph Graham Harman versucht darin, seine objektorientierte Ontologie (OOO) inmitten der Dinge zu explizieren – überlagert von Geruch, Hitze und Geräuschen des Sortierens und Schredderns von Plastikmüll. Wir haben versucht, für die materielle Verwicklung des Denkens in dieser experimentellen Konfrontation einen künstlerischen Ausdruck zu finden. Die Videomatrix der 360°-Aufnahmen wird mit der stereografischen Projektion [4] in Echtzeit steuerbar, um ein medienökologisches Geflecht mit dem Betrachtenden der Aufnahmen herzustellen. Die topologische Verformung des Bildmaterials wird im Moment der Entstehung durch die Interaktion zum Werkzeug des Denkens selbst.

## Raum und Topologie

Der Mathematiker Bernhard Riemann zeigte im 19. Jahrhundert, dass in der topologischen Betrachtung der Raum und in ihm enthaltene Objekte gekrümmt, gestaucht, gedehnt werden können, ohne dass sich die Dinge wesenhaft verändern. Winkel, Proportionen und Dimensionen sind in diesem System zu vernachlässigen.

Während die euklidische Geometrie zum rechten Maß des Königs und zum Absolutismus passt, ist der topologische Raum ein Raum des Seins. Der topologische Raum generiert ein Milieu, ein Zwischen-Ort, in dem Beziehungen von Nähe und Umhüllung möglich werden. Ökologische Theoretiker\*innen wie etwa die Biologin Lyn Margulis, der Ethnologe Tim Ingold oder der Philosoph Gilles Deleuze etablieren daher nicht die Knotenpunkte, sondern die dazwischenliegenden Linien als entscheidenden Protagonisten in ihrem relationalen Denken: Sie wollen das Chaos kreuzen, neu falten und die Dinge in Fluss bringen.

Abb. 1:  
Abbildungen einer Kugelfläche in eine Ebene durch eine Zentralprojektion, deren Projektionszentrum auf der Kugel liegt



## Stereografische Projektionen

Ausgangspunkt unserer Suche nach der Null-Personen-Perspektive ist das Konzept der Wilden Topologie von Michel Serres. Der französische Philosoph und Mathematiker betrachtet Brücken als topologische Schlüsseloperatoren in allen kulturellen Prozessen des Trennens und Verbindens. In Anlehnung an das bekannte Gedankenexperiment von Leonhard Euler zu den Königsberger Pregelbrücken begreift Serres aber nicht nur bauliche Überquerungen, als vielmehr den Götterboten Hermes, die Parasiten, die Engel, das Labyrinth und die Nordwestpassage, letztlich alle Formen des Medialen als das vermittelnde Dritte zwischen den Dingen. Als Überschreitung einer Grenze bei gleichzeitiger Wahrung derselben.

Die Überlegungen zur Wilden Topologie kombinieren wir mit dem historischen Ansatz der stereografischen Projektion aus der Kartografie und der Malerei [5]. Eine 360° Bildmatrix wird dabei in mehrere polymorphe Zustände zerlegt. Ihr Augenpunkt befindet sich auf der Innenseite einer Kugel, auf die das Videobild abgebildet wird. Je nach Position des Blickpunktes werden der Körper und die ihn umgebenden Bereiche in immer neue Strukturen gefaltet, verknotet und verdreht.

In der topologischen Verformung einer stereografischen Projektion bewegt sich der Benutzer aus dem Zentrum der Kugel heraus in Richtung Peripherie und eröffnet einen Raum radikaler visueller Nachbarschaften und neuer Perspektiven [6].

### Prototyp

Stereografische Projektionstechniken [7] sind in der Computergrafik unter dem Namen Little Planet bekannt. Für die Realisierung unserer audiovisuellen Installationen ist es wichtig, unterschiedliche Eingabemedien sowie Bild- und Klangsyntheseparameter in Echtzeit miteinander zu verknüpfen. Dazu gehört das Empfangen und Senden von OSC-Signalen und die Steuerung der im Shader angelegten Funktionen – wie beispielsweise den Offset, die zu projizierende Blickrichtung sowie die Skalierung des Bildes.

Aufgrund der offenen Standardisierung greifen wir für unser Tool auf die Schnittstelle von OpenGL ES zurück. Aus Gründen der besseren Performance entscheiden wir uns für die Implementierungen in Cinder und Open Frameworks.

In den Prototypen unserer C++-Programmierung wurde die Programmbibliothek Csound integriert. Aktuell experimentieren wir mit weiteren Projektionsformen, die sich aus equirectangularen Bildmaterial ableiten lassen [8].

Die Bilder und Sounds der Anwendung unterlaufen die gewöhnliche Wahrnehmung. Die Irritation liegt vor allem darin, dass der Anthropozentrismus der Linearperspektive, der all unseren technischen Apparaturen innewohnt, augenscheinlich infrage gestellt wird. Auf den Spuren von Erwin Panofskys Kritik der Perspektive als symbolischer Form (1927) und Graham Harmans Forderung nach flachen Ontologien (2017) bewegen wir uns auf dünnem Eis einer kritischen (Bild-)Zone – in weiter Entfernung vom planetaren Zentrum.

Wir experimentieren mit einem ethnografischen Perspektivwechsel, der die Trennung von Subjekt und Objekt, von Menschen und Umwelt aufhebt. Ziel ist kein wild wucherndes Durcheinander der Aktanten als vielmehr ein kooperierendes Ringen und Aushandeln der beteiligten Aktanten. In stereografischen Projektionen entstehen neue Zwischenräume, indem innere und äußere Zonen durch sogenannte Übergangsobjekte [9] miteinander in Beziehung gesetzt werden.

Die Interaktion und der Umgang mit der projizierten Kugel als innerem Augapfel verengt die Zeiterfahrung und aktiviert spezifische sensomotorische Schemata. Das Sehen wird weniger zu einem intentionalen Akt als zu einer psycho-materiellen Verschränkung von teilkörperlichen Affekten, und das ist der eigentliche qualitative Sprung dieser visuellen Repräsentation. Das Tool berücksichtigt, dass unser Körper und dessen Umwelt immer in multiple Zonen und ununterscheidbare Intervalle verwoben sind [10].

Die Navigation durch unsere Anwendung kann als improvisatorischer Akt innerhalb einer interobjektiven Struktur betrachtet werden. Jede gewählte Perspektive schafft implizit einen Off-Screen und damit einen potenziellen Raum vielfältiger objektbezogener Verbindungen und willkürlicher Montagen. Diese Bezogenheiten sind da, werden aber gerade nicht gesehen. Sie fallen sprichwörtlich aus dem Rahmen. Rhythmen, Atmosphären und Koinzidenzen schaffen so einen polymorphen Fluss von Erfahrungen und einen korrelierenden Datenstrom, die das Konzept der Zentralperspektive als symbolische und repräsentative Form infrage stellen.

#### Quellen:

1 In Anlehnung an "Où atterir" (Bruno Latour 2017)

2 Begriff von Timothy Morton: Gesucht wird die Sicht einer Null-Person, die Objekte nicht ausschließlich auf ihre materialistischen Beziehungen o. objektivierenden Sichtweisen zurückführt  
3 deglobalize.com/#

GrahamHarman360 (2017)

4 Abbildung einer Kugeloberfläche in einer Ebene mit Hilfe einer Zentralprojektion, deren Projektionszentrum auf der Kugel liegt, siehe [https://de.wikipedia.org/wiki/Stereografische\\_Projektion](https://de.wikipedia.org/wiki/Stereografische_Projektion)  
5 Erfunden wurde das kartografische Verfahren von dem Mathematiker Claudius Ptolemäus um 100 n. Chr. Anwendung fand es beispielsweise in der Malerei von Peter Paul Rubens im frühen 17. Jhd. oder bei Francis Bacon im 20. Jhd.

6 Man könnte auch sagen, weg vom Zentrum in die Peripherie, in die Fransen des Bewusstseins, wie das William James genannt hat. In das Intermediäre des Vorsprachlichen, wie es bei Latour heißt -als eine Art von vorbewusster, topologisch fließender Erfahrung.

7 [https://en.wikipedia.org/wiki/Stereographic\\_projection#History](https://en.wikipedia.org/wiki/Stereographic_projection#History)

8 Beispielsweise Mollweide, Tobler, Hammer, Aitoff, Wagner, Eckert IV, Bottomley, Sinusoidal, Werner o. Bonne Projektionen. Quelle: <http://paulbourke.net/panorama/sphere2sphere>

9 in Übergangsobjekt ist nach der psychoanalytischen Objektbeziehungstheorie von Donald Winnicott ein vom Säugling selbst gewähltes Objekt, das den (intermediären) Raum zw. Kleinkind und Mutter einnehmen kann – beispielsweise die Spitze einer Kinderdecke, an der es kaut.

10 Siehe hierzu die Künstlerische Forschung Embedded Phase Delay der Autoren (2013) unter <https://epd.metaspaces.de> zur fehlenden Halbsekunde von Hermann v. Helmholtz (1851)

# The Data Aggregation: using Grouping Algorithm in Peer to Peer Network

Saptadi Nugroho M.Sc., Professor Dr.-Ing. Andreas Christ, Professor Dr. rer. nat. Christian Schindelbauer

Die größere Anzahl von Agenten im Netz führt zu einem Kommunikations- und Computer-Overhead. Die Gruppierung der Netzwerke zur Berechnung einer Näherung des aggregierten Datenwerts ist wichtig. Der Knoten entscheidet mit dem LEACH-Algorithmus [3], ob er der Leader sein wollte oder nicht. Der Mitgliedsknoten sendet den Datenwert an den Leader-Knoten und kopiert das Ergebnis der Average Function vom Leader-Knoten. Wenn sich zwei Leader-Knoten treffen, führen sie den Aggregationsprozess durch.

*The growing number of agents in the network causes the communication and computation overhead. The needs to cluster the networks for computing an approximation of aggregate data value is important. The node will decide whether to be the leader or not by using LEACH algorithm [3]. The member node will send the data value to the leader node and copy the average function result from the leader node. If two leader nodes meet, they will perform the aggregation process.*

## Related Work

In the rumor-based approach [1], every node exchanges the messages with its neighbors in the communication graph  $G_t = (V, E_t \subseteq V \times V)$  of round  $t \geq 1$  obtained by the randomized process. In a standard Gossip algorithm [2], the nodes exchange the information asynchronously, compute the average value with their one-hop neighbors, and repeat the process for calculating data using aggregation functions in a time instance in every round. The growing number of agents in the network causes the communication and computation overhead. The needs to cluster the networks for computing an approximation of aggregate data value is important. The data streams are collected in a distributed manner from other nodes [2].

We study the grouping algorithm in wireless sensor network. LEACH (low-energy adaptive clustering hierarchy) is a hierarchical protocol that computes the data locally to reduce the data traffic using local control [3]. LEACH aggregates the information from the group member to the group head in a TDMA

schedule. The nodes select the group head for creating the group formation. The group head recognizes the group members. After the group head receives the information from the group members, the group head will aggregate the data and send the aggregation result to the sink.

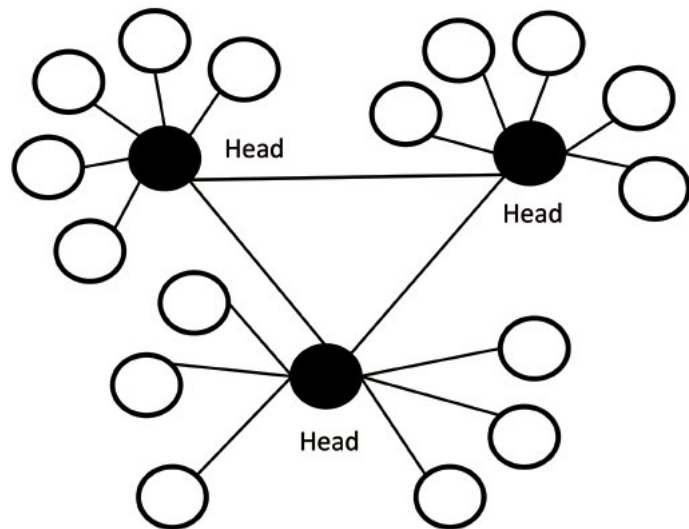


Fig. 1:  
The grouping nodes in peer to peer network

## Method

A data value of  $x_t \in \mathbb{R}_0^+$  produced by a sensor node is collected by applying push and pull algorithm [1] in the communication graph of  $G_t = (V, E_t \subseteq V \times V)$ . Each node may update and change the data value of  $x$ . The nodes compute an average function in  $r$  rounds. The ground truth of the average value of inputs of all  $n$  nodes in the network, that is calculated as follows.

$$f_{avg} = \frac{\sum_{i=1}^n x(i)}{n}$$

Initially, each node sets a token leader = 1 indicating the node is a leader. In LEACH, every node chooses a random number  $r \in [0,1]$  and calculates the threshold  $T(n)$  at round  $t$  with the desired percentage of cluster head  $p$  as follows[3].

$$T(n) = \frac{p}{1 - p \left( t \bmod \frac{1}{p} \right)}$$

If the random number  $r > T(n)$  and the node's token leader  $k = 1$ , then the token leader will be changed to 0 indicating that the node is not a leader. If the random number  $r < T(n)$ , then the node is selected to be a leader and the token leader  $k$  will be set to 1. In this work, the nodes will choose whether to be the leader or not at time  $t = 1$ . We assume that the leader node will still exist during the aggregation process throughout the system lifetime. In the wireless sensor network, they consider to change the leader every time  $t$  due to limited power battery resources.

At time  $t > 1$ , each node chooses the neighbors and exchange the data value  $x$ . The member node which has  $k = 0$  will find the leader node which has  $k = 1$ . The member node will send the data value  $x$  to the leader node and copy the average function result from the leader node. If two leader nodes meet, they will perform the aggregation process.

## Future Work

We are currently working on analyzing the data aggregation using self organizing nodes in peer to peer network. The approximate grouping messages algorithm applied in peer to peer network will contribute a reasonable approximation of averaging data. We plan to investigate the complexity of this grouping the message algorithm and report on these results in detail in future work.

## Acknowledgments

This work was supported by the Indonesian Endowment Fund for Education (LPDP) under the BUDI-LPDP scholarship program. The authors acknowledge supports from Offenburg University of Applied Sciences and Albert-Ludwigs-Universität Freiburg.

### AUTOREN



Saptadi Nugroho M.Sc.  
FPhD Student (Hochschule Offenburg/  
Albert-Ludwigs-Universität Freiburg)  
Forschungsgruppe: Peer-to-peer networks  
saptadi.nugroho@hs-offenburg.de



Prof. Dr.-Ing. Andreas Christ,  
Fakultät M, Wiss. Leiter Labor Mobile  
Kommunikation und Wellen, Lehrgebiete:  
Mikrowellentechnik, Mobilkommunikation  
christ@hs-offenburg.de



Prof. Dr. rer. nat. Christian Schindelhauer  
Institut für Informatik, Rechnernetze und  
Telematik, Lehrgebiete: Rechnernetze und  
Verteilte Algorithmen  
schindel@tf.uni-freiburg.de

### Referenzen/References:

[1] R. Karp, C. Schindelhauer, S. Shenker, B. Vöcking: "Randomized Rumor Spreading", Proceedings 41st Annual Symposium on Foundations of Computer Science, IEEE, pp. 565-574, 2000  
[2] Mashayekhi, H. Collaborative fuzzy clustering of distributed concept-drifting dynamic data using a gossip-based approach. Appl

Intell 48, 4905–4922 (2018). <https://doi.org/10.1007/s10489-018-1260-9>  
[3] W. B. Heinzelman, A. P. Chandrakasan and H. Balakrishnan, "An application-specific protocol architecture for wireless microsensor networks," in IEEE Transactions on Wireless Communications, vol. 1, no. 4, pp. 660-670, Oct. 2002, doi: 10.1109/TWC.2002.804190

# Entrepreneurship: Hochschulweiterbildung für das Unternehmertum

Prof. Dr. phil. Thomas Breyer-Mayländer

Entrepreneurship – die systematische Erkennung und Förderung von Unternehmertalenten gehört zu dem Kernaufgabengebiet von Hochschulen. Oftmals wird der Bereich jedoch auf die Förderung von Studierenden im Kontext von Gründungsvorhaben reduziert. In der Abstimmung mit Partnern der Region Südlicher Oberrhein liegt hier jedoch auch ein Aufgabengebiet der wissenschaftlichen Weiterbildungsangebote von Hochschulen, mit der auch Unternehmertalente in und für bestehende Unternehmen gefördert werden.

*Entrepreneurship as systematic process of identification and development of entrepreneurial talents is one of the core duties of Universities. Often the University activities are focused on the support of students in the context of startup and the development of new business ideas. A new approach could be the integration of entrepreneurship support for established employees and experienced experts by using the post-graduate programs of Universities for educating new entrepreneurs and the resources of partners for further training and coaching.*

Seit der Jahrtausendwende hat sich international die Erkenntnis durchgesetzt, dass sich wirtschaftlich stabile Entwicklungen in vielen Gesellschaften nur in enger Kopplung mit einer (Weiter-)Entwicklung des Unternehmertums erreichen lassen und so die Verfügbarkeit von Unternehmertalenten zu den zentralen Erfolgsfaktoren gesellschaftlicher und sozialer Entwicklungsfähigkeit angesehen werden können.

Entrepreneurship, als die international gängige Bezeichnung für Unternehmertum oder Unternehmergeist, ist mehr als nur die Förderung von Unternehmensgründungen. Sie ist eine Disziplin, die sich im akademischen Sektor unter diesem Label formiert hat und speziell im Bereich Gründungsforschung das Label „entrepreneurship research“ stark auf die Erforschung der Gelingensbedingungen von Neugründungen, Unternehmensübernahmen und Nachfolgeprozessen fokussiert ist. Aber ist das die einzige Rolle, in der Hochschulen dafür sorgen können, dass sie ihren gesellschaftlichen Auftrag im Rahmen der dritten beziehungsweise vierten Mission, also im Transfer und der dialogischen Weiterentwicklung neuer Ideen und Erkenntnisse mit der Zivilgesellschaft auch im Hinblick auf den Bereich des Unternehmertums erfüllen?

Dieser Beitrag zeigt die Handlungsfelder auf, die einer Hochschule zur Verfügung stehen, um dieser anspruchsvollen Aufgabe gerecht zu werden. Er zeigt auch auf, wie Hochschulen mit ihren unterschiedlichen Handlungsfeldern in Lehre, Forschung, Wissens- und Technologietransfer Unternehmertum fördern können und die praktische Umsetzung in enger Abstimmung mit dem fachlichen und regionalen Netzwerk hochschulferner Akteure erfolgt.

Der wichtigste Schritt zu Beginn ist es, die Begrifflichkeit von „entrepreneurship research“ von der reinen Gründungsforschung zu lösen. Es geht beim Konzept des Entrepreneurs nicht nur um Gründungen. Es geht um unternehmerisch denkende und handelnde Personen, die in unterschiedlichen Funktionen aktiv sein können. Für Unternehmen wird es gerade im Rahmen der aktuellen agilen Arbeitsprozesse, der auf Selbstverantwortung beruhenden dezentralen Strukturen und der Führungsstile, die auf intrinsisch motivierte qualifizierte Mitarbeitende setzen, darum, möglichst viele Entrepreneure an Bord zu haben. Im Sinne von Joseph A. Schumpeter sind Entrepreneure die Regelbrecher, die bestehende Strukturen infrage stellen und bewusst gegen den Strom schwimmen. Dies wird jedoch nicht in

jeder Organisationsumgebung in gleichem Maße gelingen. Peter F. Drucker hat daher bereits 1985 gerade in den „large middle-sized“ (Drucker 1985, Seite 148) Unternehmen großes Potenzial für Entrepreneurship gesehen, vorausgesetzt, man trenne den Begriff Entrepreneurship von der nach Drucker „misleading“ „literal translation“ of „Unternehmer“, wie es in den deutschsprachigen Ländern oft verwendet werde, was den Begriff ohne Not auf einen „owner-manager“ (Drucker 1985, Seite 25) einenge.

Bevor man sich mit der Frage auseinandersetzt, wie Hochschulen dem Bedürfnis von Wirtschaft und Gesellschaft nach einer Stärkung unternehmerischer Kompetenzen entsprechen können und Angebote oder Maßnahmen für die einzelnen Handlungsfelder entwickeln, muss die Abgrenzung zu anderen Begriffen und Funktionen klar sein.

Gerade im Kontext des strategischen Managements von disruptiven Technologien und Geschäftsmodellen spielt die Abgrenzung zwischen Entrepreneurship und Management, oder bezogen auf die Akteursrollen zwischen Entrepreneuren und Manager\*innen, eine Rolle. Während Management sich primär mit der Optimierung bestehender Unternehmen und Organisationen befasst, sind Entrepreneure stärker darauf fokussiert, neue Ideen in wirtschaftlich erfolgreiche Projekte und eigene Unternehmenseinheiten zu integrieren.

Wer nun im Aufgabenfeld Entrepreneurship ganz allgemein den Bereich der Innovation angesiedelt sieht, sollte noch die Abgrenzung zwischen Entrepreneurship und Innovation beachten. Während Innovatoren darauf spezialisiert sind, aus neuen Verfahren wie Inventionen Modelle für eine wirtschaftliche Umsetzung zu entwickeln, sind Entrepreneure darauf fokussiert, genau diese wirtschaftliche Umsetzung der innovativen Idee voranzutreiben. Die kurze Formel „innovators are thinkers (...) but (...) entrepreneurs are doers“ (Clifton 2014, Seite 8) bringt das auf den Punkt. Oder, um nochmals eine Anlehnung an die Gedankenwelt von Peter F. Drucker zu machen: Die erfolgreiche Kommerzialisierung einer Innovation ist dann abgeschlossen, wenn im Sinne einer erfolgreichen Realisierung auch Kunden für das Produkt – sei es eine Dienstleistung oder ein physisches Produkt – gefunden wurden. Denn Kunden sind die Existenzberechtigung eines Unternehmens.

Wegen des grundsätzlichen gesellschaftlichen Nutzens von erfolgreichen Unternehmerinnen und Unternehmern haben sich Forschung und Praxis international dem Thema gewidmet, was unternehmerische Kompetenzen und unternehmerische Talente kennzeichnet. Beide Themenfelder sind essenziell, um eine qualifizierte Antwort geben zu können, wie Hochschulen – gerade im Feld der wissenschaftlichen Weiterbildung – diese Themenfelder stimulieren und unterstützen können.

### Kompetenzen für echtes Unternehmertum? Das Modell der „Entrepreneurial competences“

Im Kontext der europaweiten Förderung von Unternehmensgründungen hat die EU-Kommission das „Entrepreneurship Competence Framework“ entwickelt, das eine Reihe von Basiskompetenzen ermittelt hat, die als Voraussetzungen für unternehmerisches Handeln gelten (siehe Bacigalupo et al. 2016). Das „EntreComp“-Schema besteht aus drei Kompetenzfeldern und 15 Kompetenzen (Abbildung 1).



Abb. 1: Kompetenzfelder und Kompetenzen des EntreComp-Konzepts (eigene Darstellung nach: Bacigalupo et al. 2016, Seite 11)

Für eine systematische Förderung von Entrepreneurship ist es jedoch nicht nur erforderlich, die unterschiedlichen Kompetenzen der (künftigen) Unternehmer\*innen im Auge zu behalten. Es geht auch darum, zu ermitteln, ob denn tatsächlich jemand als Persönlichkeit geeignet ist, als Unternehmerin oder Unternehmer aktiv zu werden. Wie in anderen Feldern, etwa Sport oder Musik, ist Exzellenz auch eine Frage des Talents, das sich über Training und Erfahrung nur in gewissem Maße kompensieren lässt.

## Talentemodell – 10 Talente erfolgreicher Entrepreneure

Im Umfeld des Gallupinstituts wurde auf Basis von unterschiedlichen empirischen Ansätzen ein Set von 10 Talenten ermittelt, die als Voraussetzung für erfolgreiche Entrepreneure gelten (Abbildung 2).

Diese Auflistung sollte nicht so interpretiert werden, dass für erfolgreiche Unternehmer\*innen oder Gründer\*innen bei den entsprechenden Tests (vergleiche Gallups Clifton-Strengthfinder für Entrepreneure) alle Talente gleichermaßen eine hohe Ausprägung besitzen müssen. Es ist lediglich so, dass ein ausgewogenes Talentenspektrum, das möglichst viele Bereiche abdeckt, den Erfolg begünstigt, da in diesen Fällen Ausbildung und Training nicht der Kompensation dienen. Auch muss man darauf achten, dass die Talente nicht mit gängigen Mythen verknüpft werden. So ist der „Risk-Taker“ kein „Risk-Seeker“, denn auch risikobereite Unternehmerpersönlichkeiten werden, so gut es geht, Risiken vermeiden und nicht Risiken ohne Not suchen (siehe Butler 2018, Seite 4f).

Den Hochschulen kommt in Deutschland bei der Förderung von Unternehmertum eine besondere Rolle zu, die – beispielsweise bei einer Orientierung auf „Applied Sciences“ und einer regionalen Verankerung, wie sie die Hochschule Offenburg besitzt – als gesellschaftlicher Auftrag und damit auch als Teil der Interaktion mit der Zivilgesellschaft gedeutet werden kann. Im Nachfolgenden werden die drei Hauptthemen Talenteerkennung, Unternehmerbildung und Fokussierung dargestellt, die dazu geeignet sind, das Aufgaben- und Spielfeld der Hochschulen (insbesondere im Feld der wissenschaftlichen Weiterbildung) zu beschreiben.

<b>Business Focus</b>	•Ziel- und Gewinnorientierung in Verbindung mit Entwicklungszielen
<b>Confidence</b>	•genaue Vorstellung über eigene Stärken und Selbstvertrauen
<b>Creative Thinker</b>	•Vorstellungsvermögen für Neues (Kreation neuer Ideen und Ansätze)
<b>Delegator</b>	•Fähigkeit eigene Grenzen zu erkennen und andere wirksam einzubinden
<b>Determination</b>	•Überwindung von Widerständen, Entscheidungsfreude und hohe Arbeitsdisziplin
<b>Independent</b>	•Verantwortungsgefühl, Multitaskingfähigkeit und Fähigkeit für Organisation, Strukturierung, Strategieentwicklung
<b>Knowledge-Seeker</b>	•Ständige Suche nach neuen Informationen und Wissen für das eigene Geschäft und Geschäftsfeld
<b>Promoter</b>	•Fähigkeit das eigene Unternehmen und die eigene Visionen so zu formulieren und zu vertreten, dass es für unterschiedliche Anlässe und Zielgruppen passt.
<b>Relationship-Builder</b>	•Soziale Fähigkeit interne und externe Beziehungen aufzubauen und zu gestalten.
<b>Risk-Taker</b>	•Positive Einstellung gegenüber (neuen) Herausforderungen mit einer optimistischen Grundhaltung und der Fähigkeit rationale Entscheidungen zu treffen.

Abb. 2:  
10 Talente für erfolgreiche Entrepreneure (eigene Darstellung, vergleiche Badal 2014)

## 1. Talenteerkennung

Im Gegensatz zu den USA ist in Deutschland die systematische Talenteerkennung (wie in den Bereichen IQ, Sport und Kultur) nicht sehr ausgeprägt. In Bezug auf Entrepreneurship-Talente gibt es nur wenige Prozesse mit einem geringen Grad an Institutionalisierung wie etwa Talentewettbewerbe oder hochschulspezifische Talentförderungsprogramme zur Gründungsförderung von Studierenden. Hier ist es eine Aufgabe der Entrepreneurshipförderung an Hochschulen – sofern Mittel vorhanden sind – die Unternehmertalente zu identifizieren und zu fördern. An der Hochschule Offenburg erfolgt dies über das Programm „MR SPoC“ (Mehrstufige Rekrutierung mit Stipendium für Proof of Concept) oder dem OGF Lab (Open Game and FabLab). Die systematische Förderung von Unternehmertalenten außerhalb der Hochschule kann nur im Verbund mit anderen institutionellen Partnern gelingen. Im Rahmen der wissenschaftlichen Weiterbildung können jedoch auch hier Diagnoseworkshops beispielsweise auf Basis des Clifton-Strengthfinders durchgeführt werden, um Talente zu entdecken, die keine akademische Laufbahn eingeschlagen haben und/oder bereits im Berufsleben stehen.

## 2. Unternehmerbildung

Einige Studiengänge in den grundständigen Bachelorbereichen enthalten bereits wesentliche Elemente der Entrepreneurship-Ausbildung, die dann in dieser Phase der persönlichen Entwicklung auf eher theoretischer Ebene erfolgt. Parallel dazu gibt es die Möglichkeit, fakultätsübergreifend Kurse für Gründungsinteressierte anzubieten, wie es an der Hochschule Offenburg über das Gründerbüro und die fakultätsübergreifenden Entrepreneurship-Kurse erfolgt.

Ein weiteres, sehr breites Aufgabenfeld ergibt sich für die Hochschulen jedoch im Bereich der wissenschaftlichen Weiterbildung. Neben berufsbegleitenden Masterstudiengängen, die im Rahmen der eigenen Schwerpunkte (sei es nun Digitale Wirtschaft/Industrie 4.0 oder im MBA-Bereich General Management) unternehmerische Kompetenzen vermitteln, gibt es den Bedarf für weitere Zielgruppen im Rahmen gezielter Zertifikatskurse für Entrepreneurure. Unabhängig davon, ob es um unternehmerische Verantwortung im Rahmen einer Führungsaufgabe im Unternehmen oder um eine etwaige (Neu-)Gründung eines Unternehmens geht, beziehen sich die Kurse in diesem Fall auf die Notwendigkeit für innovative Ideen, Kunden zu finden und einen Markt zu entwickeln. Im Vordergrund stehen daher nicht wie vor Jahrzehnten der Business-Plan, wie er für Finanzierungspartner vorzulegen ist, sondern das Geschäftsmodell (inklusive Erlösmodell), das sich zentral mit der Frage befasst, welche Probleme „meiner“ Kunden „meine“ Produkte lösen sollen. In Verbindung damit geht es um die Kunden- und Marktsegmente, die man gezielt bearbeiten möchte und die positive Deckungsbeiträge erwarten lassen, die Skalierbarkeit, die Schlüsselressourcen und ein eventuell notwendiges Partnering zur Umsetzung der Ideen. Basis sind hier agile Arbeitsmethodiken, Design Thinking, Lean Start-up mit der Entwicklung von minimal funktionsfähigen Produkten (MFP) / Minimal Viable Products (MVP), die eine direkte Erprobung der unternehmerischen Ideen und eine Nachjustierung ermöglichen. Gerade für Unternehmen in disruptiven Transformations-situationen, wie etwa Veränderungen im Rahmen der digitalen Transformation, sind Teams mit einer unternehmerischen Ausrichtung von großem Nutzen.

Parallel zu diesen Methodiken ist eine Unterstützung der Entrepreneurure im Bereich der Führung erforderlich, um die Menschen und Organisationen bei ihrer Entwicklung und ihrem Wachstum zu begleiten.

## 3. Fokussierung

Hochschulen sind im Rahmen der wissenschaftlichen Weiterbildung prädestiniert, Wissen zu vermitteln und die erstmalige Anwendung neuer Kompetenzen zu trainieren. In diesem Sinne sind Veranstaltungen im Seminarstil angemessen, die eine gewisse Individualisierung bieten. Die beratende Begleitung können Hochschulen vorwiegend im Bereich der Geschäftsmodelle leisten und sie ist auch in diesem Segment häufig auf die Klientel der eigenen Studierenden fokussiert. Breitere Beratung erfolgt in Abstimmung mit regionalen Partnern wie in Offenburg mit „Start-up Connect“ der Wirtschaftsregion Ortenau oder den Kammern und Verbänden. Darüber hinaus gibt es gerade bei der Führungsarbeit einen Begleitungsbedarf, der sich vor allem auf die Umsetzung der Führungsprinzipien im Alltag konzentriert. Eine derartige enge Begleitung kann im Rahmen von Mentorings auch über Netzwerke und Kooperationen erfolgen. Das enge Coaching von Unternehmer\*innen in ihrem Alltag ist jedoch ein eigenes Aufgabenfeld, das von spezialisierten Anbietern erbracht wird. So sind es am Ende unterschiedliche Partner, die Entrepreneurship in der Region unterstützen und dafür sorgen, dass gerade ein mittelständisch geprägter Wirtschaftsraum wie der Südliche Oberrhein ausreichend innovative Unternehmerpersönlichkeiten in bestehenden und neu zu gründenden Unternehmen besitzt.

### Referenzen/References:

- [1] Bacigalupo, M.; Kampylis, P.; Punie, Y. & Van den Brande, G. (2016). *EntreComp: The Entrepreneurship Competence Framework*. Luxembourg: Publication Office of the European Union. doi:10.2791/593884
- [2] Badal, S. B. (2014). *The 10 Talents of Successful Entrepreneurs*. In J. Clifton & S. B. Badal (Eds.), *Entrepreneurial StrengthsFinder*. (37-140). New York: Gallup Inc.
- [3] Butler, T. (2018). *Hiring an Entrepreneurial Leader*. In HBR (Ed.), *On Entrepreneurship and Startups*. HBR'S Must Reads. (1-11). Boston: Harvard Business Review Press
- [4] Clifton, J. (2014). *Only Entrepreneurs Can Save America and the World*. In J. Clifton & S. B. Badal (Eds.), *Entrepreneurial StrengthsFinder*. (1-31). New York: Gallup Inc.
- [5] Drucker, P. F. (1985). *Innovation and Entrepreneurship: Practice and Principles*. New York: Harper & Row

### AUTOR



Prof. Dr. phil. Thomas Breyer-Mayländer  
 Professor für Medienmanagement,  
 Forschungsgebiete: Medienmanagement,  
 Führung, Digitale Transformation, Wissens-  
 schafts- und Bildungsmanagement  
 breyer-maylaender@hs-offenburg.de



## Lust auf Digitalisierung?

Ob als Student oder Absolvent - hier warten spannende Aufgaben auf Dich!

- Praktika
- Abschlussarbeiten
- Werkstudententätigkeiten
- Jobs für Berufseinsteiger



[www.bct-technology.com](http://www.bct-technology.com)

Innovative Software aus Willstätt • Siemens Digital Industries Software Partner • Teil der Unternehmensgruppe Badische Stahlwerke GmbH



Karlsruher  
Forschungs-  
fabrik

## 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**  
Qualitäts-  
management  
Seit 2003

**BIM**  
Building  
Information  
Modeling  
Seit 2016

**REHATEC**  
Planungsgesellschaft mbH  
Im Oberwald 6  
79359 Riegel am Kaiserstuhl  
[www.rehatec.de](http://www.rehatec.de)

**REHATEC. Intelligent gelöst.**



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

Wir suchen:

**PRAKTIKANT (PFLICHTPRAKTIKA)/  
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)



Die Fakultät Maschinenbau und Verfahrenstechnik (M+V) ist eine sehr forschungsstarke Fakultät. Das lässt sich allein schon daran erkennen, dass knapp die Hälfte ihrer Professoren an einem oder mehreren Forschungsprojekten beteiligt ist. Für diese laufenden Projekte konnte die Fakultät über drei Millionen Euro an Fördermitteln verbuchen. Das entspricht 45 Prozent der Forschungsförderung für die gesamte Hochschule. Die 2021 eingeworbenen Mittel für zukünftige Forschungsprojekte belaufen sich auf 43 Prozent der Einwerbungen der gesamten Hochschule.

Das Spektrum der Forschung in den Studiengängen Maschinenbau, Biomechanik, Biotechnologie und Umwelttechnologie erstreckt sich über die Fachbereiche: Life Sciences, nachhaltige Energiesysteme, innovative und nachhaltige Produkt- und Prozessentwicklung sowie sichere, autonome und KI-basierte Systeme.

In der aktuellen Forschungslandschaft herrscht eine große Tendenz, einzelne Fachbereiche miteinander zu verknüpfen. Diese wird vom Dekanat aktiv unterstützt, denn die heutigen Probleme lassen sich nur durch das Verbinden von spezialisiertem Wissen lösen. Und so orientieren sich die Forschungsprojekte, die in der Fakultät M+V angesiedelt sind, immer mehr an interdisziplinären Fragestellungen, die der Zusammenarbeit verschiedener Fakultäten bedürfen.

Ein Beispiel dafür ist das Projekt AMLO (Advanced Motion Lab Offenburg), das von den Professoren Steffen Willwacher (M+V) und Thomas Wendt (B+W) betreut wird. Ein interaktives Bewegungsanalysesystem für Echtzeit-Bewegungsanalysen in einer virtuellen

Umgebung (Gait Real-Time Analysis Interactive Lab (GRAIL)) soll menschliche Bewegung in diversen Bewegungsumgebungen untersuchen. Diese Faktoren wurden in bisherigen Studien nur unzureichend einbezogen. So wird multidisziplinäre, erkenntnisorientierte Forschung zur menschlichen Bewegung in einer ökologisch validen und doch kontrollierbaren Umgebung ermöglicht. Mit GRAIL kann interdisziplinäre Grundlagenforschung zur menschlichen Bewegung und zur Bewegung humanoider Roboter durchgeführt werden. Desweiteren kann es in der angewandten Forschung zur Entwicklung und Verbesserung von technischen Hilfsmitteln zur Unterstützung des Bewegungsapparats eingesetzt werden.

Ein anderes interdisziplinäres Forschungsprojekt ist FlexGUIDe. An diesem sind nicht nur die Professoren Rainer Gasper (M+V), Michael Schmidt und Axel Sikora (beide EMI) beteiligt, sondern auch das Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik und Automatisierung, die Universität Stuttgart und weitere Firmen. Dieses Verbundprojekt soll mittelständischer Industrie die Teilnahme am Energiemarkt der Zukunft ermöglichen. Unter Nutzung der Digitalisierung, neuester Kommunikationstechnologien und zukunftsweisender Verfahren der Künstlichen Intelligenz sollen konkrete Werkzeuge entwickelt und getestet werden, die beispielsweise den bevorzugten Energieverbrauch zu Zeiten hoher regenerativer Erzeugung und einen effizienteren Energieeinsatz ermöglichen. So könnten Industrieunternehmen ihren den CO<sub>2</sub>-Abdruck reduzieren.

Professorinnen und Professoren  
der Fakultät M+V

*Dekan Prof. Dipl.-Ing. Dietmar Kohler*



**MASCHINENBAU UND  
VERFAHRENSTECHNIK**

# 2GenBug und BW2Pro: Bioökonomieprojekte an der Hochschule

Dr.-Ing. Andreas Wilke, Prof. Dr. rer. nat. Thomas Eisele

Die Nutzung von Abfallströmen oder nachwachsenden Rohstoffen zur Generierung von Wertprodukten und Energieträgern ist ein zentrales Element der Bioökonomie und Gegenstand der beiden neuen Forschungsprojekte an der Hochschule Offenburg. Im Projekt BW2Pro wird kommunal anfallender Bioabfall zu einer Reihe neuer Wertprodukte wie Dünger, Biokunststoff, Enzyme oder Biogas überführt. Das Projekt 2GenBUG beschäftigt sich mit der nachhaltigen Produktion von hochwertigen Eiweißen aus Insekten durch Verwendung von Agrarreststoffen und nachwachsenden Rohstoffen als Substrat (Futtermittel). Beide Projekte zeigen die vielfältigen Möglichkeiten auf, mit der sich Forschung im Bereich Bioökonomie heute beschäftigt.

*The use of waste streams or renewable raw materials to generate valuable products and bioenergy is a pivotal element of the bioeconomy and the subject of the two new research projects at the University of Applied Sciences in Offenburg. In the BW2Pro project, municipal biowaste is converted into a range of new value products such as fertilizer, bioplastics, enzymes or biogas. The 2GenBUG project deals with the sustainable production of high-quality proteins from agricultural residues and renewable raw materials via insect rearing. Both projects demonstrate the wide range of possibilities that research in the field of bioeconomy is dealing with today.*

## Motivation

„Im Grunde genommen ist die Bioökonomie nichts Neues.“ So beginnt das Einleitungskapitel eines Buches „Bioökonomie für Einsteiger“ aus dem Springer Verlag [1]. Worum geht es also? Bei der Bioökonomie handelt es sich um den Übergang aus dem Zeitalter der fossilen Brennstoffe in eine Wirtschaftsform, die auf nachwachsende Rohstoffe und erneuerbaren Energien angelegt ist [1]. Der deutsche Bioökonomierat definierte die Bioökonomie als „Erzeugung und Nutzung biologischer Ressourcen ... um Produkte und Verfahren ... im Rahmen eines zukunftsfähigen Wirtschaftssystems bereitzustellen.“ Mit Produkten und Verfahren sind dabei biologische Rohstoffe und deren Verarbeitung zu Nahrungsmitteln, bio-basierte Materialien und Bioenergie gemeint [2].

Warum also Bioökonomie in Deutschland? Hierzulande sind vielfältige und große Industrien auf die Versorgung mit entsprechenden Rohstoffen angewiesen. Da die fossile Rohstoffversorgung endlich ist, besteht selbstverständlich ein großes Interesse darin, neue, nachhaltige Rohstoffquellen zu erschließen. Auf diese Weise kann das vorhandene Wissen und Know-how künftig optimal genutzt werden.

Die Bereiche, in denen die Bioökonomie eine zentrale Rolle spielt, sind vielfältig. Zu unterteilen sind hier die Bereiche, aus denen die Biomasse als Rohstoff erzeugt wird (wie Land- und Forstwirtschaft) sowie die Produkte, die aus den regenerativen Substraten erzielt werden (zum Beispiel Plattformchemikalien, Biopolymere, Energieträger). Die Betrachtung entlang der gesamten Wertschöpfungsketten vom Anbau der Rohstoffe über die Verarbeitung und Veredelung biobasierter Produkte bis zur ressourceneffizienten Nutzung biogener Rest- und Abfallstoffe unter dem Leitbild der Nachhaltigkeit ist dabei Kern des bioökonomischen Konzeptes. Die Nutzung von Biomasse wird in stoffliche (Nahrung, Futtermittel, Werkstoffe) und energetische (Mobilität, Wärme und Elektrizität) Nutzungspfade unterteilt, wobei ressourceneffiziente Systeme mit Koppel- und Kaskadennutzung angestrebt werden [1].

Beispielhaft hierfür sind die beiden neuen Forschungsprojekte. In beiden Projekten werden biogene Abfallstoffe oder nachwachsende Rohstoffe erneut in die Wertschöpfungskette eingesetzt, um Futtermittel, Plattformchemikalien oder Energieträger zu erzeugen.

## 2Genbug

**DFG** Deutsche  
Forschungsgemeinschaft

Gefördert durch die Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG) – Projektnummer 466169172.

Eine der größten Herausforderungen unserer Zeit ist vermutlich die Sicherstellung der Ernährung einer stetig wachsenden Weltbevölkerung und die Frage, ob die Agrarproduktion genügend tierische Proteine zur Verfügung stellen kann [3]. Bereits im Jahr 2050 sollen laut Prognose 9,74 Milliarden Menschen auf der Erde leben und weitere zehn Jahre später 10,15 Milliarden Menschen [4]. Besondere Brisanz erhält die Frage oben durch das gleichzeitige Wachstum der Weltbevölkerung in Kombination mit einem stetigen Anstieg der Fleischproduktion und durch weitere Herausforderungen, die sich durch den Klimawandel auf die Agrarproduktion ergeben. Um die Ernährung der Weltbevölkerung sicherzustellen, wird immer häufiger über die Aufnahme von Insekten in den Speiseplan der menschlichen Ernährung diskutiert [3]. Die Zusammensetzung von Insekten (beispielsweise der Gelbe Mehlwurm) erweist sich hierbei als äußerst vorteilhaft für die menschliche Ernährung hinsichtlich des Proteins (etwa 55 - 60 %), Fett (etwa 22 - 31 %) und Kohlenhydratzusammensetzung (<0,2 %) [5].

Das Wort Entomophagie lässt sich von den griechischen Wörtern entomos (Insekt) und phagein (essen) ableiten [3]. Unter Entomophagie ist der Verzehr von Insekten durch den Menschen zu verstehen. Die Entomophagie wird in vielen Ländern der Welt praktiziert. Dabei ist die Anzahl der verzehrten Insektenarten unklar. Experten gehen davon aus, dass zwischen 1400 - 1900 Insektenarten weltweit verzehrt werden [3,5]. Vor allem in Teilen Asiens, Afrikas und Lateinamerikas ist sie weit verbreitet. Insekten ergänzen heute bereits die Ernährung von etwa zwei Milliarden Menschen und sind schon immer Teil der menschlichen Ernährung [6]. In Deutschland hat die Entomophagie erst kürzlich größere mediale Aufmerksamkeit erhalten. Die Europäische Kommission hat im Mai 2021 nach einer vorausgegangenen Sicherheitsbewertung durch die Europäische Behörde für Lebensmittelsicherheit [5] (European Food Safety Agency; EFSA) die Larven des Gelben Mehlwurms (*Tenebrio molitor larva*) unter der Novel-Food-Verordnung ((EU) 2015 / 2283) zugelassen. Kurz darauf erfolgte dann die



Abb. 1:  
Die Zukunft der Ernährung? Seit 2021 sind der Gelbe Mehlwurm und die Wanderheuschrecke in der EU als Novel Food zugelassen (Bild Adobe Stock)

Zulassung der Wanderheuschrecke (*Locusta migratoria*) nach vorangegangener Überprüfung durch die EFSA. In Deutschland darf nun die Larve des Gelben Mehlwurms als Ganzes oder Gemahlen verkauft werden. Außerdem darf sie verschiedenen Lebensmitteln bis zu einem Anteil von zehn Prozent zugemischt werden [7].

Im 2GenBug Projekt arbeitet die Hochschule Offenburg mit ihrer polnischen Partneruniversität University of Warmia and Mazury in Olsztyn zusammen. Hierbei arbeiten interdisziplinäre Teams aus den Bereichen der Biotechnologie, Bioverfahrenstechnik, Agrarbiologie, Umweltschutz und Chemie zusammen, um das Projekt erfolgreich zu bearbeiten. Zentraler Bestandteil des Projekts ist es hierbei, nachwachsende Rohstoffe, wie etwa Weizenstroh oder die Durchwachsene Sylphie, die nicht als Nahrungsmittel für die menschliche Ernährung dienen können, zur Aufzucht des Gelben Mehlwurms zu verwenden. Hierdurch soll eine Aufwertung der nachwachsenden Rohstoffe, welche üblicherweise für die Erzeugung von Bioethanol oder anderer Basischemikalien verwendet werden, stattfinden.

Im Rahmen des 2GenBug-Projekts soll an der Hochschule Offenburg eine schonende Aufschlussmethode für die zu untersuchenden nachwachsenden Rohstoffe (Substrate) etabliert werden, um sie für einen nachfolgenden enzymatischen Aufschluss zugänglich zu machen. Außerdem dürfen durch die Vorbehandlung keine toxischen Nebenprodukte wie zum Beispiel Furfural erzeugt werden, die später im Gelben Mehlwurm gegebenenfalls akkumulieren und somit in die Nahrungskette gelangen. Durch die Kultivierung des fila-

mentösen Pilzes *Trichoderma reesei* werden in einer Bioreaktorkultivierung Cellulasen und Hemicellulasen gewonnen, die zum enzymatischen Aufschluss der vorbehandelten Biomasse eingesetzt werden. Anschließend sollen die enzymatisch freigesetzten Zucker zur Aufzucht des Gelben Mehlwurms an der University of Warmia and Mazury in Olsztyn genutzt werden. Nach der Ernte der Larven wird das erzeugte Protein und Fett extrahiert und die chemische Zusammensetzung analysiert. Die chitinhaltigen Insektenpanzer (Exoskelette) werden an der Hochschule Offenburg in einer Technikums-Biogasanlage zu Methan gas umgewandelt. Hierbei werden neuartige Enzyme (Chitinasen und Endopeptidasen) zum Einsatz kommen, die spezialisiert auf den biologischen Aufschluss von Insektenpanzern sind. Durch die Zugabe von unterschiedlichen Mengen und unterschiedlichen Kombinationen an Enzymen soll der Abbau der Insektenpanzer beschleunigt werden und dadurch das Biogas-Verfahren produktiver werden.

## Biowaste to Product (BW2Pro)



Kofinanziert von der  
EUROPÄISCHEN UNION  
Europäischer Fonds für  
regionale Entwicklung



Baden-Württemberg

Gefördert durch den Europäischen Fond für regionale Entwicklung (EFRE) und durch das Land Baden-Württemberg.

„Wertstoffe und Energie aus Abfall“ das wäre eine nachhaltige Möglichkeit für die regionale Wirtschaft, weniger Müll zu produzieren, fossile Energieträger einzusparen und den ökologischen Fußabdruck nachhaltig zu verbessern. Genau dies hat sich das Projekt „Biowaste to Product (BW2Pro)“ auf die Fahnen geschrieben.

Im Projekt arbeiten Institute der Universitäten Stuttgart, der Universität Hohenheim, der Hochschule Offenburg, dem Fraunhofer Institut und verschiedene industrielle Projektpartner aus Baden-Württemberg an der Fragestellung, wie man mit dem kommunal anfallenden Biomüll intelligenter umgehen könnte, als diesen „nur“ zu kompostieren. Um in dieser Fragestellung erfolgreich zu agieren, ist die Kooperation und interdisziplinäre Zusammenarbeit zwischen Agrarfachleuten, Biotechnologen, Bioprozesstechnikern, Chemikern und weiteren Fachdisziplinen notwendig. In einer aufzubauenden Pilotanlage wird der Bioabfall zunächst vorgetrennt und me-



**Abb. 2:**  
Bioabfälle landen ungenutzt überwiegend in der Mülltonne (Bild Adobe Stock)

chanisch/thermisch aufgeschlossen. Die im Bioabfall enthaltenen langen Cellulosefasern werden getrennt aufgearbeitet und ersetzen als bioabbaubare Werkstoffe heutige Wegwerfartikel aus Kunststoff. Als typische Produkte, die künftig ersetzt werden sollen, sind an dieser Stelle Kunststoffblumentöpfe zu nennen.

Die wichtigen Nährstoffe, die im Bioabfall enthalten sind, können zudem als Kultursubstrat für die biotechnologische Herstellung von Biokunststoffen genutzt werden. Hierzu werden spezielle Mikroorganismen mit Teilen dieses Abfalls gefüttert, die dann Vorstufen des Biokunststoffes (Polyhydroxyalkanoate) produzieren. Diese werden dann von einer weiteren Forschungsgruppe aufgereinigt und modifiziert, um dann in die entsprechenden Biokunststoffe überführt zu werden.

Eine weiteres, nachhaltiges Folgeprodukt des Bioabfalls ist die Rückgewinnung von Stickstoff und Phosphat als Düngemittel. Durch die Rückgewinnung der Nährstoffe im Bioabfall erfolgt eine Verringerung der Abhängigkeit von Düngerimporten und es wird damit eine bessere regionale Wertschöpfung erreicht. Zusätzlich werden durch die Reduktion von Düngerimporten die mit der Landwirtschaft in Baden-Württemberg assoziierten Treibhausgasemissionen verringert, da herkömmliche Dünger weite Transportwege und eine energetisch aufwendige Herstellung beinhalten.

An der Hochschule Offenburg wird ebenfalls versucht, mit Mikroorganismen ein neues Produkt aus dem Bioabfall zu generieren. Hier-

Referenzen/References:

- [1] Pietzsch, J. (2017); Bioökonomie für Einsteiger, DOI <https://doi.org/10.1007/978-3-662-53763-3> Springer Spektrum, Berlin, Heidelberg eBo ISBN 978-3-662-53762-6; eBook ISBN 978-3-662-53763-3
- [2] Kircher M. (2020) Sektoren der Bioökonomie. In: Bioökonomie im Selbststudium: Wertschöpfungsketten und Innovationspotenzial. Zertifikatskurs Bioökonomie. Springer Spektrum, Berlin, Heidelberg. [https://doi.org/10.1007/978-3-662-61001-5\\_2](https://doi.org/10.1007/978-3-662-61001-5_2)
- [3] O. Meixner, L. Mörl von Pfälzen, Die Akzeptanz von Insekten in der Ernährung, Springer Fachmedien Wiesbaden, Wiesbaden, 2018. <https://doi.org/10.1007/978-3-658-21336-7>
- [4] Prognose zur Entwicklung der Weltbevölkerung von 2010 bis 2100 (in Milliarden)\*, (n.d.). <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/1717/umfrage/prognose-zur-entwicklung-der-weltbevoelkerung/>
- [5] D. Turck, J. Castenmiller, S. De Henauw, K.I. Hirsch-Ernst, J. Kearney, A. Maciuk, I. Mangelsdorf, H.J. McArdle, A. Naska, C. Pelaez, K. Pentieva, A. Siani, F. Thies, S. Tsabouri, M. Vinceti, F. Cubadda, T. Frenzel, M. Heinonen, R. Marchelli, M. Neuhäuser-Berthold, M. Poulsen, M. Prieto Maradona, J.R. Schlatter, H. van Loveren, E. Verwer, H.K. Knutsen, Safety of dried yellow mealworm (*Tenebrio molitor* larva) as a novel food pursuant to Regulation (EU) 2015/2283, EFSA J. 19 (2021). <https://doi.org/10.2903/j.efsa.2021.6343>
- [6] The contribution of insects to food security, livelihoods and the environment | Enhanced Reader, (n.d.). <https://www.fao.org/extension/48e00ed5-ccf4-414f-9a1b-e14d2cdb21d6/enhanced-reader.html?openApp&pdf=https%3A%2F%2Fwww.fao.org%2F3%2F3264e%2F3264e00.pdf> (accessed February 27, 2022)
- [7] [https://www.bvl.bund.de/SharedDocs/Pressemitteilungen/01\\_lebensmittel/2021/2021\\_05\\_04\\_PL\\_Mehlwurm.html](https://www.bvl.bund.de/SharedDocs/Pressemitteilungen/01_lebensmittel/2021/2021_05_04_PL_Mehlwurm.html)

bei handelt es sich um Enzyme, den sogenannten Cellulasen. Das sind „biologische Scheren“, die in der Lage sind, die großen Mengen langkettiger Cellulose im Bioabfall in kurzkettinge Einfachzucker umzuwandeln. Im Gegensatz zur Cellulose, die biologisch nur sehr schwer zu verwerten ist, lassen sich diese Zuckerbausteine wesentlich besser von vielen Mikroorganismen in der Biotechnologie nutzen. Im Projekt BW2Pro werden diese letztlich genutzt, um den nicht verwertbaren Celluloseanteil zu verzuckern. Die Einfachzucker können anschließend entweder als „Futter“ für die oben beschriebene Biokunststoffproduktion genutzt werden oder aber in einer Biogasanlage in Biogas als Energieträger umgewandelt werden. Hierdurch könnte dann ein großer Teil des projektinternen Energiebedarfs gedeckt werden.

Um den Einfluss der Enzyme auf die Biogasbildung zu untersuchen, müssen Biogasversuche mit Bioabfall durchgeführt werden. Hierbei wird dem Biomüll das gebildete Enzym in unterschiedlichen Konzentrationen zugegeben. Beobachtet wird anschließend die Geschwindigkeit der Biogasbildung und letzt-

lich gebildet Menge an Biogas und dessen Zusammensetzung. Für diesen Zweck werden die in Abbildung 3 dargestellten Biogasgärteststände an der Hochschule Offenburg verwendet. Mit diesen Daten lassen sich dann im nächsten Schritt Aussagen für eine reale Biogasanlage im Produktionsmaßstab treffen.

Damit die Verfahrenskombination der vorliegenden Biorefinerie zur Überführung von Bioabfall aus urbanen Räumen in neue umweltfreundliche Produkte die Wertschöpfung auch wirklich steigert, ist das Institut für Energie- und Umweltforschung Heidelberg (IFEU) im Projekt integriert. Diese hat das Ziel, das Gesamtvorhaben aus ökologischer und ökonomischer Sicht ganzheitlich zu analysieren und zu bewerten, um sicherzustellen, dass es nachhaltig und konkurrenzfähig gegenüber herkömmlichen Produkten und Verfahren ist. Zusätzlich wird eine Vermarktungsstrategie entwickelt und potenzielle Interessengruppen angesprochen, um sicherzustellen, dass das entwickelte Verfahren vom Markt angenommen wird und die Endprodukte den Vorstellungen der Konsument\*innen entsprechen.

**Abb. 3:** Biogasgärteststände an der Hochschule Offenburg. Mit diesen Apparaturen lassen sich die Einflüsse von Enzymen bei der Methanisierung von Bioabfällen untersuchen. Die Ergebnisse können dazu verwendet werden, die Einflüsse in realen Biogasanlagen im Produktionsmaßstab zu erkennen.



**AUTOREN**



**Dr.-Ing. Andreas Wilke**  
Fakultät M+V  
Bioprozesstechnik,  
Bioverfahrenstechnik, Biogas  
andreas.wilke@hs-offenburg.de



**Prof. Dr. rer. nat. Thomas Eisele**  
Fakultät M+V  
Biotechnologie  
thomas.eisele@hs-offenburg.de

# Auf dem richtigen Pfad trotz Risse in Komponenten

Nikolaus Bechler M.Sc., Prof Dr.-Ing. Thomas Seifert

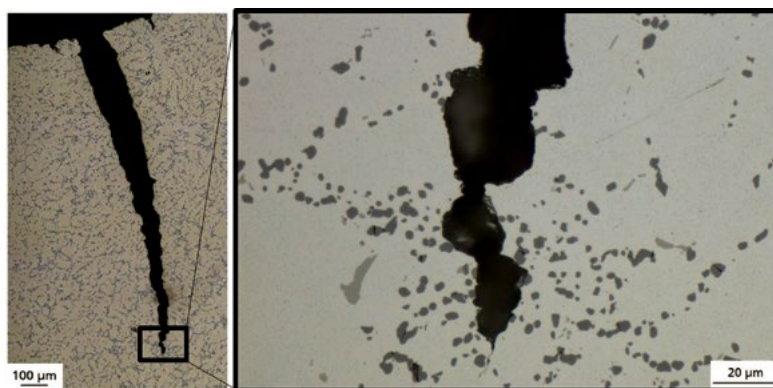
Bei der Herstellung und im Betrieb von Komponenten für technische Anwendungen können Risse auftreten, welche die Sicherheit und Zuverlässigkeit negativ beeinflussen. Über bruchmechanische Methoden können Ingenieur\*innen bewerten, ob diese Risse toleriert werden können oder ob ein Austausch der Komponente erfolgen muss. Durch die Weiterentwicklung dieser Methoden können nun auch Risse in thermomechanisch belasteten Komponenten bruchmechanisch analysiert werden.

*During manufacturing and operation of components for technical applications, cracks can occur in the components that negatively affect their safety and reliability. Using fracture mechanics methods, engineers can assess whether the cracks can be tolerated or whether the component must be replaced. By further developing these methods, it is now possible to analyze thermomechanically stressed components such as hot forming dies or turbine and engine parts. The new method accounts for temperature gradients as well as temperature dependent material properties. The path independence of the method and, hence, the objectivity, are preserved as required for industrial application.*

## Einleitung

Risse können einen erheblichen Einfluss auf die Sicherheit und Zuverlässigkeit von technischen Komponenten in Maschinen, Anlagen und Produkten haben. Einerseits können die Risse bereits ungewollt bei der Fertigung in die Komponenten eingebracht werden, beispielsweise beim Schmieden, Härten oder Schweißen. Auf der anderen Seite können Risse auch im Betrieb entstehen, wenn die Komponenten ungeplanten Überlasten (zum Beispiel bei einem Not-Stopp) ausgesetzt sind oder „ermüden“. Die Ermüdung der Komponenten ist ein Ergebnis einer zyklischen Belastung, die beispielsweise durch das wiederholte An- und Abschalten von Maschinen hervorgerufen werden. Dadurch entstehen wiederholt Spannungen im eingesetzten Werkstoff, die dazu führen, dass sich zunächst kleine Mikrorisse bilden, die unter der zyklischen Belastung wachsen können, bis es zum Bruch der Komponente kommt. Diese Versagensart ist die Hauptversagensursache bei technischen Anwendungen und Komponenten. Ein Ermüdungsriss in einer zyklisch belasteten Komponente ist in Abbildung 1 dargestellt.

Ein Riss in einer Komponente muss nicht zwangsläufig die Funktionsfähigkeit und Sicherheit der Komponente beeinträchtigen. Sind die Belastungen auf die Komponenten ausreichend klein oder ist der Riss selbst noch klein genug, so kann ein Riss in einer Kompo-



nente womöglich toleriert werden. Dabei ist es die Aufgabe von Ingenieur\*innen zu bewerten, ob ein Riss dahingehend zulässig ist oder ob die rissbehaftete Komponente ausgetauscht bzw. repariert werden muss. Für die Bewertung zur Zulässigkeit von Rissen stehen den Ingenieur\*innen Methoden der Bruchmechanik [2] zur Verfügung. Über die bruchmechanischen Methoden lassen sich Aussagen treffen, wie groß ein Riss (also die Risslänge) in einem Bauteil bei einer vorgegebenen Belastung maximal sein darf oder wie hoch die Belastung maximal sein darf, wenn ein Riss mit einer bestimmten Risslänge vorliegt. Dabei berechnen die Ingenieur\*innen über entsprechende Berechnungssoftware ein sogenanntes  $J$ -Integral [3], das einen Zahlenwert liefert und die Höhe der Belastung an der Rissspitze quantifiziert. Bei diesem  $J$ -Integral handelt es sich um ein „pfadunabhängiges Integral“, sodass eine objektive Auswertung möglich sein muss.

**Abb. 1:** Schliffbild eines in einer zyklisch belasteten Komponente entstandenen Ermüdungsrisses [1]

Die heute in kommerziellen Berechnungsprogrammen zur Verfügung stehenden Implementierungen des  $J$ -Integrals können jedoch nicht für die Bewertung von Rissen in thermomechanisch hoch belasteten Komponenten wie beispielsweise Warmumformwerkzeuge, Bremscheiben oder Komponenten aus Turbinen und Verbrennungsmotoren herangezogen werden. Diese Komponenten erfahren wiederholte Erwärmung und Abkühlung. Da die Wärme über die Oberfläche in die Komponenten eingebracht wird, ergeben sich Temperaturunterschiede zwischen dem Rand und dem Inneren der Komponenten. Diese sogenannten Temperaturgradienten können einen deutlichen Einfluss auf die Belastung der Riss Spitze und damit auf das  $J$ -Integral haben, der heute noch nicht in den Berechnungsprogrammen berücksichtigt wird. Dadurch werden pfadabhängige, nicht objektive  $J$ -Integrale mit den Programmen berechnet. Um auch bei den thermomechanisch belasteten Komponenten das  $J$ -Integral anwenden zu können, wurden in einem durch das Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) und Volkswagen geförderten Projekt an der Hochschule Offenburg die theoretischen Grundlagen für ein pfadunabhängiges  $J$ -Integral geschaffen und ein entsprechender Algorithmus für die Implementierung des  $J$ -Integrals für thermomechanische Beanspruchungen entwickelt.

## Methodik und Ergebnisse

Mit dem Konzept der materiellen Kräfte kann ein verallgemeinertes  $J$ -Integral hergeleitet werden [4]. In diesem Kontext beschreibt das  $J$ -Integral die Kraft, die auf eine Riss Spitze wirkt, wenn die Riss Spitze „virtuell“ (das heißt gedanklich) verschoben wird und damit der Riss infolge einer Belastung „virtuell“ wächst. Hierbei gibt es einen fundamentalen Zusammenhang zwischen dem  $J$ -Integral und dem sogenannten Energie-Impuls Tensor  $Q$ . In diesem Zusammenhang wird die Riss Spitze in einem Volumen  $V$  eingeschlossen, das eine gegen Null strebende Ausdehnung (Radius  $r$ ) um die Riss Spitze besitzt. Die Mathematiker\*innen nutzen für diese Grenzwertbetrachtung den Limes (lim, Grenzwert):

$$J = \lim_{r \rightarrow 0} \int \operatorname{div}(Q) dV$$

Mit  $\operatorname{div}$  ist die Divergenz gemeint, eine bestimmte Form einer Ableitung in der Mathematik. Die Divergenz ist dabei ein Maß für die „Quelldichte“ und lässt sich bildlich mit einer Heizung im Raum veranschaulichen: Ist die Heizung eingeschaltet, so strahlt sie Wärme in den

Raum ab. Sie beeinflusst die Temperaturfelder im Raum und fungiert als Wärmequelle. In diesem Fall wäre die Divergenz ungleich Null. Wie stark sich die Temperaturen im Raum ändern, ist abhängig von der Leistungsfähigkeit und der Art der Heizung selbst, dem Medium, das die Heizung umgibt und vieles mehr. Ist die Heizung jedoch ausgeschaltet, so hat sie auch keinen Einfluss auf ihre Umgebung, sodass die Divergenz „verschwindet“, also gleich Null ist. Diese bildliche Anschauung einer Wärmequelle kann auf Risse übertragen werden: Ein Riss stellt eine „Störungsquelle“ im Material dar. Sobald die Riss Spitze eine Belastung erfährt, wird der umgebende Werkstoff beeinflusst. Die „Intensität“ und „Reichweite“ dieser Beeinflussung hängt vom Werkstoff, der Belastung und der Störquelle selbst (also Länge, Position und Form des Risses) ab. Ohne Riss Spitzenbelastung ist die Störquelle „ausgeschaltet“ und das  $J$ -Integral ist gleich Null.

Für den Fall von thermomechanischen Belastungen wurden in einer Weiterentwicklung des  $J$ -Integrals alle relevanten physikalischen Effekte im Energie-Impuls-Tensor berücksichtigt und die Divergenz des Tensors durchgängig für diese Effekte hergeleitet. Dabei wurde die räumliche und zeitliche Entwicklung des Energie-Impuls-Tensors im Detail betrachtet, indem einerseits die vorliegenden Temperaturgradienten in Komponenten und andererseits die sich mit der Temperatur verändernden Eigenschaften des Werkstoffs in die Auswertung des  $J$ -Integrals einfließen. Bei hohen Temperaturen nehmen schließlich Werkstoffeigenschaften wie die Festigkeit und die Steifigkeit ab.

Damit eine Anwendung des für thermomechanische Belastungen erweiterten  $J$ -Integral auf Komponenten mit Rissen angewandt werden kann, wurde das  $J$ -Integral in ein selbstentwickeltes Programm über die Methode der äquivalenten Gebietsintegrale (Equivalent Domain Integral Methode, EDI) [5] implementiert. Das Programm greift dabei auf die Ergebnisse aus sogenannten Finite-Elemente-Berechnungen zu. In den Finite-Elemente-Berechnungen können die Werkstoffbelastungen (beispielsweise Spannungen und Dehnungen) in Komponenten rechnerisch ermittelt werden. Hierzu wird die gesamte Komponente in eine endliche (finite) Anzahl an kleinen Elementen unterteilt und aus einer geschickten Verknüpfung der Ergebnisse für jedes einzelne Element das mechanische Verhalten der gesamten Komponente berechnet. Soll in der Finite-Elemente-Berechnung ein Riss in der Komponente berücksichtigt werden, wird um die Riss Spitze

### Referenzen/References:

- [1] K.G. Kuhlen, P. Rothe, T. Seifert: Near-component testing of materials for cylinder heads to determine thermomechanical fatigue under superimposed high-frequency mechanical loads, *Materials Testing* 63(12) (2021) 1081-1089
- [2] D. Gross, Th. Seeling, *Bruchmechanik: Mit einer Einführung in die Mikromechanik*, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2007
- [3] J. R. Rice, A path independent integral and the approximate analysis of strain concentration by notches and cracks, *Journal of Applied Mechanics* 35 (1968) 379-388
- [4] M. Kuna, *Numerische Beanspruchungsanalyse von Rissen: Finite Elemente in der Bruchmechanik*, Springer Fachmedien Wiesbaden, 2010
- [5] C.F. Shih, B. Moran, T. Nakamura, Energy release rate along a three dimensional crack front in a thermally stressed body, *International Journal of Fracture* 30 (1986) 79-102

ein fokussiertes Finite-Elemente Netz gelegt (Abbildung 2). Das Netz besteht aus Kreisen, die ihren Kreismittelpunkt in der Rissspitze haben. Der innerste Ring stellt die Rissspitze dar. Jeder weitere Ring wird als Kontur bezeichnet.

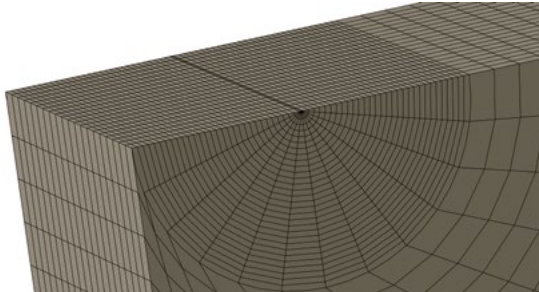


Abb. 2: Finite-Elemente Modell mit fokussiertem Netz mit 30 Konturen um die Rissspitze für einen durchgehenden außen liegenden Riss in einer Platte (Halbmodell)

Durch die Pfadunabhängigkeit des  $J$ -Integrals kann dabei auf die Grenz betrachtung über den  $\lim$  verzichtet werden und das Integral für verschiedene Konturen ermittelt werden. Somit liefern auch von der Rissspitze weiter entfernte Konturen richtige Ergebnisse. Dies ist insbesondere für die Finite-Elemente-Berechnungen nützlich, da die hohen Belastungen in unmittelbarer Nähe der Rissspitze die Ergebnisse entsprechend verzerren und ungenau sein können. Abbildung 3 zeigt eine Gegenüberstellung der Werte des  $J$ -Integrals, die mit dem selbst entwickelten Programm und mit einem kommerziellen Programm für einen thermomechanisch belasteten Riss berechnet wurden. Für das Programm der Hochschule Offenburg (HSO) ergibt sich eine pfadunabhängige Lösung, dies meint unabhängig von der gewählten Kontur ergibt sich immer derselbe Wert für das  $J$ -Integral mit steigender Belastung über die Zeit („nur eine Linie“). Mit dem kommerziellen Programm werden keine pfadunabhängigen Lösungen erzielt, da die notwendigen Temperaturabhängigkeiten in der Formulierung des  $J$ -Integrals nicht berücksichtigt werden („viele unterschiedlichen Linien“). Die Bewertung der Rissspitzenbelastung hängt somit von der Wahl der Kontur ab. Dies macht es Ingenieur\*innen nicht möglich, die tatsächliche Belastung an der Rissspitze festzustellen. Es sind zudem nicht nur die Ergebnisse mit dem kommerziellen Programm inobjektiv, sie unterschätzen darüber hinaus auch signifikant die Rissspitzenbelastung des thermomechanisch belasteten Risses, sodass mit diesen Ergebnissen womöglich eine falsche Schlussfolgerung von den Ingenieur\*innen gezogen würde. Durch die Erweiterung des  $J$ -Integrals ist diese Gefahr jedoch nun gebannt.

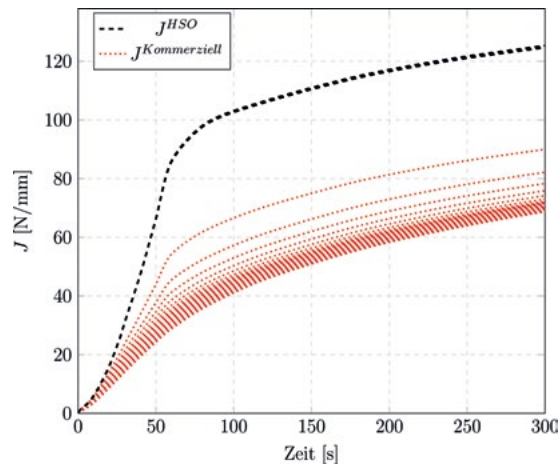


Abb. 3: Zeitlicher Verlauf des  $J$ -Integrals, ausgewertet an 30 Konturen für eine thermomechanische Simulation am Beispiel einer Platte unter Thermoschock mit temperaturabhängigen Werkstoffkennwerten

## Zusammenfassung

Bruchmechanikparameter ermöglichen es den Ingenieur\*innen Risse in Bauteilen bewerten zu können. Das  $J$ -Integral beschreibt die rissantreibende Kraft für eine „virtuelle“ Verschiebung der Rissspitze. Die bisherigen Implementierungen des  $J$ -Integral in kommerziellen Berechnungsprogrammen sind nicht für die Bewertung von Rissen in thermomechanisch belasteten Komponenten geeignet, weil die Quelldichte des Energie-Impuls-Tensors nicht korrekt beschrieben wird. Die Belastung an der Rissspitze kann dadurch unterschätzt werden. Durch die Weiterentwicklung des  $J$ -Integrals für thermomechanische Belastungen und dessen Implementierung in einem selbst entwickelten Programm sind nun auch bruchmechanische Bewertungen bei thermomechanischen Belastungen möglich und es werden objektive Ergebnisse erzielt.

### AUTOREN



Prof. Dr.-Ing. Thomas Seifert  
Fakultät M+V, Prorektor Forschung, Wiss. Ltg. CRT,  
Werkstoffmechanik u. Simulation, Finite-Elemente Methode, Schadenskunde  
thomas.seifert@hs-offenburg.de



Nikolaus Bechler M.Sc.  
[Seite 36-38]  
Akademischer Mitarbeiter, Fakultät M+V  
nikolaus.bechler@hs-offenburg.de



Markus Schlayer M.Sc.  
[Seite 39-41]  
Akademischer Mitarbeiter, Fakultät M+V,  
Werkstoffmechanik und Simulation,  
markus.schlayer@hs-offenburg.de



# Achtung heiß: Das neue Werkstoffmodell für Warmumformwerkzeuge

Markus Schlayer M.Sc., Prof Dr.-Ing. Thomas Seifert

In Warmumformprozessen wirken hohe thermische und mechanische Belastungen. Zur Vermeidung ungeplanter Produktionsstopps infolge von Brüchen an Umformwerkzeugen werden die Werkzeuge in der Entwicklungsphase durch Finite-Elemente-Simulationen analysiert. Der Haken: Das Werkstoffverhalten der Werkzeugstähle kann heute mit kommerziellen Finite-Elemente-Programmen nicht realitätsnah berücksichtigt werden. Die Lösung: das neu entwickelte Werkstoffmodell der Hochschule Offenburg

*In hot forming processes, high thermal and mechanical loads are at work. To avoid unplanned production stops due to fractures of forming tools, the tools are analyzed using finite element simulations in the development phase. The catch: the material behavior of the tool steels cannot be realistically considered with commercial finite element programs today. The solution: the newly developed material model from Offenburg University of Applied Sciences. The model takes thermal ageing as well as time dependent behavior into account and thus goes beyond current approaches offered by commercial software tools.*

## Einleitung

Die Warmumformung ist ein weitverbreitetes, zuverlässiges und kostengünstiges Verfahren, um metallische Werkstoffe zu einem Bauteil umzuformen. Dabei wird der Werkstoff auf Temperaturen bis 1200 °C erhitzt, bevor er über eine Presse in einem Warmumformwerkzeug, das die Negativform des Bauteils abbildet, umgeformt wird. Die Abbildung 1 zeigt ein Bauteil unmittelbar nach der Warmumformung. Das Bauteil glüht aufgrund der hohen Werkstofftemperaturen. Typische warmumgeformte Bauteile sind Schaufelräder in Flugzeugturbinen oder auch Wellen und Zahnräder. Unternehmen im Bereich der Umformtechnik stehen unter hohem Wettbewerbsdruck. Um im globalen Wettbewerb bestehen zu können, müssen Produktionsprozesse stabil und optimiert sein. Dazu müssen ungeplante Produktionsausfälle, beispielsweise durch einen Bruch der thermisch und mechanisch hoch belasteten Umformwerkzeuge, vermieden werden. Daher werden zunehmend sogenannte Finite-Elemente-Simulationen zur Berechnung der Werkstoffbelastung mit Computersimulationen durchgeführt. Anhand der Simulationsergebnisse lassen sich die Werkzeuge hinsichtlich eines effizienten Werkstoffeinsatzes konstruieren und Inspektionsintervalle festlegen.



Abb. 1:

Aufnahme eines warmumgeformten Bauteils am Institut für Umformtechnik und Umformmaschinen IFUM der Leibniz Universität Hannover

Für die realistische Nachbildung des Umformprozesses in der Simulation ist einerseits eine realitätsnahe Abbildung der Werkzeugbelastungen notwendig. Die hohe Temperatur des umzuformenden Werkstücks geht durch Wärmeübertragung auf das Werkzeug über und führt zu einer oberflächennahen Erwärmung. Zusätzlich sorgen die Umformkräfte der Presse für mechanische Belastungen des Werkzeugs. Beides wird in den Simulationen berücksichtigt. Andererseits erfordern verlässliche Simulationsergebnisse eine gute Beschreibung des Werkstoffs selbst, der beispielsweise mit zunehmenden Temperaturen an Festigkeit verliert. Bei den Warmarbeitsstählen, aus denen die Warmumformwerkzeuge hergestellt werden, tritt jedoch ein weiterer relevanter Effekt auf. Bei den hohen Einsatztemperaturen finden im Werkstoff Veränderungen auf mikroskopischer Ebene statt, die mit der Zeit zu einer Verringerung der Festigkeit und somit zu einer Veränderung der Werkstoffeigenschaften führen. Diese thermische Entfestigung des Werkstoffs wird auch als „Alterung“ bezeichnet. Zudem liegen die hohen Einsatztemperaturen in einem Temperaturbereich, in dem sich der Werkstoff „zeitabhängig“ verhält. Bei hohen Belastungsgeschwindigkeiten kann der Werkstoff einen höheren Widerstand gegen eine Verformung aufbringen als bei kleinen Geschwindigkeiten. Außerdem können sich Spannungen im Werkstoff mit der Zeit durch Relaxationsprozesse abbauen. In kommerziellen Simulationsprogrammen, die in den Unternehmen für die Entwicklung der Warmumformwerkzeuge eingesetzt werden, werden die Alterung der Warmarbeitsstähle und auch das zeitabhängige Verhalten nicht berücksichtigt. Daher kann es zu falschen Prognosen der Werkzeuglebensdauer kommen, wobei die Lebensdauer überschätzt wird und Produktionsausfälle wahrscheinlich werden.

In einem Forschungsprojekt an der Hochschule Offenburg, das von der Deutschen Forschungsgemeinschaft DFG gefördert und gemeinsam mit dem Institut für Umformtechnik und Umformmaschinen IFUM der Leibniz Universität Hannover und dem Fraunhofer-Institut für Werkstoffmechanik IWM durchgeführt wird, wird daher eine Methodik entwickelt, mit der die Alterung und die Zeitabhängigkeit in den Simulationen mit dem Ziel zuverlässiger Prognosen berücksichtigt werden können. Im Vordergrund der Forschungsarbeiten an der Hochschule Offenburg steht die Entwicklung von „Werkstoffmodellen“. Dabei handelt es sich um mathematische Modelle, die

das Verhalten des Werkstoffs bei den thermischen und mechanischen Belastungen in der Computersimulation beschreiben und von Ingenieur\*innen genutzt werden können.

## Methodik und Ergebnisse

Die Methodik zur Simulation des thermomechanischen Verhaltens von Warmumformwerkzeugen wird im Forschungsprojekt anhand des Warmarbeitsstahls 1.2367 (X38Cr-MoV5-3) entwickelt, der aufgrund seiner guten thermischen und mechanischen Eigenschaften häufig für Warmumformwerkzeuge eingesetzt wird. Die Methodik besteht aus zwei wesentlichen Schritten: Im ersten Schritt ist ein „Plastizitätsmodell“ erforderlich, das in den Simulationen Aussagen zu den Werkstoffbelastungen erlaubt: Im Werkstoff treten Spannungen auf, die zu einer Dehnung des Werkstoffs führen. Das Plastizitätsmodell berücksichtigt dabei, dass die Belastungen im Werkstoff derart hoch werden können, dass sich der Werkstoff plastisch verformt. Dabei bleibt nach Wegnahme der Belastung eine kleine Deformation des Werkzeugs bestehen. Diese Deformation wäre bei einer einmaligen Belastung unproblematisch. In der Massenproduktion können in den plastisch verformten Bereichen jedoch kleine Risse im Werkstoff entstehen, die den frühzeitigen Bruch des Werkzeugs ankündigen. Somit ist im zweiten Schritt der Methodik ein „Lebensdauermodell“ notwendig, das diese Rissbildung im Werkzeug berücksichtigt. Das Lebensdauermodell erlaubt eine präzise Vorhersage, wie viele Bauteile hergestellt werden können, bis es im Werkzeug zur Bildung eines Risses mit einer kritischen Risslänge kommt.

Entsprechende Grundlagen für das Plastizitätsmodell sowie die Alterung wurden bereits in vorangegangenen Arbeiten gelegt [2,3]. In den hier durchgeführten weiterführenden Arbeiten erfolgte die Erweiterung des Modells zur Berücksichtigung des zeitabhängigen Werkstoffverhaltens. Hierfür wurde im Plastizitätsmodell eine sogenannte Überspannung  $\phi$  eingeführt:

$$\phi = K \cdot \dot{p}^{1/n}$$

Die Überspannung hängt dabei von der plastischen Dehngeschwindigkeit ( $\dot{p}$ : der Vergleichsdehngeschwindigkeit) ab, sodass im Modell ein von der Belastungsgeschwindigkeit abhängiger Verformungswiderstand erzielt wird (Zeitabhängigkeit). Außerdem wird die Überspannung durch zwei Werkstoffkennwerte bestimmt: dem Vorfaktor  $K$  und dem Exponenten  $n$ . Diese Werkstoffkennwerte

### Referenzen/References:

- [1] F. Klocke and W. König, Umformen, 5th ed. Berlin: Springer, 2006
- [2] A. Jilg and T. Seifert, "A temperature dependent cyclic plasticity model for hot work tool steel including particle coarsening," in Palermo, Italy, 2018, p. 170007
- [3] A. Jilg and T. Seifert, "Temperature dependent cyclic mechanical properties of a hot work steel after time and temperature dependent softening," Materials Science and Engineering: A, vol. 721, pp. 96–102, 2018, doi: 10.1016/j.msea.2018.02.048
- [4] P. von Hartrott, T. Seifert, and S. Dropps, "TMF Life Prediction of High Temperature Components Made of Cast Iron HiSiMo: Part I: Uniaxial Tests and Fatigue Life Model," SAE Int. J. Mater. Manf., vol. 7, no. 2, pp. 439–445, 2014, doi: 10.4271/2014-01-0915

fließen neben anderen Werkstoffkennwerten, die das elastische und plastische Werkstoffverhalten beschreiben, in das Plastizitätsmodell ein. Die Werkstoffkennwerte müssen für den eingesetzten Warmarbeitsstahl bekannt sein, damit entsprechende Simulationen für genau diesen Stahl durchgeführt werden können. Während grundlegende Werkstoffkennwerte bei Raumtemperatur in allgemein verfügbaren Werkstoffdatenblättern aufgelistet sind, sind Werkstoffkennwerte für fortschrittliche Simulationen meist nicht verfügbar. Daher müssen spezielle Versuche am Warmarbeitsstahl durchgeführt werden, um die Kennwerte  $K$  und  $n$  für einen bestimmten Warmarbeitsstahl bestimmen zu können.

Die Versuche am Warmarbeitsstahl wurden am Fraunhofer IWM durchgeführt. In den Versuchen wird eine Werkstoffprobe einer Belastung ausgesetzt, die es unmittelbar erlaubt, das zeitabhängige Werkstoffverhalten zu erkennen [4]. Hierfür wird die Probe bei unterschiedlichen Belastungsgeschwindigkeiten, das heißt unterschiedlichen Dehngeschwindigkeiten (Einheit  $1/s$ ), gedehnt und gestaucht, wie es beispielhaft in Abbildung 2 (links) gezeigt ist. Auf die unterschiedlichen Dehngeschwindigkeiten reagiert der Werkstoff bei hohen Einsatztemperaturen mit unterschiedlich hohen Verformungswiderständen und damit Spannungen, die für den betrachteten Werkstoff X38CrMoV5-3 und eine Temperatur von  $600\text{ °C}$  in Abbildung 2 (rechts) als schwarze Symbole dargestellt sind. Die blauen Linien veranschaulichen die unterschiedlichen Spannungswerte aufgrund der verschiedenen Dehngeschwindigkeiten. Aus diesen Versuchsdaten lassen sich die Werkstoffkennwerte  $K$  und  $n$  ermitteln.

Aufgrund der Alterung des Warmarbeitsstahls sind die Werkstoffkennwerte nicht konstant, sondern verändern sich in Warmumformprozessen. Daher wurden nicht nur Versuche am „Ausgangswerkstoff“ durchgeführt, sondern Werkstoffproben in einem Ofen bei verschiedenen Temperaturen ausgelagert, um verschiedene „Alterungszustände“ im Werkstoff zu erzeugen. Durch die Versuche an den unterschiedlichen Zuständen konnten schließlich die Werkstoffkennwerte für alle Zustände bestimmt und das Plastizitätsmodell auf Basis der gewonnenen Erkenntnisse zur Beschreibung des „alterungs- und zeitabhängigen Verhaltens“ erweitert werden. Die rote Linie zeigt in Abbildung 2 die mit dem Plastizitätsmodell berechneten Spannungswerte.

### Zusammenfassung und Ausblick

Ein in Vorarbeiten entwickeltes Plastizitätsmodell wurde um das zeitabhängige Werkstoffverhalten erweitert. Die Werkstoffkennwerte wurden auf Basis von Versuchen an Werkstoffproben mit verschiedenen Alterungszuständen bestimmt. Durch Verknüpfung der Werkstoffkennwerte mit der Alterung kann das während des Betriebs bei höheren Einsatztemperaturen auftretende Werkstoffverhalten in Computersimulationen beschrieben werden. Die Simulationsergebnisse können als Eingangsgrößen für das künftig entwickelte Lebensdauermodell genutzt werden. So können durch die Simulation Schwachstellen der Werkzeuge aufgedeckt und bereits in der Entwicklung mit geringem Simulationsaufwand verbessert werden.

*Die Autoren dieses Beitrags sind auf Seite 38 aufgeführt.*

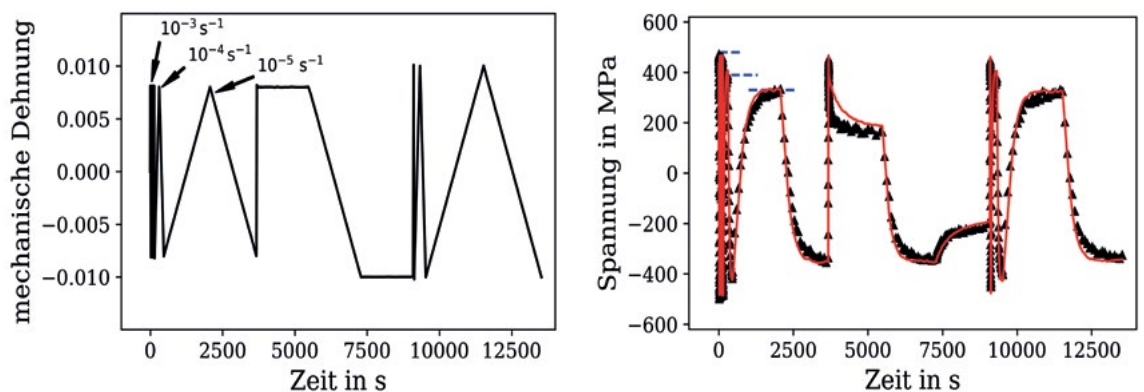


Abb. 2:

Links: In Versuchen auf eine Werkstoffprobe vorgegebene Dehnung mit unterschiedlichen Dehngeschwindigkeiten; rechts: Im Versuch gemessene Spannungen (schwarz) und mit dem Plastizitätsmodell berechnete Spannungen (rote Linie) bei  $600\text{ °C}$ . Die unterschiedlichen Verformungswiderstände zeigen sich durch unterschiedlich hohe Spannungen (blau gestrichelte Linien).

# Neue Qualitätskriterien zur Beurteilung von Stahlgussbauteilen

Prof. Dr.-Ing. Thomas Ummenhofer, Marcel Mott M.Sc., Prof. Dipl.-Ing. Dietmar Kohler, Dominik Stetter M.Sc.

Herstellungsbedingte Ungängen lassen sich in Stahlgussbauteilen oft nicht vermeiden. Wegen des Mangels an spezifischen Richtlinien zur Bestellung und Bemessung steht einem Einsatz im Bauwesen oft eine aufwendige Zustimmung im Einzelfall (ZiE) und damit verbundene zeitliche und monetäre Unsicherheiten entgegen. Die angestrebten Ergebnisse sollen die Grundlage für eine zukünftige Richtlinie zur Bestellung und Bemessung von Stahlgussbauteilen für das Bauwesen schaffen.

*As a rule, manufacturing-related imperfections cannot be avoided in cast steel components. Due to the lack of specific design rules, the use of cast steel in civil engineering is often prevented by complex approvals in individual cases and the associated time uncertainties and high costs. The intended results are to form the basis for a future guideline on the ordering and design of cast steel components for civil engineering.*

Der Anspruch auf „fehlerfreie“ Bauteile, den man im Stahlbau beispielsweise an Walzprodukten stellen würde, macht eine wirtschaftliche Auslegung von Stahlgussbauteilen unmöglich. Der Herstellungsprozess des Gießens impliziert eine Vielfalt von möglichen Ungängen, mit denen sowohl die Tragwerksplaner als auch die Hersteller umgehen müssen. Im Rahmen des Forschungsprojekts DeQaGuss beschäftigten sich die Hochschule Offenburg gemeinsam mit der Versuchsanstalt für Stahl, Holz und Steine des Karlsruher Instituts für Technologie schwerpunkthaft mit den zwei im Folgenden dargestellten Problemstellungen. Ziel des durch die Forschungsgemeinschaft Gießereitechnik e. V. (FVG) durchgeführten Forschungsvorhabens ist die Erarbeitung einer Datengrundlage zur Ausarbeitung einer Richtlinie für die Bemessung und Bestellung von Stahlgussbauteilen für das Bauwesen.

## Korrelation der mechanischen Beanspruchbarkeit von Stahlgussbauteilen mit Herstellqualitätsgruppen und deren Nachweisverfahren

Die zulässigen Größen und Verteilung von Ungängen wird bei der Bestellung durch die Vorgabe von Gütestufen definiert. Abhängig vom angewendeten ZfP-Verfahren sind aktuell bei gleichen Gütestufen noch unterschiedliche Ungängengrößen zugelassen. Die vermeintliche direkte Korrelation zwischen den Gütestufen mit der mechanischen Beanspruchbar-

keit beziehungsweise der Tragsicherheit der Bauteile existiert nicht. Ziel des Vorhabens ist die Verknüpfung der Beanspruchbarkeit mit realen Fehlergrößen und -verteilungen auf Basis vorangegangener Forschungsarbeiten sowie die Berücksichtigung gussbauteiltypischer Rahmenbedingungen bei der Bewertung durch ZfP-Verfahren. Hierfür sollen die Einflüsse durch Bauteiloberflächen und -geometrien auf die Detektierbarkeit und Größenauflösung von Ungängen mit den ZfP-Verfahren Ultraschallprüfung (UT), Röntgenprüfung (RT), Magnetpulverprüfung (MT) und Farbeindringprüfung (PT) quantifiziert werden. Dazu werden in Zusammenarbeit mit den projektbeteiligten Gießereien verschiedene Typen von Probekörpern entwickelt. Typ 1 Probekörper stellen den Einfluss des Oberflächeneffektes (Oberflächenrauigkeit) und des Gefügeeffektes (Abbildung 1) auf die Detektierbarkeit künstlich eingebrachter Ungängen dar. Typ 2 Probekörper repräsentieren verschiedene, im Bauwesen typische Bauteilgeometrien. Durch die Gießprozesssimulation mit der Software MAGMASOFT wurde die Formgebung der Probekörper selbst sowie die Gießtechnik dahingehend angepasst, dass die Entstehung realer Ungängen im Größenbereich der Gütestufen zwei bis fünf nach DIN EN12680-1 [1] und -2 [2] provoziert wird (Abbildung 2). Im Hinblick der genannten ZfP-Verfahren wird mit den Typ 2 Probekörpern die Auswirkung des Geometrieeffektes auf die Ergebnisse der Prüfverfahren untersucht. Die Trennung der Einflussfaktoren Oberfläche/Gefüge und Geometrie erlaubt die Bestimmung von jeweils

getrennten Sicherheitsfaktoren zur Abschätzung der Fehlergröße. Durch Ringversuche soll zusätzlich der Faktor Mensch, das heißt der Einfluss der Subjektivität verschiedener ZfP-Anwender, quantifiziert werden. Ziel ist, durch angepasste Sicherheitsfaktoren eine zuverlässige, auf der sicheren Seite liegende Fehlergrößenbestimmung durch praxisnahe ZfP-Verfahren zu ermöglichen.

### Übertragbarkeit von an mitgegossenen Proben ermittelten Werkstoffkennwerten auf die Beanspruchbarkeit von Stahlgussbauteilen

Die Werkstoffeigenschaften realer, dickwandiger Gussbauteile werden maßgeblich durch die lokalen Erstarrungsbedingungen sowie die Haltezeiten der anschließenden Wärmebehandlung beeinflusst. Um die Auswirkungen dieser Parameter zuverlässig abzubilden, müssten die mechanisch-technologischen Eigenschaften eigentlich an aufwendig aus den relevanten Bauteilbereichen entnommenen Proben nachgewiesen werden. Insbesondere für die im Bauwesen üblichen kleinen Stückzahlen bei gleichzeitig großen Bauteilabmessungen ist dieses Vorgehen aufgrund der hohen Kosten nicht praktikabel. Die technischen Lieferbedingungen in DIN EN 1559-1 [3] beziehungsweise DIN EN 1559-2 [4] erlauben zwar die Herstellung und Beprobung von kostengünstigeren Ersatzproben, definieren dabei den Begriff der „maßgebenden Wanddicke“ jedoch unzureichend. Als Folge dieser Regelungsunschärfe werden in der Praxis entweder unnötige und aufwendige zerstörende Untersuchungen an realen Bauteilen gefordert oder auf kostengünstige mitgegossene Proben zurückgegriffen, deren Werkstoffeigenschaften meist nicht auf die Realgeometrie übertragbar sind. Abbildung 3 zeigt die mechanisch-technologischen Kennwerte von Zug- und Kerbschlagbiegeproben, entnommen aus verschiedenen Bauteilbereichen eines Stahlgussbauteils aus dem Werkstoff G18NiMoCr3-6 nach [5]. Hierbei fallen die große Streuung der Kerbschlagarbeit und die teilweise deutliche Unterschreitung der normativ geforderten 12 Prozent Bruchdehnung auf. Das Beispiel zeigt deutlich, dass im Stahlguss trotz sorgfältiger Prozesssteuerung mit großer werkstofflicher Inhomogenität innerhalb eines Bauteils zu rechnen ist.

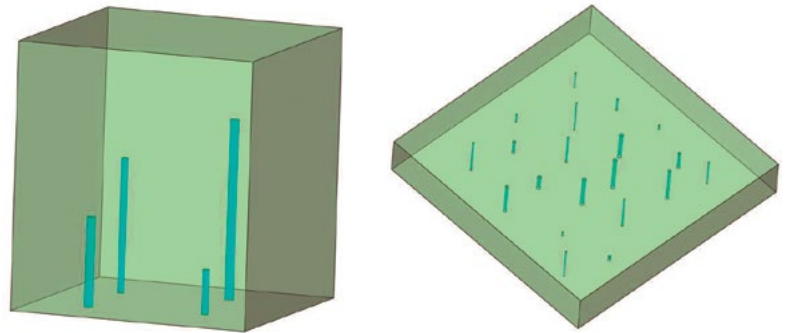


Abb. 1: Typ 1 Probekörper mit künstlich eingebrachten Fehlern

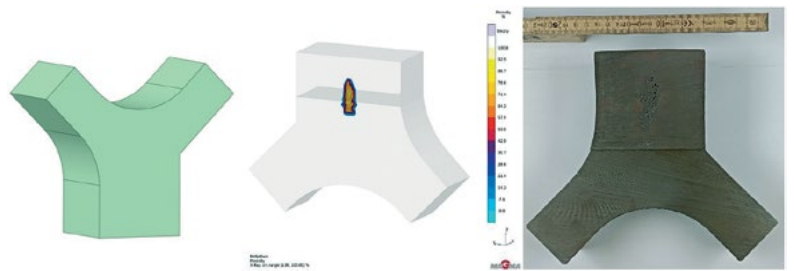


Abb. 2: Typ 2 Probekörper in der Entstehung: Grundgeometrie, Erstellung der Ungänge mit MAGMASOFT (Copyright: Stahl- und Hartgußwerk Bösdorf GmbH) und Schnitt durch den Probekörper mit tatsächlicher Fehlerlage und Fehlergröße (von links)

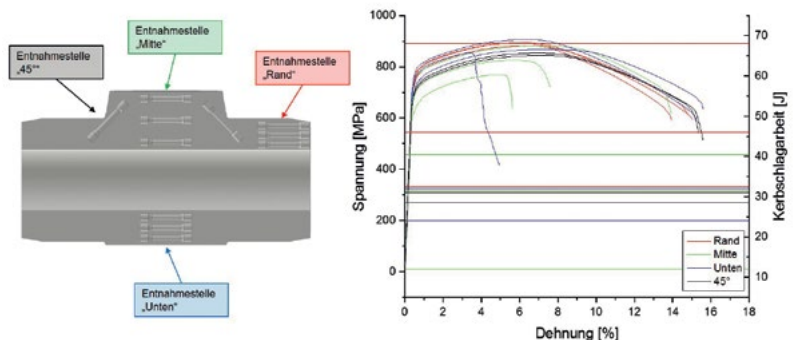
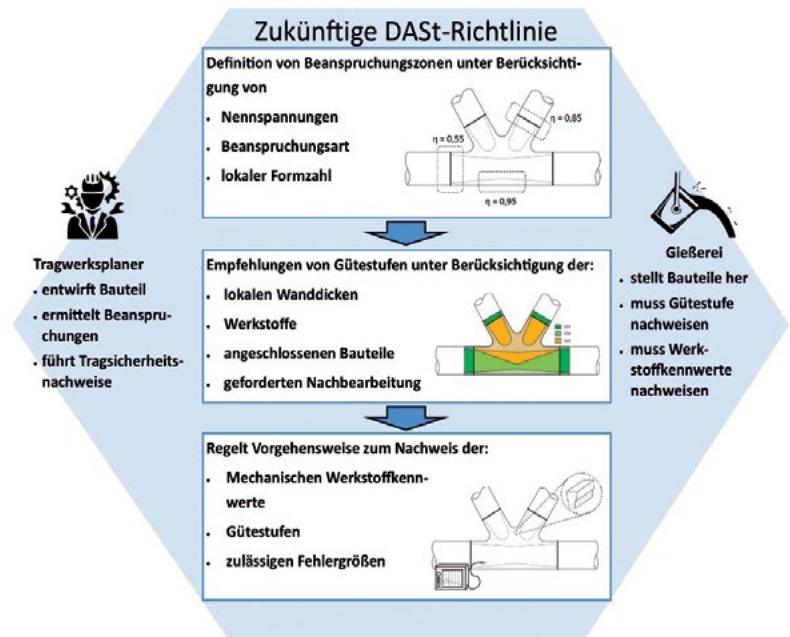


Abb. 3: Entnahmeplan und Ergebnisse von mechanisch-technologischen Werkstoffproben aus Gussbauteil aus dem Werkstoff G18NiMoCr3-6

Durch vergleichende Untersuchungen an verschiedenen dimensionierten mitgegossenen Prüfblöcken sollen verbindliche Vorgaben für die Form und Prüfung von kostengünstigeren und sicheren Ersatzproben entwickelt werden.

Gemeinsam mit den Ergebnissen aus den zurückliegenden Forschungsprojekten [5, 6] sowie den daraus hervorgegangenen Dissertationen [7 - 9] soll das vorliegende Forschungsvorhaben die Basis für eine zukünftige DAST-Richtlinie bilden, welche die Bestellung und Bemessung von Bauteilen aus Stahlguss für das Bauwesen erstmals umfassend regelt. Damit soll der im Bauwesen vorherrschenden Situation Rechnung getragen werden, dass aufgrund der Vergabe- und Vertragsordnung die entwerfenden und bemessenden Ingenieure in der Regel keinen Kontakt zu den ausführenden Gießereien haben. Dieser Mangel an direkter Kommunikation und fachlichem Austausch bedarf besonders klaren und praxistauglichen normativen Regelwerken, um teuren und zeitintensiven Missverständnissen im Projektablauf vorzubeugen. Wie in Abbildung 4 dargestellt, soll die angestrebte Richtlinie dabei eine vermittelnde und erklärende Rolle zwischen allen Projektbeteiligten einnehmen.



**Abb. 4:** Rolle der geplanten DAST-Richtlinie als Kommunikationsmedium zwischen Tragwerksplanern und Gießereien

## AUTOREN



**Prof. Dr.-Ing. Thomas Ummenhofer**  
Ordinarius für Stahl- / Leichtmetallbau,  
Kollegiale Ltg. Versuchsanstalt für Stahl,  
Holz u. Steine, Prüfling. für Bautechnik,  
Fachrichtg. Metallbau und Massivbau  
Thomas.Ummenhofer@kit.edu



**Marcel Mott M.Sc.**  
Wissenschaftlicher Mitarbeiter -  
Leichtbau und Verbindungselemente  
Marcel.Mott@kit.edu



**Prof. Dipl.-Ing. Dietmar Kohler**  
Dekan der Fakultät M+V  
Lehrgebiete: Werkstofftechnik/  
Prüf- und Schweißtechnik  
Senatsmitglied  
Dietmar.Kohler@hs-offenburg.de



**Dominik Stetter M.Sc.**  
Wissenschaftlicher Mitarbeiter M+V  
Dominik.Stetter@hs-offenburg.de

## Referenzen/References:

- [1] DIN EN 12680-1:2003: Gießereiwesen - Ultraschallprüfung - Teil 1: Stahlgussstücke für allgemeine Verwendung
- [2] DIN EN 12680-2:2003: Gießereiwesen - Ultraschallprüfung - Teil 2: Stahlgussstücke für hoch beanspruchte Bauteile
- [3] DIN EN 1559-1:2011: Gießereiwesen - Technische Lieferbedingungen - Teil 1: Allgemeines
- [4] DIN EN 1559-2:2014: Gießereiwesen - Technische Lieferbedingungen - Teil 2: Zusätzliche Anforderungen an Stahlgussstücke
- [5] DIN EN 10340:2007: Stahlguss für das Bauwesen
- [6] Bemessung ermüdungsbeanspruchter Stahlgussbauteile unter Berücksichtigung herstellungsbedingter Ungängen – ErStaGu; Abschlussbericht IFG Forschungsvorhaben 19691 N, Karlsruher Institut für Technologie, Fraunhofer Institut IWM, Fraunhofer Institut IZfP; 2020
- [7] Tragverhalten von geschweißten Bauteilen aus Stahlguss unter Berücksichtigung von Imperfektionen und Eigenspannungen, Abschlussbericht IFG Forschungsvorhaben 17745 N; Karlsruher Institut für Technologie; 2016
- [8] Spannaus, M.: Bemessung von Erzeugnissen aus Stahlguss unter vorwiegend ruhender Beanspruchung, Dissertation, Karlsruher Institut für Technologie, Fakultät für Bauingenieur-, Geo- und Umweltwissenschaften. Karlsruhe 2016
- [9] Nagel, S.: Design of cast steel components under cyclic loading, Dissertation, Karlsruher Institut für Technologie, Fakultät für Bauingenieur-, Geo- und Umweltwissenschaften. Karlsruhe 202

# Ethanolbetriebene Ottomotoren für den Einsatz in Hocheffizienzfahrzeugen

Prof. Dipl.-Ing. Claus Fleig, Michael Chmiel B.Eng., Bora Karakozak B.Eng.

Für das Hocheffizienzfahrzeug „Schluckspecht 5“ wird ein Ottomotor für den Einsatz von alternativen Kraftstoffen entwickelt. Neben Untersuchungen auf dem Motorenprüfstand sind Simulationen eine wichtige Säule für eine zielgerichtete Optimierung.

*A gasoline internal combustion engine for the use of alternative fuels is developed for the high-efficiency vehicle „Schluckspecht 5“. In addition to investigations on the engine test bench, simulations are an important pillar for targeted optimization.*

## Motivation

Das Team Schluckspecht entwickelt und baut seit 1998 hocheffiziente Fahrzeuge. Für einen niedrigen Energiebedarf ist der Antrieb des Fahrzeugs neben der Fahrzeugmasse und der Fahrzeugaerodynamik eine Schlüsselkomponente. Das Team beschäftigt sich neben dem batterieelektrischen Antrieb weiterhin mit der Optimierung von Verbrennungsmotoren. Diese werden zwar in absehbarer Zukunft bei PKW in Industrieländern verdrängt, sind aber sowohl für den Flug- und Schiffsverkehr als auch im Einsatz als Blockheizkraftwerkwerke in den nächsten Jahrzehnten nicht zu ersetzen. Für einen klimafreundlicheren Betrieb ist die Substitution des fossilen Kraftstoffs durch regenerativ herstellbare Kraftstoffe wichtig. Das Team Schluckspecht fokussiert sich dabei auf den Einsatz von Ethanol, der beim Effizienzwettbewerb Shell Eco-Marathon als einziger alternativer Kraftstoff bisher zugelassen ist.

## Unterschiede Benzin / Ethanol

Benzin und Ethanol unterscheiden sich in vielen Punkten, welche relevant für die Verwendung in einem Verbrennungsmotor sind. Benzin besteht aus einem Gemisch unterschiedlicher Kohlenwasserstoffe mit unterschiedlichen Eigenschaften, wie beispielsweise der Siedetemperatur. Ethanol ist dagegen ein Reinstoff. Für den Betrieb eines Verbrennungsmotors macht sich dies unter anderem im Kaltstartverhalten bemerkbar. Einige Bestandteile des Benzins verdampfen bereits bei Raumtemperatur und ermöglichen daher eine gute Durchmischung mit dem Luftsauerstoff und somit ein gutes Startverhalten. Bei Ethanol liegt die Siedetemperatur dagegen bei 78,5 °C und erschwert somit einen guten Kaltstart.

Ein großer Vorteil von Ethanol besteht in der höheren Oktanzahl gegenüber Benzin. So liegt die Research-Oktanzahl (ROZ) von Superbenzin bei 95 und von Ethanol bei 109 [2]. Die Oktanzahl beschreibt, wie gut die sogenannte Klopfestigkeit eines Kraftstoffs ist. Eine hohe Klopfestigkeit stellt eine ungewollte Selbstentflammung des Gemischs durch die ansteigenden Drücke und Temperaturen im Brennraum nach der eigentlichen Entflammung durch die Zündkerze sicher. Aufgrund der höheren Oktanzahl können ethanolbetriebene Ottomotoren mit einer höheren Verdichtung betrieben werden, welches sich vorteilhaft auf den thermodynamischen Wirkungsgrad auswirkt.

Ein weiterer Vorteil von Ethanol gegenüber Benzin besteht in der größeren Flammgeschwindigkeit, was zu einer schnelleren Energiefreisetzung führt. Eine hohe Flammgeschwindigkeit hat den Effekt, dass sich der Verbrennungsprozess dadurch stärker der idealen isochoren Zustandsänderung annähert. Dies hat wiederum den Vorteil, dass der Wirkungsgrad erhöht wird.

## Entwicklungsschritte

Zu Beginn der Entwicklung wurden intensiv 1D-Simulationen (Abbildung 1) durchgeführt, um grundlegende Erkenntnisse zu erlangen und die wichtigsten Stellgrößen zu erkennen. Die Simulationen wurden dafür mit Konstruktionsdaten (zum Beispiel Ventilhubkurve) an einem zuvor ausgesuchten und beschafften realen Serienmotor (Tabelle 1) mit einem Hubraum von 125 cm<sup>3</sup> durchgeführt.

### Referenzen/References:

- [1] Nicolas Meßner, „Simulationsstudie zur thermodynamischen Optimierung eines Ottomotors für ein Leichtbaufahrzeug“, Seminararbeit HS Offenburg 2019  
[2] Wolfgang Maus: „Zukünftige Kraftstoffe. Energiewende des Transports als ein weltweites Klimaziel“, 978-3-662-58005-9 (ISBN) Springer-Verlag Berlin, 2019

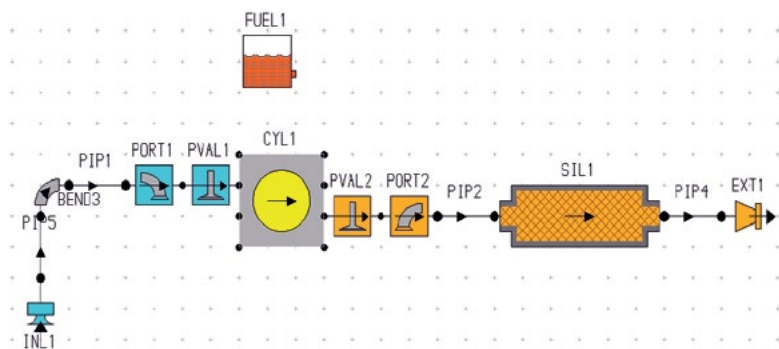


Abb. 1:  
Komponenten des Simulationsmodells [1]

Zylinderanzahl	1
Hubraum	125 cm <sup>3</sup>
Max. Leistung	5,4 kW bei 7500 1/min
Max. Moment	8,2 Nm bei 6000 1/min
Hub	57,8 mm
Bohrung	52,4 mm
Gemischaufbereitung	Saugrohreinspritzung
Kühlung	Luftkühlung
Ventiltrieb	Über Steuerkette angetriebene obliegende Nockenwelle, je ein Einlass- und Auslassventil

Tab. 1:  
Konstruktionsdaten eines Serienmotors (125cm<sup>3</sup>)

Wesentliche Ergebnisse der Berechnungen nach [1] waren:

- Bereits bei einer reinen Umstellung von Benzin auf Ethanol ergibt sich eine relative Steigerung des effektiven Wirkungsgrades von rund 7 % im betriebsrelevanten Drehzahlbereich zwischen 2000 und 6000 U/min. Wesentliche Ursache hierfür ist die kürzere Brenndauer des Ethanol-Luft-Gemischs und somit einer effizienteren Energiefreisetzung zum richtigen Zeitpunkt im Brennraum.
- Weitere Wirkungsgradsteigerungen sind insbesondere durch Anpassung der Steuerzeiten und Erhöhung des Verdichtungsverhältnisses möglich, sodass mit diesen Maßnahmen der effektive Wirkungsgrad rechnerisch von 29 % auf 35 % angehoben werden kann. Dies entspricht einer relativen Verbesserung von 20 % und somit einer erheblichen Effizienzsteigerung für einen derartigen Kleinmotor.

Für einen besseren Abgleich des Simulationsmodells wurden Versuche am internen Motorenprüfstand, welcher im Schluckspecht-Projekt selbst entwickelt und aufgebaut wurde (Abbildung 2) vorgenommen.

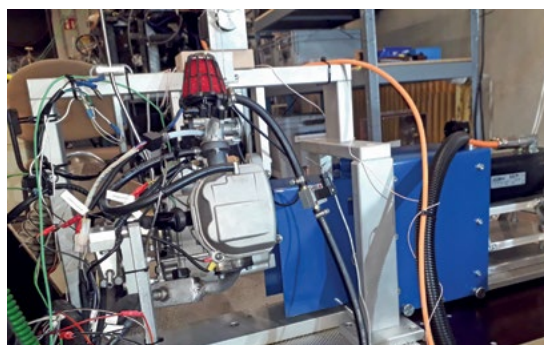


Abb. 2:  
Motorenprüfstand

Mit diesem Prüfstand kann sowohl die verrichtete Arbeit am Kolben (über einen Drucksensor im Brennraum) als auch an der Kurbelwelle gemessen werden. Zudem kann der Motor auch durch den angeflanschten Elektromotor geschleppt werden. Mit den experimentell ermittelten Daten kann der Umwandlungsverlust im Motor quantifiziert werden. Somit können zum Beispiel verlässliche Messungen über die entstehende Reibung im Triebwerk gemacht werden, welche hauptsächlich durch das Anlegen des Kolbens an der Zylinderwand entstehen. In der vorangegangenen Simulation musste dies noch mit einem Rechenmodell abgeschätzt werden.

Bei den Versuchen wurde folgende Parameter variiert:

- Kraftstoff: Benzin / Ethanol
- Verdichtung: 9:1 / 14:1
- Steuerzeiten

Für die Versuche wurden Sonderkolben (Abbildung 3) gefertigt, um die höhere Verdichtung durch einen einfachen Wechsel der Kolben zu realisieren. Zudem wurden Nockenwellen angefertigt, um insbesondere eine geringere Ventilüberschneidung zu realisieren und somit Ladungswechselperluste bei geringen Drehzahlen zu minimieren. Für einen optimalen Betrieb wurden jeweils wichtige Betriebsparameter wie der Zündzeitpunkt und die Luftzahl  $\lambda$  auf dem Prüfstand über die entsprechende Motorsteuergerätesoftware angepasst.

Im Versuch konnte die aus [1] erwartete Wirkungsgradsteigerung zunächst nicht in vollem Umfang abgebildet werden. So konnte zwar eine Verbesserung des Wirkungsgrades durch den Wechsel des Kraftstoffs beobachtet werden, jedoch gab es keine signifikante Verbesserung durch die Erhöhung der Verdichtung. Eine mögliche Ursache hierfür ist die geänderte Brennraumform durch die Modifi-



kation des Kolbens. So führt die höhere Kompression zu einem stärker scheibenförmigen Brennraum, der für eine schnelle Ausbreitung der Flammfront hinderlich ist.



Abb. 3:  
Serienkolben (links),  
Sonderkolben (rechts)

Begleitend zu den Messungen wurden auch 3D-Strömungssimulationen angestoßen, um das geänderte Einströmverhalten des Gemischs bewerten zu können. In Abbildung 4 ist ein Auszug der Berechnungsergebnisse dargestellt. Für eine gute Gemischbildung und eine schnelle Flammenausbreitung ist eine hohe Ladungsbewegung im Brennraum relevant.

Bei der Variante mit erhöhter Verdichtung ist durch die veränderte Brennraumform eine geringere Ladungsbewegung aufgrund der geänderten Kolbengeometrie zu erkennen. Bei der Seriengeometrie des Kolbens ist dagegen eine ausgeprägte Tumbleströmung zu sehen.

### Fazit / Ausblick

Der aktuelle Stand des Versuchsmotors bringt noch nicht vollumfänglich die erwarteten Wirkungsgradsteigerungen. Durch den Einsatz von zielgerichteten 3D-Simulationen und Versuchen lassen sich jedoch die weiteren Optimierungsmaßnahmen ableiten. So werden in den kommenden Versuchsreihen bewusst sowohl die Brennraumform als auch die Ladungsbewegung verbessert.

Weitere Verbesserungspotenziale sind durch reibungsreduzierende Schichten an den tribologisch hoch beanspruchten Bauteilen der Kolbengruppe und durch eine stärkere Zündanlage zu erwarten. Als zusätzliche Ausbaustufe ist noch ein Thermomanagement und eine abgestimmte Ölversorgung geplant, sodass in absehbarer Zeit der „Schluckspecht“ auch hocheffizient mit Ethanol betrieben werden kann.

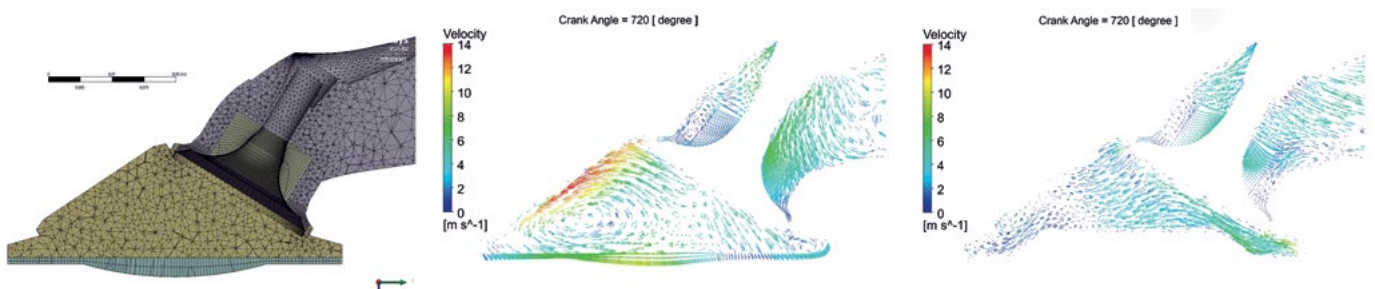


Abb. 4:  
CFD-Modell (li.) Geschwindigkeitsvektoren im Brennraum kurz vor Zündzeitpunkt bei Serienkolben (Mitte) und Kolben mit erhöhter Verdichtung (rechts)

#### AUTOREN



Prof. Dipl.-Ing. Claus Fleig  
Projektleiter „Schluckspecht“, Fakultät M+V,  
claus.fleig@hs-offenburg.de



Bora Karakozak B.Eng.  
Student MME  
bkarakoz@stud.hs-offenburg.de



Michael Chmiel B.Eng.  
Student MME  
mchmiel@stud.hs-offenburg.de

## READY FOR TAKE-OFF?

Seit mehr als 50 Jahren entwickelt und produziert HYDRO mit mehr als 600 Mitarbeitern weltweit innovative Lösungen für den Bau, die Wartung und die Reparatur von Zivil- und Militärflugzeugen. Die Erfahrung und das Wissen unserer Mitarbeiter haben uns zum Marktführer gemacht.

Zu unseren über 800 Kunden zählen alle international bedeutenden Flugzeughersteller, Airlines, Flughäfen und Flugzeugwartungsbetriebe.

Neben dem Hauptsitz in Biberach hat HYDRO Standorte in China, Dubai, Frankreich, Singapur, UK und den USA.

### WAS WIR DIR BIETEN

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

## UNSER ANGEBOT FÜR DICH

BACHELOR  
THESIS



MASTER  
THESIS



PRAKTIKUM



WERK-  
STUDENT



## IN FOLGENDEN FACHRICHTUNGEN

MASCHINENBAU



BETRIEBSWIRT-  
SCHAFT



WIRTSCHAFTS-  
INGENIEURWESEN



### Was bei uns zum Standard gehört?

#onboarding

#flexiblearbeitszeiten

#sportgruppen

#modernearbeitsplätze

#eventsundfeste

#interneschulungen

#tollekollegen

#persönlicheatmosphäre

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

Social Media? Check!



WERDE TEIL  
UNSERER CREW!



## BETRIEBSWIRTSCHAFT UND WIRTSCHAFTSINGENIEURWESEN

Umzug des Instituts WLRI in neue Räumlichkeiten am neuen Standort Campus West in Offenburg. (3. v. l. Institutsleitung Prof. Dr. Thomas Wendt und sein Team)

Die vielfältigen Forschungsaktivitäten spiegeln die breite fachliche Aufstellung der Fakultät B+W wider. Sie reichen von anwendungsnaher Forschung in den Bereichen Handel und E-Commerce über das Data-Mining bis hin zu ingenieurwissenschaftlichen Aufgabenstellungen. Dabei ist aktuell die enge Verzahnung von Wirtschaftsinformatik und Wirtschaftsingenieurwesen unter dem Schlagwort „Industrie 4.0“ ein wichtiger Ansatz für die gemeinsame bereichsübergreifende Forschung.

Grundlage für diese Forschungsarbeit sind die vielfältigen Labore der Fakultät B+W, die sowohl die Bereiche Marketing und Handel, aber auch Wirtschaftsinformatik und Lean Production umfassen. Zudem wurde Anfang des Jahres das neue Work-Life Robotics Institute (WLRI) gegründet und ein neuer Standort am Campus West an der Max-Planck-Straße in Offenburg eingeweiht und bezogen. Hier finden die verschiedenen Roboter und das umfangreiche Equipment eine industriegerechte Fläche mit adäquater Infrastruktur (siehe Foto). Durch die konsequente Einbindung der Studierenden aus den Bachelor- und Masterstudiengängen in spannende Neuentwicklungen wird eine aktive Nachwuchsförderung für die Forschung an der Hochschule vorangebracht. Dabei wurde auch im Rahmen einer interdisziplinären Masterarbeit eines kollaborativen Greifsystems entwickelt, für das die Hochschule ein Patent angemeldet hat.

Ein weiteres Indiz für erfolgreiche Forschung an der Fakultät B+W ist die deutliche Steigerung bei der Einwerbung von Drittmitteln. Dabei ste-

hen die konkreten Anforderungen der Unternehmen im Vordergrund. So werden aktuell verschiedene Forschungsprojekte im Bereich der Robotik bearbeitet. Dazu zählen anwendungsnahe Projekte wie die Entwicklung von Robotern zur Entgratung von großen Trägerbauteilen oder zur additiven Herstellung von Greifern. Daneben werden auch die Grundlagen der Robotik erforscht, insbesondere Einflussfaktoren für eine sichere zweibeinige Bewegung von Menschen und Robotern oder für die Emotionserkennung und -verarbeitung durch soziale Roboter in der Pflege. Im Bereich Logistik wurde ein neues Forschungsprojekt zur automatisierten und flächendeckenden Echtzeitüberwachung aller mit dem Fahrrad befahrbaren Wegen gestartet. Länder und Kommunen können mit den bereitgestellten Informationen den Zustand der Radwege kontinuierlich überwachen und damit Wartungsarbeiten optimieren.

Im Bereich der additiven Fertigung werden aktuell Grundlagenuntersuchungen zum 4D-Printing durchgeführt. Damit können 3D-gedruckte Bauteile mit einem externen Stimulus (beispielsweise Wärme oder ein Magnetfeld) zu einer Bewegung angeregt werden. In einer fakultätsübergreifenden Forschungsgruppe werden dazu erste Untersuchungen zur Materialauswahl und zur Simulation der komplexen Zusammenhänge von Geometrie, Werkstoff und Stimulus durchgeführt. Als erstes Ergebnis konnte ein Greifmechanismus, der durch Wärme angeregt wird, erfolgreich umgesetzt werden.

*Dekan Prof. Dr. Philipp Eudelle*

# EUMODFRAUD: Projekt zur Betrugs- und Korruptions- bekämpfung in EU-Fonds

Prof. Dr. rer. pol. Thomas Baumgärtler, Prof. Dr. Philipp Eudelle

Betrug und Korruption zum Schaden der finanziellen Interessen der Europäischen Union stellen auch bei den Europäischen Struktur- und Investitionsfonds ein Problem dar: Welche Unterschiede bei den einzelnen mitgliedstaatlichen Regelungen und Vorgehensweisen zur Betrugsbekämpfung gibt es? Welche Auswirkungen haben diese Regelungen auf die Betrugsaufdeckungsquoten? Wie gestaltet sich die Situation in Deutschland im Vergleich zu anderen EU-Staaten? Diese und weitere Fragestellungen im europäischen Kontext waren Gegenstand des EU-Forschungsprojekts EUMODFRAUD.

*Fraud and corruption to the detriment of the European Union's financial interests are also a problem in the European Structural and Investment Funds: What are the differences in individual Member State regulations and approaches to combating fraud? What impact do these regulations have on fraud detection rates? How does the situation in Germany compare to other EU countries? These and other questions in the European context were the subject of the EU research project EUMODFRAUD.*

Das europäische Forschungsprojekt „Tool for the Prevention of frauds in European Funds with special attention to European Regional and Development Fund and Cohesion Fund“ - kurz EUMODFRAUD - ist Teil des Hercule III-Programms der Europäischen Union (EU). Die Hercule-Programme dienen dem Schutz der finanziellen Interessen der EU und werden vom Europäischen Amt für Betrugsbekämpfung (OLAF) verwaltet. Im Mittelpunkt stehen Maßnahmen zur Bekämpfung von Unregelmäßigkeiten, Betrug und Korruption zu Lasten des EU-Haushalts und damit auch der Fördergelder aus den Europäischen Struktur- und Investitionsfonds (ESI-Fonds).

Im November 2019 wurde EUMODFRAUD von der Europäischen Kommission genehmigt und die Projektleitung und -koordination unserer Partnerhochschule, der Universidad de Burgos (Spanien) übertragen. Ziel von EUMODFRAUD ist unter anderem die Erstellung vergleichender (Länder-)Studien zur Analyse von Faktoren im Zeitraum von 2014 bis 2020, die zum Missbrauch von Mitteln im EU-Haushalt führen und hierbei auch europäische Fonds durch unberechtigte Mittelverwendungen gefährden können (Projektdetails unter <https://www.ubu.es/eumodfraud>).

Neben der Hochschule Offenburg konnte die Universität Burgos für das Projektvorhaben Forschungspartner von weiteren neun

Hochschulen und Universitäten aus sieben Ländern gewinnen. Während der Projektlaufzeit von Januar 2020 bis Juni 2021 fanden zahlreiche (virtuelle) Workshops statt, in denen die unterschiedlichen Forschungsansätze und -fortschritte vorgestellt und im interdisziplinär besetzten Projektteam diskutiert wurden. In einer zweitägigen virtuellen Forschungskonferenz an der Universidade do Porto (Portugal) im Juni 2021 wurden sämtliche Forschungsarbeiten aus EUMODFRAUD präsentiert und zur Veröffentlichung in einem 2022 erscheinenden Tagungsband vorgeschlagen (Forschungsergebnisse sind abrufbar unter [https://www.ubu.es/sites/default/files/portal\\_page/files/toolkit\\_addendum.pdf](https://www.ubu.es/sites/default/files/portal_page/files/toolkit_addendum.pdf)).

## Forschungsbeitrag der HSO

Der Europäische Rechnungshof stellte in einem Sonderbericht 2019 fest, dass die Verwaltungsbehörden die Bewertung von Betrugsrisiken und die Ausarbeitung von Präventionsmaßnahmen zwar verbessert haben, die Aufdeckung von Betrug sowie die diesbezügliche Reaktion und Koordinierung verschiedener mitgliedstaatlicher Stellen aber noch verstärken müssen [1]. Dies nahm das HSO-Forschungsteam zum Anlass, Unterschiede bei den einzelnen mitgliedstaatlichen Regelungen und Vorgehensweisen, die Auswirkungen der unterschiedlichen Regelungen auf die Betrugsaufdeckungsquoten und die

Aussagekraft der unterschiedlichen Aufdeckungsquoten länderspezifisch zu untersuchen, wobei der Bundesrepublik Deutschland besonderes Augenmerk galt. Im Folgenden werden die wichtigsten Ergebnisse der Forschungsarbeit komprimiert dargestellt (der vollständige HSO-Forschungsbeitrag ist abrufbar unter [https://www.ubu.es/sites/default/files/portal\\_page/files/toolkit\\_addendum.pdf](https://www.ubu.es/sites/default/files/portal_page/files/toolkit_addendum.pdf), Seite 13-67).

### Unregelmäßigkeiten in Struktur- und Investitionsfonds

Gegenstand der Analyse sind die Europäischen Struktur- und Investitionsfonds (ESI-Fonds). Die fünf nachfolgenden Fonds sind darauf ausgerichtet, die wirtschaftliche Entwicklung in den EU-Ländern nachhaltig zu unterstützen:

- Europäischer Fonds für regionale Entwicklung (ERDF)
- Europäischer Sozialfonds (ESF)
- Kohäsionsfonds (CF)
- Europäischer Landwirtschaftsfonds für die Entwicklung des ländlichen Raums (EAFRD)
- Europäischer Meeres- und Fischereifonds (EMFF)

Um die Betrugsaufdeckungsquoten einzelner EU-Staaten in ESI-Fonds vergleichen zu können, werden die von der EU-Kommission zur Betrugsbekämpfung definierten „Unregelmäßigkeiten“ zugrunde gelegt [2]. Unregelmäßigkeiten umfassen sowohl vorsätzliche als auch nicht vorsätzliche Tatbestände, die von Wirtschaftsakteuren begangen werden können. Eine vorsätzlich, das heißt bewusst begangene Unregelmäßigkeit gilt als Betrug und wird im vorliegenden Kontext als „betrügerisch gemeldete Unregelmäßigkeit“ (irregularities reported as fraudulent) definiert. Davon zu unterscheiden ist die „nicht betrügerisch gemeldete Unregelmäßigkeit“, also Aktionen oder Vorgänge, die zwar nicht konform mit geltendem EU-Recht sind, aber meist Folge fehlerhaften Handelns, das im Beantragungs-, Bewilligungs- oder Bereitstellungsprozess von ESI-Fondsmitteln (unabsichtlich) erfolgte und ebenfalls zu beträchtlichen finanziellen Schäden führen kann [3]. Im Mittelpunkt der Studie stand insbesondere die Analyse der als betrügerisch gemeldeten Unregelmäßigkeiten.

### Quantitativer Befund

Die für die Untersuchung vorgenommene Auswahl von ESI-Fonds orientiert sich an der Bedeutung des Bezugs von EU-Mitteln durch die Bundesrepublik Deutschland. Deutschland bezieht ausschließlich Mittel aus Fonds für die gemeinsame Agrarpolitik und Fischerei (EAFRD und EMFF), auf Länderebene aus dem Fonds für Regionale Entwicklung (ERDF) sowie auf Bundesebene aus dem Fonds für vorwiegend arbeitsmarktpolitische Maßnahmen (ESF). Diese Fonds wurden hinsichtlich festgestellter Unregelmäßigkeiten sektor- und länderspezifisch analysiert, wobei ein besonderer Fokus auf Deutschland gelegt wurde. Im Mittelpunkt steht dabei die Betrugsaufdeckungsquote FDR (Fraud Detection Rate), die von der EU-Kommission wie folgt definiert wird:

$$FDR = \frac{\text{Total financial amount affected by suspected and established fraud}}{\text{Total expenditure}}$$

Gemessen an der Betrugsaufdeckungsquote in den Operationellen Programmen von EAFRD, ERDF und ESF liegt Deutschland deutlich unter dem EU-Durchschnitt und gehört damit zu den Mitgliedstaaten mit den geringsten Betrugs- und Korruptionsfällen in der EU. Beispielhaft gehen wir näher auf den Fonds für Regionale Entwicklung (ERDF) ein:

Ein Vergleich zwischen den einzelnen ESI-Fonds bezüglich der betrügerischen Unregelmäßigkeiten im Zeitraum von 2015 und 2019 belegt die Priorität der Betrugs- und Korruptionsbekämpfung im ERDF (Abbildung 1): Gemessen an der Anzahl und der in betrügerische Unregelmäßigkeiten involvierten Finanzvolumina sticht der ERDF hervor: 67,5 % aller Fälle und 72,2 % der gewährten EU-Mittel entfallen auf Betrugsdelikte im ERDF. Rund ein Viertel der Fälle entfallen auf den ESF, dagegen nur 7,7 % der involvierten Fördermittel.

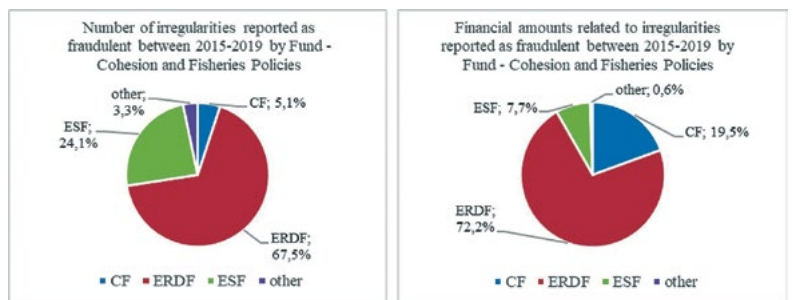


Abb. 1: Anzahl der als betrügerisch gemeldeten Unregelmäßigkeiten und Finanzbeträge im Zusammenhang mit als betrügerisch gemeldeten Unregelmäßigkeiten nach Fonds, 2015-2019 [4]

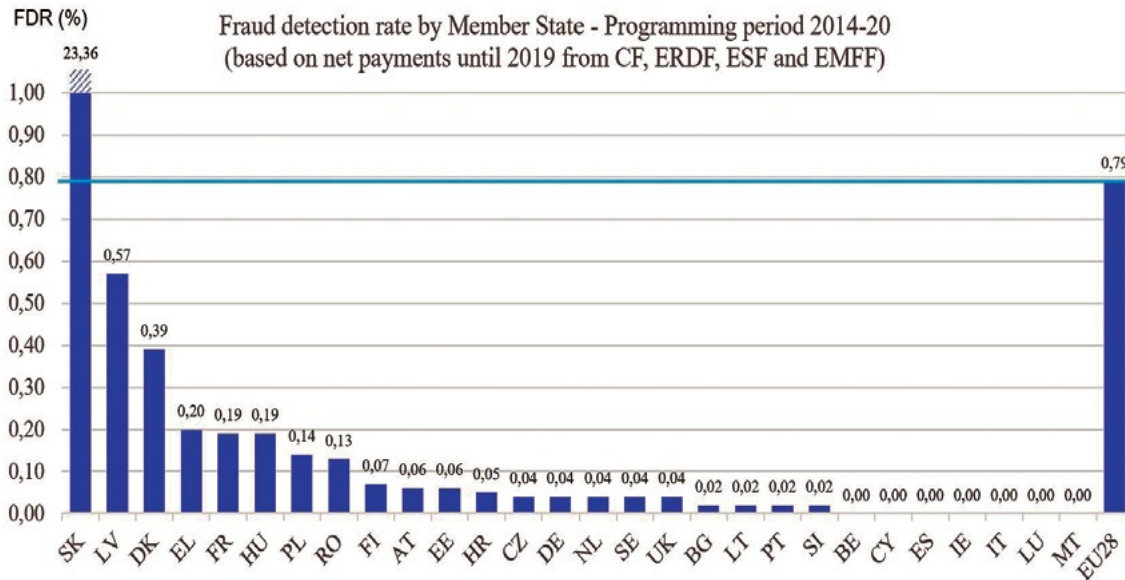


Abb. 2: Betrugsaufdeckungsquote nach Mitgliedstaaten, Programmplanungszeitraum 2014-2020, basierend auf den Nettozahlungen bis 2019 aus „CF, ERDF, ESF und EMFF.“ [5]

Analysiert man die Betrugsaufdeckungsquote basierend auf den Nettozahlungen bis 2019 über alle vier Fonds hinweg, also CF, ERDF, ESF und EMFF, so fällt zunächst auf, dass mit einer FDR von 0,79 % ein vergleichsweise hoher Durchschnittswert für die EU-28 ausgewiesen wird (Abbildung 2).

Über alle ESI-Fonds betrachtet liefert die Slowakei eine signifikante Abweichung, denn das Land meldet eine FDR von 23,36 %, das heißt, dass fast ein Viertel der empfangenen Ausgaben als betrügerische Unregelmäßigkeiten eingestuft werden, was ein sehr hoher Anteil und damit als eine sehr schlechte Performance in der Betrugsbekämpfung interpretiert werden kann. Ursächlich dafür sind in der Slowakei lediglich drei Fälle, die jedoch ein Schadensvolumen von 850 Mio. EUR verursachten. Davon abweichend, mit aber dennoch hohen FDR-Werten, verbuchen Lettland und Dänemark, gefolgt von Griechenland, Frankreich und Ungarn. Erstaunlich dabei ist, dass das ansonst generell von Betrug und Korruption wenig betroffene Dänemark mit 0,39 % einen signifikant hohen Wert ausweist. In der weiteren Kategorisierung der FDR unter 0,15 % bis 0,05 % liegen die Länder Polen, Rumänien, Finnland, Österreich, Estland, Kroatien und Tschechien. In die Kategorie der Länder, die eine sehr geringe FDR unter 0,05 % bis 0,02 % vorweisen können, fällt auch Deutschland mit 0,04 %. Für Deutschland legt dies die Schlussfolgerung nahe, dass die bestehenden Maßnahmen zur Betrugs- und Korruptionsbekämpfung Wirkung zeigen. Schließlich sind Mitgliedstaaten mit einem FDR von 0 % (zum Beispiel Belgien, Zypern, Spanien) vermeintlich ohne Betrugsfälle. Die

Kritik des Europäischen Rechnungshofs dürfte aber auch hier zutreffen, wonach vom Rechnungshof untersuchte Verwaltungsbehörden der Mitgliedstaaten keine oder nur unzureichende Meldungen über Betrugs- oder Betrugsverdachtsfälle vornehmen.

### Qualitativer Befund

Weder die vorwiegend an Statistiken orientierten Anti-Korruptionsberichte der EU-Kommission noch die Prüfberichte des Europäischen Rechnungshofs oder des OLAF können die Ursachen für die signifikanten Unterschiede zwischen den einzelnen Ländern fundiert begründen. Das positive Abschneiden Deutschlands legt die Vermutung nahe, dass ein ausreichender gesetzlicher Rahmen sowie wirkungsvolle Instrumente zur Betrugs- und Korruptionsbekämpfung in den ESI-Fonds zur Verfügung stehen und von den programm-beteiligten Behörden konsequent angewandt werden. Um diese These zu untermauern, wurde von uns eine weitere qualitative Analyse mit folgendem Ergebnis angeschlossen:

Aufgrund der föderalen Struktur der Bundesrepublik Deutschland sind sowohl der Bund als auch die Länder in die Bewirtschaftung von Mitteln der EU einbezogen. Für die interne Kontrolle bedeutet dies, dass analog den Behörden auf Bundesebene auch auf Länderebene jeweils Verwaltungs- und Bescheinigungsbehörden eingerichtet sind. Daraus resultiert ein Mehr-Augen-Prinzip bei der Kontrolle, das förderlich ist, um Betrug und Korruption mit dem Ziel einer „Null-Toleranz-Politik“ aufzudecken.

Neben der konsequenten Umsetzung der EU-Richtlinien zur Betrugs- und Korruptionsbekämpfung tragen die nationalen Vorschriften im Straf-, Subventions-, Beamten- und Arbeitsrecht maßgeblich dazu bei, Betrug und Korruption in den für Deutschland relevanten operationellen Bundes- und Landesprogrammen entgegenzuwirken. Die sektorale und regionale Analyse in ESI-Fonds hat ergeben, dass Deutschland über ein effizientes und effektives Instrumentarium zur Betrugsprävention und -bekämpfung verfügt, was sich anhand der durchweg geringen und damit erfolgreichen Betrugaufdeckungsquoten belegen lässt. Mit dem Einsatz eines Selbstbewertungstools in den für Deutschland relevanten Operationellen Programmen (wie im Europäischen Sozialfonds) sind Risikoauswirkungen und -wahrscheinlichkeiten ermittelbar, die zur Betrugaufdeckung zuverlässig beitragen. Dabei wird das Bewertungssystem regelmäßig mindestens im zweijährigen Turnus hinsichtlich neuer Erkenntnisse und Erfahrungen aus vergangenen Betrugsfällen kalibriert, umsetzende Stellen mit neuen Handreichungen informiert und fortlaufend geschult. Die von uns mit Ministerien geführten Interviews belegen zudem, dass das bestehende System zur Betrugsprävention von deutschen Verwaltungsbehörden insgesamt als ausreichend erachtet wird.

## Weitere Forschungsaktivitäten

Auf Basis dieser Erkenntnisse wurde unser Forschungsansatz zwischenzeitlich um eine lineare Regressionsanalyse erweitert. Gemeinsam mit der Universidad de Valladolid (Spanien) haben wir den Versuch unternommen, Indikatoren auf Länderebene zu ermitteln, die sich als nützlich erweisen könnten, um die Wirksamkeit der Betrugaufdeckung bei den ESI-Fonds zu verbessern. Hierfür wurden Daten für rund 450 Fonds im Zeitraum von 2014 bis 2020 aus 28 EU-Ländern analysiert. Erste Berechnungen sind vielversprechend. Sie zeigen signifikante Zusammenhänge zwischen der Betrugaufdeckungsquote und den Indikatoren für die Verwendung und Überwachung der Fonds, der Anzahl der betrügerischen Unregelmäßigkeiten, dem Niveau der wirtschaftlichen Entwicklung und der Transparenz eines Landes. Die Ergebnisse deuten darauf hin, dass die Überwachung von Fondsmitteln insbesondere in Ländern mit höherem Bruttoinlandsprodukt (BIP) und höherem Transparenzniveau einfacher ist. Hinzu kommt, dass die Anzahl der Unregelmäßigkeiten für Länder mit einem höheren BIP und für Länder,

die größere Beträge aus den Fondsmitteln beziehen, weniger Relevanz besitzt. Daraus lässt sich mithin ableiten und verifizieren, dass föderative Staaten wie die Bundesrepublik Deutschland bei der Aufdeckung und Bekämpfung betrügerischer Unregelmäßigkeiten in ESI-Fonds vergleichsweise erfolgreich sind. Die detaillierten Analyseergebnisse werden noch in diesem Jahr im *European Journal of International Management* publiziert.

### AUTOREN



Prof. Dr. rer. pol. Thomas Baumgärtler  
Prodekan für Studium und Lehre, Professur für Volkswirtschaftslehre, insbes. Internat. Wirtschaftsbeziehungen, Bank- und Kreditwesen, Mitglied IFTI  
thomas.baumgaertler@hs-offenburg.de



Prof. Dr. Philipp Eudelle  
Dekan Fakultät B+W, Professur für Volkswirtschaftslehre, Wirtschaftspolitik, Energiewirtschaft, Analytische Statistik, Stellv. wissenschaftl. Ltg. IFTI  
eudelle@hs-offenburg.de

### Referenzen/References:

- [1] Vgl. Europäischer Rechnungshof (2019): Bekämpfung von Betrug in den Kohäsionsausgaben: Verwaltungsbehörden müssen Aufdeckung, Reaktion und Koordinierung verstärken. Sonderbericht Nr. 06/2019, Brüssel.
- [2] „Unregelmäßigkeit“ wird definiert in Artikel 1 Absatz 2 der Verordnung (EG) Nr. 2988/95 des Rates vom 18.12.1995. Vgl. Amtsblatt der Europäischen Gemeinschaften (1995): Nr. L 312 vom 23.12.1995; Verordnung (EG, Euratom) Nr. 2988/95 des Rates vom 18. Dezember 1995 über den Schutz der finanziellen Interessender Europ. Gemeinschaften.
- [3] Vgl. OLAF (2022): Meldung von Betrugsfällen. [https://ec.europa.eu/anti-fraud/olaf-and-you/report-fraud\\_de](https://ec.europa.eu/anti-fraud/olaf-and-you/report-fraud_de) (Abruf: 15.02.2022)
- [4] Eigene Berechnung und Darstellung. Datenbasis: European Commission (2020): Commission Staff Working Document, Statistical evaluation of irregularities reported for 2019: own resources, agriculture, cohesion and fisheries policies, pre-accession and direct expenditure. Accompanying the document Report from the European Parliament and the Council, 31st Annual Report on the protection of the European Union's financial interests - Fight against fraud - 2019, SWD (2020) 160 final, part 2/3, Brüssel, S. 94-95.
- [5] Eigene Berechnung und Darstellung. Datenbasis: European Commission (2020): Commission Staff Working Document, Statistical evaluation of irregularities reported for 2019: own resources, agriculture, cohesion and fisheries policies, pre-accession and direct expenditure. Accompanying the document Report from the European Parliament and the Council, 31st Annual Report on the protection of the European Union's financial interests - Fight against fraud - 2019, SWD (2020) 160 final, part 2/3, Brüssel, S. 151.

# Management der Digitalisierung

Prof. Dr. rer. pol. habil. Matthias Graumann, Prof. Dr. rer. pol. Achim Burkhardt, Prof. Dr. rer. nat. Thomas Wenger

Digitalisierung ist ein häufig verwendetes Wort, aber was bedeutet es genau? Zusammen mit Praktikern haben Professoren der Fakultät B+W eine nachvollziehbare Definition erarbeitet und auf dieser Grundlage wichtige Aspekte der Digitalisierung von Unternehmen analysiert.

*Digitalization is a word often used. But what does it exactly mean? Researchers from the faculty of business administration and engineering have elaborated a definition. On the basis of this definition they have investigated into the management of digitalization and highlighted some important aspects for corporations.*

Digitalisierung ist ein populäres Wort, und kaum jemand wird der Auffassung widersprechen, dass es sich hierbei um einen wichtigen Aspekt des Managements moderner Unternehmen handelt. Jim Hagemann Snaube, Vorsitzender des Siemens-Aufsichtsrats, sagt in einem Interview mit der Frankfurter Allgemeine Zeitung am 12. Mai 2021: „Die Wirtschaftswelt ändert sich grundlegend. Die Digitalisierung beschleunigt sich noch einmal signifikant. Unternehmen sind mehr denn je gezwungen, digitaler zu werden.“ Offenbar liegt ein wichtiges Phänomen vor, und es besteht Handlungsbedarf. Aber was heißt das konkret? Professoren der Fakultät B+W geben zusammen mit kompetenten Praktikern eine Antwort darauf.

## Ausgangspunkt

Die Überlegungen beginnen mit der Beobachtung, dass sich in Unternehmen eine Vielzahl unterschiedlicher Handlungen vollziehen und hierbei immer öfter Computer in der Form von Hardware und Software beteiligt sind. Es liegt daher nahe, den Begriff des computerunterstützten Handelns als Kern einer Definition von Digitalisierung zu verwenden, an den dann weitere bedeutungstragende Eigenschaften angeschlossen werden können. Die erste dieser zusätzlichen Eigenschaften basiert auf der Beobachtung, dass die computerunterstützten Handlungen stets in Kommunikationsvorgänge eingebettet werden und hierbei maschinenlesbare Daten beteiligt sind. So profitieren – und das ist die nächste Beobachtung -- die Kommunikationen von einer Computerunterstützung, die sich nicht in der Beschleunigung des Datentransfers erschöpft, sondern auch eine wertsteigernde Verarbeitung der Daten zur Folge haben kann.

## Definition „Digitalisierung“

Man könnte glauben, dass dies nun für eine Definition ausreicht. „Digitalisierung“ aber, so wie das Wort etwa vom Siemens-Aufsichtsratsvorsitzenden verwendet wird, soll mehr bedeuten als eine Gesamtheit aus computerunterstützten Handlungen, die in Kommunikationsvorgänge eingebunden sind. Thematisiert wird die Durchdringung nahezu aller menschlichen Lebenszusammenhänge durch eine Symbiose aus Computerhardware und -software (siehe Wendt/Manhart 2020, Seite 149) – eine Durchdringung, der sich kaum noch jemand entziehen kann, ohne erhebliche Nachteile für sich in Kauf zu nehmen. Begreift man diese Lebenszusammenhänge als ein System, das aus kommunikativen Handlungen besteht, und nennt man dieses System „Gesellschaft“ (vergleiche Luhmann 1997, Seite 78 ff.), dann resultiert daraus die in Abbildung 1 genannte Definition.

Das Wort „Digitalisierung“ bezeichnet einen Prozess, der zwei Eigenschaften besitzt:

- Die Leistungsfähigkeit der Computerunterstützung (Datentransfer, wertsteigernde Verarbeitung der Daten) vergrößert sich ständig.
- Auf die Computerunterstützung wird in immer intensiverer Form beim Handeln zurückgegriffen und zwar in allen Teilsystemen der Gesellschaft (Wirtschaft, Wissenschaft, Politik, Recht, Schule, Familie, Kunst, etc.).

Abb. 1:  
Definition von  
Digitalisierung

Die erarbeitete Definition scheint nahezu legen, dass Digitalisierung primär von sozio-logischem Interesse ist, weil der Prozess die Gesellschaft als Ganzes betrifft. Eine solche Perspektive wäre jedoch zu eng, denn die Computerunterstützung lässt sich auch als eine Ressource begreifen. So erfolgt der Brückenschlag zur Betriebswirtschaftslehre und zu den Unternehmen, die in Kontakt mit dem gesellschaftlichen Prozess der Digitalisierung stehen.



## Ressourcen und Handlungen in Unternehmen

Was sind Ressourcen? Als Ressourcen bezeichnet man diejenigen Dinge, die das Handeln in Unternehmen ermöglichen und zu diesem Zweck planvoll eingesetzt werden können. Ganz allgemein unterscheidet man zwischen Menschen und Sachen und gliedert die Sachen in immaterielle Ressourcen (beispielsweise Computersoftware, Reputation, Unternehmenskultur) und materielle Ressourcen (Weber 1980, Seite 1056 ff.). Bei Letzteren unterscheidet man in wiederholt nutzbare Gebrauchsressourcen (wie Computerhardware, Grundstücke, Gebäude) und einmalig nutzbare Verbrauchsressourcen (etwa Strom, Rohstoffe, Nahrungsmittel).

Mit der vorgenommenen Unterscheidung sind Computerhardware und -software zwar als Arten von Ressourcen erkennbar geworden. Um die Bedeutung der modernen Computerunterstützung herausarbeiten zu können, reicht das jedoch noch nicht aus. Ergänzt werden muss die Gliederung der Ressourcen noch um eine Unterscheidung von Handlungen, die sich in Unternehmen grundsätzlich vollziehen müssen. Erst dann kann analysiert werden, bei welchen Handlungen welche Art der Computerunterstützung einen Wert für Unternehmen besitzen könnte. Nach einem Vorschlag von Porter (2000, Seite 67 ff.) werden Handlungen von Unternehmen in drei Gruppen gegliedert:

- Basishandlungen, die einen unmittelbaren Bezug zu den Produkten haben: Das sind Marktauswahl, Sortimentsgestaltung, Produktgestaltung, Preissetzung, Werbung, Vertrieb, Kundendienst, Ein- und Ausgangslogistik, Produktion (inclusive Qualitätssicherung und Lagerhaltung).
- Handlungen zur Schaffung einer Infrastruktur, mit der alle anderen Handlungen indirekt unterstützt werden: Das sind Management, Planung und Kontrolle (inclusive Controlling), Organisation, Informationstechnik, Geldbewirtschaftung (Finanzierung und Investition), Rechnungswesen, interne Revision, Compliance, Investor Relations.
- Handlungen, mit denen die Handlungen der ersten beiden Gruppen direkt unterstützt werden („Querschnittshandlungen“): Das sind Personalwirtschaft, Beschaffung von Ressourcen, Wissensentwicklung.

Die Aufgabe, moderne Computerunterstützung zur Verbesserung von Handlungen

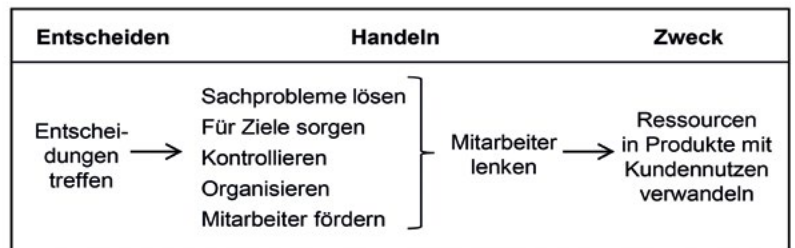
im Unternehmen zu nutzen, obliegt dem Management. Damit kommt ein weiterer schillernder Begriff ins Spiel.

## Management

Als „Management“ kann man das oberste Leitungsorgan eines Unternehmens bezeichnen. Man kann aber auch – und so wird hier verfahren – mit dem Wort „Management“ eine bestimmte Art von Handlung zur Schaffung einer Infrastruktur bezeichnen. Diese Handlung besteht im engeren Sinne darin, dass Mitarbeiter gelenkt werden, um Ressourcen in Produkte mit Kundennutzen zu verwandeln. Nach einem Vorschlag von Malik (2007, Seite 71 ff., Seite 91) vollzieht sich diese Lenkung, indem Führungskräfte (Manager)

- Sachprobleme lösen,
- für Ziele sorgen,
- kontrollieren,
- organisieren und
- Mitarbeiter fördern.

Abb. 2:  
Bestandteile des  
Managements



→ bedeutet „beeinflusst“

## Management der Digitalisierung

Wie vollzieht sich nun das Management der Digitalisierung? Wer diese Frage beantworten will, muss sich klarmachen, dass jede Führungskraft als Manager anzusehen ist (siehe auch Schreyögg/Koch, 2020, Seite 6). Gruppenleiter sind ebenso Manager wie Meister, Abteilungsleiter, Werkleiter, Bereichsleiter und natürlich Vorstandsmitglieder beziehungsweise Geschäftsführer. Das Management der Digitalisierung vollzieht sich auf allen Ebenen der Unternehmenshierarchie und besitzt als Infrastrukturhandlung einen Bezug zu allen Handlungen des Unternehmens. Kombiniert man diese Aussagen mit dem Inhalt von Abbildung 2, geht es beim Management der Digitalisierung darum, dass Führungskräfte auf allen hierarchischen Ebenen und in allen Handlungsbereichen des Unternehmens durch Lenkung von Mitarbeitern die neue Ressource moderner Computerunterstützung in Produkte mit höherem Kundennutzen verwandeln.

Das Management der Digitalisierung ist mithin keine spezielle Aufgabe der Unternehmensführung, sondern betrifft jede Führungskraft und – da Management „Lenkung“ heißt – jeden der ihr nachgeordneten Mitarbeiter. Die Digitalisierung ist auch nicht auf die Entwicklung neuer Produkte oder auf die Verbesserung der Produktion (Stichwort „digitale Fabrik“) beschränkt. Vielmehr ist für sämtliche Basishandlungen, sämtliche Infrastrukturhandlungen und sämtliche Querschnittshandlungen zu prüfen, ob der Einsatz moderner Computerunterstützung merkliche Verbesserungsmöglichkeiten bietet oder zumindest Anpassungsmaßnahmen erforderlich macht (Abbildung 3).

**Einzelaspekte**

Auf der Grundlage dieser Einschätzung zieht das Forschungsprojekt konkrete Aspekte der Digitalisierung von Unternehmen in den Blick. Achim Burkhardt und Jürgen Kumbartzki analysieren, wie Handelsunternehmen bei der Digitalisierung den Kundennutzen im Blick behalten. Thomas Wenger untersucht das Disruptionspotenzial von privaten und staatlichen Digitalwährungen. Andrea Müller, Christina Miclau und Annebeth Demaeght zeigen, wie digitale Kundeninteraktionen empirisch erforscht werden können. Joachim Reiter macht deutlich, wie Machine-Learning-Verfahren betriebswirtschaftliche Entscheidungen unterstützen. Simone Braun, Dan Follwarczny und Andreas Heißler erläutern, wie eine intelligente Bewirtschaftung von Kundendaten funktioniert. Steffen Rietz und Falk Steinhoff

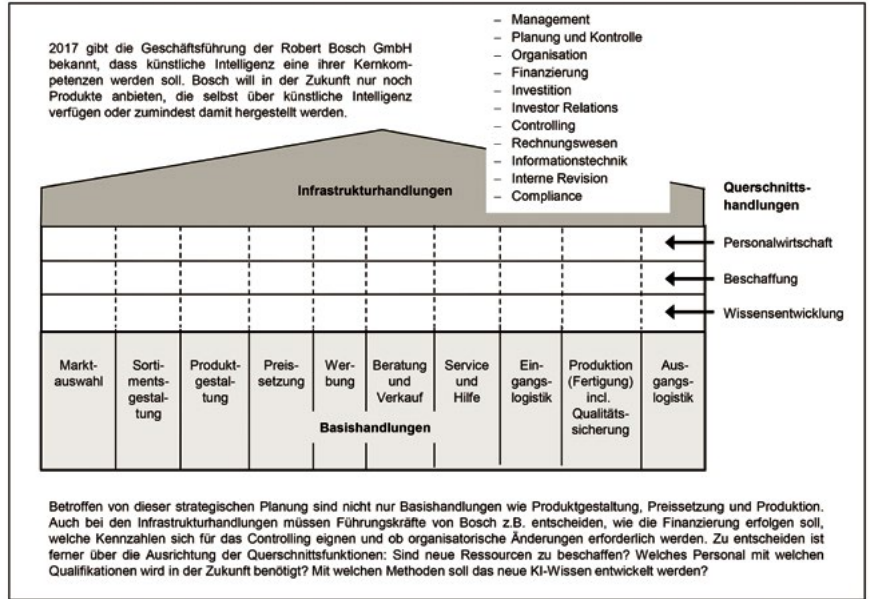


Abb. 3: Die Digitalisierung erfasst das ganze Unternehmen

geben Empfehlungen, wie Unternehmen virtuelle Realität praktisch nutzen können. Thilo Seyfried analysiert die Möglichkeiten moderner Computerunterstützung bei der Finanzberichterstattung. Andreas Klasen untersucht die Digitalisierung staatlicher Wirtschaftsförderung. Und Michael Stopfkuchen illustriert, wie sich eine innovative staatliche Außenwirtschaftsförderung für inländische KMU vollziehen kann.

Dargestellt sind die Ergebnisse des Forschungsprojekts in dem Buch „Aspekte des Managements der Digitalisierung“. Es wurde von den Verfassern dieses Beitrags herausgegeben und ist Anfang 2022 im Springer Verlag erschienen.

**AUTOREN**



**Prof. Dr. rer. pol. habil. Matthias Graumann**  
Fakultät B+W, Lehrgebiete: Entscheidungslehre, Organisation, strategisches Management  
matthias.graumann@hs-offenburg.de

---



**Prof. Dr. rer. pol. Achim Burkhardt**  
Fakultät B+W, Lehrgebiete: Marketing, Handelsmanagement, Marken- und Multichannel-Management  
achim.burkhardt@hs-offenburg.de

---



**Prof. Dr. rer. nat. Thomas Wenger**  
Fakultät B+W, Lehrgebiete: Finanzwirtschaft und quantitative Methoden im Risikomanagement von Unternehmen  
thomas.wenger@hs-offenburg.de

Referenzen/References:

Eisenführ, F./Weber, M./Langer, T. (2010): Rationales Entscheiden, 5. Aufl., Berlin

Graumann, M. (2010): Gesellschaftsrechtliche Anforderungen an die Informationsgrundlage unternehmerischer Entscheidungen – Versuch einer Konkretisierung unter Einbeziehung betriebswirtschaftlicher Erkenntnisse. In: Corporate Compliance Zeitschrift, 3. Jg., S. 222-228

Luhmann, N. (1997): Die Gesellschaft der Gesellschaft, 2 Bände, Frankfurt am Main

Malik, F. (2007): Management – Das A und O des Handwerks, Frankfurt am Main u.a.

Nitzsch, R. von (2017): Entscheidungslehre, 9. Aufl., Stuttgart

Porter, M.E. (2000): Wettbewerbsvorteile – Spitzenleistungen erreichen und behaupten, 6. Aufl., Frankfurt am Main.

Schreyögg, G./Koch, J. (2020): Management – Grundlagen der Unternehmensführung, 8. Aufl., Wiesbaden

Weber, H.K. (1980): Zum System produktiver Faktoren. In: Zeitschrift für betriebswirtschaftliche Forschung, 32. Jg., S. 1056-1071

Wendt, T./Manhart, S. (2020): Digital Decision Making als Entscheidung, nicht zu entscheiden. In: Arbeit, 29. Jg., S. 143-160

# Nutzerbedürfnisse erforscht: Was erwarten User vom neuen HSO-Intranet?

Christina Miclau M.A., Luisa Herzog M.A., Prof. Dr. rer. oec. Andrea Müller

Als Hochschule wird es zunehmend schwieriger, alle Zielgruppen gleichermaßen zu erreichen. Allgemeine Probleme wie Informationsüberlastung, zahlreiche Institutionen mit denselben Schwerpunkten oder Multi-Channel-Kommunikation erschweren es, die Aufmerksamkeit der Zielgruppe zu gewinnen. Dieser Beitrag ist viergeteilt: Sie erhalten einen Überblick über den Stand der Technik und die Bedeutung der Studie, auf deren Grundlage der Ansatz der User Experience Analyse beleuchtet wird. Zu Beginn der Untersuchung erfolgte im Zuge einer Expertenevaluation die Identifikation der Irritationen zur Verifikation durch die Zielgruppen im Rahmen der Tests. Schließlich konnten auf Basis der Ergebnisse Handlungsempfehlungen zur Verbesserung der User Experience (UX) ausgesprochen werden, die für die Konzeption eines Intranets umsetzbar sind.

*As a university it is more and more difficult to reach all target groups equally. Common problems like information overload, numerous institutions with same focuses or multi-channel-communication make it hard to gain the attention of the target group. This paper is four-fold: we present an overview of the state of art and the importance of the study, based on which we highlight the approach to user experience analysis. First, we identified the irritations in the course of an expert evaluation and verified them within the test, including the target groups. Finally, based on the results, we were able to provide recommendations for action to improve the user experience (UX) and to be used for the conception of an intranet.*

## Relevanz interaktiver Kommunikationsplattformen

Ähnlich zu Unternehmen ist eine Website das digitale Aushängeschild einer öffentlichen Bildungseinrichtung. Deshalb ist es unerlässlich, die Online-Präsenz auf ihre Sinnhaftigkeit, ihr Design und ihre Interaktion hin zu überprüfen, um das Nutzererlebnis zu bewerten. Die zentrale Herausforderung bei der Inszenierung des Nutzererlebnisses besteht darin, die vielen verschiedenen Zielgruppen einer Hochschule anzusprechen und ihre spezifischen Bedürfnisse zu ermitteln.

Interaktive Medien gewinnen im Zuge der Digitalisierung und der Globalisierung an Bedeutung, da sie eine zeit- und ortsunabhängige Kommunikation ermöglichen. Dieser Aspekt hat sich auch während der Covid-19-Pandemie als vorteilhaft erwiesen [1]. Menschen möchten vernetzt und erreichbar sein, was auch die „Megatrends der globalen Gesellschaft“ des Jahres 2020 zeigen: Individualität, Wissenskultur, Konnektivität, New Work, Globalisierung und die daraus resultierende höhere Vergleichbarkeit

der unterschiedlichen Informationsangebote [2]. Auch bei der internen Kommunikation von Unternehmen nimmt die Relevanz einer barrierefreien Interaktion zu. In vielen Unternehmen bildet das Intranet bereits den zentralen Dreh- und Angelpunkt für einen bereichsübergreifenden Austausch zwischen den Mitarbeiter\*innen. Dabei ist jede einzelne Nutzungserfahrung durch Emotionen und das Erleben der Schnittstelle geprägt [3].

Im Rahmen der aktuellen Forschungsaktivität im Customer Experience Tracking-Labor werden folgende Fragen zur Beurteilung der Inhalte und Notwendigkeiten eines Intranets für Hochschulen näher betrachtet: Welche Erwartungen werden von den verschiedenen Zielgruppen an die nach extern gerichtete Website einer Hochschule gestellt? Wie wird die Interaktion mit der Website nach der Nutzung bewertet? Welche Bereiche der nach extern orientierten Hochschulwebsite weisen aktuell Irritationen auf? Wie können diese verbessert werden? Wie sollte eine Intranetpräsentation unter Berücksichtigung dieser Forschungsergebnisse strukturiert und gestaltet werden?

Um diese Fragen beantworten zu können, ist ein Verständnis über die Zielgruppe, das Verfahren zur Untersuchung der User Experience und die Bewertung der Relevanz einer Intranet-plattform aus Sicht der Nutzenden essenziell.

### Neue Webpräsentation der HSO – eine qualitative Studie

Für die qualitative Untersuchung der neu gestalteten Website der Hochschule Offenburg kam das Customer Experience Tracking-Verfahren (CXT) zur Anwendung. Dabei handelt es sich um ein mehrstufiges, modulares und skalierbares Verfahren zur Untersuchung von Nutzererlebnissen im Marketingkontext. Hier ist nicht nur die reine Usability – also die Funktionalität der Anwendung – relevant, sondern die gesamte User Experience – Erwartungen, Interaktionserlebnis und reflektierte Erfahrungen [4]. Diese „Empfindungen“ gewinnen im Zusammenhang mit interaktiven, vernetzten Systemen zunehmend an Relevanz und stellen einen wichtigen Faktor für die Entscheidungen der Nutzer\*innen dar [5].

„Die User Experience umfasst sämtliche Emotionen, Vorstellungen, Vorlieben, Wahrnehmungen, Wohlbefinden oder Unbehagen, Verhaltensweisen und Leistungen, die sich vor, während und nach der Nutzung ergeben“ [6]. Die User Experience bildet somit eine wesentliche Stellgröße zur Optimierung von interaktiven Systemen, weil sie darüber entscheidet, ob eine Leistung akzeptiert und in Zukunft erneut genutzt wird oder nicht [4].

Um ein positives Erlebnis der Nutzer\*innen sicherstellen zu können, gilt es herauszufinden, welche Bedürfnisse die Zielgruppen haben. Die wahrgenommenen Eindrücke sind in einem hohen Maße individuell, weshalb zunächst durch Expert\*innen alle negativ beeinflussenden Aspekte einer interaktiven Anwendung identifiziert werden, bevor Nutzer\*innen diese testen. Das CXT-Verfahren besteht aus zwei Phasen: zum einen einer expertenbasierten Analyse und zum anderen einer nutzerbasierten Analyse. Bei der expertenbasierten Analyse werden zunächst alle offensichtlichen Probleme bei der Interaktion mit einer Anwendung durch versierte Forscher\*innen aufgedeckt. Hierzu gehören zum Beispiel Aspekte einer schlechten Bedienbarkeit eines Produkts (Usability), aber auch Frustrationen, die durch das Design oder eine Nutzungserfahrung (Look and Feel) hervorgerufen werden können [7].

Nutzerbasierte Analysen sind zur Ermittlung aller anderen spezifischen Irritationen bei der Zielgruppe und zur Überprüfung der bereits in der expertenbasierten Analyse identifizierten „Fehler“ erforderlich [7]. Die Informationen werden direkt von den Nutzer\*innen der Anwendung gewonnen und besitzen eine hohe Relevanz für die Untersuchung der User Experience einer Leistung. Besonders interessant sind hier die individuellen Motive und Meinungen, die mit verschiedenen Erhebungstechniken in Erfahrung gebracht werden können [8]. Aufgrund dieser Verknüpfung der verschiedenen Sichtweisen stellen kombinierte Analysen eine zielführende Methode dar.

Im Rahmen der vorliegenden Untersuchung wurden deshalb Instrumente wie AttrakDiff, Eye Tracking, Mimikanalyse, Think Aloud und qualitative Interviews verwendet. Diese werden anhand der Tabelle 1 näher erläutert:

Tab. 1: Eingesetzte Instrumente bei der Customer Experience Tracking-Untersuchung

Instrument	Erklärung
AttrakDiff	•qualitative Erhebung der subjektiv wahrgenommenen Bedienbarkeit und des Aussehens eines Produkts mittels Online-Fragebogen [9]
EyeTracking	•Blickverlaufsmessung mit Infrarotlicht sowohl stationär als auch mobil einsetzbar [10]
Mimikanalyse	•wesentliches Merkmal für das Erleben einer Emotion[4] •Modell „Facial Action Coding System“ (FACS) nach Ekman, mit 44 Action Units, das heißt 44 spezifischen Muskelbewegungen im Gesicht, zur Erkennung der Emotionen [11]
Think Aloud	•Testpersonen beschreiben subjektive Gedanken und Handlungen während des Testings [12]
Interviews	•ermöglichen einen ganzheitlichen Einblick in die Gedanken und Werte der Testperson •Nutzer*innen werden aktiv zu Funktionen der Leistung, jedoch auch zu ihren subjektiven Erlebnissen befragt [8]

AttrakDiff wird als Fragebogeninstrument jeweils vor und nach der konkreten Nutzungserfahrung von den Testpersonen ausgefüllt, um die Erwartung vor und die Erfahrung nach der Nutzung anhand der Skala eines semantischen Differenzials bewerten zu lassen. Während der Nutzung werden die Augenbewegungen der Nutzer\*innen durch Eye Tracking, die emotionalen Rückmeldungen mit einem Instrument der Mimikanalyse und die Äußerungen der Testpersonen durch Think Aloud und Interview erfasst.

## Intranet Hochschule – umfangreicher Content für Spezialist\*innen

Die durch das CXT-Verfahren eruierten Erwartungen, Interaktionserlebnisse und reflektierten Erfahrungen der Nutzer\*innen sollen das Fundament für die Konzeption der Intranet-Website der Hochschule bilden. Neben anderen internen digitalen Kommunikationskanälen wie E-Mail, Social Media, Apps oder Blogs ist insbesondere das Intranet ein zentrales Instrument, Informationen in einer Institution zur Verfügung zu stellen [1].

Im ersten Schritt der vorliegenden Untersuchung wird gezeigt, welche Anforderungen die Nutzenden an das hochschuleigene Intranet stellen. Gleichzeitig wird verdeutlicht, welche Bedeutung dieser Plattform aus Sicht der Nutzer\*innen zukommt und wie bewährte Gestaltungselemente und Prinzipien in Einsatz kommen sollten. Zur Ableitung relevanter Handlungsempfehlungen für die Konzeption einer Intranet-Website werden die Erwartungen der Zielgruppen, deren Bewertungen der Erfahrungen nach dem Test und die identifizierten Irritationen als Grundlage herangezogen. Ziel ist die Bestimmung von Rahmenbedingungen wie Funktion, Design und Nutzungskontext, um ein nutzerzentriertes Intranet anbieten zu können.

Die Ergebnisse zeigen, dass eine zentrale Herausforderung der Hochschule in der bestmöglichen Erfüllung der Bedürfnisse verschiedener Zielgruppen besteht. Die Erkenntnisse der Studie basieren auf der untersuchten zentralen neuen hochschuleigenen Homepage. Einige Zielgruppen benötigen die Homepage für ihren Alltag (Vorlesungspläne, Moodle, Bibliothek, Webmail), andere nutzen sie für die Gewinnung von Informationen als externe Interessierte. Diese Untersuchung zeigt, dass für die Hochschulangehörigen eine eigenständige, selbsterklärende Schnittstelle für sämtliche alltägliche Anwendungen benötigt wird.

## Zusammengefasst – Ergebnisse der Untersuchung

Die Onlinebefragung durch AttrakDiff, die die wahrgenommene hedonische und pragmatische Qualität der Testpersonen gegenübergestellt und deren Bewertung entweder einem überflüssigen, neutralen oder begehrten Bereich zugeordnet werden kann, zeigte ein positives Ergebnis aller vier Testgruppen. Das Portfolio, das widerspiegelt, ob die Testgruppe die hedonische und pragmatische

Qualität als gleichermaßen erfüllt ansieht oder ob die Homepage als zu selbstorientiert (HQ) oder zu handlungsorientiert (PQ) wahrgenommen wird, wies darauf hin, dass eine Einordnung der untersuchten Webseite im Bereich „begehrt“ erfolgte. Die beiden Qualitäten wurden somit als ausgeglichen eingestuft.

Bei einem Vergleich der Testgruppen-Portfolios fällt dagegen das Ergebnis der Studierenden anderer Hochschulen auf, das eine deutlich stärkere Streuung besitzt. Hierbei lässt sich feststellen, dass die Proband\*innen dieser Testgruppe eine differenzierte Meinung zur Homepage aufwiesen als die anderen Testgruppen.

Die Wahrnehmung der untersuchten Webseite war von allen Nutzergruppen positiv und wurde als übersichtlich, modern und dezent in ihrer Darstellung beschrieben. Zudem gefiel neben der Übersichtlichkeit der Kategorien auch die schnelle Zielerreichung, gekennzeichnet durch das Tätigen nur weniger Klicks, was eine einfache sowie zielgerichtete Navigation ermöglicht. Die Verwendung von Bildern und Darstellungen wie große Kacheln und Cluster tragen zu einem angenehmen Wohlbefinden bei. Diese dezente Darstellung wurde jedoch nicht von allen Proband\*innen positiv eingestuft. So erwähnten einige Personen, dass die Webseite an manchen Stellen zu dezent gestaltet war und sich einzelne Überschriften nicht eindeutig bemerkbar hervorheben. Andere merkten bei dem Gesamturteil an, dass die Webseite „nichts Besonderes“ sei und sich nicht wesentlich von anderen Hochschul- und Universitätswebseiten abgrenze. Wichtig sei überdies ein einheitliches und authentisches Gesamtbild der Bilder sowie ein harmonisches Zusammenspiel von Layout und Dimensionierung.

Alle Testpersonen gaben an, sich bis auf einige Irritationen gut auf der Webseite zurechtgefunden zu haben. Neben Nachfragen zu einzelnen Irritationen wurden die Testpersonen gebeten, die untersuchte Hochschule in drei Worten auf Basis ihrer Erfahrungen und Eindrücke zu beschreiben (Abbildung 1), die die aktuelle Wirkung der Hochschule bei den Testpersonen zeigen.



Abb. 1:  
Wortwolke zur Wirkung der Hochschule

Innerhalb des Interviews konnten darüber hinaus zusätzliche Informationen und mögliche Übertragungspunkte der Webseite auf das Intranetkonzept besprochen werden. Hierbei ließ sich eine zweiseitige Meinungshaltung zum Angebot eines Intranets feststellen. Einige Testpersonen erachteten eine vernetzende Plattform als zentralen Ort zur Abwicklung sämtlicher Angelegenheiten an einer Stelle kommuniziert und abrufbar als sinnvoll, wie regelmäßige News, Zugänge zu anderen Plattformen, hochgeladene Dokumente von Dozent\*innen, Stellen und Studierendenjobs. Auch würde so der bestehenden Mail-Flut entgegengewirkt werden. Allerdings sehen einige Proband\*innen das Risiko, dass ein Intranet nicht intensiv genug genutzt würde und somit die Vorteile unberücksichtigt blieben.

Auf Basis der Ergebnisse aus der Expertenevaluation und den nutzerzentrierten Analysen mit den Testpersonen können nun Handlungsempfehlungen in vier Themenbereiche eingeordnet werden. Die nachfolgende Abbildung 2 fasst diese grafisch zusammen:



Abb. 2: Die vier Themenbereiche für Handlungsempfehlungen zur Konzeption der Intranet-Anwendung der Hochschule Offenburg

## Corporate Identity

Für eine Hochschule ist es wichtig, dass Eigen- und Fremdbild bestmöglich übereinstimmen, um die angestrebten Ziele, wie zum Beispiel die Akquise neuer oder Information bestehender Studierender und Mitarbeiter\*innen, zu erreichen.

Bei der Gestaltung einer Intranet-Anwendung bedeutet dies, dass die publizierten Inhalte zu dem Wesen der Hochschule passen müssen und dass Standards, die im Leitbild kommuniziert werden, einzuhalten sind, wie zum Beispiel die Verwendung einer gendergerechten Sprache. Zudem sollte die Hochschule das Schema, das aus anderen interaktiven Anwendungen bekannt und etabliert ist, auch auf die Intranet-Inhalte übertragen [5].

## Zielgruppenspezifische Inhalte

Während des Interviews gaben die befragten Personen an, dass mit den Erwartungen der jeweiligen Zielgruppe korrespondierende Inhalte zentral sind, damit ein Intranet auch langfristig genutzt wird. Zudem sollten die Inhalte individualisierbar und übersichtlich sein.

## Standardisierung versus Individualisierung

Wo an einigen Stellen eine standardisierte Darstellung bevorzugt wurde, wünschten sich die Nutzer\*innen an anderen Stellen eine hohe Individualität. Eine Website sollte somit dem Nutzungskontext angepasst, inhaltlich und gestalterisch standardisiert beziehungsweise individualisiert erstellt sein.

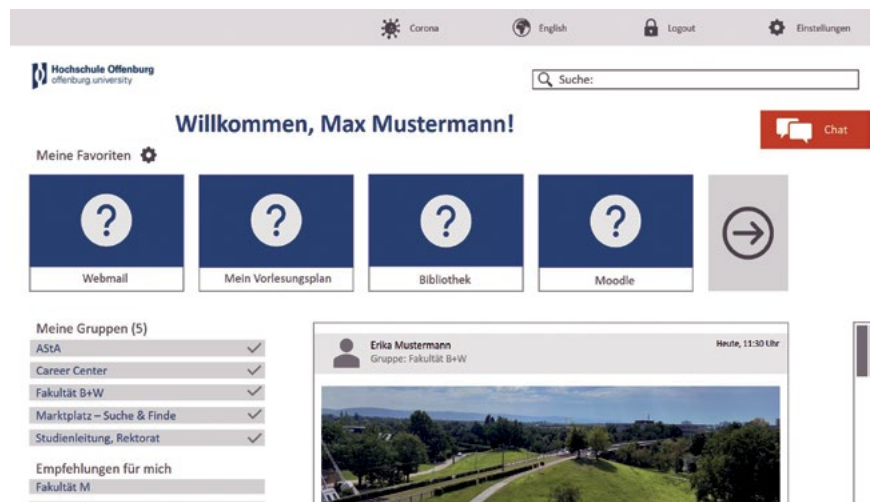
Zwar sind eine einheitliche Seitengestaltung und ein konsequentes Farbkonzept einzuhalten, gleichzeitig sollten insbesondere die Inhalte individuell anpassbar sein und sich somit an die individuellen Bedürfnisse der Nutzer\*innen personalisieren lassen.

## Navigation und Layout

Übersichtlichkeit und Einfachheit in Aufbau und Gestaltung, was von den Nutzergruppen präferiert wird, kann durch das Schaffen kurzer Navigationswege und weniger Kacheln mit den wichtigsten Funktionen beziehungsweise Inhalten erreicht werden. Ferner sind eine klare Abgrenzung der Inhalte, ein stimmiges Layout und eine korrekte und unverzerrte Darstellung der Bilder und Inhalte maßgeblich für die Zufriedenheit der User\*innen.

Basierend auf den vier Themenbereichen kann ein erster Entwurf wie folgt gestaltet sein:

Abb. 3: Entwurf einer Intranet-Startseite



## Zusammenfassung und Ausblick

Die vorliegende Untersuchung verdeutlicht die Bedeutung einer nutzerzentrierten Gestaltung von interaktiven Kommunikationsplattformen für Hochschulen in Baden-Württemberg.

Hochschulen befinden sich in einem zunehmend wettbewerbsgeprägten Umfeld, das neben Forschung und Lehre auch eine einzigartige Positionierung im Hochschulmarkt erfordert [13]. Auch spezifische Zielgruppenbedürfnisse sind mit der jeweiligen Internet- und Intranetpräsentation der Hochschule zu befriedigen. Eine nutzerorientierte Gestaltung ist ein wesentlicher Erfolgsfaktor für eine nachhaltige und intensive Nutzung der Intranet-Plattform [10].

Die Bereitstellung einer Intranet-Plattform hilft, Inhalte für Hochschulangehörige strukturiert und personalisiert darzustellen und interne Prozesse mit spezifischen Informationen effektiv und effizient zu unterstützen [1].

Zentrale Informationseinheiten müssen in Zeiten von Schnelllebigkeit und ständiger Veränderungen in einen dynamischen Prozess kontinuierlich optimiert werden, weshalb auch das Intranet einer Hochschule regelmäßig zu überprüfen ist. „Das letzte Wort haben immer die [Nutzer\*innen], was sie nicht akzeptieren, ist nicht erfolgreich“ [14].

### AUTORINNEN



**Christina Miclau M.A.**  
Wissenschaftliche Mitarbeiterin,  
Technische Leitung des Labors  
„Customer Experience Tracking“  
christina.miclau@hs-offenburg.de



**Luisa Herzog M.A.**  
Ehem. Masterandin im Studiengang  
Betriebswirtschaft  
lherzog@stud.hs-offenburg.de



**Prof. Dr. rer. oec. Andrea Müller**  
Fakultät B+W, Leiterin des Labors  
„Customer Experience Tracking“  
andrea.mueller@hs-offenburg.de

### Referenzen/References:

- (1) Engelhardt, K. (2020a): Erfolgreiche Interne Kommunikation im Digital Workplace. Basics und Tools. Social Intranet, Mitarbeiter-App, Mitarbeitermagazin, Wiesbaden
- (2) Deutsches Zukunftsinstitut (2020): Die Megatrends, URL: <https://www.zukunftsinstitut.de/dossier/megatrends/>, Zugriff am: 18.10.2021
- (3) Thüring, M. (2013): Nutzererleben – Komponenten, Phasen, Phänomene. In: Boll, S./Maaß, S./Malaka, R. (Hrsg.): Mensch & Computer 2013 – Workshopband, 13, fachübergreifende Konferenz für interaktive und kooperative Medien. München, S. 113-120
- (4) Müller, A./Gast, O. (2014): Customer-Experience-Tracking – Online-Kunden conversion-wirksame Erlebnisse bieten durch gezieltes Emotionsmanagement. In: Keuper, F./Schmidt, D./Schomann, M. (Hrsg.): Smart Big Data Management. Berlin, S. 313-343
- (5) Meffert, H./Burmans, C./Kirchgeorg, M./Eisenbeiß, M. (2019): Marketing. Grundlagen marktorientierter Unternehmensführung, 13. Aufl., Wiesbaden
- (6) DIN EN ISO 9241-210 (2020): Ergonomie der Mensch-System-Interaktion - Teil 210: Menschenzentrierte Gestaltung interaktiver Systeme (ISO 9241-210). Deutsche Fassung EN ISO 9241-210: 2020. Berlin: DIN Deutsches Institut für Normung e.V.
- (7) Rahn, J. (2010): Usability und User Experience, Universität Ulm, URL: <https://docplayer.org/4972908-Johannes-rahn-29-07-2010->

- [usability-und-user-experience.html](#), Zugriff am: 13.10.2021
- (8) Thommen, J.-P./Achleitner, A.-K./Gilbert D. U./Hachmeister, D./Jarchow, S./Kaiser, G. (2020): Allgemeine Betriebswirtschaftslehre. Umfassende Einführung aus managementorientierter Sicht, 9. Aufl., Wiesbaden
- (9) User Interface Design GmbH (2021): AttrakDiff, URL: <http://www.attrakdiff.de>, Zugriff am: 17.10.2021
- (10) Sarodnick, F./Brau, H. (2016): Methoden der Usability Evaluation. Wissenschaftliche Grundlagen und praktische Anwendungen, 3. Aufl., Bern
- (11) Ekman, P./Friesen, W. V./Hager, J. C. (2002): Facial Action Coding System. Investigator's Guide, Salt Lake City
- (12) Peute, L. W. P./De Keizer, N. F./Jaspers, M. W. M. (2015): The Value of Retrospective and Concurrent Think Aloud in formative usability testing of a physician data query tool. In: Journal of Biomedical Informatics, Vol. 55, S. 1-10
- (13) Schreiterer, U. (2014): Hochschulen im Wettbewerb. Mehr Markt, mehr Freiheit, mehr Unübersichtlichkeit, Bundeszentrale für politische Bildung (BpB), URL: <https://www.bpb.de/gesellschaft/bildung/zukunft-bildung/185865/hochschulen-im-wettbewerb>, Zugriff am: 21.10.2021
- (14) Jacobsen, J./Meyer, L. (2019): Praxisbuch Usability und UX: Bewährte Usability und UX-Methoden praxisnah erklärt, 2. Aufl., Bonn

# Die Notwendigkeit interdisziplinären Projektmanagements beGreifen

Prof. Dr.-Ing. Steffen Rietz, Dipl.-Ing. Falk Steinhoff

Prozesse, Methoden und Werkzeuge des Projektmanagements sind inzwischen zur Kernkompetenz jedes Berufseinsteigers geworden. Oftmals wird mehr als 50 Prozent des Unternehmensumsatzes durch Projekte erwirtschaftet [1]. Diesen Stellenwert sollte die Vermittlung der Grundlagen professioneller Projektarbeit auch in Schulen, Berufsschulen und Hochschulen haben. In einem Kooperationsprojekt wurde nun ein wesentlicher Beitrag dazu geleistet.

*Processes, methods and tools of project management are core competences for job beginners. Today nearly 50 percent of business volume are realized in projects [1]. So we need an adequate weight for learning and training of basics of professional project management at schools, high schools, universities and every kind of job preparation. In a current cooperation project to optimise the project management education the faculty set a significant input to optimize it.*

Sehr viele, nicht nur erfahrene, auch junge Berufstätige arbeiten in Projekten. Immer häufiger müssen Projekte geplant oder eigenverantwortlich geführt werden. Die Sensibilisierung für Projektarbeit ist in der deutschen Wirtschaft recht hoch. Öffentliche Bauprojekte wie die Elbphilharmonie und Stuttgart 21 bekommen eine entsprechende mediale Aufmerksamkeit. Insbesondere der Hauptstadtflughafen BER gehört nicht nur zu den am schlechtesten geplanten und gesteuerten, sondern auch zu den am besten analysierten Großprojekten in Europa. Die GPM, Deutsche Gesellschaft für Projektmanagement, greift diese Themen auf und sensibilisiert fortlaufend junge Menschen in der Ausbildung für die Notwendigkeit professioneller, interdisziplinärer Projektarbeit.

Auch die Fakultät B+W der Hochschule Offenburg bringt sich in dieses Thema ein. Projektmanagement ist in allen Studiengängen verankert, überwiegend im Pflichtteil des Curriculums, teilweise ergänzt um Internationales oder Multiprojektmanagement. Gemeinsam mit der GPM und der MSPM, der ersten konsequent auf das Projektmanagement ausgerichteten Stiftung in Deutschland wird zunächst analysiert, was in der Projektmanagementausbildung verändert, verbessert, ergänzt werden muss - sowohl in der berufsbegleitenden Weiterbildung als auch in der Grundausbildung für junge Menschen [2]:

- Wissensvermittlung in Vortragsform ist wenig hilfreich, sogar kontraproduktiv. Projektarbeit ist geprägt vom Agieren und Entschei-

den. Beides wird nicht durch Zuhören erlernt.

- Learning by Doing – schafft Erlebnisse und nachhaltigen Erkenntnisgewinn, erzeugt aber oft auch eine Kette vieler kleiner, teurer, demotivierender Misserfolge. Gruppenarbeit, um eine Planungskomponente zu ergänzen und die so entstandene Projektarbeit zur Vermittlung von Planungsmethoden zu nutzen, ist alleinig nicht ausreichend.
- Für große, komplexe Projekte zu Übungszwecken fehlt häufig Zeit und Geld. So werden oft Teilaspekte unter simulierten Randbedingungen herausgegriffen, was den Projektumfang handhabbar macht, aber den wichtigen Gesamtüberblick vermissen lässt. Komplexität wird so lange reduziert, bis der Umgang mit ihr nicht mehr realistisch trainiert werden kann.
- Begrenzte Projektumfänge zu Trainingszwecken erzielen selten den gewünschten Trainingseffekt. Mini-Projekte sind oft intuitiv überschaubar, daher wird intuitiv (oder gar nicht) geplant. Nachsteuerungen und Iterationsschleifen werden so klein, dass diese sehr gut mit Überstunden aufgefangen werden können. Das Gleiche gilt für Investitionen. Fehlinvestierte Kleinstbudgets können durch privates Geld ausgeglichen werden. Beide Methoden - abends einfach etwas länger arbeiten und fehlendes Geld aus dem privaten Portemonnaie entnehmen - funktionieren aber nur in simulierten Kleinstprojekten und sind nicht auf mittlere und große Projekte im Berufsalltag übertragbar.
- Beliebte sind Kleinprojekte in realem Anwendungskontext (zum Beispiel Erstellung einer



Homepage für den regionalen Sportverein). Vorteilhaft ist die notwendige Auseinandersetzung mit sozialen und juristischen Aspekten, die in simulierter Umgebung oft ohne ernste Konsequenzen vergessen werden. Mit sinkendem Projektumfang steigt aber die Bedeutung fachlicher Expertise. (Bei der Erstellung kleiner Homepages überzeugen nicht zwangsläufig die Projektmanagementexperten, sondern häufig die Programmierer.)

Was ist also zu tun, um in angemessener kurzer Zeit Wissen, vor allem früh Erfahrungswissen aufzubauen [2]?

1. Das Projektmanagement muss Lerninhalt und Lernmethode zu gleich sein.
2. Erfolgskritisch ist eine angemessene Komplexität, sodass interdisziplinäre Projektplanung und -steuerung für den Projekterfolg notwendig sind, aber das Gesamtprojekt in angemessener Zeit mit angemessenem Budget realisierbar bleibt.
3. Unterstützend wirkt, wenn etwas Gegenständliches entsteht, sodass die Projektgruppe in einer Realisierungs- oder zumindest Prototypenphase mit der eigenen Planungsqualität konfrontiert wird. (Entstandene Objekte können wiederum als Exponate genutzt werden, die zum Beispiel technische Zusammenhänge, aber auch Projektarbeit visualisieren, erlebbar und beGreifbar machen.)

In Zusammenarbeit mit der GPM und unterstützt durch die MSPM-Stiftung wird daher ein erfahrungsbasiertes Ausbildungskonzept pilotiert, das sich sowohl in der Erstausbildung als auch in der betrieblichen Weiterbildung umsetzen lässt. Nachfolgend dazu die ersten Beispiele und Ergebnisse.

## Falcon 9 von SpaceX

2005 vermeldete die von Elon Musk gegründete SpaceX, eine wiederverwendbare Trägerrakete zu entwickeln. Inzwischen ist die Falcon 9 bereits mehrfach für den Transport von Menschen und Nutzlast bis 10 Tonnen zum Einsatz gekommen und hat so die zeit- und kostensparende Methode der modularen Wieder- und Weiterverwendung auch in die Luft- und Raumfahrt übertragen. Sehr gut nachvollziehbar wird in einer Folge mehrerer Entwicklungs- und Optimierungsprojekte die kontinuierliche Produktverbesserung. Ebenso wird die Komplexität des gesamten Themas durch die Einbettung jedes einzelnen Projektes in das Gesamtprogramm deutlich. Es gilt nicht nur Trägerraketen zu entwickeln, sondern auch

Astronauten abgestimmt auszubilden und die gesamte Planung, Überwachung und Logistik rund um die einzelnen Raumfahrtmissionen abzustimmen – vom Transport international genutzter Satelliten bis hin zur bemannten Marsmission. Auch wenn alle Beteiligten am amerikanischen Luft- und Raumfahrtprogramm sich mit konkreten Zahlen bedeckt halten, kann grob kalkuliert werden, dass die Falcon 9 (Herstellungskosten etwa 50 Millionen US Dollar, Verkaufspreis etwa 62 Millionen US Dollar) deutlich günstiger als bisherige NASA-Raketen sind (Verkaufspreis ungefähr 152 Millionen US Dollar), wobei die Wiederverwendbarkeit (Aufbereitung für den Zweitstart = in etwa 15 Millionen US Dollar) noch nicht einberechnet ist [3].

Der langfristige Lerneffekt aus solchen Beispielen steigt nochmals mit der persönlichen Identifikation jedes Einzelnen mit dem Thema, das heißt indem man selbst eine solche Falcon 9 baut. Besonders deutlich wird der konventionell planbasierte Ansatz für das Gesamtprojekt verbunden mit agilem Reagieren und Handeln in den Prototypen- und Erprobungsphasen des Projektes. Der modulare 3D-Druck der 75 Einzelteile in 12 Druckläufen dauert nahezu 100 Stunden und kostet ungefähr 50 bis 70 Euro. Trotz der Wiederverwendbarkeit der Entwicklungsergebnisse (Erstellung der Druckdateien) ergeben sich Iterationsschleifen durch Produkt- und Produktionstests und inklusive der daraus resultierenden Maßnahmen zur Qualitätssicherung eine Projektlaufzeit von weniger als drei Monaten.

Abb. 1:  
Die Falcon 9 aus dem 3D-Drucker im Maßstab 1:62 (links) im Vergleich zur echten Falcon 9 (rechts, [3])

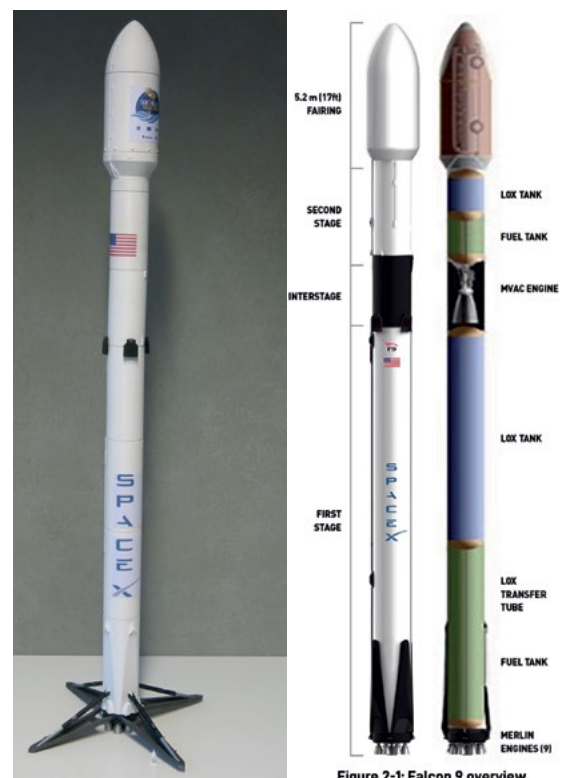


Figure 2-1: Falcon 9 overview

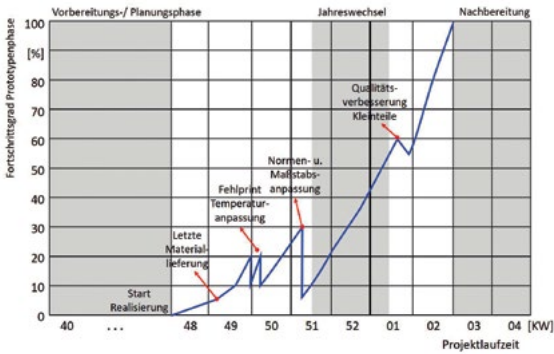


Abb. 2 (li): Projektbegleitende Fortschrittsgradmessung im 3D-Druck der Falcon 9 – Quantifizierung der Erfolge und Rückschläge als Basis der Plananpassung

## Eventmanagement

Eine ganz andere Projektcharakteristik ergibt sich, wenn nicht gegenständliche Produkte entwickelt werden (Fokus auf dem Anforderungs-, Konfigurations- und Änderungsmanagement), sondern Events geplant und Erlebnisse geschaffen werden sollen (Fokus beispielsweise auf dem Stakeholdermanagement). Welche Komplexität aus der Planung und Durchführung auch kurzer Veranstaltungen entsteht, zeigt die eintägige Love Parade in Duisburg 2010. In Erinnerung bleiben einzig die 21 Todesopfer und annähernd 650 zum Teil Schwerverletzten. Als 10 Jahre nach der Tragödie die Verjährungsfrist für die angeklagten Veranstalter und Sicherheitskräfte ausläuft, endet auch das Verfahren ergebnislos mit Hinweis auf ´multikausale Zusammenhänge´, in denen keine individuelle Schuld festgestellt werden könne. Umso wichtiger ist es, frühzeitig und detailliert nicht nur der Absicherung von Spaß und guter Laune viel Aufmerksamkeit zu schenken, sondern Projekte im Eventmanagement rund um gesetzliche Anforderungen, Sicherheitsmaßnahmen, Stakeholder- und Risikomanagement aufzubauen.

Auch hier wird in physisch aufgebauten Modellen nachvollzogen, welche Einzelanforderungen wie, wann und durch wen zu berücksichtigen sind und welchen potenziellen Risiken sich die Projekt- und Veranstaltungsleitung respektive Betreiber von Eventlocations mit hoher Priorität widmen sollten.



Abb. 3 (re): Modell einer Skipiste mit der Darstellung zahlreicher Aspekte des Risiko- und Stakeholdermanagements in der Planungs-, Errichtungs- und Betreiberphase



## Der Gotthard-Tunnel

Der Gotthard-Tunnel ermöglicht, zwischen dem Erstprojekt (Eisenbahntunnel, 1872-1882) und dem jüngeren Projekt (Gotthard-Basistunnel, 1999-2016) zu vergleichen. Die Realisierungszeit hat sich nur um etwa 70 Prozent verlängert, die Anzahl der beteiligten Mitarbeiter in der Realisierungsphase sogar auf ungefähr zwei Drittel verringert, obwohl sich die Tunnellänge auf das 10-fache erhöht hat. Obwohl der Tunneldurchschlag sogar sechs Monate vorfristig gelang, war die 11-jährige Bauzeit nur ein Teil der 17-jährigen Projektlaufzeit; dabei sind die Planungs-, Beantragungs- und internationalen Verhandlungsprozesse im Vorfeld noch nicht berücksichtigt. Arbeitssicherheit, soziale und Umweltaspekte haben heute einen sehr großen Stellenwert und waren beim ersten Eisenbahntunnel wenig bekannt oder zumindest nicht relevant, was bei anderen Baugroßprojekten (wie bei Staudämmen) noch viel deutlicher wird.

Martin Herrenknecht, Gründer und Vorstandsvorsitzender der gleichnamigen AG, sagt zu diesem Meilenstein der europäischen Verkehrspolitik „Dieses Projekt ist für mich ein Schlüsselprojekt. Ich bin froh, in der Königsklasse hier beim Tunnelbau am St. Gotthard tätig gewesen zu sein. Das ist ein Glücksgefühl, das kann man gar nicht beschreiben“ [4]. Für zukünftige Wirtschaftsingenieure der Hochschule Offenburg hat es einen besonderen Reiz, Projekte rund um die 3.000 Tonnen schweren High-Tech Giganten zu analysieren. Liegt doch der Hauptsitz des Technologieführers weniger

Abb. 4: 3D-Modell des Wembley-Stadions (verschiedenfarbige LEDs sensibilisieren für verschiedene Planungsaspekte beim Stadionbau und der Veranstaltungsplanung)

als 30 Kilometer von der Hochschule entfernt und verkörpert in besonderem Maße die Verbindung von technischem und kaufmännischem Know-how in internationalen Projekten.

### Der private Swimmingpool

Nicht zuletzt werden auch private Aktivitäten und Investitionen häufig in Form privater Projekte abgewickelt. Wer hat nicht gern einen eigenen Pool auf seinem Grundstück? Und wer soll die damit verbundenen Initial- und laufenden Kosten tragen? Auch hier gilt es im Detail zu kalkulieren, welche Arbeitsschritte und Investitionen nötig sind, und zu begreifen, wie der Projektaufwand mit den Kundenwünschen sprunghaft steigt. Auch Fragen von Eigenleistung und Fremdvergabe werden mit der Schaufel in der Hand und einem Bagger in den Gedanken sehr konkret quantifiziert. Wer den Planungs- und operativen Koordinationsaufwand und eigene Arbeit nicht scheut, kann wesentliche Bestandteile aus der mehrere 10.000 Euro umfassenden Gesamtkalkulation kostengünstiger realisieren. Zur Verdeutlichung einzelner Arbeitsschritte wird auch hier nicht nur dimensioniert und kalkuliert. Ergänzend werden viele Aspekte in einem Schnittmodell eines Pools visualisiert.



Abb. 6 (li): Maßstäbliches Schnittmodell eines Pools

Funktions- und Anschauungsmodelle verdeutlichen inzwischen nicht nur technische Zusammenhänge, sondern auch Produkt- und Prozesskomplexität, die sich unmittelbar in Projektkomplexität, also in Projektlaufzeit und -kosten, benötigten Ressourcen und Ähnlichem widerspiegeln. Wenn Projektmanagement nicht nur Arbeitsmethode, sondern auch Projektinhalt wird, ist der Lerneffekt deutlich höher, wird Erfahrungswissen noch deutlich vor der Berufstätigkeit aufgebaut und entstandene Exponate dienen gleichsam als Demonstratoren interdisziplinärer Projektarbeit für die nächste Generation.



Abb. 5: Ein Tablet mit einem selbst konzipierten Kurzfilm, eingelassen in das selbst modellierte Gotthard-Massiv, liefert die Fakten rund um die beiden visualisierten Tunnelbauprojekte einst und heute

Referenzen/References:

- [1] DIN e.V. (Hrsg.) „Projektmanagement“ (Taschenbuch 472) unter [www.din.de](http://www.din.de)
- [2] Abschlussbericht des Erfahrungsaustauschs von Hochschulvertretern mit der GPM-Fachgruppe Projekt- und Prozessmanagement und der MSPM-Stiftung
- [3] SpaceX „Falcon users guide“ (04/2020) unter [www.spacex.com/media/falcon\\_users\\_guide\\_042020.pdf](http://www.spacex.com/media/falcon_users_guide_042020.pdf)
- [4] “Gotthard Basistunnel” unter [www.youtube.com/watch?v=19YoTw8UL7o](http://www.youtube.com/watch?v=19YoTw8UL7o) © Herrenknecht AG

Fotos ohne Quellenangabe sind priv. Aufnahmen von Exponaten aus den Projektarbeiten künftiger Wirtschaftsingenieur\*innen und Wirtschaftsinformatiker\*innen im WS 2021/22

AUTOREN



Prof. Dr.-Ing. Steffen Rietz  
Fakultät B+W, Studiendekan für das MBA-Programm General Management  
[steffen.rietz@hs-offenburg.de](mailto:steffen.rietz@hs-offenburg.de)



Dipl.-Ing. Falk Steinhoff  
Fakultät B+W, Honorar-dozent und Forschungspartner, Senior Lean Expert  
Siemens Mobility GmbH  
[falk.steinhoff@siemens.com](mailto:falk.steinhoff@siemens.com)

# LogIKTram: Nachhaltiger straßenbahnbasierter Gütertransport

Lisa Fäßler M.Eng., Prof. Dr.-Ing. Ingo Dittrich, Prof. Dr.-Ing. Theo Lutz, Jonas Ziegler M.Sc.

Zunehmender städtischer und regionaler Güterverkehr belastet die Anwohner, Verkehrsteilnehmer und die Umwelt. Das Projekt LogIKTram verfolgt das Ziel, regionalen Güterverkehr von der Straße auf die Schiene zu verlagern und somit eine Entlastung zu erzielen. Diese Idee soll am Beispiel einer Gütertram in der Region Karlsruhe erprobt werden. Dafür entwickelt die Hochschule Offenburg unter anderem ein Logistikkonzept und ein Planungsmodell. Beides wird in einer IKT-Plattform umgesetzt.

*Increasing urban and regional freight traffic is a source of concern for local residents, road users and the environment. The LogIKTram project pursues the goal of shifting regional freight traffic from road to rail and thus achieving relief. This idea is to be tested using the example of a cargo tram in the Karlsruhe region. To this end, Offenburg University of Applied Sciences is developing, a logistics concept and a planning model. Both will be implemented in an ICT platform.*

## LogIKTram – Zukunft des urbanen Güterverkehrs?

Zunehmender Güterverkehr in urbanen und suburbanen Räumen belastet die Anwohner, Nutzer der Verkehrsinfrastruktur und die Umwelt [1, 2, 3]. Trotzdem wird innerstädtisch ein der Großteil der Transporte auf der Straße von Fahrzeugen mit konventionellen Antrieben durchgeführt [4, 5]. Die Fahrzeuge des Lieferverkehrs bedingen Emissionen, Lärm und einen stockenden Verkehr [6]. Um die Verkehrsinfrastruktur und die Umwelt von diesen negativen Auswirkungen zu entlasten, bedarf es in der Logistik neuer und nachhaltiger Konzepte.

Das Projekt LogIKTram verfolgt das Ziel, regionalen Güterverkehr von der Straße auf die Schiene zu verlagern. Die Betrachtung wird am Anwendungsfall der Stadt Karlsruhe sowie der über das Schienennetz angeschlossenen Umgebung durchgeführt. Um den schienenbasierten Transport im urbanen Umfeld zu realisieren, sollen Straßenbahnfahrzeuge zur Belieferung der Stadt und dem Abtransport von Waren und Retouren aus der Stadt genutzt werden. Die in der Region Karlsruhe bestehende Schieneninfrastruktur, in Form einer Zweisystemstadtbahn, bietet optimale Voraussetzungen, um die Region mit der Stadt zu verknüpfen. Die Zweisystemstadtbahn ist dafür ausgelegt, sowohl auf dem Schienennetz der Deutschen Bahn zu fahren als auch auf dem Straßennetz.

Um das Projektziel zu erreichen, entwickeln die Projektpartner im Projekt LogIKTram ein passendes Logistikkonzept mit Planungs- und Betreibermodell, einem Prototyp der Güter-

tram, einer IKT-Plattform zum Betrieb der Gütertram und verschiedenen Simulationsmodellen zur Bewertung des Gesamtkonzepts. Die Hochschule Offenburg verantwortet die Bearbeitung der logistischen Fragestellungen und die Umsetzung der Funktionalitäten der IKT-Plattform, die sich an Versender und Spediteure richten.

## Datengestützte Analyse von Transportbedarfen

Den Ausgangspunkt für die Entwicklung des Logistikkonzepts bildet die Analyse der Anwendungsfälle der potenziellen Nutzer einer Gütertram. Im Gegensatz zu bestehenden Konzepten [5, 7 - 11] sind die Anwendungsfälle im Projekt LogIKTram bewusst auf eine Vielzahl von unterschiedlichen Nutzern, wie beispielsweise Paketdienstleister, Stückgutspediteure und Lebensmittelhändler ausgelegt. Insgesamt wurden neun Anwendungsfälle analysiert.

Um den Transportbedarf besser abschätzen zu können, wurden Daten verschiedener möglicher Transportkunden analysiert, die Aufschluss über die Verteilung von Transportbedarfen im Stadtgebiet geben. Hierdurch kann im weiteren Projektverlauf die Auswahl der Umschlagplätze im Schienennetz unterstützt werden, die anschließend durch den Einsatz einer Simulation hinsichtlich der Auslastung von einzelnen Strecken und der Wirtschaftlichkeit des Gesamtsystems bewertet werden.

Auf dem Weg zu einer vielfältigen Nutzung spielt die Steuerung der logistischen Aktivitäten durch eine intelligente Plattform und

Gefördert durch:



Bundesministerium  
für Wirtschaft  
und Klimaschutz

aufgrund eines Beschlusses  
des Deutschen Bundestages

Danksagung

Das LogIKTram Projekt wird vom Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (Förderkennzeichen: 01ME20008D) gefördert. Wir danken der genannten Institution für die Bereitstellung der finanziellen Mittel.

ein zugrunde liegendes Planungsmodell eine entscheidende Rolle. Ein Planungsmodell (taktisch und operativ) bildet die Planungsschritte aufseiten der Akteure ab. Mit dem taktischen Planungsmodell kann neben der Transportplanung auch der Kundennutzen eines Gütertramports im Vergleich zu einem konventionellen Transport evaluiert werden. Das operative Planungsmodell bildet die Feinplanung der Transporte ab.

### Modulares Logistikkonzept für individuelle Transportdienstleistungen

Um die Transportlösung individuell auf die erhobenen Kundenbedürfnisse anzupassen, wurde ein modulares Logistikkonzept entwickelt. Durch die modulare Struktur des Konzeptes kann ein differenziertes Leistungsangebot geschaffen werden, welches dank eines Baukastenprinzips wirtschaftlich umzusetzen ist. Abbildung 1 stellt die Struktur des Logistikkonzeptes dar.

Die Transportdienstleistung lässt sich anhand der gegebenen Kundenanforderungen wie beispielsweise Bestimmungsort, Menge und Ankunftszeit aus den sechs Modulen konfigurieren. Die Lösungsmodul sind in Abbildung 1 rechts dargestellt. Somit kann je nach Kundenproblem ein Transport aus dem Lösungsraum konfiguriert werden, der den Kundenanforderungen bestmöglich entspricht. Nicht für jeden Transportvorgang müssen alle möglichen Kombinationen der Module ausgeschöpft werden.

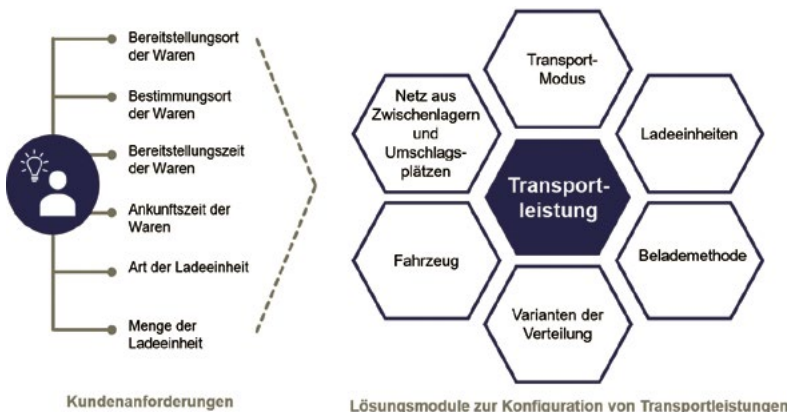


Abb. 1: Modulares Logistikkonzept Projekt LogIKTram

Beispielhaft für die Module des Logistikkonzeptes kann das Modul Transportmodus angeführt werden. Der Transportmodus beschreibt, in welcher Form Güter über das Personennetz transportiert werden. Abbildung 2 zeigt, dass in diesem Modul drei Varianten denkbar sind. Variante eins ist eine reine Güterstraßenbahn, die unabhängig vom Personenverkehr auf dem Straßennetz agiert. Variante zwei stellt ei-

nen gekoppelten Verband zweier Waggons aus Personenstraßenbahn und Güterstraßenbahn dar, der gemeinsam anhand der Personenlinien durch das Netz navigieren. Die Variante drei besteht aus einer gemischten Güter- und Personenstraßenbahn in einem Wagen. Auch für die anderen Module wurden Varianten definiert. Je nach gegebenen Kundenanforderungen aus dem entsprechenden Anwendungsfall kann aus den in den Modulen verfügbaren Varianten eine Kombination gebildet werden.

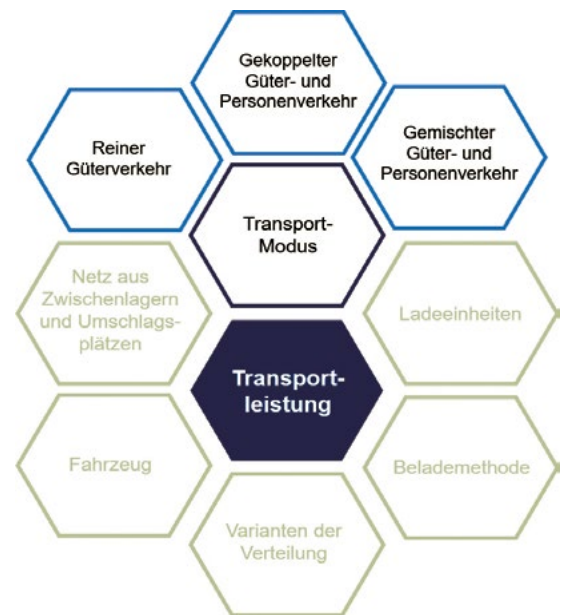


Abb. 2: Varianten im Modul Transportmodus

### IKT-Plattform als Bindeglied zwischen den Akteuren





In einem zweiten Entwicklungsschritt wird, basierend auf dem Logistikkonzept, dem Betreiber- und Planungsmodell eine Informations- und Kommunikationstechnologie-Plattform (IKT-Plattform) designt. Die IKT-Plattform dient dazu, die am System beteiligten Akteure zu orchestrieren und eine Transportplanung durchzuführen. Eine besondere Herausforderung besteht dabei in der Integration bestehender Systeme wie zur Betriebsteuerung der Straßenbahnen oder zur Simulation.

Um den benötigten Informationsaustausch sowie die Kooperation der Teilsysteme der Partner zu gewährleisten, mussten zunächst entsprechende Schnittstellen definiert werden. Zwar existieren in den Industriezweigen der Partner bereits Standards zur Datenübertragung wie die VDV 431 (Echtzeitverkehrsauskunft) [12] oder UN/EDIFACT (Format für elektronischen Datenaustausch im Geschäfts-

verkehr) [13] jedoch können einige dieser Standards aufgrund der Besonderheiten des intermodalen Transports nicht ohne Anpassungen verwendet werden. Aus diesem Grund wurde von der Hochschule zusammen mit den Projektpartnern, aufbauend auf den Ergebnissen von Freightwise [14], eine eigene Schnittstelle entwickelt, die zwischen der IKT-Plattform und möglichen Transportkunden verwendet werden soll. Diese zeichnet sich gegenüber UN/EDIFACT durch eine geringere Komplexität in der Struktur aus und ermöglicht darüber hinaus eine einfache Planung ohne den Transportnutzer mit der gestiegenen Komplexität im intermodalen Transport durch feste Transportverbindungen oder Fahrpläne zu belasten.

### Ausblick

Im weiteren Projektverlauf werden das Logistikkonzept und das Planungsmodell iterativ weiterentwickelt und verfeinert. Zudem werden ein Betreibermodell und ein Prototyp der IKT-Plattform entwickelt und getestet. Für Studierende bietet das Projekt die Möglichkeit, sich über Abschlussarbeiten, Projektseminare sowie hilfswissenschaftliche Stellen einzubringen. Darüber hinaus wird in der restlichen Projektlaufzeit ein LogIKTram- Demonstrator entwickelt, der zur Präsentation für interessierte Studierende sowie Wirtschaftsvertretern dient.

AUTOREN	
	<p><b>Lisa Fäßler M.Eng.</b>                      Akademische Mitarbeiterin Fakultät B+W,                      Projekt LogIKTram                      lisa.faessler@hs-offenburg.de</p>
	<p><b>Prof. Dr.-Ing. Ingo Dittrich</b>                      Fakultät B+W, Spedition, Transport und                      Verkehr, Lager- und Distributionslogistik,                      Qualitätsmanagement                      ingo.dittrich@hs-offenburg.de</p>
	<p><b>Prof. Dr.-Ing. Theo Lutz</b>                      Fakultät B+W, IMLA,                      Betriebliche Informationssysteme,                      Informationsmanagement                      theo.lutz@hs-offenburg.de</p>
	<p><b>Jonas Ziegler M.Sc.</b>                      Akademischer Mitarbeiter Fakultät B+W,                      Projekt LogIKTram                      jonas.ziegler@hs-offenburg.de</p>

### Projektpartner

Das Projekt ist ein Verbundvorhaben der Hochschule Offenburg und ihrer Konsortialpartner, die Albtal-Verkehrs-Gesellschaft mbH (AVG) als Konsortialführung, das Karlsruher Institut für Technologie (KIT), DB Engineering & Consulting GmbH, das Forschungszentrum Informatik (FZI) sowie die Unternehmen MARLO Consultants GmbH, SimPlan AG, Innovation in traffic systems SE (INIT) und Thales Deutschland. Das Projekt ist auf drei Jahre ausgelegt und soll in einer prototypischen Implementierung der Gütertram und ihrer Plattform münden.

#### 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: Technische u. betriebswirtschaftliche Aspekte, H. Proff u. T. M. Fojcik, Hg., Wiesbaden: Springer Fachmedien, S. 443–458, 2017

[2] M. Zych, „Identification of Potential Implementation of the Cargo Tram in Warsaw: A First Overview“, Procedia - Social and Behavioral Sciences, Jg. 41, S. 360–369, 2014

[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

[4] Allianz pro Schiene, Treibhausgas-Emissionen: Klima schonen? Bahn fahren. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.allianz-pro-schiene.de/themen/umwelt/treibhausgas-emissionen/> (Zugriff: 12.8. 2021)

[5] K.-O. Schocke, P. K. Schäfer, S. Höhl und A. Gilbert, „Bericht zum Forschungsvorhaben „LastMileTram -Empirische Forschung zum Einsatz einer Güterstraßenbahn am Beispiel Frankfurt am Main“, Frankfurt University of Applied Sciences, 2020. [Online]. Verfügbar unter: [https://www.frankfurt-university.de/fileadmin/standard/Hochschule/Fachbereich\\_1/FFin/Neue\\_Mobilitaet/Veroeffentlichungen/2020/Abschlussbericht\\_LastMileTram.pdf](https://www.frankfurt-university.de/fileadmin/standard/Hochschule/Fachbereich_1/FFin/Neue_Mobilitaet/Veroeffentlichungen/2020/Abschlussbericht_LastMileTram.pdf). (Zugriff: 11.6.2021)

[6] M. Vajihhi und S. Ricci, „Energy Efficiency Assessment of Rail Freight Transport: Freight Tram in Berlin“, Energies, Jg. 14, Nr. 13, S. 3982, 2021

[7] N. Arvidsson und M. Browne, „A review of the success and failure of tram systems to carry urban freight: the implications for a low emission intermodal solution using electric vehicles on trams“, European Transport, Nr. 54, 2013

[8] K. De Langhe, „Analysing the Role of Rail in Urban Freight Distribution“ in Next generation supply chains: Trends and opportunities, W. Kersten, Hg. Berlin, 2014, S. 223–244

[9] O. Pietrzak und K. Pietrzak, „Cargo tram in freight handling in urban areas in Poland“, Sustainable Cities and Society, Jg. 70, S. 102902, 2021

[10] M. Marinov et al., „Urban freight movement by rail“, Journal of Transport Literature, Jg. 7, Nr. 3, S. 87–116, 2013

[11] M. Wanjek, „Güterstraßenbahnen als alternative Transportmittel für den innerstädtischen Güterverkehr?“. Diplomarbeit, Technische Universität Wien, Wien, 2011

[12] Verband Deutscher Verkehrsunternehmen, Projekt: IP-KOM-ÖV EKAP | VDV - Die Verkehrsunternehmen. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.vdv.de/projekt-ip-kom-oev-ekap.aspx> (Zugriff: 18.2.2022)

[13] UNECE, Introducing UN/EDIFACT UNECE. [Online]. Verfügbar unter: <https://unece.org/trade/unedifact/introducing-unedifact> (Zugriff: 18.2.2022)

[14] Freightwise Project, freightwise - Deliverables. [Online]. Verfügbar unter: <http://freightwise.tec-hh.net/Deliverables.html> (Zugriff: 18.2.2022)

30 Jahre

innovative Forschung



Wir sind eines der TOP 100 innovativsten Mittelstandsunternehmen Deutschlands

## Begeisterung für neue Technologien und ein innovatives Umfeld

Unser Team arbeitet an zukunftsorientierten Lösungen für ein höchstes Maß an Patientensicherheit und neuen Spitzentechnologien in der Medizintechnik.

### Teile deine Leidenschaft mit uns!

Als Student (m/w/d) oder zukünftiger Mitarbeiter (m/w/d) stehen dir bei uns viele Türen offen. Wir geben dir die Gelegenheit zum Mitreden und Weiterdenken! Werde Teil unseres weltweiten Netzwerks, knüpfe wichtige Kontakte und lege den Grundstein für deine berufliche und persönliche Zukunft.

Weitere Infos zu Einstiegsmöglichkeiten auf [www.inomed.com](http://www.inomed.com)

Die inomed Medizintechnik GmbH gehört zu einem der weltweit führenden Unternehmen im Bereich des Intraoperativen Neuromonitorings (IONM). Zur dynamisch wachsenden Unternehmensgruppe zählen weltweit über 280 Mitarbeiter, sechs Niederlassungen sowie die Tochtergesellschaften ARKANA Forum GmbH und inomed NeuroCare Unit (INCU) GmbH am Hauptsitz in Emmendingen.

**inomed** 

inomed Medizintechnik GmbH  
Im Hausgrün 29,  
79312 Emmendingen

# 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:

- **HARDWARENTWICKLER** (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 Emdingen  
[eltroplan-group.com/karriere](http://eltroplan-group.com/karriere)



 **Eltroplan**  
group

ARBEITEN IN EINEM DER MODERNSTEN STAHLWERKE EUROPAS

# LIEBER HIGHTECH STATT STAUB UND HITZE!



Dein Job unter: [www.bsw-kehl.de](http://www.bsw-kehl.de)  
**BADISCHE STAHLWERKE. MEHR ALS NUR STAHL.**

## Matthias Preissler

Betriebs- / Projekttechniker Elektrobetrieb Stahlwerk  
Absolvent der Hochschule Offenburg als Bachelor of Engineering 2016  
im Studiengang Elektrische Energietechnik/Physik plus

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.

## Mit JULABO in die Zukunft

**Julabo**  
THE TEMPERATURE CONTROL COMPANY

Mit mehr als 50 Jahren Erfahrung, Können und Innovationskraft entwickelt und produziert JULABO Temperiergeräte für höchste Ansprüche in Industrie, Forschung und Wissenschaft in der ganzen Welt.

Als einer der größten Arbeitgeber der Region beschäftigt das Familienunternehmen am Produktionsstandort in Seelbach rund 400 Mitarbeiter.

Schüler und Studenten von Heute sind unsere Mitarbeiter von morgen. Durch Bildungspartnerschaften und Kooperationen mit Schulen und Hochschulen bauen wir bereits frühzeitig eine Verbindung zu potenziellen Mitarbeitern auf und sichern somit unsere Zukunft.

Erfahre mehr über Einstiegs- und Entwicklungsmöglichkeiten beim Experten für Temperier-technik und werde Teil der JULABO-Familie.

#zuhausebeijulabo  
[www.julabo.com/karriere](http://www.julabo.com/karriere)

TOP  
ARBEITGEBER  
MITTELSTAND  
2021

FOCUS

DEUTSCHLANDS  
MITTELSTÄNDISCHE  
ARBEITGEBER IM VERGLEICH  
FOCUS-BUSINESS 04 | 2020

IN KOOPERATION MIT  
HUMANUM





# ELEKTROTECHNIK, MEDIZINTECHNIK UND INFORMATIK



Klausurtagung der  
Fakultät EMI 2021

2021 war für die Fakultät EMI wieder ein forschungsaktives Jahr. Mehr als 30 vielfältige Projekte, mit einem Drittmittel-Volumen von mehr als 4,5 Millionen Euro, wurden eingeworben. Die Projekte sind interdisziplinär und fakultätsübergreifend. Forschende der Fakultät EMI sind in den Instituten ivESK, POIM, INES, IMLA und IUAS organisiert und aktiv. Es wird an Topthemen wie Nachhaltige Energiesysteme, Nachhaltige Mobilität, Life Sciences sowie Künstliche Intelligenz geforscht.

Für die Hochschule sehr relevant ist das eingeworbene Projekt „Intelligente Ladeinfrastruktur für Elektrofahrzeuge auf dem Parkplatz der Hochschule Offenburg (INTLOG)“ aus dem Bereich der Nachhaltigen Energiesysteme. In diesem Projekt werden 20 Ladepunkte für Elektrofahrzeuge am Parkplatz des Hauptcampus der Hochschule Offenburg installiert und mit einer intelligenten Ladelogik mit Gleichzeitigkeitsmanagement ausgestattet. Die ‚Intelligenz‘ soll durch Verwendung hochschultypischer Nutzerprofile sowie innovativer verteilter Regelungsalgorithmen weiterentwickelt werden. Zudem werden mit den Projektpartnern energiewirtschaftliche und regulatorische Lösungen für die Betriebsführungs- und Nutzerkonzepte entwickelt.

Die Stärke der Fakultät im Bereich der Künstlichen Intelligenz zeigte sich im letzten Jahr erneut bei der Teilnahme des Teams Magma unter der Leitung von Prof. Dr. Dorer an dem RoboCup-Turnier Brazil Open und der RoboCup Worldwide. Der Anwendung von Reinforcement Learning ist es unter anderem zu verdanken, dass das Team Magma im RoboCup-Turnier Brazil Open mit 4:1 gegen das Team Apollo3D der Nanjing Universität China

gewann. Bei der RoboCup Worldwide konnte Team Magma auch am Finale teilnehmen, wurde jedoch mit 2:1 durch UTAustinVilla besiegt. Sehr erfreulich ist dort der Sieg in der Technical Challenge, die sich aus einer Scientific und einem sogenannten FatProxy Challenge zusammensetzte. David Weiler hat mit seinem Vortrag über die Team-Arbeiten im Deep Reinforcement Learning den Scientific Challenge gewonnen.

Prof. Dr. Zirn, Leiter des Peter-Osypka-Instituts für Medizintechnik (POIM), forscht im Bereich der Life Sciences. Er wurde im letzten Jahre von der Arbeitsgemeinschaft Deutschsprachiger Audiologen, Neurootologen und Otologen für seine Arbeit zur Zeitanpassung bei bimodal versorgten Cochlea-Implantat (CI)/Hörgerät-Träger\*innen mit einem Innovationspreis ausgezeichnet. Der Preis wird für Arbeiten verliehen, die zum Verständnis der Pathogenese, zur Erweiterung der diagnostischen Möglichkeiten oder zur Entwicklung von Therapieverfahren von Erkrankungen des Hör- und Gleichgewichtssystems originell beitragen.

Zudem ging im letzten Jahr das fakultätsübergreifende Edu FabLab HSO für die interdisziplinäre Lehre und Forschung in Betrieb. Studierende können dort gemeinschaftlich eine Vielzahl an Technologien für die digitale Entwicklung und Fertigung von Produkten (z.B. 3D-Drucker, CNC-Fräse und Lasercutter) für eigene Projekt- und Forschungsideen nutzen.

Auszüge der vielfältigen Forschungsarbeiten in der Fakultät EMI werden in den folgenden Beiträgen vorgestellt und sind in den Bereichen der Institute zu finden.

*Dekanin Prof. Dr.-Ing. Elke Mackensen*

# Vorlesungsnachverfolgung zur Unterstützung von Hybrid-Vorlesungen

Prof. Dr.-Ing. Hartwig Grabowski, Philipp Schweizer B.Sc.

Es wird ein System zur Vorlesungsnachverfolgung (engl. Lecture Tracking) vorgestellt, das eine Kamera automatisch in Richtung des Vortragenden ausrichtet. Die kontinuierliche Positionsbestimmung der Kamera als auch die des Vortragenden erfolgt dabei durch Smartphones. Die Kamera und ein Smartphone sind an einen Roboter montiert, der als Schwenkeinheit dient. Das andere Smartphone trägt der Vortragende. Beide Smartphones können ihre Position im Raum bestimmen, sodass der erforderliche Drehwinkel berechnet und an den Roboter gesendet werden kann. Dieser führt dann die entsprechende Rotation durch, sodass der Vortragende immer in der Bildmitte zu sehen ist.

*A real-time lecture tracking system is presented, which uses smartphones for continues location detection. Together with a camera, one smartphone is mounted on a robot, which serves as a pan-tilt-unit. The other smartphone must be worn by the speaker. Both smartphones detect their location in the room using spatial anchors and SLAM tracking. They exchange their information through a common server in the cloud. Based on this information, the required angle of rotation for the camera can be calculated and the according control signals can be sent to the robot.*

## Motivation

Wird bei Vorlesungen der Vortragende und dessen Tafelaufschrieb per Video übertragen, muss die Kamera dem Vortragenden folgen, damit dieser nicht aus dem Bildschirm verschwindet. Weiterhin muss sichergestellt werden, dass das Mikrofon immer auf den Vortragenden ausgerichtet ist, damit er klar und deutlich zu hören ist. Dies erfordert entweder einen zusätzlichen Kameramann oder zusätzliches teures Equipment, wie beispielsweise Infrarot-Kameras oder Weitwinkel-Kameras [1, 2, 3, 4]. Wir präsentieren ein auf Smartphones basierendes Trackingsystem, welches eine PTZ-Kamera oder ein entsprechender Roboter steuern kann.

## Systemarchitektur

Das hier vorgestellte System besteht aus folgenden Komponenten:

1. Die Kamera, die den Vortragenden aufnimmt und per Stream den Zuhörern bereitstellt. Wir verwenden hierfür ein gewöhnliches Smartphone, welches das Videobild live via Zoom-App den Zuhörern bereitstellt.
2. Ein weiteres Smartphone, welches starr mit der Kamera verbunden und entsprechend der Kamera ausgerichtet ist. Dieses bestimmt neben der Position der Kamera im Raum auch die Ausrichtung der Kamera.

3. Die Schwenkeinheit, auf der sowohl Kamera als auch Smartphone montiert sind. Hierfür verwenden wir den Double-Robotics Telepräsenz-Roboter [5], der durch das montierte Smartphone (2) gesteuert wird.
4. Ein weiteres Smartphone, welches der Vortragende trägt. Dieses bestimmt die genaue Position des Vortragenden im Raum.
5. Einen zentralen Rechner in der Cloud, über den die beiden Smartphones (2) und (4) ihre Positionsinformationen austauschen.

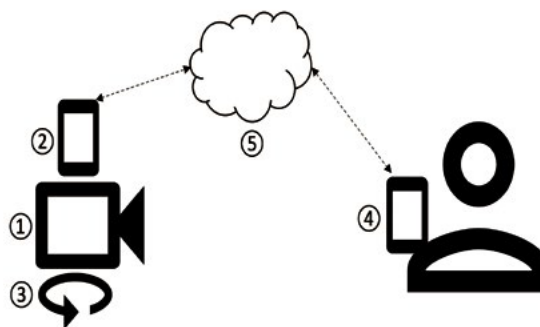


Abb. 1:

Kameraseitig werden die drei Komponenten Kamera (1), Smartphone (2) und Schwenkeinheit (3) benötigt. Aufseiten des Vortragenden reicht ein Smartphone (4) zur Positionsbestimmung. Die beiden Smartphones tauschen ihre Positionsinformation über einen Server in der Cloud (5) aus.

## Referenzen/References:

- [1] Yoshitaka, A., Nomi ; Kawano, A. ; Hirashima, T. "Speaker Tracking for Automated Lecture Archiving Using Tagged Microphone", Tenth IEEE International Symposium on Multimedia, ISM 2008, pp. 45-52
- [2] Vitaglione, et al., "Lecture Object: An Architecture For Archiving Lectures On The Web," CERIN-OPEN-2001-070(2001)
- [3] Rui, Y., Gupta, A., Grudin, J., and He, L. "Automating lecture capture and broadcast: Technology and videography," ACM Multimedia. Systems Journal, 10, 1, 2004, pp. 3-15
- [4] Tan, T. H., Kuo, T. Y., & Liu, H. (2019). „Intelligent Lecturer Tracking and Capturing System Based on Face Detection and Wireless Sensing Technology". Sensors (Basel, Switzerland), 19(19), 4193. <https://doi.org/10.3390/s19194193>
- [5] Double Robotics, Inc. (2022), „Double 2 – Features", <https://www.doublerobotics.com/double2.html>. Accessed 1.3.2022
- [6] Microsoft (2020), „Azure Spatial Anchors overview", <https://docs.microsoft.com/de-de/azure/spatial-anchors/overview>. Accessed 1.3.2021
- [7] Google Inc. (2018a), „ARCore, Fundamental Concepts", <https://developers.google.com/ar/discover/concepts>. Accessed 1.3.2021
- [8] Grabowski, H. „Physical Distancing mit Spatial Anchors", forschung im fokus (fif),07/2021, pp. 37-40
- [9] Grabowski, H. „Lecture Tracking", <https://www.youtube.com/watch?v=Ygek1cthRko>. Accessed 1.2.2022

## Positionsbestimmung

Die Positionsbestimmung der Smartphones erfolgt initial durch einen virtuellen Referenzpunkt (Spatial Anchors), der zuvor im Raum gesetzt wurde. Die Platzierung und Erfassung dieses virtuellen Referenzpunkts erfolgt durch den von Microsoft bereitgestellten Azure Spatial Anchors Dienst [6]. Dieser berechnet aus den Kamerabildern des Smartphones eine charakteristische Punktwolke, mit deren Hilfe eine Position im Raum eindeutig bestimmt werden kann. Nach dieser initialen Positionsbestimmung erfolgt nun auf jedem der beiden Smartphones (Smartphone an der Kamera und Smartphone des Vortragenden) ein SLAM-basiertes Tracking auf Basis von Google AR Core [7]. Dieses zur Positionsbestimmung eingesetzte Verfahren wurde von uns bereits in [8]. beschrieben. Neben der Bestimmung der genauen Position der beiden Smartphones im Raum wird jetzt jedoch zusätzlich die Ausrichtung der Smartphones ermittelt, sodass in dem an der Kamera montierten Smartphone der Drehwinkel berechnet werden kann, um den die Kamera gedreht werden muss, damit sie auf den Vortragenden ausgerichtet ist. Dieser Drehwinkel wird an die Schwenkeinheit - bei uns der Double-Robotics Roboter - gesendet, die dann die entsprechende Rotation durchführt.

### Abb. 2:

Das Roboter-System im Einsatz (links) und die an den Roboter montierten Smartphones (rechts)



## Fazit

Bei Lecture-Tracking-Systemen, die auf Basis von Gesichtserkennung oder IR-Kameras basieren, kann das Tracking abbrechen, wenn sich der Vortragende zu schnell aus dem Bild entfernt oder hinter einem Pult verschwindet. Das erneute Erfassen des Vortragenden kann dann problematisch werden, weil der Vortragende möglicherweise wieder außerhalb des Sichtbereichs des Kamerasystems erscheint. Dies kann bei dem hier vorgestellten System nicht passieren. Selbst wenn der Vortragende den Raum verlässt und kein Sichtkontakt zwischen Kamera und Vortragendem besteht, funktioniert die Ausrichtung korrekt.

Die Positionsbestimmung durch den virtuellen Referenzpunkt und das anschließende Tracking haben sich als hinreichend stabil herausgestellt, sodass auch große Bewegungen des Vortragenden über längere Zeit hinaus hinreichend genau erfasst werden [9].

Statt dem Double-Robotics-Roboter kann auch eine kostengünstige Pan-Tilt-Kamera-Plattform verwendet werden. Weil der Abstand des Vortragenden zur Kamera berechnet wird, kann auch der Kamera-Zoom entsprechend gesteuert werden, sofern dies die Kamera zulässt. Da das hier vorgestellte Gesamtsystem aus mehreren Komponenten besteht, ist die initiale Einrichtung recht aufwendig, sodass für einen routinemäßigen Einsatz dauerhaft vorkonfigurierte Komponenten zu verwenden wären.

### AUTOREN



Prof. Dr.-Ing. Hartwig Grabowski  
Institute for Machine Learning and Analytics (IMLA), Mobile Computing, Enterprise Applications  
[hartwig.grabowski@hs-offenburg.de](mailto:hartwig.grabowski@hs-offenburg.de)



Phillip Schweizer B.Sc.  
[phillipp.schweizer@hs-offenburg.de](mailto:phillipp.schweizer@hs-offenburg.de)

# Edu FabLab HSO: Raum für Kreativität und Forschungsprojekte

Prof. Dr.-Ing. Elke Mackensen, Patrick Hog M.Sc.

Dank der Förderung durch das Ministerium für Wissenschaft, Forschung und Kunst Baden-Württemberg wurde an der Hochschule Offenburg das Edu FabLab HSO (Education Fabrication Laboratory Hochschule Offenburg), ein fakultätsübergreifendes Fabrikationslabor für die interdisziplinäre Lehre und Forschung konzipiert und eingerichtet. Mit diesem Beitrag soll ein Einblick in dessen Angebote für unterschiedliche Personenkreise, Ausstattung und laufende Projekte gegeben werden.

*Thanks to funding from the Baden-Württemberg Ministry of Science, Research and the Arts, the Edu FabLab HSO (= Education Fabrication Laboratory Hochschule Offenburg), a cross-faculty fabrication laboratory for interdisciplinary teaching and research, was designed and established at Offenburg University of Applied Sciences. This article is intended to provide an insight into the offerings for different groups of people, equipment and ongoing projects.*

## Einleitung

Mit dem Ziel, Menschen mit innovativen Produktideen einen einfachen und kostengünstigen Zugang zu modernen digitalen Fertigungstechnologien zu ermöglichen, ist 2002 das erste Fabrication Laboratory (FabLab) am Massachusetts Institute of Technology (MIT) entstanden [1]. Daraus ist in den letzten Jahren eine große „Maker-Bewegung“ entstanden. Weltweit gibt es zwischenzeitlich mehr als 2000 solcher FabLabs, davon etwa 60 in Deutschland ([www.fablabs.io/labs](http://www.fablabs.io/labs)). Ein FabLab soll für jeden öffentlich zugänglich sein, schnelles Prototyping für Innovationen ermöglichen, ein Ort zum Spielen, Arbeiten, Lernen und Erfinden sein und die Gemeinschaft aus Lernenden, Pädagogen, Technologen, Forschern, Machern und Innovatoren miteinander verbinden [2]. Wesentliche Vorteile und Effekte eines FabLab sind:

- Förderung der Selbstständigkeit und Kreativität von unterschiedlichen Personenkreisen (Studierende, Mitarbeiter und Mitarbeiterinnen, Schüler und Schülerinnen, externe Firmenmitglieder)
- Wissen kann in FabLabs geteilt und transferiert werden
- Jeder Studierende kann durch die Nutzung einen eigenen Zugang zu ingenieurnahen Aktivitäten finden [3-7].

Eng verwandt sind unter anderem Makerspaces, Hackerspaces, Kreativhubs, Techshops [3-8]. FabLabs wurden zwischenzeitlich auch an verschiedenen deutschen Universitäten und

Hochschulen eingerichtet, da sie sich für interdisziplinäre Projekt-, Praxis- und forschungsorientierte Lehre sowie die Gewinnung von Studierenden für die ingenieurwissenschaftlichen Studiengänge und Kooperationen mit Unternehmen sehr gut eignen [9].

Dank der Förderung durch das Ministerium für Wissenschaft, Forschung und Kunst Baden-Württemberg konnte an der Hochschule Offenburg ein solches FabLab eingerichtet werden. Das Education Fabrication Laboratory Hochschule Offenburg (Edu FabLab HSO, siehe auch <https://edufablab.hs-offenburg.de/>) ist seit Ende 2020 in Betrieb.

## Fokus und Ausstattung

Als Reallabor bietet es den Studierenden unter Anwendung des in den Studiengängen erarbeiteten Wissens einen didaktisch offenen Rahmen für projekt- und forschungsorientiertes Lernen sowie für das schnelle Rapid Prototyping. Alle Studierenden können so einen eigenen Zugang zu ingenieurnahen Aktivitäten finden. Mit dem Edu FabLab HSO werden Kreativität, Selbstständigkeit sowie Anwendungs- und Praxisorientierung sowohl von Lehrenden, Lernenden als auch Forschenden gefördert. Gemeinsame interdisziplinäre Lehre und Forschungsprojekte der Fakultäten stehen hier im Mittelpunkt.

Zur Laborausstattung gehören diverse Geräte und Software für das Mechanik-Prototyping (wie, mehrere 3D-Drucker, CNC-Fräse, Lasergravur- und Schneideanlage, Dekupiersäge und Tischbohranlage), für das Elektronik-Prototyping (zum Beispiel eine Platinenfräse, Reflowofen, mehrere Handlötstationen und Messgeräte wie ein Oszilloskop) und für das Mikrocontroller-Prototyping (unter anderem Arduino Starter-Kits, -IoT-Bundle und -Engineering-Kit). Das Labor vermittelt zudem Technologie-, Technik- und Methodenwissen, um Produktideen mit dem Equipment fertigen zu können.

## Beispielhafte Projekte

Seit seiner Eröffnung Ende 2020 ist das Labor für interdisziplinäre, projektorientierte Lehrveranstaltungen als auch für Forschungstätigkeiten sehr gefragt:

Die Studierenden des Studiengangs Elektro- und Informationstechnik konstruierten hier beispielweise bereits im ersten Semester als interdisziplinäres Projekt einen Roboterarm, der per androidbasierter Steuerung über ein Smartphone angesteuert werden kann (Abbildung 1). Durch solche Projekte erkennen die Studierenden frühzeitig, dass die intensive Beschäftigung mit mathematischen, informationstechnischen, naturwissenschaftlichen und weiteren technischen Fachgebieten notwendig ist, um technische Systeme erfassen und entwerfen zu können. Zudem lernen die Studierenden die Herangehensweise bei derartigen Entwicklungsarbeiten.

Kontinuierlich werden hier zudem Komponenten in 3D-Druck und Leiterkarten für die sehr erfolgreichen hochschuleigenen studentischen Projekte „Sweaty“ (humanoiden Roboter), „Schluckspecht“ (energieeffizientes Forschungsfahrzeug) und das „Black Forest Formula Team“ (Rennwagen) gefertigt.

Auch eine Forschungsgruppe des Peter-Osyepka-Instituts für Medizintechnik, die sich mit dem Konzept für eine anthropomorphe Ersatzhand aus Silikon beschäftigt, konnte mit dem 3D-Druck einer Gussform für eine Ersatzhand unterstützt werden [10]. Die Abbildung 2 zeigt die am Edu FabLab HSO entstandene 3D-Druck-Gussform und die nach dem Silikonguss entstandene anthropomorphe Ersatzhand aus Silikon, in der ein sensorisches Feedbacksystem integriert ist.

Ein weiteres innovatives Forschungsprojekt beschäftigt sich mit der Entwicklung einer

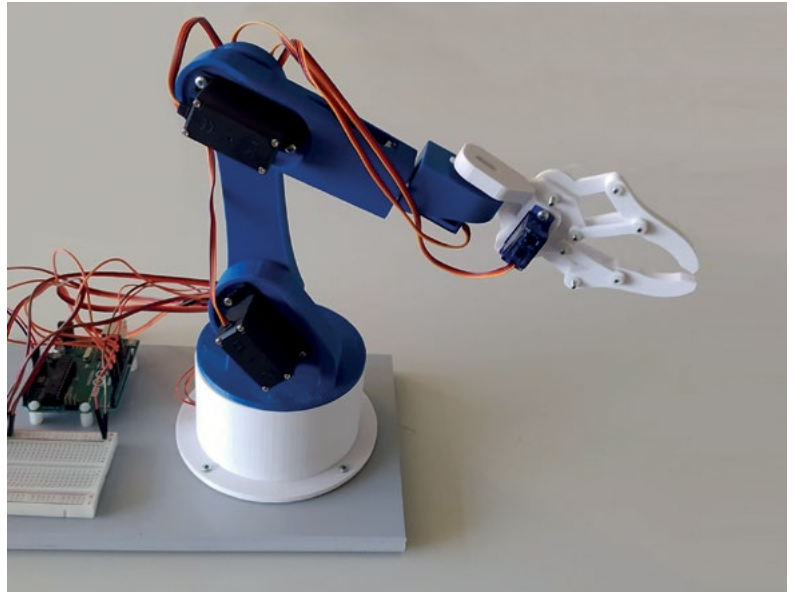


Abb. 1:

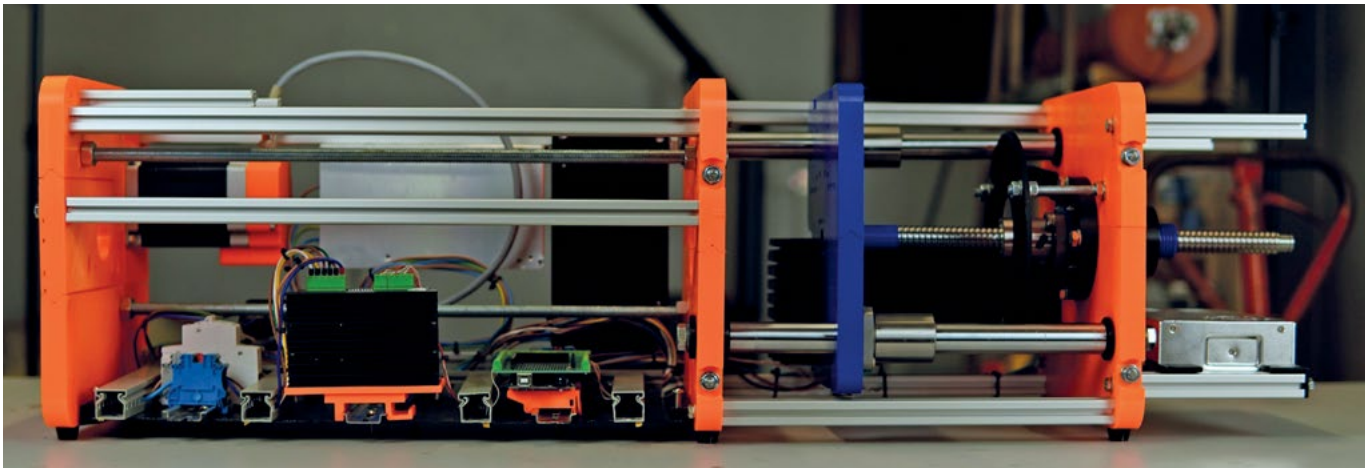
Ein im ersten Semester konstruierter und gefertigter Roboterarm



Abb. 2:

3D-Druck einer Gussform für eine anthropomorphe Ersatzhand aus Silikon (von links) [10]

Low-Cost-Desktop-Spritzgussmaschine für das Vor-Ort-Recycling von Kunststoffabfällen [11]. Dabei geht es um Kunststoffabfälle, die insbesondere in Privathaushalten und gewerblichen (Klein-)Unternehmen anfallen. Ein Beispiel dafür sind Verpackungen, die häufig aus Polypropylen hergestellt werden. Die Spritzgussmaschine soll möglichst kompakt, leicht bedienbar und kostengünstig sein. Ähnlich einem 3D-Drucker für den Einsatz im privaten Umfeld, in kleinen Unternehmen oder Schwellenländern, in denen das Plastik-Recycling meist eine hohe Herausforderung ist, ist ihr Konzept. Abbildung 3 zeigt einen ersten Prototyp der Desktop-Spritzgussmaschine, die weitestgehend aus 3D-Druck-Komponenten besteht. Mit diesem Prototyp konnte das prinzipielle Design der Maschine kostengünstig verifiziert werden.



## Zusammenfassung und Aussichten

Diese hier exemplarisch aufgeführten Projekte zeigen, dass die Ziele des Edu FabLab HSO, ein fakultätsübergreifendes Fabrikationslabor für die interdisziplinäre Lehre und Forschung zur Verfügung zu stellen, erfüllt sind. Das Edu FabLab HSO wird intensiv von den Mitgliedern der Hochschule Offenburg genutzt. Neben den bereits laufenden Aktivitäten soll es langfristig für weitere Personenkreise geöffnet werden:

- Gründungswilligen Studierenden und Absolventen der Hochschule soll das Edu FabLab HSO in Kooperation mit dem OGFlab (<https://ogflab.hs-offenburg.de/>) die Möglichkeit für Innovationsentwicklungen und Ausgründungen bieten.

- Es sollen Angebote für Kinder und Jugendliche zur beruflichen Orientierung in Kooperation mit Schulen gemacht werden. Angedacht sind altersabhängig Angebote, in denen zunächst anhand von Anleitungen Objekte selbst gestaltet und in der Folge kollaborativ eigene Projekte entwickelt werden können. Das Edu FabLab HSO könnte so einen außerschulischen Lernort darstellen.
- Viele klein- und mittelständische Firmen können von dem Edu FabLab profitieren. Geplant sind Weiterbildungsangebote, in denen neue Kombinationen von Formen des formellen und des informellen Lernens erprobt werden. Die Firmen könnten aber auch mit Geräten, über die sie selbst nicht verfügen, Experimente durchführen.

**Abb. 3:**  
Prototyp einer Low-Cost-Desktop-Spritzgussmaschine mit 3D-Druck-Komponenten

### Referenzen/References:

- [1] Mikhak, B.; Lyon, C.; Gorton, T.; Gersehnfeld, N., et al.: Fab Lab: an alternate model of ICT for development. 2nd international conference on open collaborative design for sustainable innovation, 2002
- [2] Fab. Foundation: Internetauftritt der FabFoundation. <http://fabfoundation.org/index.html>. Abrufdatum: 19.3.2022
- [3] Ramsauer, Ch. und Friessnig, M.: Einfluss der Maker Movement auf die Forschung und Entwicklung. In: Biedermann, Hubert (Hrsg. 2016). Industrial Engineering und Management, Springer Gabler Verlag, Pages 43-61
- [4] Hansmeier, D.W.: FabLabs und MakerSpaces als praktische Lernorte an Hochschulen; Ein Einblick auf die aktuelle Situation in Deutschland. In: Maker Fair Berlin, 30.9.2016
- [5] Niklas Meier, Marco Wirth: FabLabs High-TechWerkstätten für jedermann: CEDIFA Arbeitsbericht 4. 21.05.2013, Download: <http://cedifa.de/wp-content/uploads/2013/08/04-FabLabs.pdf> (Zugriff am 1.8.2018)
- [6] Schön, S.: Kreativräume und Werkstätten für digitale Innovationen. In: Synergie, Fachmagazin für Digitalisierung in der Lehre der Universität Hamburg. Ausgabe #04, 23.11.2017, Synergie (Online) ISSN 2509-3096, [www.synergie.uni-hamburg.de](http://www.synergie.uni-hamburg.de)
- [7] Thomas N. Jambor: Einsatz von Embedded Systems in der Lehre: Kamasch, G.; Klaffke, H.; Knutzen, S. (Hrsg.): Technische Bildung im Spannungsfeld zwischen beruflicher und akademischer Bildung. Die Vielfalt der Wege zu technischer Bildung ISBN 978-3-9818728-0-4 Referate der 11
- [8] Ingenieurpädagogische Regionaltagung 2016, TU Hamburg (23.-25. 6.16)
- [9] [Anderson, C.: Makers: The New Industrial Revolution. Random House

Business Books, 2013. ISBN 9781847940674

- [10] Blikstein, P.; Martinez, S.; Pang, H.A.: Meaningful Making: Projects and Inspirations for Fab Labs and Makerspaces. Torrance, CA USA: Constructing Modern Knowledge Press, cmkpress.com. ISBN: 978-0-9891511-9-1
- [11] Hazubski, S.; Bamemi, D.; Otte, A.: Conceptualization of a Sensory Feedback System in an Anthropomorphic Replacement Hand. Prosthesis. 2021; 3(4):415-427. <https://doi.org/10.3390/prosthesis3040037>
- [12] Mackensen, E.; Maeder, M.; Krause, B.: Vor-Ort-Recycling von Kunststoffabfällen. In: campus | Magazin der Hochschule Offenburg. 2021

### AUTOREN



**Prof. Dr.-Ing. Elke Mackensen**  
Fakultät EMI, Wissenschaftliche Leiterin  
des Microelectronic Systems Design Lab  
[elke.mackensen@hs-offenburg.de](mailto:elke.mackensen@hs-offenburg.de)



**Patrick Hog M.Sc.**  
Fakultät EMI, Akademischer Mitarbeiter  
im Edu FabLab HSO  
[patrick.hog@hs-offenburg.de](mailto:patrick.hog@hs-offenburg.de)



Team MAGMA  
[<https://imla.hs-offenburg.de/>]

## IMLA – INSTITUTE FOR MACHINE LEARNING AND ANALYTICS

Das IMLA bündelt fach- und fakultätsübergreifend die Forschungsaktivitäten in den 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, bedarf es zu deren erfolgreichen und nachhaltigen Einsatz zur Lösung praktischer Fragestellungen jedoch weit mehr als nur KI-Expertise: Ohne Fachwissen aus der Anwendungsdomäne und einer fundierten Technikfolgenabschätzung, insbesondere im Hinblick auf die gesellschaftlichen und ethischen Auswirkungen einzelner Anwendungen, sind KI-Projekte in der Praxis kaum umsetzbar. Aus diesem Grund haben sich im IMLA Forschende aus allen Fakultäten mit einem breiten technischen und wirtschaftswissenschaftlichen Anwendungsspektrum mit KI-Expert\*innen und Geisteswissenschaftlern zusammengeschlossen, um gemeinsam die anwendungsnahe KI-Forschung an der Hochschule voranzutreiben.

Nachrichten aus dem IMLA:

- Das Team Magma der Hochschule Offenburg hat das Brazil Open RoboCup Turnier 2021 gewonnen. Im Finale setzten sich die simulierten Roboter von Magma gegen das Team Apollo3D der Nanjing Universität China klar mit 4:1

durch. Dritter wurde die Mannschaft Bahia aus Brasilien. [<https://robocup.hs-offenburg.de/>]

- Neues Projekt zu KI in der Lehre: „Kompile - KI-Kompetenz fördern, individualisiertes Lernen unterstützen“: Das durch Bund-Länder-Programm „Künstliche Intelligenz in der Hochschulbildung“ geförderte Projekt Kompile untersucht den Einsatz Künstlicher Intelligenz (KI) in der Lehre. Um Lernen als aktiven, konstruktiven und individuellen Prozess optimal zu unterstützen, wird eine intelligente, adaptive Lernumgebung, die sich auf Lernpräferenzen, Erfahrungen und Lernstrategien stützt, aufgebaut und exemplarisch erprobt. Der KI-gestützte Lernprozess wird begleitet durch Lernangebote zu KI-Inhalten, die curricular in das Studium eingebettet werden. [<https://kompile.hs-offenburg.de/kompile>]

- Neues Forschungsprojekt Gaia-X4KI: Das IMLA leitet im Rahmen eines größeren, durch das BMWK geförderten Forschungskonsortiums aus Forschungseinrichtungen und Anwendern aus der Industrie die Entwicklung der Cloud-Infrastruktur für KI Anwendungen auf Basis der Europäischen Cloud Initiative Gaia-X. [<https://gaia-x4ki.eu/de>]

*Institutsleitung*  
Prof. Dr.-Ing. Janis Keuper und  
Prof. Dr. Tobias Hagen

# Maschinelles Lernen in der Produktionsplanung und -steuerung

Sophie Sautter M.Sc., Nicolai Haigis M.Sc., Manuel Baumert M.Sc., Prof. Dr.-Ing. Theo Lutz

Maschinelles Lernen verändert zusehends die Arbeitswelt. Auch in der Produktionsplanung und -steuerung finden sich vielversprechende Anwendungsfälle. In diesem Beitrag sollen ausgewählte Anwendungsbereiche und Ansätze vorgestellt werden, die anhand einer umfangreichen Untersuchung wissenschaftlicher Veröffentlichungen identifiziert wurden. Als Strukturierungshilfe dient das Aachener PPS-Modell.

*Machine learning is visibly changing the world of work. Promising applications can also be found in production planning and control. This paper presents selected areas of application and approaches that have been identified through an extensive study of scientific literature. The Aachen PPC model serves as a structuring aid.*

Maschinelles Lernen (englisch Machine Learning) wird in vielen verschiedenen Bereichen wie zum Beispiel der Bilderkennung, der Texterkennung oder der Datenanalyse verwendet. Viele Menschen nutzen täglich digitale Services, die auf maschinellem Lernen basieren, beispielsweise, wenn sie Google Maps zur Navigation nutzen oder in einem Onlineshop ein ergänzendes Produkt vorgeschlagen bekommen. Auch im betrieblichen Kontext finden sich immer mehr Anwendungsfälle. So wird maschinelles Lernen in der Produktionsplanung und -steuerung (PPS) beispielsweise in der Prozessoptimierung und in verschiedenen Monitoring- und Kontrollanwendungen eingesetzt [1].

Ziel dieses Artikels ist es, anhand von ausgewählten Beispielen aus einer umfangreichen Analyse wissenschaftlicher Veröffentlichungen die Möglichkeiten für den Einsatz von Machine Learning in der PPS darzustellen. Es wurden insgesamt 46 relevante peer-reviewte Veröffentlichungen aus den Jahren 2011 bis 2020 untersucht. Als Strukturierungshilfe wurden die Kernaufgaben des Aachener PPS-Modells verwendet.

## Maschinelles Lernen

Machine Learning kann in drei unterschiedliche Lernmethoden unterteilt werden: das überwachte Lernen (Supervised Learning), das unüberwachte Lernen (Unsupervised Learning) sowie das bestärkende Lernen (Reinforcement Learning).

Beim überwachten Lernen lernen Machine Learning Modelle den Zusammenhang zwischen Inputdaten (sogenannte Features) wie beispiels-

weise der Außentemperatur und den Sonnenstunden an einzelnen Tagen in der Vergangenheit und Zielwerten (sogenannte Labels) wie beispielsweise der an diesen Tagen verkauften Eismenge. Ein so trainiertes Modell kann dann verwendet werden, um für Tage in der Zukunft abhängig vom Wetter die verkaufte Eismenge vorherzusagen. Beim unüberwachten Lernen existieren keine Ziellabels in den Daten. Die Modelle versuchen hier vielmehr, Ähnlichkeiten zwischen einzelnen Datenpunkten zu finden, um diese zu gruppieren. Neue Datenpunkte können dann automatisch eingeordnet werden. Beim Reinforcement Learning werden erlernte Strategien durch Feedbackmechanismen bewertet und somit der Lernprozess vorangetrieben [2].

In den untersuchten Veröffentlichungen werden alle drei Verfahren verwendet. In 18 der untersuchten Veröffentlichungen werden schwerpunktmäßig Verfahren aus dem Bereich des Supervised Learning verwendet. Unsupervised Learning wurde in 15 Veröffentlichungen angewendet, während Reinforcement Learning in 13 Veröffentlichungen genutzt wurde (Abbildung 1).

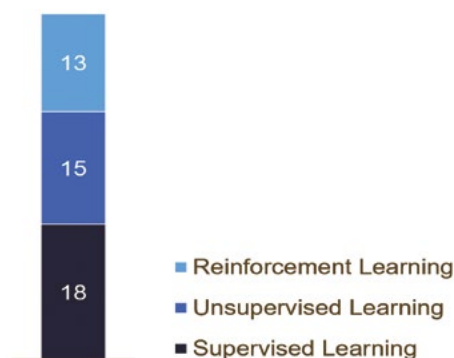


Abb. 1: Schwerpunkte der Lernmethoden in den untersuchten Veröffentlichungen



## Produktionsplanung und -steuerung

Anfang der 1980er Jahre entstand das Konzept der Produktionsplanung und -steuerung (PPS), um die Material- und Zeitwirtschaft in der produzierenden Industrie übergreifend zu organisieren. Heutzutage umfasst die PPS die gesamte technische Auftragsabwicklung von der Angebotsbearbeitung bis hin zum Versand [3].

Das Aachener PPS-Modell klassifiziert die Aufgaben der Produktionsplanung und -steuerung in Kernaufgaben, Netzwerkaufgaben und Querschnittsaufgaben. Jeder der einzelnen Bereiche wird wiederum in verschiedene Unterbereiche in Form von Aufgaben gegliedert. In Abbildung 2 sind alle Bereiche des Aachener PPS-Modells zu sehen. Dieser Beitrag fokussiert den Bereich der Kernaufgaben.

## Produktionsprogrammplanung

Das Ergebnis der Produktionsprogrammplanung ist der Produktionsplan. Darin wird festgehalten, welche Produkte in welchen Mengen zu festgelegten Zeitpunkten produziert werden sollen. Üblicherweise wird die Produktionsplanung in regelmäßigen Abständen getätigt und jeweils eine Periode vorausgeplant. Oft wird das mit der Auswertung der Vorperiode verbunden. Des Weiteren ist ein Rahmenbeschaffungsplan ein zusätzlicher Output der Produktionsrahmenplanung. Die wesentlichen Unteraufgaben der Produktionsprogrammplanung sind die Absatzplanung, die Primärbedarfsplanung und die Ressourcengrobplanung [3].

Im Bereich der Produktionsprogrammplanung sind bisher eher wenige wissenschaftliche Veröffentlichungen zum Einsatz von Machine Learning zu finden. Die Recherche ergab, dass im Bereich der Produktionsprogrammplanung bisher vor allem überwachte und unüberwachte Lernalgorithmen eingesetzt werden. Dabei ist in den Veröffentlichungen die Teilaufgabe Ressourcengrobplanung am stärksten vertreten. Hier wurde beispielsweise ein Modell entwickelt, das auf Grundlage vergangener Planungsaktivitäten automatisch Arbeitspläne für neue Produkte vorschlagen kann [4].

Es gibt auch einige Quellen, die den Einsatz von Machine Learning zur Erstellung eines gesamten Produktionsplans beschreiben. So zeigen Sobottka et al. für einen Anwendungsfall einer Großbäckerei, dass durch den Einsatz künstlicher neuronaler Netze im

Netzwerkaufgaben	Kernaufgaben		Querschnittsaufgaben		
Netzwerkconfiguration	Produktionsprogrammplanung		Auftragsmanagement	Bestandsmanagement	Controlling
Netzwerkabsatzplanung	Produktionsbedarfsplanung				
Netzwerkbedarfsplanung	Fremdbezugsplanung und -steuerung	Eigenfertigungsplanung und -steuerung			
Datenverwaltung					

Abb. 2: Aufgabensicht des Aachener PPS-Modells [3]

Vergleich zu manueller Planung die Zielerreichung der kostenbezogenen Planungsziele um 33 % verbessert werden kann. Die Verbesserung in Bezug auf die energiebezogenen Planungsziele beträgt 9 %. Zudem erlaubt der Ansatz eine dynamische Anpassung der Planung. Allerdings ist das Potenzial durch den Rechenaufwand bei einer Vielzahl an Produktionsaufträgen limitiert. Hier existiert weiterer Forschungsbedarf [5].

## Produktionsbedarfsplanung

Die Produktionsbedarfsplanung ist dafür verantwortlich, aus dem von der Produktionsprogrammplanung erhaltenen Produktionsplan geeignete Beschaffungsprogramme zu erstellen, um den Plan realisieren zu können. Betrachtet werden dabei alle Ressourcen, die für den Produktionsprozess benötigt werden. Das sind beispielsweise Maschinen, Material, Personal oder Betriebsmittel. Die Produktionsbedarfsplanung wird in die Aufgaben Bruttobedarfsermittlung, Nettosekundärermittlung, Beschaffungsartzuordnung, Durchlaufterminierung, Kapazitätsermittlung und Kapazitätsabstimmung unterteilt [3].

In der Produktionsbedarfsplanung ist zu erkennen, dass vor allem im Bereich der Durchlaufterminierung großes Potenzial für den Einsatz von Machine Learning besteht. So beschreiben beispielsweise Lingitz et al. den Einsatz von Machine Learning in der Durchlaufterminierung in der Halbleiterfertigung. Bei der Berechnung der Durchlaufzeit auf Grundlage historischer Daten kommt es dort oft zu Problemen, da die Variabilität der Durchlaufzeiten nicht berücksichtigt wird. Die Autoren schlagen den Einsatz von Regressionsmodellen vor, die zu einer genaueren Vorhersage der Durchlaufzeiten führen [6]. In den anderen Bereichen scheint der Einsatz von Künstlicher Intelligenz eher schwierig beziehungsweise noch nicht ausreichend erforscht zu sein.

Insgesamt werden in der Produktionsbedarfsplanung vor allem unüberwachte Machine Learning Methoden vorgeschlagen und bereits eingesetzt. Sowohl überwachte Machine Learning Ansätze als auch Reinforcement Learning kommen hingegen seltener zum Einsatz.

### Eigenfertigungsplanung und -steuerung

Bei der Eigenfertigungsplanung und -steuerung werden die Planvorgaben unter Berücksichtigung des bestehenden Dispositionsspielraums detailliert und die Umsetzung kontrolliert. Der Dispositionsspielraum ergibt sich aus dem frühesten und spätesten möglichen Starttermin der Fertigung. Eine genaue Terminierung ist wichtig, da zu frühe Starttermine hohe Lagerbestände verursachen und zu späte Starttermine hohe Rüstzeiten und mögliche Störungen zur Folge haben können [3]. Die Eigenfertigungsplanung und -steuerung besteht aus den Aufgaben Losgrößenberechnung, Feinterminierung, Ressourcenfeinplanung, Reihenfolgeplanung, Verfügbarkeitsprüfung und Auftragsfreigabe.

In der Eigenfertigungsplanung und -steuerung ist der Einsatz von Machine Learning bereits relativ stark verbreitet. Dies spiegelt sich auch in der Anzahl der Veröffentlichungen wieder. Dabei sticht insbesondere die Feinterminierung hervor. Die Aufgaben der Feinterminierung, also das Festlegen der Anfangs- und Endtermine, sind prädestiniert für den Einsatz von Machine Learning. In diesem Bereich sind häufig viele Daten vorhanden, die sich hervorragend zum Einsatz von Machine Learning Algorithmen zur Analyse eignen.

Baumung und Vomin untersuchen den Einsatz von Machine Learning für die Vorhersage von Fertigungszeiten für komplexe, verschachtelte Produktionsaufträge auf additiven Fertigungsanlagen. Sie entwickeln einen Planungsansatz, der tiefe neuronale Netze nutzt, um Aufträge optimal in verschachtelte Produktionsaufträge zusammen zu führen und um die Bearbeitungsdauer der Produktionsaufträge inklusive Aufwärm- und Abkühlzeit zu bestimmen. Bei der Bildung der Produktionsaufträge werden Fertigungsobjekte aus verschiedenen Aufträgen miteinander so kombiniert, dass sie innerhalb einer vorgegebenen Zeit gefertigt werden können. Mit diesem Ansatz können die Autoren genauere Vorhersagen treffen und Pufferzeiten reduzieren [7].

Ein weiterer Ansatz zur Planung der einzelnen Fertigungstermine wird von Lubosch, Kunath und Winkler vorgeschlagen. Die Autoren zeigen, dass bei kurzen verfügbaren Planungszeiten einfache Planungsregeln eine effiziente Planung erlauben. Im gewählten Anwendungsfall sind bei längeren verfügbaren Planungszeiten zufallsbasierte Ansätze jedoch überlegen. Untersucht wurde hier ein Ansatz, der auf einer Kombination von maschinellem Lernen und einer Monte Carlo Tree Search basiert, wie sie unter anderem in Teslas Autopilot und zur Lösung von Spielen wie Go und Schach zum Einsatz kommt [8]. Der Ansatz hat den großen Vorteil, dass er neben grundlegenden Regeln kein problemspezifisches Wissen benötigt. Es genügt ein einfaches Modell, das die möglichen Aktionen für einen bestimmten Zustand definiert und Zustandsübergänge durchführt. Bei der Terminplanung erlaubt dies, verschiedene Probleme mit demselben Algorithmus zu lösen, wenn ein Modell des Problems erstellt werden kann.

### Fremdbezugsplanung und -steuerung

Mit der Fremdbezugsplanung und -steuerung wird festgelegt, welche Teile, Baugruppen und Erzeugnisse in Hinsicht auf Menge und Termin beschafft werden müssen. Dabei sind hohe Lagerbestände zu vermeiden und Konzepte wie Just in Time und Kanban zu berücksichtigen [3]. Unter diese Aufgabe fallen die Bestellrechnung, die Angebotseinholung und -bewertung, die Lieferantenauswahl und die Bestellfreigabe.

In der Fremdbezugsplanung und -steuerung ist der Einsatz von Machine Learning nur sehr schwach verbreitet. Hosseini und Barker untersuchen in diesem Bereich den Einsatz eines Bayes'schen Netzwerks zur Auswahl von Lieferanten. Bayes'sche Netze können Expertenwissen abbilden, indem Zusammenhänge zwischen Ursachen und Wirkungen beschrieben werden. Sie sind leistungsfähige Verfahren zur Risikobewertung und Entscheidungsfindung, wenn Unsicherheit besteht. Das von den Autoren vorgeschlagene Bayes'sche Netzwerk wird für die Bewertung der Leistung von möglichen Lieferanten in Bezug auf primäre, grüne und resiliente Kriterien verwendet, um schließlich den besten Lieferanten auszuwählen. Unter primären Kriterien werden solche wie Kosten, Qualität und Vorlaufzeit verstanden. Grüne Kriterien berücksichtigen Umweltschutzaspekte wie auch einen niedrigen CO<sub>2</sub>-Ausstoß. Resilienz Kriterien berücksichtigen die Störanfälligkeit der Lieferanten durch ungeplante Ereignisse wie Streiks oder Naturkatastrophen [9].

## Zusammenfassung

Insgesamt lässt sich feststellen, dass Machine Learning in einigen Bereichen der Produktionsplanung und -steuerung großes Optimierungspotenzial bietet. Insbesondere in den Bereichen Durchlaufterminierung und Feinterminierung wurden verschiedene Ansätze in unterschiedlichen Anwendungsfällen positiv evaluiert. Im Bereich der Fremdbezugsplanung und -steuerung sind jedoch bisher nur sehr wenige Veröffentlichungen zu finden.

In den analysierten Quellen wurden viele unterschiedliche Algorithmen des maschinellen Lernens verwendet (Abbildung 3). Beim Supervised Learning wurden vor allem Artificial Neural Networks, Support-Vector-Machines und Bayesian Networks eingesetzt. Im Bereich Unsupervised Learning sticht der K-Means-Algorithmus klar hervor. Im Bereich des Reinforcement Learning wurden Q-Learning-Algorithmen mit Abstand am häufigsten eingesetzt.

Sowohl für produzierende Unternehmen als auch für Softwareanbieter empfiehlt es sich, eigene Optimierungspotenziale in der Produktionsplanung und -steuerung zu erheben, die durch das maschinelle Lernen realisiert werden können. Dabei können die hier dargestellten Erkenntnisse als erste Anhaltspunkte dienen.

Der Artikel basiert auf einer Analyse, die im Seminar „Aktuelle Themen der Wirtschaftsinformatik“ im Masterstudiengang Wirtschaftsinformatik durchgeführt wurde.

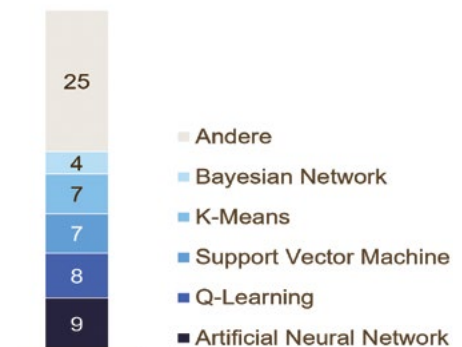


Abb. 3: Häufigkeit der verwendeten Algorithmen

### Referenzen/References:

[1] T. Wuest, D. Weimer, C. Irgens und K.-D. Thoben, „Machine learning in manufacturing: advantages, challenges, and applications“, *Production & Manufacturing Research*, Jg. 4, Nr. 1, S. 23–45, 2016, doi: 10.1080/21693277.2016.1192517

[2] S. Marsland, *Machine Learning: An Algorithmic Perspective*, 2. Aufl. Hoboken: Chapman and Hall/CRC, 2014

[3] G. Schuh und V. Stich, Hg., „Produktionsplanung und -steuerung“, 4. Aufl. Berlin, Heidelberg: Springer Vieweg, 2012, doi: 10.1007/3-540-33855-1

[4] M. Manns, R. Wallis und J. Deuse, „Automatic Proposal of Assembly Work Plans with a Controlled Natural Language“, *Procedia CIRP*, Jg. 33, S. 345–350, 2015, doi: 10.1016/j.procir.2015.06.079

[5] T. Sobottka, F. Kamhuber, M. Faezirad und W. Sihn, „Potential for Machine Learning in Optimized Production Planning with Hybrid Simulation“, *Procedia Manufacturing*, Jg. 39, S. 1844–1853, 2019, doi: 10.1016/j.promfg.2020.01.254

[6] L. Lingitz, V. Gallina, F. Ansari, D. Gyulai, A. Pfeiffer, W. Sihn, L. Monostori, „Lead time prediction using machine learning algorithms: A case study by a semiconductor manufacturer“, *Procedia CIRP*, Jg. 72, S. 1051–1056, 2018, doi: 10.1016/j.procir.2018.03.148

[7] W. Baumung und V. V. Fomin, „Predicting production times through machine learning for scheduling additive manufacturing orders in a PPC system“ in *2019 IEEE International Conference of Intelligent Applied Systems on Engineering (ICIASE)*, Fuzhou, China, 26.04.2019 - 29.04.2019, S. 47–50, doi: 10.1109/ICIASE45644.2019.9074152

[8] M. Lubosch, M. Kunath und H. Winkler, „Industrial scheduling with Monte Carlo tree search and machine learning“, *Procedia CIRP*, Jg. 72, S. 1283–1287, 2018, doi: 10.1016/j.procir.2018.03.171

[9] S. Hosseini und K. Barker, „A Bayesian network model for resilience-based supplier selection“, *International Journal of Production Economics*, Jg. 180, S. 68–87, 2016, doi: 10.1016/j.ijpe.2016.07.007

### AUTOREN



**Sophie Sautter M.Sc.**  
Studentin der Wirtschaftsinformatik im Master  
ssautter@stud.hs-offenburg.de



**Nicolai Haigis M.Sc.**  
Student der Wirtschaftsinformatik im Master  
nhaigis@stud.hs-offenburg.de



**Manuel Baumert M.Sc.**  
Student der Wirtschaftsinformatik im Master  
mbaumert@stud.hs-offenburg.de



**Prof. Dr.-Ing Theo Lutz**  
Professur für Wirtschaftsinformatik, Fakultät B+W und IMLA, Betriebliche Informationssysteme  
theo.lutz@hs-offenburg.de

# Beschleunigung rechenintensiver Clustering-Verfahren in hochdimensionalen Daten

Prof. Dr. rer. nat. Tobias Lauer, Jürgen Prinzbach M.Sc.

Clustering-Verfahren können Muster in Daten aufspüren, indem die Datenpunkte in Gruppen mit ähnlichen Objekten aufgeteilt werden. In hochdimensionalen Datenräumen lässt sich die Ähnlichkeit nur schlecht messen; stattdessen sucht man daher Cluster in allen Teilräumen, was aber sehr rechenaufwendig ist. Zur Reduzierung der Rechenzeit wurde in dieser Arbeit eine Parallelisierung mit Grafikprozessoren vorgenommen, die die Berechnungen annähernd um den Faktor 70 beschleunigen.

*Clustering aims to find patterns in data by grouping data objects into clusters according to similarity. In high-dimensional data spaces, similarity is difficult to measure and the resulting clusters become meaningless. One solution is to search for clusters in all lower-dimensional subspaces. This approach, known as subspace clustering, is computationally expensive due to the huge number of possible subspaces. In order to reduce processing time, the approach reported here parallelizes the computation using graphics processing units. Experimental results show a speedup of about 70x for the main computational bottleneck.*

In den letzten Jahren sind Begriffe wie Künstliche Intelligenz, Machine Learning oder Deep Learning omnipräsent. Zum Teil werden sie dabei mit Dingen in Verbindung gebracht, die mit der Realität zumindest noch wenig gemein haben. Bekannte und bereits verwirklichte Beispiele sind IBMs Watson, DeepMinds AlphaZero oder Erfolge beim autonomen Fahren wie Teslas Autopilot. Bei näherer Betrachtung kann man erkennen, dass diese Beispiele domänenspezifisch den Menschen nachahmen oder unterstützen sollen. Unter Künstlicher Intelligenz (KI) verstehen wir also Technologien, die menschliche Fähigkeiten im Sehen, Hören, Analysieren, Entscheiden ergänzen oder stärken. KI kann dabei als Oberbegriff einer Reihe von Technologien verstanden werden. Darunter fällt auch das bereits erwähnte Machine Learning, mit dessen Algorithmen Muster und Gesetzmäßigkeiten in Datensätzen erkannt und daraus beispielsweise Lösungen, Schlussfolgerungen oder Einordnungen entwickelt werden können.

Um dies zu ermöglichen, werden zunächst relevante Daten gesucht und zusammengetragen. Anschließend werden diese aufbereitet und einem ausgewählten Algorithmus, welcher genauen Regeln zur Einordnung folgt, zum Lernen vorgelegt. Erst danach können

neue Daten mit dem Algorithmus eingeordnet werden. Bei dieser Art des Vorgehens spricht man im Allgemeinen von „überwachtem Lernen“. Der Mensch gibt dabei vor, wie etwas einzuordnen ist. Die zu lernende Ausgabe wird also im Voraus vom Menschen festgelegt.

Allerdings ist dies nicht immer möglich. Wie kann man beispielsweise Gewebetypen ohne vorheriges Wissen unterscheiden? Welche Möglichkeiten hat man, um Ähnlichkeiten von Krankheitsbildern vieler unterschiedlicher Patienten zu entdecken und so Zusammenhänge und Behandlungsmöglichkeiten bei noch unbekanntem Krankheiten zu entdecken? Oder anders gefragt: Wie kann man Muster in noch unbekanntem Daten erkennen?

Hier kommt das „unüberwachte Lernen“ ins Spiel, das es ermöglicht, genau solche Muster vom übrigen Rauschen in Daten unterscheiden zu können, ohne dass der Mensch oder die Umwelt Zielwerte definiert. Eine zentrale Technik hiervon ist das Clustering, also die Suche nach Clustern oder Gruppen von Datensätzen mit ähnlichen Eigenschaften. Auch hier gibt es wieder zahlreiche Verfahren und Definitionen wie die Ähnlichkeit und damit die Cluster bestimmt werden [8].

#### Referenzen/References:

- [1] Prinzbach, J., Lauer, T., Kiefer, N.: „Accelerating Density-Based Subspace Clustering in High-Dimensional Data,” 2021 International Conference on Data Mining Workshops (ICDMW), 2022, pp. 474-481
- [2] Jolliffe, I.: Principal component analysis. New York: Springer, 2002
- [3] Kiefer, N.: “SUBSCALE algorithm for GPUs,” Master Thesis, HSO, 2020. Online verfügbar: [https://github.com/KieferN/SUBSCALE\\_GPU](https://github.com/KieferN/SUBSCALE_GPU)
- [4] Aggarwal, C. C., Wolf, J. L., Yu, P. S., Procopiuc, C., Park, J. S.: “Fast algorithms for projected clustering,” SIGMOD Rec., vol. 28, no. 2, pp. 61–72, 06 1999
- [5] Parsons, L., Haque, E. and Liu, H.: “Subspace clustering for high dimensional data: A review,” SIGKDD Explor. Newsl., vol. 6, no. 1, p. 90–105, 06 2004
- [6] Ester, M., Kriegel, H.-P., Sander, J. and Xu, X.: “A density-based algorithm for discovering clusters in large spatial databases with noise,” in Proceedings of the

Eine Möglichkeit ist es, dies mit Distanzfunktionen zu bewerkstelligen, was man sich sehr vereinfacht so vorstellen kann: Karlsruhe ist bezogen auf die Attribute Einwohnerzahl und geografische Lage deutlich ähnlicher zu Freiburg, als es das zu Berlin ist. Lässt man noch andere Attribute einfließen, könnte dies natürlich schon wieder anders aussehen. Dieses Beispiel zeigt aber recht anschaulich das Problem von klassischen Clustering-Algorithmen auf. Diese bewähren sich zwar bei niedrig-dimensionalen Daten, also bei solchen mit einer überschaubaren Zahl von Attributen, versagen aber meist für hochdimensionale Daten. In vielen realen Anwendungen, wie zum Beispiel der medizinischen Diagnose, hat man aber oft Hunderte von Attributen, die in die Analyse mit einbezogen werden sollen. Ein Datenraum mit 200 oder mehr Dimensionen ist also nicht ungewöhnlich. Hier tritt der sogenannte „Fluch der Dimensionalität“ auf: Distanzfunktionen verlieren mit zunehmender Dimensionalität ihre Aussagekraft, sodass bereits eine kleine Anzahl von Attributen mit unterschiedlichen Werten dazu führt, dass ansonsten ähnliche Punkte im Datenraum weit voneinander entfernt liegen. Eine sinnvolle Zuordnung zu Clustern ist somit nicht mehr möglich und die gesamten Daten erscheinen als einziges Rauschen.

Um dies zu vermeiden, gibt es verschiedene Ansätze. So kann man versuchen, die Dimensionalität mit der sogenannten Hauptkomponentenanalyse zu verringern, indem der Datenraum in eine neue, geringere Anzahl von Dimensionen transformiert wird [2]. Allerdings sind die daraus resultierenden Cluster im Hinblick auf die ursprünglichen Dimensionen nur noch schwer zu interpretieren. Zudem erfassen solche Methoden nicht die lokale Relevanz und Gruppierung der Daten. Man könnte also die Unterscheidung der geografischen Nähe sowie der ähnlichen Bevölkerungszahlen oder anderen Attributen der genannten Städte unter Umständen nicht mehr treffen. Ein weiterer in der Literatur zu findender Ansatz ist die Verwendung einer Unterauswahl der Dimensionen. [4] Da hierbei aber zwangsläufig Dimensionen ignoriert werden, können nicht alle natürlichen Gruppierungen der Daten gefunden werden.

Wiederum andere Algorithmen zielen darauf ab, alle möglichen Teilmengen der Dimensionen, sogenannte Subspaces des Datenraums, auf Cluster zu durchsuchen. Man spricht hierbei von Subspace-Clustering-Algorithmen [5]. Viele von ihnen sind dichtebasiert, das heißt, sie definieren Cluster analog zu

vielen klassischen Clustering-Algorithmen anhand von Punkten, welche entsprechend einer Distanzfunktion dichte Gruppen von Punkten im jeweiligen Teilraum bilden [6].

Wichtig ist in diesem Zusammenhang, dass der Fluch der Dimensionalität nicht nur die Identifizierung von Clustern prinzipiell beeinträchtigt, sondern auch die Laufzeit der Algorithmen aufgrund des exponentiellen Suchraums massiv erhöht. In einem Datenraum mit 100 Dimensionen gibt es  $2^{100}$  Subspaces. All diese unabhängig voneinander zu durchsuchen, liegt jenseits jeglicher praktischen Berechenbarkeit, sodass gängige Subspace-Clustering-Verfahren insbesondere darauf basieren, die Zahl der durchsuchenden Subspaces durch geschickte Techniken zu reduzieren [7]. Dennoch benötigen diese Verfahren selbst bei kleineren Datenmengen nicht selten Tage oder Wochen zur Berechnung. Eine weitere Möglichkeit, Rechenzeit zu sparen, ist, unabhängige Teile der Berechnung parallel durchzuführen.

Dass die Möglichkeit einer parallelen Abarbeitung von Aufgaben sinnvoll ist, zeigen schon Alltagsbeispiele wie Supermarktkassen oder mehrspurige Straßen. Auf aktuellen Computersystemen ist es ohne Weiteres möglich, beispielsweise parallel auf verschiedenen Displays zu arbeiten und währenddessen ein Chatprogramm oder einen Videostream laufen zu lassen und viele weitere Programme. Ermöglicht wird dies durch Mechanismen des Betriebssystems, aber auch maßgeblich durch die verfügbare Hardware, nämlich in der Regel mehrere Prozessorkerne (Multicore-CPU) und Grafikprozessoren (GPUs). Auch wenn sowohl CPUs als auch GPUs grundlegend Aufgaben parallel abarbeiten können, so sind sie doch für prinzipiell unterschiedliche Aufgabentypen geeignet. Während eine Multicore-CPU wie im genannten Beispiel ganz unterschiedliche Dinge nebeneinander ausführen kann, ist eine GPU darauf ausgelegt, parallel viele Aufgaben derselben Art auszuführen. Die Parallelität ist dabei deutlich höher als bei CPUs. Während aktuelle Multicore- und Multiprozessor-Rechner typischerweise einige Dutzend bis hundert Prozessorkerne aufweisen, enthält eine einzelne High-End-Grafikkarte heute 5000 oder mehr Grafikkerne. Diese sind ursprünglich dafür ausgelegt, die einzelnen Bildpunkte der Bildschirmausgabe, zum Beispiel während eines Computerspiels, zu berechnen. Die Art der Berechnung ist für alle Pixel gleich, auch wenn der resultierende Farbwert unterschiedlich ist. Auch viele andere nicht-grafische Problemstellungen haben eine

Second International Conference on Knowledge Discovery and Data Mining, ser. KDD'96. AAAI Press, 1996, pp. 226–231

[7] Sim, K., Gopalkrishnan, V., Zimek, A., Cong, G.: “A survey on enhanced subspace clustering,” Data Mining and Knowledge Discovery, vol. 26, 03 2013

[8] Xu, D. and Tian, Y.: “A comprehensive survey of clustering algorithms,” Annals of Data Science, vol. 2, no. 8, 2015

[9] Kaur, A., Datta, A.: “A novel algorithm for fast and scalable subspace clustering of high-dimensional data”, Journal of Big Data, vol. 2, no. 1, Aug. 2015

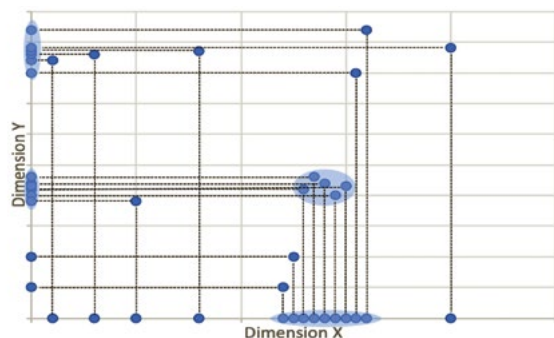
[10] Guyon, I.: “Madelon Data Set,” 2008. [Online]. Available: <http://archive.ics.uci.edu/ml/datasets/madelon>

[11] Knuth, D. E.: The Art of Computer Programming, Vol. 4, Fascicle 3: Generating All Combinations and Partitions. Addison-Wesley Professional, 2005

ähnliche Berechnungsstruktur, nämlich viele gleichartige unabhängige Teilprobleme. Daher werden GPUs in unterschiedlichen Bereichen, unter anderem auch im Machine Learning, zum Beispiel beim Training neuronaler Netze, sehr erfolgreich eingesetzt.

In der hier beschriebenen Forschung wurde untersucht, wie durch Grafikprozessoren auch das Subspace-Clustering beschleunigt werden kann. Allerdings sind viele Subspace-Clustering-Algorithmen nicht (oder zumindest nicht auf nahe liegende Art und Weise) parallelisierbar. Eine der wenigen Ausnahmen ist der Subscale-Algorithmus [9], der darauf basiert, zunächst die eindimensionalen Cluster, das heißt dichte Bereiche in jeder einzelnen Dimension zu bestimmen. Cluster höherer Dimensionalität werden aus diesen eindimensionalen Clustern schrittweise durch sogenannte Hashkollisionen ermittelt. Dazu bekommt jedes Cluster eine eindeutige Zahl (Signatur) zugewiesen, die sich aus den in ihm enthaltenen Datenpunkten ergibt und die in eine Tabelle eingetragen wird. Findet man dieselbe Signatur auch in einer anderen Dimension, so existiert dieser Cluster in beiden Dimensionen und damit auch in dem zweidimensionalen Subspace, der sich aus deren Kombination ergibt. Somit hat man nach Betrachtung aller Dimensionen automatisch die maximale Dimensionalität dieses Clusters gefunden. Da man beim Abarbeiten einer Dimension alle darin gefundenen Cluster so verarbeiten kann, genügt insgesamt ein Durchgang pro Dimension, um letztlich alle Subspace-Cluster zu ermitteln. Dies ist um Größenordnungen weniger komplex als das Durchsuchen aller möglichen Subspaces und unterscheidet Subscale von den meisten anderen Verfahren.

Das große Problem bei diesem Ansatz ist allerdings, dass sich Punkte in allen Dimensionen anders clustern und zum Beispiel aus einem Cluster von neun Punkten in Dimension X womöglich nur fünf Punkte auch in Dimension Y ein Cluster bilden, in welchem auch noch weitere Punkte liegen könnten, die wiederum in Dimension X nicht zum Cluster gehören (Abbildung 1).



**Abb. 1:** Beispiel eines Datenraums mit drei eindimensionalen und einem zweidimensionalen Cluster (hellblau hinterlegt)

Diese beiden Cluster hätten dann unterschiedliche Signaturen und die fünf Punkte, die beiden gemeinsam sind, also ein zweidimensionales Cluster bilden, könnten nicht identifiziert werden.

Aus diesem Grund betrachtet das Subscale-Verfahren immer nur Cluster einer festen Größe  $k$ , sogenannte Dense Units. Dabei gibt  $k$  die vom Anwender gewählte Minimalgröße von Clustern an, also die kleinste Zahl dicht beieinanderliegender Punkte, ab der man von einem Cluster sprechen will (eine Gruppe von weniger als  $k$  Punkten betrachtet man als Rauschen). In unserem Beispiel könnte  $k = 4$  gewählt sein.

Aus dem oben erwähnten Cluster in Dimension X mit neun Punkten würde man also alle Dense Units, das heißt alle Teilmengen aus vier Punkten bilden und deren Signaturen errechnen. Da man dasselbe auch mit den Punkten des Clusters in Dimension Y macht, findet man über die gemeinsamen Signaturen letztlich alle Dense Units, die in beiden Clustern vorkommen. (Um daraus den Gesamtcluster der fünf gemeinsamen Punkte zu erhalten, muss man die überlappenden Dense Units eines Subspace final miteinander verschmelzen, was aber hier nicht weiter betrachtet wird, da dies relativ einfach und schnell möglich ist.)

Problematischer ist, dass sich durch das Bilden der Dense Units die Zahl der zu betrachtenden Signaturen deutlich erhöht. Allein für das neunelementige Cluster im obigen Beispiel gibt es  $\binom{9}{4} = 126$  verschiedene Dense Units (das heißt vierelementige Teilmengen), deren Signaturen berechnet und in der Tabelle gespeichert werden müssen. Während also wie oben erwähnt die Dimensionalität keinen drastischen Einfluss auf die Rechenzeit des Subscale-Verfahrens hat, ist die potenziell große Anzahl der Dense Units ausschlaggebend für den Zeitaufwand. Im schlechtesten Fall wächst diese Zahl in der  $k$ -ten Potenz mit der Anzahl der Datenpunkte (unabhängig von der Dimensionalität).

Prinzipiell ist die Verarbeitung jeder einzelnen Dense Unit eine unabhängige Teilberechnung, welche außerdem für jede Dense Unit gleich abläuft: Es müssen die  $k$  enthaltenen Punkte bestimmt, aus diesen die Signatur berechnet und in eine Hashtabelle eingefügt werden. Diese Schritte könnten sehr gut für hunderttausende Dense Units datenparallel auf einer GPU berechnet werden, was die Rechenzeit signifikant verkürzen würde. Die Effizienz rührt daher, dass – vereinfacht gesprochen – die Rechenkerne der GPU stets „im Gleichschritt“ dieselbe Anweisung ausführen, dies aber auf jeweils unterschiedlichen Dense Units.

Um jedoch alle Dense Units eines Clusters effizient zu bestimmen, müssen die bekannten Verfahren alle  $k$ -elementigen Teilmengen der Clusterpunkte sequenziell in einer festgelegten Reihenfolge erzeugen. Man kann sich dies vorstellen wie das Hochzählen eines Kilometerzählers in einem Fahrzeug. Der nächste Stand der Anzeige gibt die Elemente der nächsten Teilmenge an. Zur Bestimmung einer Dense Unit wird daher immer die jeweils vorangehende Dense Unit benötigt. Diese Abhängigkeit verhindert die oben genannte effiziente parallele Verarbeitung der Dense Units.

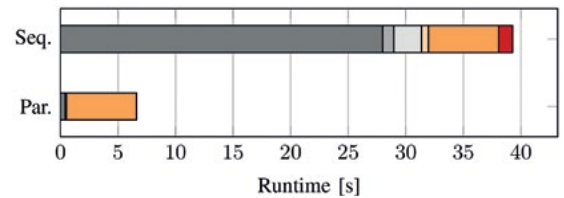
In der vorliegenden Arbeit wurde untersucht, wie die einzelnen Dense Units komplett unabhängig voneinander lediglich durch die Angabe der laufenden Nummer erzeugt werden können. Statt wie vorher die  $i$ -te Teilmenge aus der  $(i-1)$ -ten Teilmenge abzuleiten (und diese aus der  $(i-2)$ -ten etc.), ist es auch möglich, die  $i$ -te Teilmenge direkt durch eine mathematische Zerlegung der Zahl  $i$  in eine Summe von  $k$  Binomialkoeffizienten zu bestimmen, aus denen sich dann die  $k$  Elemente der Dense Unit extrahieren lassen. Die Elementnummern sind die eindeutig bestimmten Zahlen  $0 \leq n_1 < n_2 < \dots < n_k$ , die die Gleichung  $i = \binom{n_1}{1} + \binom{n_2}{2} + \dots + \binom{n_k}{k}$  erfüllen [1].

Diese direkte Berechnung [11] ist allerdings algorithmisch deutlich aufwendiger als das oben beschriebene sequenzielle Hochzählen. Während Letzteres immer in höchstens  $k$  Rechenschritten durchführbar ist, ist der Aufwand bei der direkten Berechnung zusätzlich abhängig von der Anzahl  $N$  aller Punkte desjenigen Clusters, für den man die Dense Units bestimmen möchte. Pro Dense Unit benötigt man hier im schlechtesten Fall  $k \cdot (\log_2 N)$  Rechenschritte. Andererseits ist es damit nun möglich, die Berechnung parallel vorzunehmen.

Ausgangshypothese unserer Forschung war, dass die Parallelisierung mit GPUs diesen Effizienznachteil ausgleichen und sogar überkompensieren kann. Daher wurde der Ansatz mit dem CUDA-Framework des Grafikkartenherstellers NVIDIA implementiert und in das Subscale-Verfahren integriert. Der Code ist frei verfügbar [3]. Darauf aufbauend wurden umfangreiche Experimente auf einem Rechnersystem mit einer NVIDIA Tesla V100 Hochleistungs-GPU mit 5120 Rechenkernen durchgeführt, um zu überprüfen, wie sich die Parallelisierung auf die Laufzeiten auswirkt.

Für die Tests wurde das Madelon Dataset aus dem UCI Machine Learning Repository verwendet [10], das als Benchmark für Subspace-Clustering-Algorithmen dient. Es besteht

Abb. 2:  
Laufzeiten für die sequenzielle und parallele Ausführung des Subscale-Algorithmus



aus 4400 Datenpunkten in 500 Dimensionen. Für das Clustering mit minimaler Clustergröße  $k = 3$  müssen dabei insgesamt ca. 2,9 Milliarden Dense Units berechnet werden. Diese Berechnung muss aufgrund von Speicherplatzbeschränkungen des Systems in mehreren Teilen (Partitionen) erfolgen, zwischen denen die Teilergebnisse jeweils auf Festplatte geschrieben werden. Verglichen wurde im Test die durchschnittliche Laufzeit pro Partition. Die Ergebnisse sind in Abbildung 2 dargestellt. Der dunkelgraue linke Bereich der Balken gibt die Zeit für die Dense-Unit-Berechnung an, die anderen Farben stehen für unterschiedliche Transformationsschritte sowie das Schreiben auf Festplatte (orange).

Wie man sieht, reduziert die Parallelisierung die Laufzeit für die Berechnung von knapp 28 Sekunden auf weniger als 0,4 Sekunden, was einem Beschleunigungsfaktor nahezu von 70 entspricht. Da nicht alle Teile des Algorithmus parallelisiert werden können, insbesondere nicht das Schreiben von Daten auf Festplatte, ergibt sich bei der Gesamtlaufzeit für diesen Datensatz nur eine etwa sechsfache Beschleunigung pro Partition. Das zeitraubende Zwischenspeichern von Teildaten auf externe Datenträger kann vermieden werden, indem zum Beispiel ein System mit größerem Hauptspeicher verwendet werden oder die Daten über ein schnelles Netzwerk auf ein anderes System ausgelagert werden. Durch Verwendung leistungsfähigerer oder mehrerer GPUs im selben System oder durch Verteilung auf mehrere Rechner kann außerdem das Verfahren bezüglich Beschleunigung beziehungsweise Datenmenge skaliert werden. Die Untersuchung dieser Fragen ist Gegenstand aktueller und zukünftig geplanter Arbeiten.

#### AUTOREN



Prof. Dr. rer. nat. Tobias Lauer  
Studiendekan AI und INFM, IMLA,  
Parallel Computing, Betriebssysteme,  
Programmierung  
tobias.lauer@hs-offenburg.de



Jürgen Prinzbach, M.Sc.  
Doktorand, IMLA  
juergen.prinzbach@hs-offenburg.de

# Deep Reinforcement Kick: Lernen von einem simulierten Roboter mit Zehen

Prof. Dr.-Ing. Klaus Dorer, Martin Spitznagel B.Sc., David Weiler M.Sc.

Mit dem Deep Reinforcement Learning Algorithmus Proximal Policy Optimization lernen simulierte humanoide Nao Roboter mit Zehen das Kicken. Experimente zeigen, dass so gelernte Kicks deutlich zuverlässiger funktionieren als mit genetischen Algorithmen gelernte. Dabei schneiden Roboter mit Zehen besser ab als Varianten ohne Zehen. So gelernte Kicks führen zu einer signifikant höheren Anzahl Tore in Fußballspielen.

*Simulated humanoid Nao robots with toes learn to kick using Proximal Policy Optimization, a deep reinforcement learning algorithm. Experiments show that these kicks work significantly more reliable and are more flexible as kicks learned using genetic algorithms. Comparing a robot version with toes to one without shows better success for the robot with toes. Robots using these deep reinforcement learning kicks in games score significantly more often than their counterparts.*

Jede Bewegung eines humanoiden Roboters ist eine Choreografie der einzelnen Bewegungen der Gelenkmotoren. Jede Drehung der einzelnen Gelenke muss so aufeinander abgestimmt sein, dass die gewünschte Bewegung erzielt wird. Der Roboter in dieser Arbeit ist ein simulierter Nao-Roboter, mit drei Freiheitsgraden in jeder Hüfte, einen im Knie, zwei im Fußgelenk und als Besonderheit mit einem Zehngelenk (Abbildung 1). Die Aufgabe dieses Roboters ist es, einen vor ihm liegenden Ball zu kicken. Dazu müssen alle 14 Motoren der Beine entsprechend koordinierte Bewegungen über die Zeit ausführen.

Schon seit einigen Jahren werden solche Bewegungen nicht mehr programmiert, sondern vom Roboter mit genetischen Algorithmen selbst gelernt. Neben meist besseren Ergebnissen gegenüber manuellem Programmieren hat dies auch den Vorteil, dass es sehr einfach ist, durch Änderung der Zielvorgabe (fitness function), beliebige Kicks in verschiedensten Richtungen zu lernen. Allerdings hat dieser Ansatz eine fundamentale Einschränkung: Der Roboter lernt genau eine Bewegung, unabhängig von der aktuellen Situation – die Bewegung ist open loop, nicht durch Wahrnehmungen beeinflusst. Das bedeutet, dass zum Beispiel ein gelernter Kick nur dann funktionieren wird, wenn der Ball da liegt, wo er auch beim Lernen immer lag. Eine Anpassung der Bewegung an einen etwas weiter links oder rechts liegenden Balls ist nicht möglich.

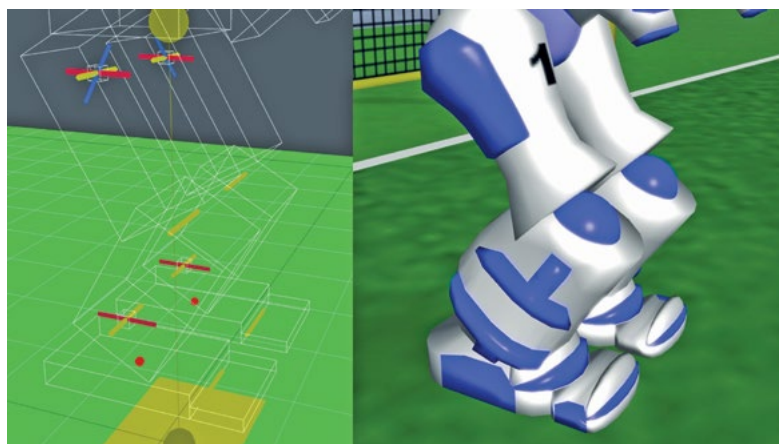


Abb. 1:  
Nao-Roboter mit Zehen

Das Lernen mit Deep Reinforcement Learning (DRL) unterliegt nicht dieser Einschränkung. Hier wird die Bewegung des Roboters durch ein mehrschichtiges neuronales Netzwerk gelernt. Input in das Netzwerk sind aktuelle Sensorwerte wie Gelenkstellung, Fußdrucksensoren, Inertialsensoren, aber beispielsweise auch die relative Lage des Balls. Im Beispiel dieser Arbeit sind das etwa 100 Neuronen. Anhand dieses Inputs lernt das neuronale Netzwerk eine Ausgabe zu generieren, die direkt als Steuerung der 14 Motoren verwendet werden kann.

Bis vor wenigen Jahren war allerdings das Lernen in derart großen Suchräumen (100 reelwertige Inputs abzubilden auf 28 reelwertige Outputs) undenkbar gewesen. Neueste Algorithmen wie der hier verwendete PPO Algorithmus (Proximal Policy Optimization [1]) erlauben es aber, erfolgreich solche Aufgaben zu lernen [2].



### Experiment 1: Geradeaus kicken

In einem ersten Schritt bestand die Lernaufgabe darin, aus dem Stand möglichst weit geradeaus zu kicken. Diese Aufgabe wurde durch genetische Algorithmen bereits erfolgreich gelernt und dient zum direkten Vergleich beider Algorithmen. Das Lernen mit PPO dauert für diese Aufgabe etwa zwei Tage. Das Ergebnis ist in Abbildung 2 zu sehen: Die 100 durch genetisches Lernen gesteuerten Kicks (links) streuen mehr, sind im Mittel nicht so weit und auch die Zahl der kompletten Fehlschläge ist größer im Vergleich zu den 100 DRL-Kicks (rechts). Ein Grund hierfür ist, dass trotz der anfänglich identischen Startbedingungen durch den Nicht-Determinismus der Umgebung zum Zeitpunkt des Kicks die relative Ballposition leicht variiert. Während der genetisch gelernte Kick darauf nicht reagieren kann, kann der DRL-Kick dies berücksichtigen und mitlernen. Ein Kick von 8 Metern entspricht wegen der kleineren Größe des Nao Roboters in etwa einem Kick von 25 Metern eines Menschen.

### Experiment 2: Variable Ballposition

Im zweiten Schritt wurde die initiale relative Ballposition systematisch variiert, um diesen Vorteil von DRL noch stärker zu nutzen. Dazu wurde während des Lernens der Ball zufällig in einem Rechteck von 0 bis 12 cm rechts der Mitte des Roboters und 16 bis 25 cm entfernt vom Roboter platziert. Gelernt wird immer nur das Kicken mit dem rechten Bein. Durch die Spiegelung aller Wahrnehmungen und Aktionen kann dann auch automatisch mit dem linken Bein gekickt werden. Das Ergebnis ist in Abbildung 3 zu sehen. Die x-Achse zeigt dabei die seitliche Lage des Balls relativ zur Robotermitte und die y-Achse die Entfernung des Balls von der Robotermitte. Jedes Kästchen entspricht der Startposition von 50 Kicks und wurde grün eingefärbt, wenn die mittlere erreichte Balldistanz größer als fünf Meter war. Dabei zeigt sich, dass der DRL-Kick (rechts) noch in einem viel größeren Bereich funktioniert als der genetisch gelernte Kick. In einem Spiel bringt das erhebliche Vorteile, weil der Roboter wesentlich weniger genau zum Ball platziert werden muss.

### Experiment 3: Variable Richtung und Distanz

Besonders eindrücklich zeigt sich die Mächtigkeit von Deep Reinforcement Learning im nächsten Experiment. Die Inputs des neuronalen Netzwerks wurden um zwei weitere Neu-

ronen erweitert: die gewünschte Kickrichtung und die gewünschte Distanz. Änderungen in der Lernumgebung waren, dass der Zielpunkt nun variabel zwischen -45 Grad (rechts) und 45 Grad (links) und zwischen drei und zehn Metern weit entfernt liegt. Die Bewertungsfunktion belohnt jetzt, wie genau der Ball nach dem Kick diesen Punkt erreicht sowie weiterhin, ob der Roboter dabei stehen bleiben konnte. Die in Abbildung 4 grün eingefärbten Quadrate entsprechen den besonders gut erreichten Richtungen und Distanzen. Das DRL-Netzwerk hat also gelernt, welche Bedeutung die beiden neuen Inputs (unter den 100 anderen!) haben.

Abb. 2: Genetisch gelernter Kick (links) und DRL gelernt (rechts)

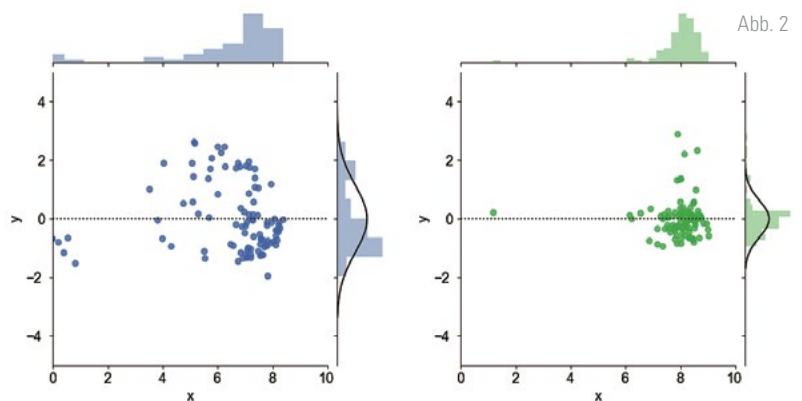


Abb. 2

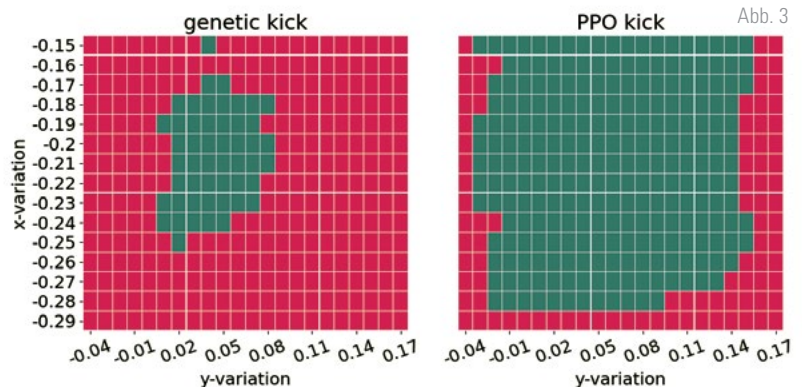


Abb. 3

Abb. 3 (oben): Kickbarer Bereich des genetischen Kicks (links) und des DRL-Kicks (rechts)

Abb. 4 (unten): Mittlere Güte von je 100 Kicks in die angegebene Richtung (x-Achse) und Entfernung (y-Achse)

Abb. 4

	-45	-40	-35	-30	-25	-20	-15	-10	-5	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45
3	54,9	62,9	66,8	72,6	72,5	72,3	75,0	74,6	74,2	75,7	68,4	70,5	73,1	69,4	63,2	60,9	56,5	50,2	48,1
3,5	62,7	66,2	69,7	77,9	77,2	77,3	78,7	80,7	80,2	81,0	74,2	76,8	77,8	73,2	75,2	72,1	66,8	63,0	59,1
4	62,0	70,5	74,4	77,4	82,8	86,2	86,9	84,3	85,6	82,8	81,4	82,2	77,4	77,7	75,9	75,0	69,7	71,6	64,8
4,5	64,2	70,0	74,6	80,8	84,0	85,7	82,8	87,5	86,9	87,2	86,9	83,5	82,4	79,2	78,1	76,1	75,0	68,1	64,5
5	60,9	71,3	76,2	83,5	85,7	83,4	87,4	87,3	86,4	86,1	85,3	84,7	83,3	79,6	75,3	75,2	72,9	70,7	66,6
5,5	63,6	70,5	79,0	83,1	86,7	83,5	84,5	87,7	87,6	86,6	85,0	84,4	82,7	79,8	78,8	74,2	73,0	68,9	65,9
6	64,8	73,2	75,1	82,3	82,6	85,2	87,1	86,8	88,9	87,7	86,2	83,4	81,4	75,8	77,7	81,3	70,3	69,3	67,0
6,5	63,4	70,5	78,5	83,1	84,8	82,4	88,1	89,1	88,0	86,5	81,9	82,7	80,1	78,3	78,2	73,7	76,2	70,1	64,1
7	67,9	73,5	80,5	85,0	86,2	85,8	85,5	86,6	86,4	84,7	82,8	82,7	80,5	80,9	78,1	78,1	72,8	66,6	63,9
7,5	65,6	71,8	81,6	86,1	86,7	88,2	88,6	89,4	86,2	86,3	83,0	82,8	81,5	80,9	76,6	68,6	74,0	69,2	64,5
8	68,4	72,2	81,0	86,3	86,9	88,6	90,5	90,6	88,7	87,9	85,8	83,5	80,9	77,9	75,4	69,8	67,8	65,9	58,1
8,5	64,0	74,8	77,2	85,8	87,1	88,0	88,2	87,4	86,4	88,6	85,2	83,5	80,5	77,0	79,5	74,0	69,9	62,3	57,8
9	63,9	71,1	78,1	84,5	88,2	87,7	85,7	86,0	86,8	85,7	84,8	83,8	78,4	76,8	73,5	68,4	64,8	61,1	56,1
9,5	64,0	69,5	77,1	84,0	83,6	85,2	85,3	84,7	83,9	84,4	83,6	81,8	79,5	72,9	72,9	65,1	59,0	56,7	53,1
10	62,2	67,2	74,8	78,0	81,7	82,0	80,6	81,8	80,2	80,0	78,1	80,2	77,2	72,4	68,6	68,3	62,4	55,6	54,4

Bei diesem Experiment zeigt sich auch der Vorteil von Zehen. Vergleicht man das Ergebnis eines Nao Roboters mit und eines ohne Zehen bei diesem Lernvorgang kann man feststellen, dass besonders bei den für das Spiel wichtigen weiten Kicks der Roboter mit Zehen deutlich bessere Ergebnisse erzielt (Abbildung 5, grüne Einfärbung).

### Ergebnis im Spiel

Letzte Hürde beim Lernen von Verhalten von Fußballrobotern ist es, die in einer bestimmten Trainingssituation erlernten Verhalten im Spiel zu verwenden. Erst dann zeigt sich, ob die Trainingssituation realistisch genug war, um auch im laufenden Spiel einen Vorteil zu erbringen.

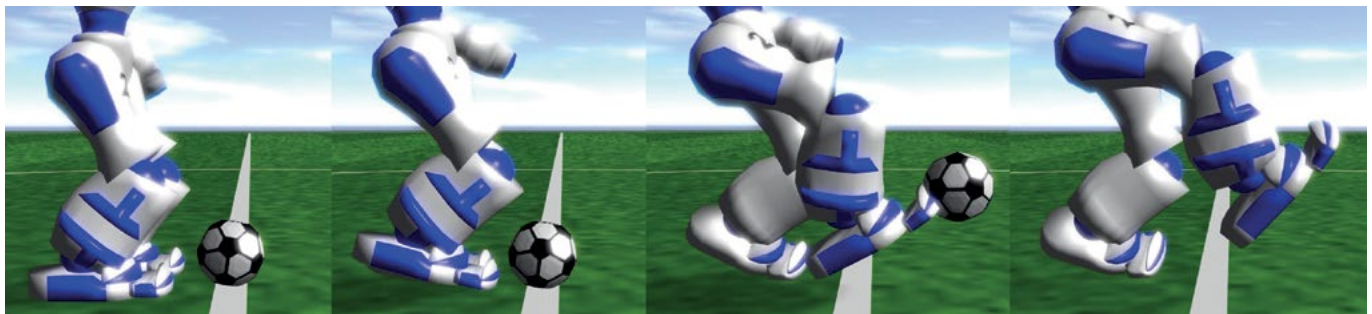
Dazu wurden zunächst 200 Spiele von elf gegen elf Robotern gespielt, in denen die beiden Mannschaften bis auf den Kick identisch waren, der in der einen Mannschaft der neue DRL-Kick war und in der Vergleichsmannschaft der genetisch gelernte. Dabei konnte das DRL-

	-45	-40	-35	-30	-25	-20	-15	-10	-5	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45
3	-20,0	-10,4	-5,6	-0,2	0,7	-4,4	-0,7	-3,2	5,8	-0,6	-10,9	-7,7	-1,1	2,2	-6,4	-5,0	-14,4	-10,0	-10,4
3,5	-5,9	-6,1	-7,4	-0,4	1,0	-3,4	-1,3	1,3	8,2	4,2	-4,6	-4,2	-2,9	-2,5	0,9	-5,7	-7,0	-6,1	-5,5
4	-6,8	-2,8	-1,3	-3,8	2,3	6,6	7,9	0,5	3,7	-1,2	-1,3	1,5	0,9	-0,5	-2,1	-1,4	-3,0	-4,3	-1,1
4,5	-0,3	3,2	2,6	3,9	3,5	4,0	0,6	6,6	5,2	3,1	5,1	6,5	3,9	5,9	4,1	8,0	2,5	1,8	1,6
5	-2,5	4,6	1,4	5,9	3,7	1,0	4,2	3,1	6,1	0,5	3,6	4,2	4,9	4,7	0,9	6,2	0,1	0,7	1,9
5,5	3,0	4,5	4,7	5,2	2,9	1,4	-2,9	4,1	2,0	-0,8	0,1	3,5	6,4	1,2	5,9	-0,9	-0,7	-2,3	3,4
6	5,8	7,7	3,4	1,5	-1,5	-0,3	2,1	-0,6	2,6	-0,6	1,1	-0,9	2,3	-1,4	1,8	2,5	-0,3	1,0	7,7
6,5	6,8	7,2	3,2	3,4	-1,9	-0,5	3,0	6,0	1,4	-1,9	-1,1	-0,2	-2,1	-2,3	11,9	2,1	14,3	8,6	3,8
7	10,3	5,2	8,7	6,5	-2,4	0,0	-1,9	-1,1	3,2	-3,0	-3,7	2,1	0,7	3,0	3,5	6,2	5,2	12,8	9,4
7,5	10,0	4,4	10,5	6,5	4,3	2,7	7,3	1,6	-1,1	-1,9	0,5	3,1	4,3	4,7	7,4	-1,7	7,4	13,7	11,9
8	13,1	11,0	9,6	8,8	6,5	4,3	10,6	7,8	4,4	5,3	3,7	5,5	8,0	3,0	5,4	7,6	10,7	9,1	7,9
8,5	9,8	12,8	10,2	11,4	9,1	10,6	12,3	10,0	6,9	7,9	7,1	7,5	8,0	5,5	15,1	11,4	11,2	9,4	8,6
9	10,0	10,9	11,3	14,2	14,4	20,0	12,5	9,6	9,8	7,4	7,8	9,0	7,6	10,7	9,5	9,0	8,0	8,6	6,7
9,5	8,9	16,5	15,5	14,6	11,8	18,0	10,9	12,4	9,4	11,0	15,2	12,8	11,7	9,7	11,3	6,5	3,6	6,0	7,2
10	10,3	12,2	12,3	15,3	16,8	9,6	8,4	12,2	9,9	14,4	11,7	14,3	12,7	8,3	10,3	10,6	9,4	6,8	14,1

Team 76 Spiele gewinnen, das genetisch gelernte 41 (Rest unentschieden). Die mittlere Anzahl Tore je Spiel betrug 0.665 gegenüber 0.385, ein signifikanter Unterschied.

Abb. 5: Differenz der Ergebnisse eines Nao Roboters mit Zehen (besser bei grün) und ohne Zehen

Des Weiteren wurde in einer zweiten Spielserie mit 200 Spielen der Einsatz des multidirektionalen Kicks (Experiment 3) mit dem einfachen Kick geradeaus verglichen (beide DRL). Dabei erzielte die Mannschaft mit multidirektionalem Kick 0.695 Tore im Mittel und siegte 79-mal, während die Mannschaft mit dem geradeaus Kick nur 0.46Tore erzielte und 49-mal gewann.



**AUTOREN**

**Prof. Dr.-Ing. Klaus Dorer**  
 Institute for Machine Learning and Analytics, Künstliche Intelligenz, Autonome Systeme und Softwaretechnik  
 klaus.dorer@hs-offenburg.de

**Martin Spitznagel B.Sc.**  
 mspitzna@stud.hs-offenburg.de

**David Weiler M.Sc.**  
 david.weiler@ruv.de

Referenzen/References:

[1] John Schulman, Filip Wolski, Prafulla Dhariwal, Alec Radford, Oleg Klimov (2017) Proximal Policy Optimization Algorithms. arXiv:1707.06347

[2] Martin Spitznagel, David Weiler, Klaus Dorer (2021) Deep Reinforcement Multi-Directional Kick-Learning of a Simulated Robot with Toes. In Proceedings of IEEE International Conference on Autonomous Robot Systems and Competitions (ICARSC), IEEEExplore



# **ivESK – INSTITUT FÜR VERLÄSSLICHE EMBEDDED SYSTEMS UND KOMMUNIKATIONSELEKTRONIK**

Prof. Dr.-Ing. Axel Sikora  
(4.v.l.) und sein ivESK-  
Team

Das „Internet der Dinge“ (Internet of Things, IoT) durchdringt die industriellen und persönlichen Anwendungen zunehmend. Hierzu zählen beispielsweise Smart-Metering und Smart-Grid, Industrie- und Prozessautomation, Car-to-Car, bzw. Car-to-X-Kommunikation, Heim- und Gebäudeautomation, Telehealth- und Telecare-Anwendungen. Die drahtgebundene und drahtlose Vernetzung von Embedded Systemen und deren 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 immer mehr an Bedeutung. Entsprechend müssen die Aspekte der Datensicherheit (Security) und der Privatsphäre (Privacy) ebenfalls und von Anfang berücksichtigt werden. Besondere Themenschwerpunkte sind gegenwärtig die in diesem Bericht vorgestellten Themenkreise der zellularen Mobilkommunikation (5G/5.xG/6G), die echtzeitfähige Kommunikation insbesondere unter Nutzung der Ansätze des Time Sensitive Networking (TSN), Absicherungssysteme sowohl auf Protokoll- als auch auf Anwendungsebene (Beitrag von Herrn Welte und Herrn Ghovanlooy über die Nutzung von Blockchains für industrielle Anwendungen) und Low-Power Wide-Area Networks (LPWAN), in dem eine interessante Neuentwicklung von Manuel Schappacher in seinem Beitrag beschrieben wird.

Das Institut für verlässliche Embedded Systems und Kommunikationselektronik (ivESK) an der Hochschule Offenburg 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 Forschungs- und Entwicklungsprojekte 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 Vollzeitmitarbeiter sowie etwa ebenso viele Studierende in einem sehr internationalen, hochmotivierten und lebendigen Team. Regelmäßig sind Gastwissenschaftler aus der ganzen Welt vor Ort, um neue Themen zu erschließen. Aufgrund der weiterhin sehr positiven Projektlage sind eigentlich immer Projekt- und Promotionsstellen verfügbar. Kandidaten für Tutorentätigkeiten und Abschlussarbeiten sind ebenso gerne gesehen. Promotionen können über die Assoziierung von Prof. Dr. Sikora an die Technische Fakultät der Universität Freiburg unmittelbar betreut werden.

*Institutsleitung*

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

# Blockchain für verlässliche Prozesse in der Industrieautomation

Dominik Welte M.Sc., Fatemeh Ghovanlooy Ghajar M.Sc. M.S., Prof. Dr.-Ing. Dipl.-Ing. Dipl.-Wirt.-Ing. Axel Sikora

Die Blockchain-Technologien sind nicht nur für Kryptowährungen viel diskutiert. Auch die Chancen und Probleme beim Einsatz im industriellen Umfeld sind noch nicht hinreichend erforscht. Hierzu leistet das Dipper-Projekt Beiträge, um den Einsatz zu erleichtern. Dazu wird zusammen mit Partnern von der KNUST aus Kumasi (Ghana) eine Lösung für die Absicherung der Lebensmittelproduktion in ländlichen Gebieten entwickelt.

*Blockchain technologies are not only much discussed for cryptocurrencies. The opportunities and problems of using them in an industrial environment have not yet been sufficiently researched. The Dipper – “Distributed IoT-Platforms for Safe Food Production – in Education, Research and Industry” project is making contributions to facilitate their use. A solution for securing food production in rural areas is being developed together with partners from the “Kwame Nkrumah University of Science and Technology” in Kumasi (Ghana).*

## Blockchain im industriellen Umfeld

Blockchain-Technologien werden oft vor allem mit den zahlreichen Kryptowährungen assoziiert, doch auch im industriellen Umfeld kann die Technologie vorteilhaft eingesetzt werden. Dabei muss der Einsatz allerdings wohlüberlegt sein, denn obwohl oft als solche angepriesen, ist die Blockchain allemal kein Wundermittel, welches alle Probleme lösen kann und dabei auch noch sicher, verteilt und effizient ist. Allgemein lässt sich die Blockchain als verkettete Liste von Transaktionen beschreiben. Da diese Liste kryptografisch verkettet ist und zudem dezentral abgespeichert wird, lassen sich auf diese Weise Daten manipulationssicher abspeichern. Die Blockchain-Technologie wurde erstmalig 2008 durch das Paper allgemein bekannt, welches die Grundlage für Bitcoin bildet [1].

Der Blockchain-Typ, der im industriellen Umfeld oftmals eingesetzt wird, wird den sogenannten privaten (permissioned) Blockchains zugeordnet. Das bedeutet zum einen, dass nicht jeder Zugriff auf das Netzwerk hat. Der Zugriff muss explizit von einem oder mehreren der Betreiber gewährt werden. Zum anderen gibt es sehr oft ein striktes Rollen- und Rechtemanagement innerhalb der Blockchain: So kann beispielsweise festgelegt werden, welche Benutzergruppen bestimmte Operationen durchführen können oder wer genau eine Transaktion validieren kann oder darf. Um das Rechtemanagement zu ermöglichen, müssen

die Identitäten (inklusive ihrer Gruppenzugehörigkeit) innerhalb des Netzwerkes bekannt sein. Blockchain-Puristen rümpfen hier schon die Nase, da dies einem wichtigen Punkt von Blockchains, nämlich komplett anonym und offen beziehungsweise frei zugänglich für jeden zu sein, widerspricht. Daher werden die privaten Blockchains oftmals auch als Distributed Ledger bezeichnet: Im Grunde sind sie verteilt laufende Key-Value Stores, die mit einem Konsensprotokoll die Konsistenz des verteilten Systems bestimmen und gewährleisten.

Ein großer Vorteil dieser Art Blockchain ist, dass kein Proof-of-Work („Mining“) als Konsens gebraucht wird, um neue Blöcke zu validieren: Das Problem, dass ein bössartiger Teilnehmer anonym die Blockchain korrumpieren kann, existiert hier nicht, da jeder Teilnehmer eindeutig identifizierbar ist. Die Blockchains sind daher auch gut dazu geeignet, viele Transaktionen pro Sekunde zu generieren, da beim Konsens der arbeitsintensive Teil komplett wegfällt. So wird oftmals der Raft-Algorithmus als Grundlage beim Konsens verwendet [2].

Alle privaten Blockchain-Frameworks unterstützen auch die Ausführung von Smart Contracts: Das sind Anwendungen, welche in verteilter Manier in dem Netzwerk ausgeführt werden können. Dabei haben sie Zugriff auf den Distributed Ledger und können beispielsweise genutzt werden, um bestimmte Vorbe-

GEFÖRDERT VOM



Bundesministerium  
für Bildung  
und Forschung



DAAD  
Deutscher Akademischer Austauschdienst  
German Academic Exchange Service

## Danksagung

Das Dipper Projekt wird vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (Förderkennzeichen: 01DG21017) und vom Deutschen Akademischen Austauschdienst (ID: 57557211) gefördert. Wir danken den genannten Institutionen für die Bereitstellung der finanziellen Mittel.

dingungen vor einer Transaktion zu prüfen. Sollten diese nicht erfüllt worden sein, wird die Transaktion abgelehnt und der Status des Ledgers wird nicht verändert.

### Das DIPPER Projekt

Das Dipper Projekt (Distributed IoT-Platforms for Safe Food Production – in Education, Research and Industrie) hat das Ziel Einsatzmöglichkeiten von Blockchains im industriellen Umfeld näher zu untersuchen: In welche Szenarien bzw. Anwendungsfällen kann der Einsatz einer Blockchain vorteilhaft sein? Welche technischen Lösungen sind dann zu empfehlen? Welche Technologien fehlen noch und müssen noch bereitgestellt werden. Das Projekt wird zusammen mit der Kwame Nkrumah University of Science and Technology (KNUST) in Kumasi, Ghana realisiert. Als Anwendungsfall in Ghana bieten sich Probleme in der Nahrungsherstellung an: Ein großes Problem in Ghana ist der Verkauf von Palmöl, welches mit Farbstoffen versetzt wurde, um eine kräftigere Farbe zu erhalten. Die dabei verwendeten Substanzen sind jedoch nicht immer gesundheitlich unbedenklich. Das Ganze hat sich inzwischen so weit entwickelt, dass Konsumenten das nicht so farblich kräftige Öl bevorzugen, was traditionell eher ein Zeichen für niedrige Qualität war. Eine Rückverfolgbarkeit (Traceability) über alle Zwischenhändler hinweg bis hin zum Hersteller oder Rohstofflieferanten würde diese Praktiken erschweren, da der Weg des Öls nachvollziehbar wäre. Für genau diesen Fall bietet sich ein Distributed Ledger an: Die einzelnen Akteure vertrauen sich nicht, allerdings gibt es schon eine gewisse Geschäftsbeziehung miteinander, sodass der Zugriff auf eine gemeinsame Blockchain genau diese Traceability, sogar für den Endkunden, falls gewünscht, gewährleisten kann.

Die Forschung stellt bei Dipper allerdings nur einen Teilaspekt des Projektes dar: Es wird an der KNUST auch ein neues IoT Labor von Grund auf eingerichtet. Zusätzlich wird Lehrmaterial (inkl. aufgezeichneter Vorlesungen) erstellt, das als Grundlage dient, den Studierenden eine neue, IoT fokussierte Vorlesung anzubieten.

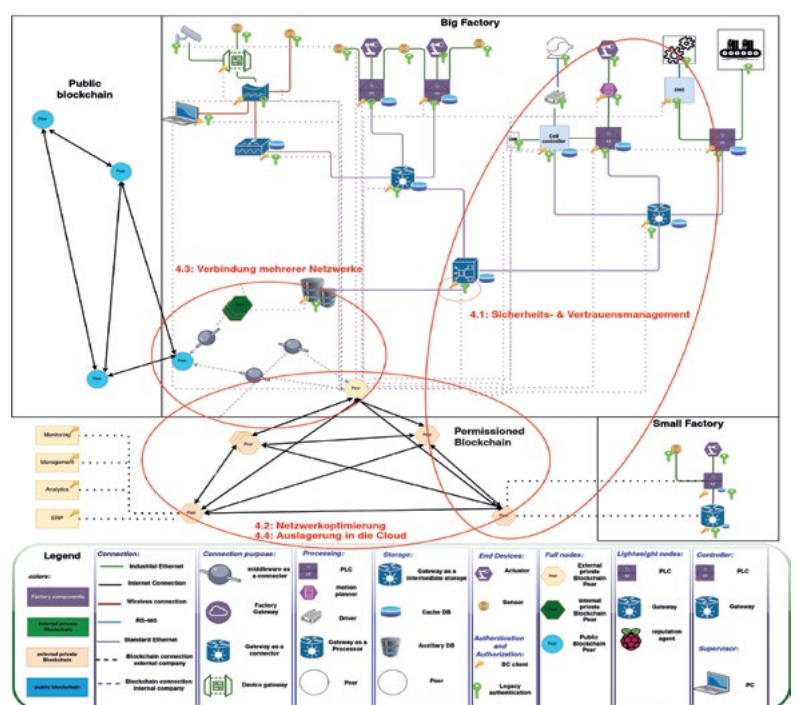
### Architektur

Die Grundidee der Architektur (Abbildung 1) basiert auf der Annahme, dass es eine Reihe von Unternehmen gibt, die auf der gleichen oder auf unterschiedlichen Stufen der Wertschöpfungsketten zusammenarbeiten wollen,

da sie gemeinsame Interessen verfolgen. Auf Grundlage dieser gemeinsamen Interessen (beispielsweise Herstellen eines gemeinsamen Produkts) sind sie bereit, Ressourcen zu teilen, um die Zusammenarbeit reibungsloser und einfacher zu gestalten. Daher ist es nötig, gemeinsame Entscheidungen zu treffen, die die Zustimmung aller Teilnehmer benötigen. Da bei diesem Zusammenschluss Daten, Speicher- und Computerressourcen gemeinsam genutzt werden können, ist es auch möglich, dass kleinere Unternehmen und vor allem auch die Rohstofflieferanten an das Blockchain-Netzwerk angeschlossen werden können. In der Abbildung wäre das die „Small Factory“, welche unter Umständen nicht einmal industrielle und vernetzte Anlagen besitzt, sowie die Logistikunternehmen. Durch den simplen Client Anschluss an das private Blockchain-Netzwerk wird zwar ein gutes Stück Kontrolle über das Netzwerk aufgegeben und man ist von einem Dritten abhängig, um überhaupt Zugriff zu bekommen, allerdings kann das den initialen Aufwand für den Einstieg in das Netzwerk erheblich verringern.

Im Gegensatz dazu ist die „Big Factory“ (der obere Teil in der Abbildung) ein vollwertiges Mitglied im Blockchain-Netzwerk: So können hier einer oder mehrere Blockchain-Knoten betrieben werden, die Teil des fabrikübergreifenden privaten Netzwerks sind. Die Daten, welche in der Blockchain abgespeichert werden sollen, können aus den verschiedensten Quellen stammen. So kön-

Abb. 1: Vereinfachte Systemarchitektur des Dipper Projekts



nen beispielsweise Maschinen direkt angebunden werden. Je nach Typ und Alter der Maschine gibt es dazu mehrere Möglichkeiten. Modernere Maschinen haben meistens einen OPC UA Server in der SPS integriert, über welchen Daten abgefragt werden können. Auf den Gateways werden diese Daten dann durch einen Blockchain-Client in das Netzwerk geschrieben. Älteren Maschinen können mit günstigen Einplatinencomputern nachgerüstet werden. Da gerade industrielle Anlagen mitunter riesige Datenmengen produzieren können, gibt es mehrere Möglichkeiten, wo genau diese gespeichert werden: Sollten die Datenmengen zu groß für das firmenübergreifende private Netzwerk sein, wäre auch ein eigenes firmeninternes Netz vorstellbar (die grünen Knoten innerhalb der „Big Factory“). Weiter sollen große Datenmengen auch außerhalb der Blockchain speicherbar sein („Auxiliary DB“), wobei die Daten dabei natürlich signiert werden und die Signatur dann fälschungssicher in der Blockchain steht.

Auch die Möglichkeit, bestimmte Daten in eine externe, öffentliche Blockchain zu schreiben, ist gegeben. Dies kann sinnvoll sein, wenn Endkunden beispielsweise einen Nachweis über die Herkunft des Produkts fordern. Ein typischer Anwendungsfall im Bereich der Lebensmittelproduktion wäre, dass der Kunde genau sieht, woher das Produkt stammt, wo es verpackt wurde und wie lange es transportiert wurde. Diese Transparenz (und Unveränderlichkeit) der Daten soll das Vertrauen untereinander stärken und somit auch die Zusammenarbeit verbessern.

## Themenfelder

Anhand der beschriebenen Architektur gibt es zurzeit vier große Forschungsfragen, denen nachgegangen wird. Diese behandeln Themen, bei denen die genaue Lösung noch nicht klar ist. Jedes Thema wird dabei als Doktorarbeit (drei davon in Ghana, eine an der Hochschule) vertieft. Wo die Themen innerhalb der Architektur einzuordnen sind, ist in Abbildung 1 eingezeichnet.

## Sicherheits- / Vertrauensmanagement

Die Kommunikation innerhalb der Architektur lässt sich in drei Hauptteile unterteilen: innerhalb einer Fabrik, zwischen den Fabriken (über die private Blockchain) und außerhalb der Fabrik (öffentliche Blockchain). Auf jeder

Ebene müssen die Daten entsprechend verteilt und gesammelt werden. Um die Sicherheit des Firmennetzwerkes zu garantieren, soll ein Trust-Management-System entwickelt werden, das die Authentifizierung und Autorisierung der einzelnen (industriellen) Endgeräte verwaltet. Das System soll dabei verteilt auf der privaten Blockchain laufen, sodass das Trust-Management nicht auf eine Firma beschränkt ist. In der Industrie hat man zusätzlich das Problem, dass es schon existierende Systeme gibt, welche teilweise eine eigene Authentifizierung durchführen (bspw. mittels kryptografischer Zertifikate). Diese „Legacy“-Systeme müssen natürlich in das neue System eingebunden werden, was aufgrund der Vielzahl an Systemen eine Herausforderung darstellt.

## Netzwerkoptimierung des Blockchain-Netzwerkes

Die Architekturabbildung zeigt das private/permissioned Netzwerk mit soliden, ethernet-basierten Verbindungen. Dies entspricht in Ghana allerdings nicht immer der Realität: So ist es durchaus möglich, dass Firmen gar keinen festen Internetanschluss haben und nur über mobiles Internet verfügen. Um zu verstehen, wie ein Blockchain-Netzwerk auf Veränderungen bzw. Probleme der darunterliegenden Infrastruktur reagiert, ist es notwendig, das Verhalten des Netzwerkes während seiner normalen Operation vorherzusagen zu können: Wie wirkt es sich aus, wenn eine Transaktion getriggert wird? Was passiert genau, wenn ein neuer Knoten erstmalig hinzukommt? Um diese Fragen zu beantworten, muss der Netzwerkverkehr analysiert werden. Sobald man eine genaue Vorstellung davon hat, lässt sich das Blockchain-Netzwerk im Betrieb umkonfigurieren, um auf die neue Situation reagieren zu können. So kann man bei einem privaten Netzwerk beispielsweise die Konsensrichtlinien anpassen, was dazu führen kann, dass bestimmte Verbindungen zwischen den Knoten nicht mehr so stark beansprucht werden.

## Verbindung mehrerer Blockchain-Netzwerke

Wie man in der Architektur sehen kann, ist die Verknüpfung mehrerer unabhängiger Blockchain-Netzwerke bisher noch ein Single Point of Failure. Um dieses Problem zu lösen, wird untersucht, inwieweit man den Datentransfer zwischen den Blockchains parallelisieren kann. Das einfachste Verfahren, dass man

einen „Adapter“ benutzt, wäre ein Stück Software, das Zugriff auf die verschiedenen Blockchain-Clients hat und manuell die Daten transferiert. Aus Blockchain-Sicht unterscheidet sich der Adapter nicht von einem beliebigen anderen Client und ist somit an die gleichen Regeln (und Performance) wie alle anderen gebunden. Die Ausweitung des „Adapter“ Gedankens hin zu einem Peer to peer basierten Ansatz, der auf mehrere Blockchain-Knoten zugreifen kann, ist eine Lösungsmöglichkeit. Der Wunsch geht allerdings so weit, dass im Endeffekt die Einschränkung, ein normaler Client zu sein, aufgehoben werden soll: Wenn Blöcke direkt verschoben beziehungsweise kopiert werden könnten, ohne sie erneut zu verifizieren, wäre der Performancevorteil nicht zu vernachlässigen. Dazu müssen die Blöcke allerdings manuell umgeschrieben werden, was nicht ohne Weiteres machbar ist.

## Auslagerung von Blockchain-Daten in die Cloud

Die Auslagerung bestimmter Daten aus der Blockchain in einen Cloudspeicher spielt im industriellen Umfeld eine Rolle, da oftmals Geräte verwendet werden, bei denen die Ressourcen sehr knapp bemessen sind. In erster Linie wird dabei versucht, ganze Blöcke aus dem lokalen Speicher auszulagern. Dabei ist wichtig, dass oft genutzte Ressourcen nicht ausgelagert und die lokalen Speicher- und Ressourcenbeschränkungen berücksichtigt werden. Dieses Optimierungsproblem soll durch Maschinelles Lernen gelöst werden. Dazu muss das Netzwerk so modelliert werden, dass eine Optimierung auf verschiedene Parameter möglich ist. Nur dann kann der ML-Algorithmus einen Geschwindigkeitsvorteil in Vergleich mit bisherigen Verfahren erzielen. Für die praktische Implementierung des Systems soll weiterhin Transparenz aus Sicht der Blockchain ganz oben stehen. Das heißt, für das Netzwerk soll es keinen Unterschied machen, ob ein Block lokal vorhanden ist oder nicht. Dabei wird untersucht, ob und wie dies möglich ist, ohne die Blockchain anzupassen beziehungsweise die Anpassung am Blockchain-Framework selbst möglichst gering zu halten.

## Fazit

Allgemein lässt sich beim Thema Blockchain in der Industrie sagen, dass es weit weniger verbreitet und erforscht ist als die Themen rund Kryptowährungen und öffentliche Blockchain. Es gibt zwar einige theoretische Ansätze zu aktuellen Forschungsfragen zu Distributed Ledgers, allerdings meistens nicht mit Hinblick auf das industrielle Umfeld. Im Dipper-Projekt werden diese Fragen gestellt und beantwortet. Darüber hinaus wird ein funktionsfähiger Demonstrator erstellt, welcher existierende Blockchain-Frameworks benutzt und das Ganze so verknüpft, dass es schlussendlich den Grundstein für eine fortschreitende Industrialisierung im Nahrungssektor in Ghana, aber auch im Schwarzwald, legen kann. Dazu sollen lokale industrielle Partner des KNUST erstmalig eng in ein Projekt dieser Art eingebunden werden.

### AUTOREN



**Dominik Welte M.Sc.**  
Wissenschaftlicher Mitarbeiter ivESK  
dominik.welte@hs-offenburg.de



**Fatemeh Ghovanlooy Ghajar, M.Sc. M.S.**  
Wissenschaftliche Mitarbeiterin ivESK  
fatemeh.ghovanlooy@hs-offenburg.de



**Prof. Dr.-Ing. Axel Sikora**  
Wissenschaftl. Ltg. ivESK,  
Lehrgebiete: Kommunikationsnetze, Bussysteme u. Schnittstellen, eingebettete u. industrielle Netzwerke  
axel.sikora@hs-offenburg.de

### Referenzen/References:

- [1] Nakamoto, Satoshi. „Bitcoin: A peer-to-peer electronic cash system.“ Cryptography Mailing list at <https://metzdowd.com> (2008)
- [2] Ongaro, Diego, and John Ousterhout. „In search of an understandable consensus algorithm (extended version).“ (2013)

# LPWAN-Funktechnologien im 2,4GHz-Band

Dipl.-Inform. (FH) Manuel Schappacher, Prof. Dr.-Ing. Dipl.-Ing. Dipl.-Wirt.-Ing. Axel Sikora

In den letzten Jahren haben sich Low Power Wide Area Networks (LPWAN) als Schlüsseltechnologien für die Konnektivität vieler Anwendungen im Internet der Dinge (IoT) herauskristallisiert. Diese kombinieren in der Regel sehr niedrige Datenraten mit extremen Kosten- und Energiebeschränkungen. Vor allem LoRa/LoRaWAN genießt aufgrund seiner guten Leistung und seiner offenen Community eine hohe Sichtbarkeit auf den heutigen Märkten. Ursprünglich wurde LoRa für den Betrieb in den lizenzfreien Sub-GHz-ISM-Bändern bei 868 MHz entwickelt. Nun wurde jedoch eine LoRa-basierte Lösung im 2,4 GHz-ISM-Band vorgestellt, die höhere Bandbreiten und höhere Datenraten verspricht. Darüber hinaus unterliegt sie nicht den durch in den Sub-GHz-ISM-Bändern geltenden Duty-Cycle Beschränkungen und öffnet damit auch die Türen zu vielen neuen Anwendungsfeldern. Aufgrund höherer Bandbreiten und kürzerer Übertragungszeiten wird auch der Einsatz alternativer MAC-Schichtprotokolle sehr interessant, zum Beispiel für TDMA-basierte Ansätze, die wiederum um weitere gängige Protokollschichten auf Netzwerk und Anwendungsebene erweitert werden können.

Dieser Artikel zeigt in einer Kurzfassung des bereits veröffentlichten IEEE Papers [1] die Ergebnisse des Projekts LongRange24, das das ivESK zusammen mit dem Unternehmen IMST GmbH aus Kamp-Lintfort bearbeitet.

*For the past few years Low Power Wide Area Networks (LPWAN) have emerged as key technologies for the connectivity of many applications in the Internet of Things (IoT) combining low-data rates with strict cost and energy restrictions. Especially LoRa/LoRaWAN enjoys a high visibility on today's markets, because of its good performance and its open community. Originally LoRa was designed for operation within the Sub-GHz ISM bands for Industrial, Scientific and Medical applications. However, at the end of 2018, a LoRa-based solution in the 2.4GHz ISM-band was presented, promising higher bandwidths and higher data rates. Furthermore, it overcomes the limited duty-cycle prescribed by the regulations in the ISM-bands and therefore also opens doors to many novel application fields. Also, due to higher bandwidths and shorter transmission times, the use of alternative MAC layer protocols becomes very interesting, i.e. for TDMA based-approaches that allow the usage of further network and application protocols.*

*This article shows the work of the LongRange24 project in an abridged version of the already published IEEE paper [1].*

## Einführung

In den letzten Jahren hat sich eine völlig neue Kategorie drahtloser Netze herausgebildet, die so genannten LPWAN-Netze (Low Power Wide Area Networks). Sie erreichen unter realen Bedingungen Entfernungen von mehreren Kilometern, während die Sendeleistung nur im Milliwatt-Bereich liegt. Möglich wird dies durch extreme Empfängerempfindlichkeiten, die im Wesentlichen durch schmalbandige Übertragung, innovative Codierungsverfahren oder niedrige Nettodatenraten unter Verwendung modernster Halbleitertechnologien er-

reicht werden. Der Hauptanwendungsbereich solcher Netze ist die Verbindung einfacher Geräte mit einer räumlichen Verteilung. Eines der bekanntesten Protokolle der vergangenen Jahre ist LoRa/LoRaWAN. (LoRa wird für die Codierungs- und Modulationsverfahren der physikalischen Schicht [Layer 1] verwendet. LoRaWAN wird für das standardisierte Kanalzugriffsverfahren und die entsprechende Systemarchitektur auf der Verbindungsschicht [Layer 2] unter Verwendung der LoRa-Technologie auf Layer 1 verwendet.)



LoRa/LoRaWAN wurde ursprünglich für den Betrieb in den Sub-GHz-ISM-Frequenzbändern konzipiert, was auch hervorragende Reichweiteigenschaften verspricht. Der schmalbandige Ansatz schränkt jedoch die Kanalkapazität ein und erlaubt nur „einfache“ Anwendungen mit geringen Datenmengen. Außerdem können in realen Anwendungen lange Übertragungszeiten auftreten, die zu einem hohen Energieverbrauch führen. Ein weiterer Nachteil des Frequenzbands besteht darin, dass dieses nicht weltweit harmonisiert sind. So ist das auch in Deutschland genutzte 868-MHz-Band im Wesentlichen nur im europäischen Regelungsbereich des ETSI verfügbar, nordamerikanische und asiatischen Märkte unterliegen anderen Regulierungen. Geräte für den weltweiten Einsatz sind technisch möglich, bedingen aber erhöhten technischen Aufwand und zusätzliche Kosten, da mindestens eine Lokalisierungsfunktion unterstützt werden muss.

In dem ZIM-Projekt „Flexible, erweiterbare und offene LoRa-Technologien im 2,4 GHz-ISM-Band (LongRange24)“ werden diese Einschränkungen in einem kooperativen Forschungsprojekt durch einen neuen Ansatz dem sogenannten „LongeRange24“-Netzwerk umgangen, indem eine neuartige LoRa-basierte Technologie genutzt wird, die im 2.4GHz Band arbeitet. Ziel des Projekts ist der Aufbau eines 2.4GHz LoRa/LoraWAN-Netzwerks, das sich auf den höheren Schichten nahtlos in existierende LoRaWAN-Systeme integrieren lässt und Anwendungen mit höherer Datenrate ermöglicht. Zudem wird gezeigt, wie die 2,4 GHz LoRa-Lösung mit dem IEEE802.15.4-2015 TSCH-Modus kombiniert werden kann, um einfache, vermaschte und deterministische Netzwerke mit großen Zellradien aufzubauen. Letztendlich werden beide Netzwerke integriert und über eine gemeinsame Anwendung verbunden.

Dieser Beitrag gibt einen kurzen Einblick in den Stand der Technik und beschreibt den Aufbau der verschiedenen Netzwerke sowie die internen Architekturen der einzelnen Komponenten. Schließlich werden einige Ergebnisse der ersten Leistungsmessungen unseres Systems mit Entwicklungshardware gezeigt werden.

## LoRa/LoRaWAN im Sub-GHz und 2.4GHz-Band

Im Allgemeinen nutzt LoRa/LoraWAN lizenzfreie Frequenzen (die sogenannten ISM-Bänder für industrielle, wissenschaftliche und medizinische Anwendungen) im Sub-GHz-MHz-Band, was mit erheblichen Einschränkungen ver-

bunden ist. Es handelt sich um ein lizenzfreies Band, das in Europa unter den europäischen Regulierungsbereich von ETSI fällt, wo eine Funknetzplanung im Allgemeinen nicht möglich ist. Die Frage der Koexistenz stellt daher eine grundlegende Herausforderung dar, welches durch eine Begrenzung des maximal erlaubten Duty-Cycles beispielsweise auf 0,1 Prozent, 1 Prozent oder 10 Prozent entschärft wird. Dies schränkt allerdings die praktische Einsetzbarkeit dieser Technologien erheblich ein.

Anders sieht es im 2,4 GHz-Band aus. In diesem (auch lizenzfreien) Band existiert keine Duty-Cycle Beschränkung, was es ermöglicht, auch Technologien mit höheren Datenraten zu nutzen. Bekannte Vertreter sind hier Bluetooth oder WLAN. Ende 2018 stellte Semtech eine LoRa-basierte Lösung vor, die ebenfalls im 2,4 GHz-ISM-Band arbeitet und demnach auch höheren Bandbreiten und Datenraten als das klassische LoRa bietet, welches ein Spielfeld für völlig neue und innovative Anwendungen ermöglicht.

Darüber hinaus wird die Kombination von LoRa als Protokoll der physikalischen Schicht mit anderen Protokollen der MAC- und Netzwerkschicht denkbar. Insbesondere die Nutzung des TSCH-Protokolls (Time Slotted Channel Hopping) aus dem bekannten IEEE 802.15.4-2015-Standard [2][1] in Kombination mit 6LoWPAN [3] und IPv6 [4] weist ein enormes Potential auf. Das TSCH-Protokoll (Time Slotted Channel Hopping) ist ein spezieller Modus des IEEE802.15.4-2015-Standards, der Anfang 2016 veröffentlicht wurde. Neben anderen neuen MAC-Betriebsarten führt er das Time Slotted Channel Hopping (TSCH)-Protokoll ein, welches in die Kategorie der Time Division Multiple Access (TDMA) Protokolle fällt und die Kommunikation in fest definierte Zeitschlitze einteilt. Es wurde für industrielle drahtlose Netzwerkanwendungen mit geringem Stromverbrauch entwickelt, die sowohl hohe Zuverlässigkeit als auch hohe Energieeffizienz erfordern. Hierfür nutzt TSCH ein pseudozufälliges Kanalsprungmuster, um schmalbandige Interferenzen zu bekämpfen [5].

## Bisherige Arbeiten

Verschiedene Forschungs- und Entwicklungsarbeiten beschäftigten sich bereits mit LoRa/LoRaWAN im Sub-GHz- sowie im 2,4 GHz-Band. Auch wurden verschiedene Ansätze zur Integration der physischen Schicht von LoRa in Time Slotted Channel Hopping-Protokolle gemacht und analysiert.

In [6] stellen die Autoren ihren Ansatz vor, ein LoRa-over-TSCH-Netzwerk zu betreiben, indem LoRa in den TSCH/6TiSCH Stack von Contiki-NG [7] integriert wird. Diese Arbeit basiert auf dem Sub-GHz-Band und verwendet ein SX1272 LoRa-Funkgerät. Darüber hinaus wurde ein Multi-Hop-Netzwerk auf der Grundlage des Orchestra-Schedulers eingerichtet, der eine autonome Planung zwischen den Knoten unter Verwendung von RPL-Routing-Informationen ermöglicht. Die Arbeit zeigt gute Ergebnisse in Bezug auf die Widerstandsfähigkeit von TSCH-over-LoRa gegenüber Interferenzen, wenn Kanalsprünge aktiviert sind, und im Vergleich zu einem Einkanal-Netzwerk. Allerdings zeigt diese Arbeit auch, dass die erforderlichen Timing-Parameter recht umfangreich sind. So wurde etwa in SF7 eine Slotlänge von 278 ms und in SF10 eine Länge von 4500 ms verwendet, was zu sehr hohen Latenzen führt.

Aus der Entwicklungsperspektive stehen mehrere Komponenten bereits zur Verfügung, die für unsere Arbeit relevant sind und dementsprechend auch genutzt werden. [1] bietet einen LoRaWAN-Kommunikationsstack für Endknoten, der alle Geräteklassen unterstützt, die durch den LoRaWAN-Standard [8] definiert sind. Darüber hinaus bietet er ein gutes Abstraktionsniveau in mehreren Richtungen. Zum Beispiel hat es eine klare Trennung zwischen der Protokolllogik und der Hardware-Implementierung, was die Integration neuer Mikrocontroller, Transceiver oder Plattformen erleichtert. Darüber hinaus hält es die Kanal- und Protokollparameter (in LoRaWAN werden sie Regionalparameter genannt) getrennt. Dies ermöglicht die Definition neuer Parameter, was für die Einführung des 2,4-GHz-Bands zwingend erforderlich ist.

Für das Back-End gibt es ebenfalls mehrere Lösungen. Beispielsweise stellt [1] eine Open-Source-Lösung bereit und bietet einen kompletten Satz von Softwarekomponenten für den Betrieb eines vollständigen LoRaWAN-Backends, einschließlich des Netzwerkserver, des Anwendungsservers und einer Brücke zur Verbindung von Gateways.

Contiki-NG [7] ist eine Open-Source-Implementierung des 6LoWPAN/6TiSCH-Stacks. Es enthält Implementierungen verschiedener IoT-Protokolle wie TSCH, 6LoWPAN, IPv6, RPL und viele Anwendungsschichtprotokolle.

## Netzwerk Design

Das Netzwerkdesign der LongRange24-Entwicklung verfolgt zwei Hauptziele. Zum einen soll es die Fähigkeit bieten, sich nahtlos in bestehende Netzstrukturen zu integrieren. Dies soll einen einfachen Austausch der unteren Netzwerkkomponenten, nämlich der Geräte und der Gateways, ermöglichen, während die Teile des übergeordneten Netzwerks wie das Management oder die Anwendung selbst erhalten bleiben können. Eine weitere große Herausforderung ist die Flexibilität in Bezug auf den Kompromiss, der zwischen den Schlüsselkomponenten - hohe Reichweite, hohe Datenrate und hohe Zuverlässigkeit - geschlossen werden kann. Daher werden LoRaWAN- und LoRaTSCH-Netzwerke in einem einzigen Netzwerkaufbau kombiniert.

## LoRaWAN Subnetz

Die LoRaWAN-Architektur wird als „Stern der Sterne“ betrachtet, wobei es sich um eine Struktur handelt, die das Kommunikationsprotokoll und die Netzwerksystemarchitektur definiert, während die physikalische Schicht, LoRa, die Langstreckenverbindung ermöglicht [9]. Endgeräte und Gateways nutzen die LoRa-Technologie, um miteinander zu kommunizieren, während die Verbindung zum Backhaul, zum Beispiel dem Netzwerkserver, Join-Server und Anwendungsserver, über IP-basierte Protokolle erfolgt. In unserem Netzwerk ersetzen wir einige der Netzwerkkomponenten, nämlich das Gateway und die Geräte, während die Back-End-Komponenten wie der Netzwerkserver und der Anwendungsserver gleich bleiben. Die neuen Geräte und Gateways arbeiten im 2,4 GHz-Band, verwenden aber weiterhin das reguläre LoRaWAN-Protokoll. Dies ermöglicht eine nahtlose Integration des 2,4 GHz-LoRa-Netzes, da die Abstraktion des Bandes unterhalb des Netzwerkserver erfolgt.

Dennoch sind auf dem Netzwerkserver Konfigurationen erforderlich, da er die Kanalparameter des Gateways und seiner Geräte kennen muss. Dies erfordert die Definition und Integration eines neuen regionalen Parametersatzes für das 2,4-GHz-Band, welche Definitionen für den Standardkanal und die verfügbaren Kanäle, die Codierung der Datenrate, die Codierung der Ausgangsleistung, die maximalen Nutzdatengrößen in Abhängigkeit von der Datenrate, die Downstream-Datenraten, die entsprechende Upstream-Datenrate und den Datenraten-Offset.

## TSCH Subnetz

Ein TSCH-Netz besteht in der Regel aus einem Koordinator und mehreren Geräten. Der Koordinator dient als Zeitquelle für andere Geräte und ist dafür verantwortlich, die Gesamtstruktur des TSCH-basierten Kanalzugangs durch sogenannte Slot Frames zu beschreiben. Ein Slot-Frame beschreibt ein sich wiederholendes Fenster, das aus einer genau definierten Anzahl von Slots besteht, wobei alle Slots die gleiche Dauer haben. Wie auf diese Zeitschlitze zugegriffen wird, wird durch einen Zeitplan festgelegt. Dieser Zeitplan und die Art und Weise, wie er erstellt wird, ist nicht Teil der Norm und liegt in der Verantwortung des Anwenders oder Entwicklers.

TSCH selbst, wie es in der Norm beschrieben ist, gibt keine bestimmte Netztopologie vor, sondern überlässt diese Wahl und auch die Implementierung dem Benutzer. Durch die Verwendung von 6TiSCH als TSCH-basiertes Protokoll werden Multi-Hop-Topologien durch den Einsatz des RPL-Routing-Protokolls möglich. Wir haben uns jedoch entschieden, keine Multi-Hop-Umgebung zu verwenden, sondern die Netzwerkarchitektur so einfach wie möglich in einer Sterntopologie zu halten. Während ein Multi-Hop-TSCH-Aufbau komplexe Planungsalgorithmen erfordert, ermöglicht eine Sterntopologie einen einfachen und schnellen Aufbau des Netzes. Darüber hinaus hat der Benutzer die volle Kontrolle über den Zeitplan und kann daher etwa bestimmten Geräten leicht Vorrang einräumen. Ein weiterer Grund für den Verzicht auf ein Multi-Hop-Netzwerk ist die hohe Kommunikationsreichweite der 2,4-GHz-LoRa-Physikschicht, die eine logische Erweiterung der Kommunikationsreichweite über Hops für die meisten Anwendungsfälle unnötig macht. Dennoch werden IPv6 und 6LoWPAN zur Datenübertragung und zur nahtlosen Integration in ein bestehendes IP-Netz verwendet.

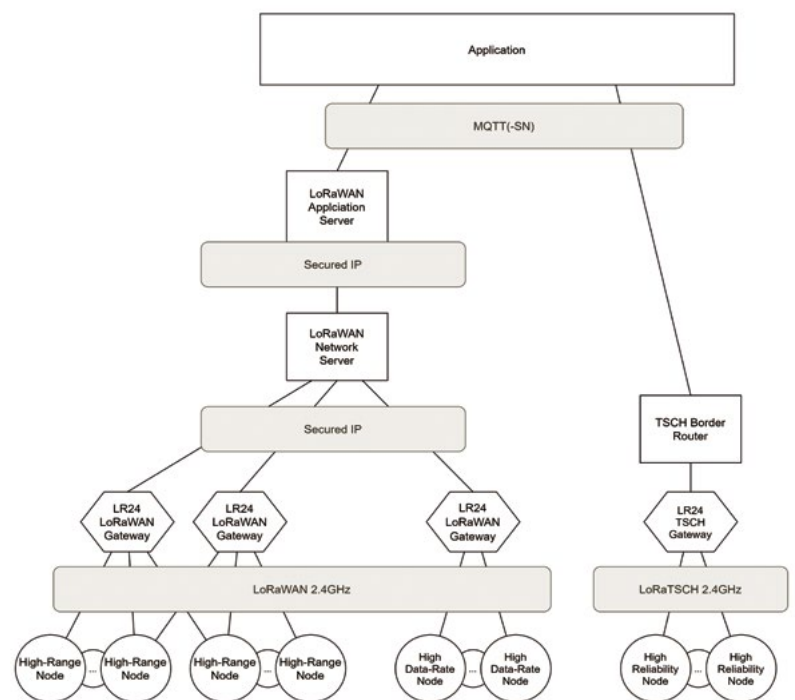
## LongRange24 Netz

Wie beschrieben, kombiniert unser Netz zwei bestehende Technologien, LoRaWAN TSCH. Abbildung 1 zeigt die vereinfachte Architektur des LongRange24-Netzwerks. Innerhalb des LoRaWAN-Netzes können verschiedene Netzkonfigurationen verwendet werden. Beispielsweise High-Range oder High-Data-Rate Konfigurationen. Welcher Typ verwendet werden soll, kann mit dem entsprechenden regionalen Parametersatz festgelegt werden. Im Back-End wird ein regulärer LoRaWAN-Aufbau verwendet. Ein Netzwerkservers ist für den Zugriff auf die Geräte zuständig, während der

Anwendungsserver die ein- und ausgehenden Daten verarbeitet.

Die TSCH-Konfiguration stellt die hochzuverlässige Konfiguration des LongRange24-Netzes dar. Die Geräte verbinden sich mit dem LR24 TSCH-Gateway, das mit einem sogenannten Border-Router verbunden ist. Ein Border-Router ist dafür verantwortlich, die Verbindung zwischen dem TSCH und dem regulären IP-Netzwerk herzustellen. Dadurch können die Geräte direkt mit der Anwendung und umgekehrt über ein Anwendungsprotokoll kommunizieren, ohne dass eine zusätzliche Übersetzung zwischen verschiedenen Protokollfamilien erforderlich ist.

Abb. 1:  
Architektur des Long Range24-Netzwerks



## Umsetzung und Test

Das Projekt umfasst die Entwicklung der Hardware- Softwarebestandteile, sowohl der Endgeräte als auch der Gateways (Abbildung 2). Die Hardwarebestandteile sowie die zugehörigen Treiber werden hierbei von unserem Projektpartner, der IMST GmbH entwickelt. Das ivESK ist hauptverantwortlich für die Entwicklung und Integration der Protokollstapel.

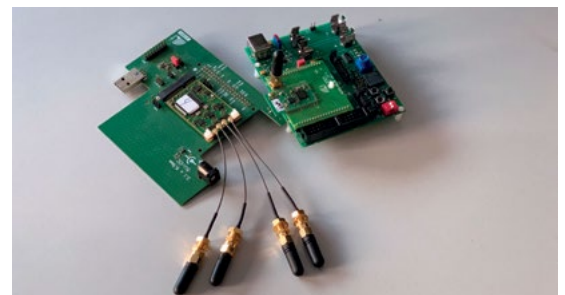


Abb. 2:  
LongRange24-Entwicklungsboards: Gateway/ Hub (li), Device (re)

Um letztendlich die Leistung des Systems zu bewerten, wurden mehrere Tests durchgeführt, von denen einer die mögliche Kommunikationsreichweite des Systems in einem Innenraumszenario zeigt. Dabei wurden die Reichweiten in einem Realaufbau im Steinbeis-Gebäude (Abbildung 3) mit verschiedenen Kommunikationsparametern analysiert, indem die Paketerfolgsraten (Abbildung 4) zusammen mit der gemessenen Signalstärke und dem Signal-Rausch-Abstand gemessen wurden. Die Ergebnisse zeigen, dass das System im Hinblick auf die Kommunikationsreichweite deutlich unter dem Betrieb im 2,4 GHz-Bereich leidet. Dennoch ist es mit einer gut strukturierten Platzierung der Gateways möglich, ein Gebäude mit dieser Technologie auszustatten.

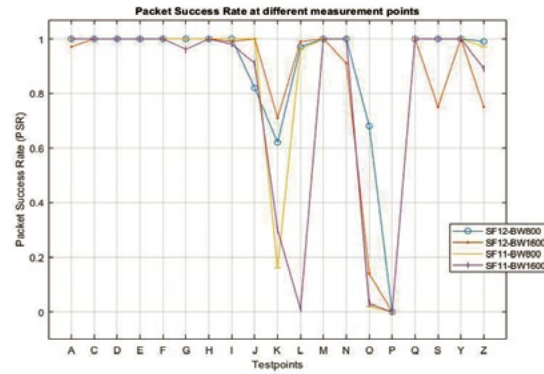


Abb. 4: Paketerfolgsrate an den unterschiedlichen Messpositionen



Abb. 3: Aufbau der Reichweitenmessungen und Lageplan

Referenzen/References:

[1] M. Schappacher, A. Dant and A. Sikora, „Implementation and Validation of LoRa-Based Systems in the 2.4 GHz Band,“ 2021 IEEE 4th Internat. Conference on Advanced Information and Communication Technologies (AICT), 2021, pp. 106-111, doi: 10.1109/AICT52120.2021.9628942C. Society, IEEE Std 802.15.4™-2015, IEEE Computer Society, New York, USA, 2015

[2] C. Society, IEEE Std 802.15.4™-2015, IEEE Computer Society, New York, USA, 2015

[3] G. Montenegro, N. Kushalnagar, J. Hui, D. Culler, RFC4944 - Transmission of IPv6 Packets over IEEE 802.15.4 Networks, September 2007, <https://datacenter.ieft.org/doc/html/rfc4944>, accessed: 2022-02-11

[4] S. Deering, R. Hinden, RFC2460 - Internet Protocol, Version 6 (IPv6) Specification, December 1998, <https://datacenter.ieft.org/doc/html/rfc2460>, accessed: 2022-02-11

[5] R. Piyare, G. Oikonomou, and A. Elsts, “Tsch for long range low datarate applications,“ IEEE Access, December 2020

[6] M. Haubro, C. Orfanidis, G. Oikonomou, and X. Fafoutis, “Tsch-over-lora: long range and reliable ipv6 multi-hopnetworks for the internet ofthings”, Internet Technol. Lett, vol. 3, p. e 165, August 2020

[7] “Contiki-ng: The os for next generation iot devices, <https://github.com/contiki-ng/contiki-ng>, accessed: 2021-05-06

[8] “Lorawan end-device stack implementation and example projects, <https://github.com/Lora-net/LoRaMac-node>, accessed: 2021-05-06

[9] J. de Carvalho Silva, J. J. P. C. Rodrigues, A. M. Alberti, P. Solic, and A. L. L. Aquino, “Lorawan - a low power wan protocol for internet of things: a review and opportunities,“ 2017 2nd Internat. Multidisciplinary Conference on Computer and Energy Science (SpliTech), July 2017



## Danksagung

Diese Arbeit ist Teil des ZIM Projekts „Flexible, erweiterbare und offene LoRa-Technologien im 2,4-GHz-ISM-Band (LongRange24)“. Das ZIM-Vorhaben KF ZF4253609MS9 wurde im Rahmen des Zentralen Innovationsprogramms Mittelstand vom Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK) aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages gefördert. Wir danken den genannten Institutionen für die Bereitstellung der finanziellen Mittel.

## AUTOREN



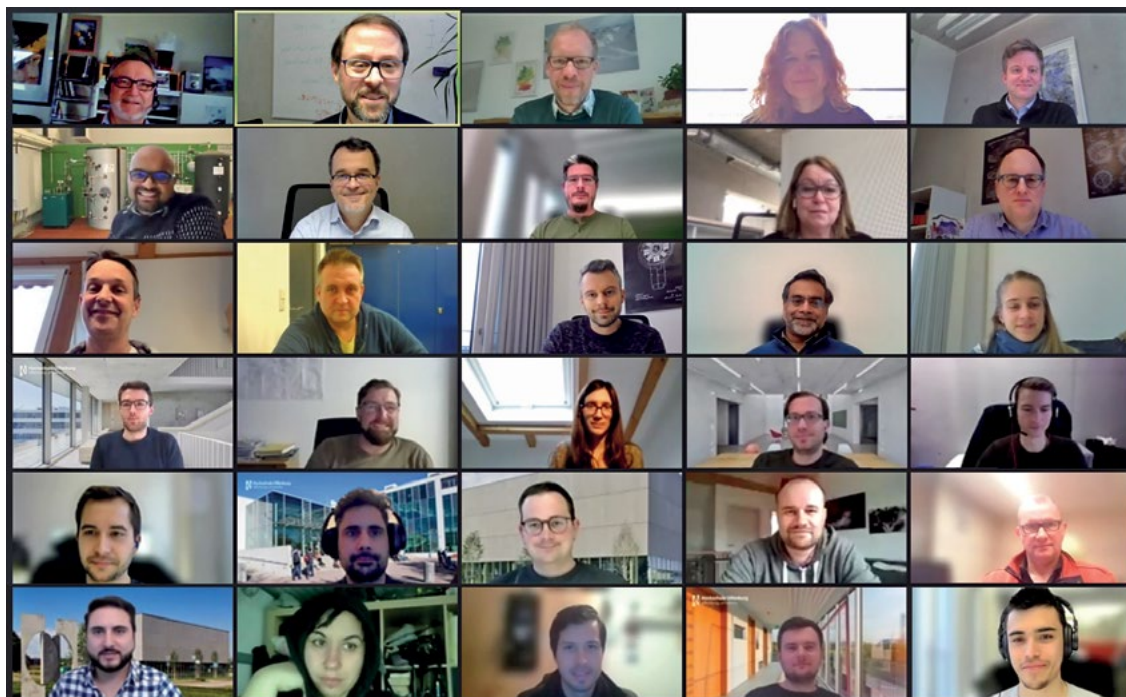
Dipl.-Inform. (FH) Manuel Schappacher  
Akademischer Mitarbeiter, Institut ivESK  
[manuel.schappacher@hs-offenburg.de](mailto:manuel.schappacher@hs-offenburg.de)



Prof. Dr.-Ing. Axel Sikora  
Wissenschaftl. Leiter ivESK, Lehrgebiete:  
Kommunikationsnetze, Bussysteme und  
Schnittstellen, eingebettete u. industrielle  
Netzwerke  
[axel.sikora@hs-offenburg.de](mailto:axel.sikora@hs-offenburg.de)

# INES – Institut für nachhaltige Energiesysteme

Das Institut für nachhaltige Energiesysteme, das INES, feiert 2022 sein zehnjähriges Gründungsjubiläum. Was mit zehn Forschenden begann, ist heute das größte Institut der Hochschule. Gemeinsam mit seinen Partner\*innen aus Forschung und Industrie bearbeitet das Institut drängende technische Fragestellungen der Energiewende.



Am 18. Februar 2012 wurde die „Verwaltungs- und Benutzungsordnung für das Institut für Energiesystemtechnik“ an der Hochschule Offenburg bekannt gegeben. Damit war das INES gegründet – ein Meilenstein in der Historie der Hochschule. Zum Institutsleiter wurde Prof. Elmar Bollin gewählt, der mit seiner damals achtköpfigen Forschungsgruppe in das frisch renovierte Campus Nord in Offenburg-Bohlsbach einzog. Die Mitgliederzahlen sind seither stetig angestiegen. Im Jahr 2022 hat das Institut 43 Mitglieder, darunter 11 Professoren, und ist damit das größte Forschungsinstitut der Hochschule.

Ihre Forschungs- und Entwicklungsthemen sind in sechs Forschungsgruppen untergebracht: (1) Energieeffiziente Gebäudetechnik (Prof. Dr.-Ing. Jens Pfafferoth), (2) Batterie-, Brennstoffzellen- und Wasserstofftechnik (Prof. Dr. Wolfgang Bessler, Prof. Dr.-Ing. Ulrich Hochberg), (3) Intelligente Energienetze (Prof. Dr. Michael Schmidt, Prof. Dr. Rainer Gasper, Prof. Dr.-Ing. Jörg Bausch), (4) Elektromobilität (Prof. Dr. Christian Klöffler, Prof. Dr. Patrick König), (5) Energiesysteme und Energiewirtschaft (Prof. Dr. Niklas Hartmann) und (6) Photovoltaik-Technik und Pflanzenkohle (Prof. Dr. Daniel Kray). Im Jahr 2021 wurden rund 25 öffentlich geförderte Projekte bearbeitet, dazu kommen

Industrieraufträge sowie zahlreiche Bachelor-, Master- und Doktorarbeiten. Für Details und Ergebnisse sei auf die institutseigene Webseite, [www.ines.hs-offenburg.de](http://www.ines.hs-offenburg.de), verwiesen.

Rechtzeitig zum Gründungsjubiläum ist das Institut im Jahr 2020 als Hauptnutzer in das Regionale Innovationszentrum für Energietechnik, das „RIZ Energie“, eingezogen. Die Büros und Labore der beiden historischen Standorte – Campus Nord in Bohlsbach und Steinbeis-Zentrum in der Badstraße – sind nun gemeinsam in dem neuen Gebäude am Hochschulkreisell angesiedelt. Das RIZ Energie bietet nicht nur moderne und kommunikationsfördernde Büroräume, sondern insbesondere ein großes und hervorragend ausgestattetes Technikum sowie zwei Außenlabore. Im Jubiläumsjahr wurde zudem das Institut umbenannt: Das INES heißt jetzt Institut für nachhaltige Energiesysteme. Damit soll der thematischen Ausrichtung des Instituts besser Rechnung getragen werden. Mit neuem Gebäude und neuem Namen werden auch zukünftig in bewährter Weise, zusammen mit Partner\*innen aus Forschung und Industrie, die drängenden technischen Fragestellungen der Energiewende weiterbearbeitet.

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

# Elektrische Energiespeicherung mit Batterien und Brennstoffzellen

Prof. Dr. habil. Wolfgang G. Bessler

Die Forschungsgruppe Elektrische Energiespeicherung am Institut für nachhaltige Energiesysteme (INES) der Hochschule Offenburg widmet sich der Batterie- und Brennstoffzellentechnik. Schwerpunkt ist die Modellierung und Simulation – von der Elektrochemie bis zur Zustandsdiagnose. Experimentelle Untersuchungen finden im vollausgestatteten Batterielabor Enerlab 4.0 statt. Ziel ist die verständnisgetriebene Entwicklung und Optimierung von Brennstoffzellen und Batterien.

*The research group Electrical Energy Storage at the Institute of Sustainable Energy Systems (INES) at Offenburg University of Applied Sciences focuses on battery and fuel cell technology. Electrochemical energy storage and conversion play a key role in an energy economy with large amounts of solar and wind power; they are also key components of electromobility. We develop and apply multi-scale and multi-physics mathematical models. We furthermore carry out experimental cell characterization. Goal of the activities is to understand and improve fuel cells and batteries.*



## Die Forschungsgruppe

Die Speicherung von Energie mit elektrochemischen Wandlern ist ein integraler Bestandteil einer Energieversorgung mit hohem Anteil an Sonnen- und Windstrom sowie Kernkomponente der Elektromobilität. Zur elektrochemischen Energietechnik gehören Batterien, Brennstoffzellen und Elektrolyseure. Sie erlauben die gegenseitige Umwandlung von elektrischer Energie und chemischer Energie. Der hohe Wirkungsgrad der Umwandlung und die hohe Energiedichte chemischer Energieträger haben diese Technologien zu einem festen Bestandteil unseres alltäglichen Lebens werden lassen.

Die Forschungsgruppe Elektrische Energiespeicherung ist am Institut für nachhaltige Energiesysteme (INES) der Hochschule Offenburg angesiedelt. Sie widmet sich im Schwerpunkt der Lithium-Ionen-Batterietechnik und ist auch im Bereich der Polymerelektrolytmembran-Brennstoffzellentechnik aktiv. Ziel ist die Verbesserung von Leistung, Lebensdauer, Energiedichte und Sicherheit. Die Aktivitäten werden im Rahmen von öffentlich geförderten Projekten, Industriekooperationen sowie Doktorarbeiten und studentischen Arbeiten durchgeführt. Die Forschungsgruppe besteht aus etwa zehn akademischen und studentischen Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern (Abbildung 1).

**Abb. 1:** Forschungsgruppe Elektrische Energiespeicherung unter Leitung von Prof. Dr. Wolfgang Bessler an der Hochschule Offenburg (4.v.l.).

## Methoden und Ausstattung

Methodischer Schwerpunkt ist die Modellierung und Simulation. Die Forschungsgruppe entwickelt detaillierte Modelle („digitale Zwillinge“), um virtuelle Experimente an Batterien und Brennstoffzellen durchzuführen. Die Verwendung von Computersimulationen erlaubt dabei eine verständnisgetriebene Entwicklung unter Einsparung von Kosten und Zeit. Modelle reichen von der Elektrode bis zum System und von der Elementarkinetik bis zum Wärmetransport. Zur Methodik zählt auch die Entwicklung von numerischer Simulationssoftware, insbesondere der hauseigene Code DENIS (“Detailed Electrochemistry and Numerical Impedance Simulation”). Die Gruppe verwendet außerdem die Simulationscodes MATLAB für semiempirische Modellierung, SIMULINK für Systemsimulationen, COMSOL für die numerische Strömungsmechanik und CANTERA für die Auswertung elektrochemischer Reaktionsmechanismen.

Experimente werden im institutseigenen, vollausgestatteten Batterielabor durchgeführt (Abbildung 2). Das Labor stellt eine umfangreiche in-operando und post-mortem Diagnostik für Batteriezellen oder auch Fotovoltaikzellen zur Verfügung. Es können Leistungs-, Zyklen- und Alterungstests unter definierten thermischen Randbedingungen ebenso durchgeführt werden wie Charakterisierungen von Zellkapazität, Innenwiderstand und Impedanz, die Öffnung von Lithium-Ionen-Zellen und die Post-Mortem-Diagnostik von Elektroden und anderen Zellbestandteilen. Die Ausstattung umfasst:

- Batteriezyklierer für verschiedene Zelltypen für Maximalströme zwischen 0,5 A und 600 A
- Elektrochemische Impedanzspektrometer (EIS)
- fünf Temperaturprüfschränke verschiedener Größen mit Sicherheitsausstattung für Lithium-Ionen-Batterien und Bleibatterien
- Glovebox zum Arbeiten unter Schutzgasatmosphäre
- Ausstattung zum Öffnen kommerzieller Lithium-Ionen-Zellen und Ernten von Zellkomponenten
- Probenpräparation für Rasterelektronenmikroskopie, Lichtmikroskopie und chemische Analytik

Dieses Labor wurde im Rahmen des Projekts Enerlab 4.0 – Diagnostisches Batterie- und Photovoltaiklabor für Energiefragestellungen der Industrie 4.0 unter Finanzierung des Bundesministeriums für Bildung und Forschung aufgebaut.

**Abb. 2:** Batterielabor am INES: Im Vordergrund ist die Glovebox zur Öffnung und Präparation von Batterien zu sehen, im Hintergrund Temperaturprüfschränke. Bild: Mehmet Yagci, Hochschule Offenburg



## Alterung und Lebensdauer von Lithium-Ionen-Batterien

Die immer noch unzureichende Lebensdauer von Lithium-Ionen-Batterien stellt die Automobilindustrie vor große Herausforderungen. Trotz stetig zunehmender Verkaufszahlen von batterieelektrischen Fahrzeugen ist unklar, welche langfristigen Gewährleistungsrisiken bezüglich defekter Batterien bestehen. Noch höhere Ansprüche werden an Heimspeicher gestellt: Die Lebensdauer sollte mindestens 20 Jahre betragen, aber die Produkte sind noch zu kurz auf dem Markt, um dies beurteilen zu können. In mehreren Forschungsprojekten werden daher Alterungsmechanismen von Lithium-Ionen-Batterien erforscht. Das Graduiertenkolleg SiMET – Simulation mechanischer, elektrischer und thermischer Eigenschaften von Lithium-Ionen-Batterien wird von der Deutschen Forschungsgemeinschaft gefördert. Hier arbeitet das INES unter anderem an mikromechanischen Modellen der Batterieelektroden: Lade- und Entladezyklen führen zu Volumenausdehnungen der Elektrodenbestandteile, welche langfristig die Elektrode zerstören können. Das Projekt Betriebsgrenzen von Schnellladung wird von dem Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz finanziert. Eine schnelle Aufladung der Batterie ist insbesondere für Elektroautos wichtig, um auch längere Fahrstrecken mit nur kurzen Ladepausen zu ermöglichen. Jedoch leidet die Lebensdauer der Batterie unter vielen Schnellladevorgängen. Um dies besser zu verstehen,

hat die Forschungsgruppe das sogenannte Lithium-Plating als schädliche Nebenreaktion in ein mathematisches Modell einer Lithium-Ionen-Zelle eingebaut. Damit lässt sich die Alterung der Batterie vorhersagen. Ein Ergebnis dieser Berechnungen ist in Abbildung 3 dargestellt. Je schneller geladen werden soll und je niedriger die Batterietemperatur ist, desto schneller altert die Batterie.

### Zustandsdiagnostik: SOC und SOH

Die Anzeige des Ladezustands (englisch: state of charge, SOC) ist für die Benutzer von Batterien von höchster Wichtigkeit. Heute wird standardmäßig die SOC-Bestimmung von einem in die Batterie integrierten Mikrocomputer durchgeführt. Die Ergebnisse sind allerdings oft ungenau, insbesondere bei gealterten Zellen. In diesem Fall wäre auch die Anzeige von Gesundheitszustand (englisch: state of health, SOH) wünschenswert. Deshalb wurde ein neues Verfahren zur Bestimmung von SOC und SOH von Lithium-Ionen-Batterien entwickelt und patentiert. Es beruht auf der Auswertung von Spannungs- und Strommessungen mit einem mathematischen Batteriemodell. Das Verfahren ist genauer und robuster als Standardverfahren, die auf Ladungszählung beruhen, und es ist numerisch einfacher umzusetzen als andere modellbasierte Verfahren. Die Ergebnisse sind in Abbildung 4a-c gezeigt. Das neue Verfahren ist auch bei gealterten Zellen zuverlässig und erlaubt zusätzlich die Bestimmung des Gesundheitszustands.

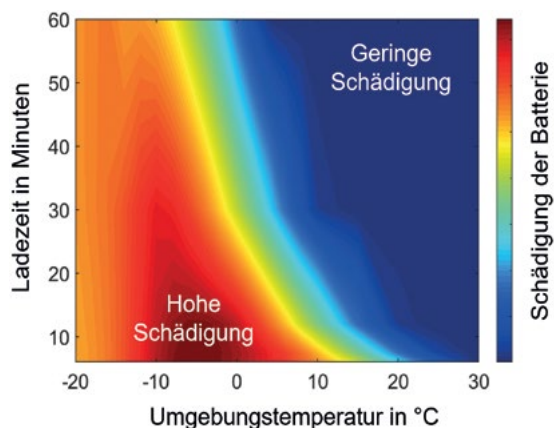


Abb. 3: Vorhersage der Batteriealterung bei Schnellladung für verschiedene Außentemperaturen. Der rote Bereich bedeutet schnelle Alterung.

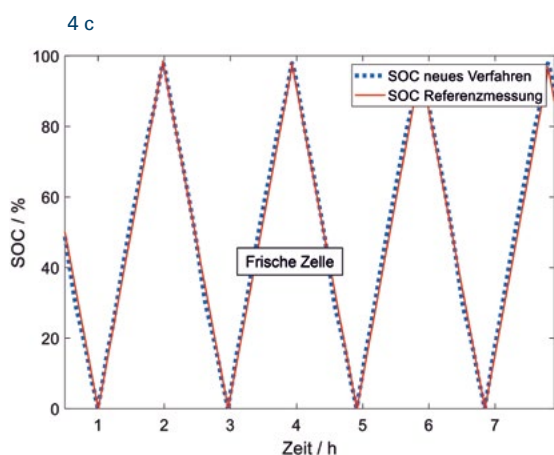
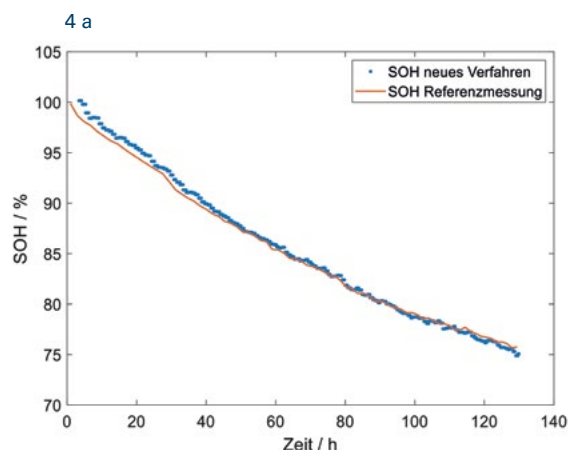
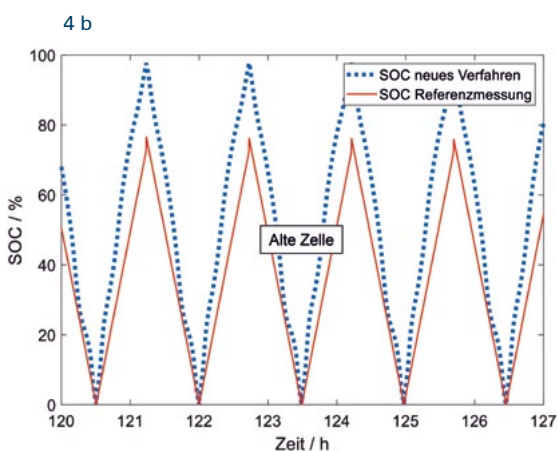


Abb. 4 a-c: Ergebnisse des neuen Verfahrens zur Zustandsbestimmung für eine Lithium-Ionen-Batterie für Elektromobilität. Unten links: Ladezustand SOC einer frischen Zelle. Unten rechts: Ladezustand SOC einer gealterten Zelle. Den Ergebnissen des neuen Verfahrens sind Messungen durch Ladungszählung gegenübergestellt. Oben rechts: Gesundheitszustand SOH, als Funktion der Zyklierungsdauer.



## Brennstoffzelle

Brennstoffzellen und Wasserstoff gelten aufgrund ihrer hohen Energiedichte als künftige Alternative zu Batterien für den Langstrecken- oder Schwerlastverkehr. Das Betriebsverhalten ist allerdings durch komplexe Transportvorgänge geprägt, weil Gase (Wasserstoff und Luft) von außen zugeführt und Wasser (dampfförmig und flüssig) abgeführt werden müssen. Im Projekt EPISTEL – Elektrochemische Druckimpedanzspektroskopie für die Charakterisierung von Transportvorgängen in elektrochemischen Zellen, das durch die Deutsche Forschungsgemeinschaft finanziert wird, entwickelt die Gruppe eine neue Diagnosemethode für Brennstoffzellen, um diese Transportvorgänge zu analysieren. Hierfür wird ein dynamisch variierender Gasdruck als Messgröße herangezogen (Abbildung 5). Das Projekt wird in Zusammenarbeit mit einem französischen Projektpartner, der Université de Lorraine, durchgeführt, der für die experimentellen Untersuchungen verantwortlich ist.

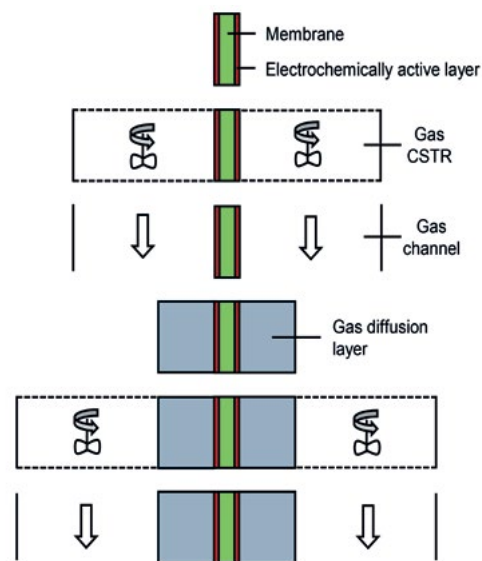


Abb. 5:

Verschiedene Transportsituationen in einer Brennstoffzelle. Anhand der zunehmenden Komplexität wird die neuartige EPIS-Diagnostik entwickelt.



Abb. 6:

Fotovoltaik-Teststand für das Mikro-PV Projekt: René Behmann vom Institut für nachhaltige Energiesysteme (Mitte) mit den Projektleitern Prof. Alfred Isele (links) und Prof. Dr. Wolfgang Bessler (rechts) auf dem Dachlabor der Hochschule Offenburg

### AUTOR



Prof. Dr. habil. Wolfgang G. Bessler  
 Professur für Prozesssimulations- und Optimierungsverfahren  
 Institut für nachhaltige Energiesysteme  
 wolfgang.bessler@hs-offenburg.de

## Batterie im System: Balkonsolaranlage

Eine sogenannte Balkonsolaranlage ist eine kleine Fotovoltaik-(PV)-Anlage, die nur aus einem einzelnen Modul besteht. Diese Anlagen sind insbesondere interessant für Mieter, die durch einfache Montage auf Balkonen, Terrassen oder Fassaden die Möglichkeiten erhalten, an der Energiewende mitzuwirken. Im Projekt Mikro-PV-Anlage mit Batterie-Kleinspeicher, das von der badenova AG finanziert wird, entwickelt das INES einen Batteriespeicher für eine solche Anlage. Dadurch soll der Eigenverbrauch und damit die Wirtschaftlichkeit erhöht werden. Die Abbildung 6 zeigt das Dachlabor der Hochschule Offenburg, auf dem verschiedene Solarmodule und Wechselrichter getestet werden.

## Zusammenfassung

Die Batterie- und Brennstoffzellentechnik spielt eine große Rolle in der stationären und mobilen Energieversorgung und damit für das Gelingen der Energiewende. Die Forschungsprojekte am Institut für nachhaltige Energiesysteme (INES) der Hochschule Offenburg behandeln aktuelle Fragestellungen wie die Batterielebensdauer oder die Brennstoffzellendiagnostik. Gemeinsam mit ihren Partnern aus Forschung und Industrie arbeitet das Institut an dem Ziel langlebiger, kostengünstiger und leistungsfähiger elektrischer Energiespeicher und -wandler.



## ***NaSiO – INSTITUT FÜR NACHHALTIGE SILIKATFORSCHUNG OFFENBURG***

*„Sustainably changing the world: the Institute for Sustainable Silicate Research Offenburg works on inorganic polymers (GEOPolymers), binders based on silicates“*

The institute's goal is to develop materials with new properties from desert sand that are compatible with a future sustainable energy technology. GEOPolymer structures are the key to sustainable building technology, and it is the key to increased industrial use of desert sand. The simplest way to understand GEOPolymers is to think of them as polymeric sand.

GEOPolymer structures are formed from water glass, which can already be produced inexpensively from sand, soda ash and solar

energy (s<sup>3</sup> approach). The focus of the institute is on research into chemical reactions that enable GEOPolymer formation. In addition, the institute also works on the optimization of all processes for the formation of GEOPolymer structures. The main focus of all research is on resource conservation and environmental compatibility.

*Head of Institute  
Prof. Dr. rer. nat. Bernd Spangenberg*

# VITAN<sup>®</sup>: an alternative to Ordinary Portland Cement

Prof. Dr. rer. nat. Bernd Spangenberg

Die Produktion von Beton verursacht weltweit etwa acht Prozent aller CO<sub>2</sub>-Emissionen und verbraucht dabei immer mehr des knapper werdenden Flusssandes. Zur Lösung dieser Probleme hat sich das Institut für nachhaltige Silikatforschung in Offenburg (NaSiO) in den letzten Jahren mit der Herstellung von Geopolymeren aus Wüstensand beschäftigt, die bei gleichen Eigenschaften, aber einer verbesserten CO<sub>2</sub>-Bilanz, Beton in Zukunft ersetzen könnten.

*The production of concrete causes about eight percent of all CO<sub>2</sub> emissions worldwide, consuming more and more of the increasingly scarce river sand. To solve these problems, the Institute for Sustainable Silicate Research in Offenburg (NaSiO) has been working in recent years on the production of geopolymers from desert sand, which could replace concrete in the future with the same properties but an improved CO<sub>2</sub> balance.*

## Introduction

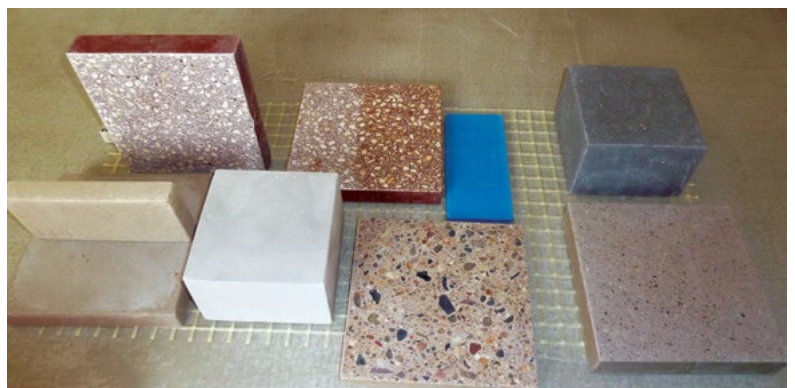
Today, concrete made from Ordinary Portland Cement (OPC) is the construction material of choice. Modern cities are no longer conceivable without OPC, but this has consequences for the environment. Total emissions from the OPC industry made a significant contribution of eight percent to global CO<sub>2</sub> emissions in 2016 [1]. Therefore, new low- or zero-CO<sub>2</sub> binder systems are being sought worldwide, and this is bringing alkali-activated cements in the focus of interest. Alkaline cement binders are made from blast furnace slag, fly ash, and also from kaolin and meta-kaolin. These binders, also referred to as geopolymers, mineral polymers, or soil cements, offer lower energy and environmental costs and have similar performance to OPC [2]. The history of alkali-activated binders began in 1908 with a patent by Hans Kühl [3].

## A fast-setting geopolymer binder

The basic idea of the new binder system is to use silicon and aluminum tetrahedra as precursors for polymer structures instead of performing time-consuming preparations of aluminum tetrahedra prior to the polymer reaction. We at the institute for Sustainable Silicate Research in Offenburg (nachhaltige Silikatforschung in Offenburg, NaSiO) have found that water glass is an underestimated construction material and can provide silicon tetrahedra. Calcium aluminate (e.g. Almatix CA-14M, CA-25M or Secar 71) are suitable

sources for aluminum tetrahedra [4, 5]. Calcium aluminates react in a mild exothermic reaction at room temperature with alkali-activated water glass (alkali silicate of different composition and dissolved in water) as a silicon resource forming resin-like polymers. The composite, in combination with any filler (Figure 1), is well suited to replace concrete because the reaction takes place by mixing a solid (calcium aluminate, sand and gravel) and a liquid (alkali activated water glass solution) at room temperature. The binder is marketed under the name VITAN<sup>®</sup>.

Fig. 1:  
Cast stones with various fillers, made of Vitan<sup>®</sup> with desert sand, gravel, limestone, or fly ash



## Concrete needs sand and gravel

For the production of concrete, OPC, water and a lot of river sand (quartz sand) are needed. In addition to sand, clean stones such as gravel are also used to limit shrinkage, because sand and gravel are the only components that do not shrink when concrete hardens. In industrialized countries, the raw material

quartz sand is slowly becoming scarce. River sand is needed because desert sand is largely unsuitable as a filler in OPC concrete. Its round grains, abraded by the wind, do not adhere to each other and thus gives concrete no stability. In addition to a certain grain size, the absence of chloride and alkali ions is also important. Unfortunately, this washed, clean sand will no longer be available in sufficient quantities worldwide. The phrase „like the sand of the sea“, familiar from the Bible, no longer applies, because inexhaustible sand deposits on or in the sea have long been a thing of the past [6]. Sand is still abundant worldwide, but only in sand deserts, which account for about 20 % of the earth's desert areas.

For the new binder, it is no problem that river sand is replaced by desert sand or other fine particles. Stones of any kind available at the building lot, can also be used as fillers, as the new binder is tolerant to chloride or alkali ions. Even soil or pure salt crystals, in combination with the binder, yield bricks with a compressive strength sufficient for houses construction.

## Simplified environment assessment of the new binder

The advantage of the presented approach is that the new binder has a lower calcium content than OPC. Moreover, all energy consumption for thermal treatment, mixing, crushing, grinding or sieving can be done CO<sub>2</sub> neutral by using solar energy [7]. Today, solar power is already a cost-effective alternative to electricity made from coal combustion. Water glass and NaOH will have a much better environmental footprint in future than they have today because electricity is needed to produce them. Considering the Solvay process, calcination, quicklime hydration and causticizing, NaOH can be produced in water according to equation (1).



We can calculate a CO<sub>2</sub> emission of one mole for the production of two moles of NaOH and one mole of CO<sub>2</sub> emission for each mole of calcium oxide in calcium aluminate (preferably produced directly from Al-rich bauxite and CaO).

A typical mixture for house construction concrete (1 m<sup>3</sup>) contains 62 kg NaOH (pure and hidden in the water glass) and 43,3 kg CaO in 200 kg of calcium aluminate, beside 605 kg desert sand and 1750 kg gravel or grit.

This mixture solidifies at room temperature within a few hours and can be retracted the next day. This type of concrete is resistant to temperatures of more than 2000 °C. Its compressive strength is 44 N/mm<sup>2</sup> and its flexural strength is better than that of OPC concrete. According to equation (1), the production of 62 kg NaOH releases 34 kg of CO<sub>2</sub>. The production of calcium aluminate costs 34 kg of CO<sub>2</sub> emission, so we have a total of 68 kg CO<sub>2</sub> emissions for 1 m<sup>3</sup> of VITAN® concrete.

The competing concrete contains 330 kg OPC (14 percent). The minimum emissions by utilizing a solar calciner is estimated to 0,665 kg CO<sub>2</sub> per t of clinker [8]. Thus, the maximum CO<sub>2</sub> reduction in the case of a 100 % calciner solarization by replacing the fossil fuel in the conventional calciner is equal to 21 % [8] If we calculate a gypsum content of less than 5 % in the OPC, we can assume 315 kg of clinker in 330 kg of OPC to produce a 1 m<sup>3</sup> of concrete. According to [8], this will release 209.5 kg of CO<sub>2</sub>. The new binder therefore leads to a CO<sub>2</sub> reduction of 67,5 % compared to OPC concrete when all production processes are powered by solar energy.

## Look to the future

The Paris Agreement set the goal of limiting global warming to well below 2, preferably 1.5 degrees Celsius compared to pre-industrial levels. To achieve this long-term temperature goal, countries aim to reach the global peaking of greenhouse gas emissions as soon as possible to achieve a carbon-neutral world by mid-century [9]. The new binder is ideally suited for this future. In the same application, locally available stones and sand can be used as filler and CO<sub>2</sub> pollution is reduced by 2/3 compared to OPC use.

## Referenzen/References:

- [1] R. M. Andrew, Global CO<sub>2</sub> emissions from cement production, *Earth Syst. Sci. Data. Discuss.* (2017), <https://doi.org/10.5194/essd-2017-77>
- [2] T. Luukkonen, Z. Abdollahnejad, J. Yliniemi, P. Kinnunen, M. Illikainen, One-part alkali-activated materials: A review, *Cement and Concrete Research* 103 (2018) 21–34
- [3] H. Kühl, Slag cement and process making the same, US Patent 900939 (1908), <https://patents.google.com/patent/US900939A/en>
- [4] M. H. Ehsaei, B. Spangenberg and S. Futterknecht, Inorganic polymers and use thereof in composite materials, WO2021018694A1
- [5] M. H. Ehsaei, B. Spangenberg and S. Futterknecht, Inorganic material with improved properties, WO2021013383A2
- [6] Sand, rarer than one thinks, UNEP; <https://wedocs.unep.org/handle/20.500.11822/8665> (retrieved 25.01.2022)
- [7] D. Fernández-González, J. Prazuch, I. Ruiz-Bustanza, C. González-Gasca, J. Piñuela-Naval, L.F. Verdeja, Solar synthesis of calcium aluminates, *Solar Energy* 171 (2018) 658–666
- [8] G. Moumin, M. Rysse, Li Zhao, P. Markewitz, Ch. Sattler, M. Robinius, D. Stolten, CO<sub>2</sub> emission reduction in the cement industry by using a solar calciner, *Renewable Energy* 145 (2020), 1578-1596 – à CO<sub>2</sub>
- [9] <https://unfccc.int/process-and-meetings/the-paris-agreement/the-paris-agreement>

### AUTOR



Prof. Dr. rer. nat. Bernd Spangenberg  
Head of the Institute NaSiO  
[spangenberg@hs-offenburg.de](mailto:spangenberg@hs-offenburg.de)



## IFTI – INSTITUTE FOR TRADE AND INNOVATION

Hinter dem Institute for Trade and Innovation (IFTI) liegt ein weiteres arbeitsreiches Jahr. 2021 beschäftigten sich die Institutsmitglieder unter anderem mit den Themen Klimapolitik, Innovationsfinanzierung und Außenwirtschaftsförderung. Schwerpunkt der Aktivitäten waren vor allem das Thema Klimafinanzierung und die Auswirkungen der Coronakrise auf die Exportwirtschaft.

Am IFTI forschen sieben Professorinnen und Professoren in einem interdisziplinären Ansatz. Hinzu kommen vier internationale Research Fellows, unter anderem von der City, University of London, sowie der Newcastle Business School, Northumbria University. Zudem waren dem IFTI vier Promovierende zugeordnet. Erfolgreich abschließen konnten ihre Promotionen in 2021 Dr. Michael Stopfuchen und Dr. Juri Suehrer.

Wichtige Veröffentlichungen im vergangenen Jahr beinhalteten beispielsweise eine Publikation zum Thema „Towards Net Zero export credit: Current approaches and next steps“ gemeinsam u. a. mit Dr. Thomas Hale von der Blavatnik School of Government der Universität Oxford, eine Publikation zum Thema „Export Credits and the Climate Transition“, eine Publikation zum Thema „Africa after COVID-19: Reshaping Regional Trade Finance“ in der Zeitschrift „Contemporary Issues in African Trade and Trade Finance“ sowie die Veröffentlichung „Les agences publiques de

crédit à l’exportation en concurrence“ in der Zeitschrift „La Vie économique“.

Das IFTI hat im Jahr 2021 seine eigene Working Paper-Serie ausgebaut. Neben zahlreichen Veröffentlichungen von Master-Studierenden zur Innovations- und Außenwirtschaftsförderung publizierten hier auch IFTI-Mitglieder zum Thema Klimafinanzierung.

Das Institut war im vergangenen Jahr zudem mit diversen Vorträgen und Beiträgen auf Podiumsdiskussionen aktiv, unter anderem bei den Außenwirtschaftstagen 2021 des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie, beim Dutch Government Stakeholder Meeting 2021, beim E3F Export Finance for Future Ministerial Meeting diverser europäischer Regierungen sowie beim 25th CSO Consultation Meeting der Organisation for Economic Co-operation and Development (OECD). Weiteres Highlight war ein Vortrag bei der Strategietagung der multilateralen Afreximbank in Dubai.

Das Advisory Board des Instituts war in 2021 erneut eine große Unterstützung. Mitglieder sind beispielsweise Prof. Dr. Benedict Oramah (Präsident der Afreximbank), Jan Vassard (Deputy CEO von EKF Denmark’s Export Credit Agency) sowie Dr. Henning Meyer vom Bundesministerium der Finanzen.

*Institutsleitung*  
 Prof. Andreas Klasen LL.M. MLitt DBA

# Export Credits and the Climate Transition

Prof. Andreas Klasen LL.M. MLitt DBA, Dr. Roseline Wanjiru, Jenni Henderson, Josh Phillips

*Klimafinanzierung spielt eine zentrale Rolle für „Net Zero“-Ziele. Staatliche Exportbanken und -versicherungen sind einflussreiche Akteure für Klimaschutz: Entsprechende Finanzierungen und Versicherungen beliefen sich im Jahr 2020 auf 6,7 - 8,4 Mrd. Euro. Forschungsergebnisse zeigen aber, dass Aktivitäten erheblich zunehmen müssen, um zum bis 2030 erforderlichen Volumen beizutragen. Institutionen müssten Klimafinanzierungen bis 2030 um das 6,8-fache auf 45,3 bis 57,4 Mrd. Euro erhöhen.*

*Climate finance plays a crucial role in the net zero transition. Public export-import banks (EXIMs) and export credit agencies (ECAs) are highly influential actors for climate action. 20 institutions assessed in this study give evidence that they significantly support climate action related transactions: EXIM and ECA financing and insurance amounted to EUR 6.7 - 8.4 bn in 2020. However, the results also show that lending and insurance activities must rise substantially in order to contribute to climate finance volumes required by 2030. Assessed institutions would need to increase their climate financing 6.8 times to between EUR 45.3 bn and EUR 57.4 bn by 2030.*

CO<sub>2</sub> emissions are set to hit record levels in 2023 and there is no sign of peaking. The energy sector, in particular, is a key source of greenhouse gas emissions (GHG) and central to efforts to combat climate change. Only a moderate decrease in coal production is predicted over the next decade even though 195 countries committed to the Paris Agreement in 2015. The agreement responds to the climate change threat by holding the increase in global average temperature to “well below” 2 °C in this century, as well as to pursue efforts to limit the rise to 1.5 °C. As a consequence, the global pathway to net zero emissions by 2050 requires governments to implement and strengthen climate policies. This requirement led to a broad range of policy approaches, strategic directions and concrete government actions in recent years. In November 2021, the 26th UN Climate Change Conference of the Parties in Glasgow (COP26) accelerated action towards the goals of the Paris Agreement.

Climate finance plays a crucial role in the net zero transition. The fundamental role is embedded in Article 2.1(c) of the Paris Agreement, in which parties agreed to making “finance flows consistent with a pathway towards low greenhouse gas emissions and climate-resilient development”. Financial institutions (FIs) are uniquely positioned to drive Paris-aligned systemic decarbonisation. This is due to the fact that FIs influence, enable, and depend on the behaviour of other economic actors through investment and lending activities. Public export-import banks (EXIMs) and government export credit agencies (ECAs) are highly influ-

ential actors for climate action because official export credits including financing and insurance stimulate international trade in climate-related technologies.

## Background

The radical transformation of the global energy system required to achieve net zero in 2050 depends on a significant expansion in energy investment and a major shift in how capital is allocated. The Net-Zero Emissions by 2050 Scenario (NZE) of the International Energy Agency (IEA) comes to the conclusion that annual energy sector investment must jump from USD 2.3 trillion in recent years to USD 5 trillion by 2030 (EUR 4.3 trillion). The Climate Policy Initiative (CPI) shows that global climate finance flows in 2020 reached USD 640 billion (EUR 550.4 billion), and USD 632 billion on 2019/2020 annual average. The CPI estimates annual climate finance must increase by 588 % to USD 4.35 trillion (EUR 3.74 trillion) by 2030 (CPI, 2021). EXIMs and ECAs play a fundamental role in the climate transition, in particular regarding climate change mitigation such as renewable energy financing.

This aim of this paper is to discover the potential contribution of officially supported export credits for the net zero transition. The research tries to answer the question: ‘if climate finance must reach EUR 3.74 trillion by 2030 to support the green transition, by how much does EXIM and ECA climate finance need to rise to facilitate the change?’. There are several implications both from a theoretical and a

practical perspective. There is a lack of research about officially supported export credits and the role they play in achieving net zero. In particular, there is no quantitative study about EXIM and ECA contributions to finance the transformation. Results from this study will thus fill an existing research gap. Furthermore, there is an impact for policy makers and public export credit institutions, as they might be able to better understand what is required for climate export finance.

## The Role of EXIMs and ECAs in Climate Finance

Climate finance refers to local, national or transnational financing seeking to support mitigation and adaptation actions that address climate change. A global taxonomy is not defined clearly, but it is widely recognised that climate finance describes funding activities such as equity, loans, guarantees or insurance from public, private or alternative sources reducing the impact on the environment. In addition to the private sector, important climate finance providers include global funds such as the Green Climate Fund (GCF), MDBs and DFIs. EXIMs and ECAs play a critical role within the global trade finance network and are well-positioned to be pivotal regarding climate finance.

On a multilateral level, the OECD Arrangement comprises several climate-related sector-specific rules, such as the Renewable Energy, Climate Change Mitigation and Adaptation and Water Projects Sector Understanding. Although it does not cover incentives such as lower minimum pricing for climate finance, the Participants to the OECD Arrangement agreed in 2020 to examine at least the areas of „Net zero energy buildings“ and conditions for low emission and high energy efficiency fossil fuel power plants in more detail. Furthermore, several European countries launched an Export Finance for Future (E3F) coalition in 2021 to align export finance with climate objectives. At COP 26 in November 2021, more than 40 countries committed to shift away from coal and 20 countries agreed to ending international public support for the unabated fossil fuel energy sector by the end of 2022.

On a national level, the increased interest of governments to create comprehensive climate strategies requires a renewed and strengthened role for EXIMs and ECAs. Most agencies align their strategies with their respective government's policy goals; to provide development or impact returns. As such, strategies

are increasingly focused on promoting sectors of strategic importance such as climate finance. For example, EDC became the first ECA to announce a 2050 net zero target in July 2021 and outline initial steps toward it. UK Export Finance (UKEF) also announced a net zero commitment in September 2021, ensuring that its operations and financial portfolio will contribute net zero emissions by 2050. At COP26, EKF Denmark's Export Credit Agency (EKF) set a net zero emission target and announced that EKF's portfolio will be carbon neutral by 2045 at the latest.

Furthermore, several EXIMs and ECAs are working on or are discussing a renewed mandate for innovation and industrial policy, focusing on climate change mitigation due to their mandate and core activities. The scale and scope of the green transformation creates a huge need for innovation and the development of new industries. Financing research, development and innovation (R&D&I), capital expenditure (CAPEX) and working capital are key challenges for many businesses. Despite recent increases by EXIMs and ECAs in actual climate financing and announcements regarding net zero ambitions, there remains a gap in the literature quantifying the flow of finances to climate projects. Furthermore, little research has been done to understand how EXIMs and ECAs define climate finance.

## Defining Climate Finance

There is no clear consensus among EXIMs and ECAs on what constitutes climate finance, or harmonisation on how it is defined and measured. The lack of consistency is evident, for example, in annual reports: Approximately 25 % of the 2020 annual reports assessed in this study contain some form of climate-related definition or performance metric. Furthermore, research results found that only 45 % of survey respondents answered that the financing and/or insuring of 'transactions related to mitigation and adaptation actions that will address climate change' (UNFCCC definition) most aligned to their EXIM or ECA definition of climate finance. More respondents agree that the UNFCCC definition best aligns with their definition of climate finance than any other definition. Among E3F coalition members, one member aligned with the same definition and added 'as well as non-climate related green transactions'. For respondents in the 'other' category, one has adopted the European Union (EU) taxonomy while other EXIMs and ECAs are currently refining or developing their definitions.

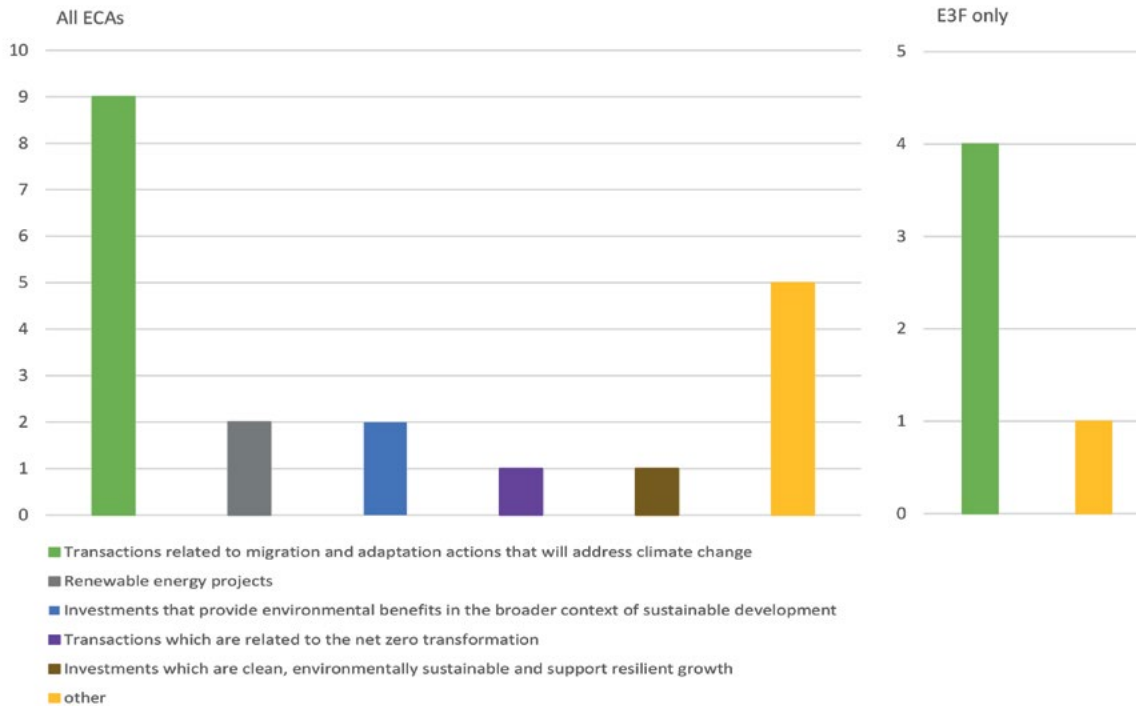


Fig. 1: EXIM and ECA Climate Finance Definitions

## Estimating Current Climate Finance Flows

Despite a lack of unity around a common definition, each respondent was able to provide data regarding current climate finance flows. Since all definitions go some way toward supporting the net zero transition, all self-reporting of EXIM and ECA climate finance was accepted as valid for the analysis, following data consistency checks. CPI data estimates that climate finance flows from ECAs (and EXIMs) constituted USD 1 billion (EUR 0.86 billion) in 2020. If this figure of EUR 0.86 billion from a total of EUR 545.4 billion estimated by CPI is correct, EXIMs and ECAs represented approximately 0.16 % of total current climate finance flows in 2020. Findings from this study indicate that the CPI figures on officially supported export credits seem to underestimate climate finance flows from EXIMs and ECAs. Survey respondents were asked to give a range for their climate finance activities for each year: 2018, 2019 and 2020. Based on these responses, the lower and upper bound estimates of 2020 EXIM and ECA supported climate finance amounts to EUR 6.7 billion and EUR 8.4 billion respectively. This estimate was found by calculating the weighted average climate finance volume for E3F, OECD (excluding E3F coalition) and non-OECD members and applying to the total volume of 2020 EXIM and ECA new business on a pro-rata basis. Given this, the total climate finance flows were revised upward from CPI’s estimate to be EUR 551.2 billion for 2020. Therefore, the current

level of official export credits towards climate is estimated at between 1.2 % and 1.5 % of total climate finance flows. This finding forms the basis of a prorated estimate of the required increase in climate financing from EXIMs and ECAs to meet the CPI climate finance requirements and the IEA net zero pathway.



Fig. 2: EXIM and ECA Climate Finance 2020

## Extrapolating Future Climate Finance Requirements

As described above, the CPI estimations of total climate finance required in 2030 is equivalent to EUR 3.74 trillion. What does this mean for EXIMs and ECAs globally? At a minimum, to retain their current proportion relative to other climate finance flows (i.e., between 1.2 % and 1.5 % of total climate finance flows) under the 2030 scenario, EXIMs and ECAs (at least



institutions participating in this study) would need to increase their climate financing nearly sevenfold (6.8 times). Based on the analytical framework outlined in this paper, the total annual spend on climate finance by EXIMs and ECAs thus must rise to between EUR 45.3 billion to EUR 57.4 billion by 2030. Taking the global volume of MLT from US EXIM’s Annual Competitiveness Report, it is estimated that total new business by EXIMs and ECAs in 2020, that could be directly relevant for climate finance, is equivalent to EUR 69 billion. Therefore, the total annual spend on climate finance by ECAs and EXIMs must rise to represent an estimated 66 % to 83 % of the current (2020) total global EXIM and ECA spend across all sectors.

Put another way, if EXIMs and ECAs were meeting their contribution of the CPI and/or IEA targets today, two thirds to four fifths globally of new financing and insurance would be climate finance-related. Given the market dynamics and needs of exporters and importers across different economies and sectors, it would be unrealistic to imagine such a high percentage of total export credits dedicated to climate finance and displacing other sector investments. Hence, to accommodate the increased investment needs for the net zero transition, export finance overall needs to significantly rise. This increase is expected, even as EXIMs and ECAs transition their portfolios away from carbon intensive investments. It should be noted that EXIM and ECA activity fell globally in 2020, if the same figures are used against 2019 activities, the percentage is 46-58 %. Regardless, the large deficit suggests that EXIMs and ECAs need to make extensive internal changes to increase annual climate-related export credits in the period from 2022 to 2030.

## Challenges and Portfolio Implications

For EXIMs and ECAs to reach higher annual climate-related export credits of up to EUR 57.4 billion, the overall capital allocation for export credits will need to substantially grow. It is very unlikely that EXIMs and ECAs will be able to increase their level of climate-related export credits solely through portfolio reallocations; transition takes time and is unlikely to generate the net amount required.

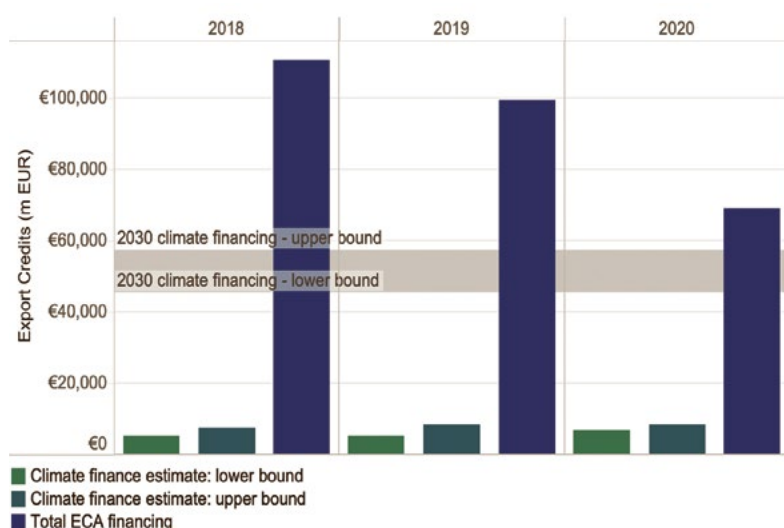
The Climate Policy Initiative suggests that to achieve a climate finance increase to EUR 3.74 trillion by 2030, large investments will be required in key sectors such as energy systems, industry or transport. EXIMs and ECAs such as SACE in Italy or Oesterreichische Kontrollbank (OeKB) in Austria are already supporting climate-related innovation and technology. However, there will be a need for each institution to consider its own portfolio, government priorities, and opportunities at hand. EXIMs and ECAs should expect to take differentiated paths in scaling up their climate finance activities and each set a strategy according to its own operating environment and mandate. For many, this enhanced innovation and technology support for exporters and investors will come hand in hand with divestment or shifting support away from carbon intensive industries.

There are a number of limitations to this research. First, the research is based on data from a limited number of EXIMs and ECAs. 68 institutions were approached to answer the electronic survey, 20 EXIMs and ECAs responded. Although there is evidence from desk research that most non-respondents have no or only limited climate finance activities, it would have been useful to extend the model. The same applies for time constraints because a longer research period could lead to more details. A second limitation is that it was not possible to distinguish between financing and insurance activities, as well as support provided for climate change mitigation and climate change adaptation. However, due to the broad approach in this research, it is acceptable not to use consolidated figures as sources for the quantitative analysis.

## Conclusions

This paper discussed the crucial role of public export-import banks and government export credit agencies for climate action. In some important ways, the results of this research extend findings from prior studies. First, it shows that there is no common understand-

Fig. 3: Climate Finance EXIM and ECA Estimations



ding or definition regarding EXIM and ECA climate finance. Although 45 % of respondents define climate finance as ‘transactions related to mitigation and adaptation actions that will address climate change’, there is hardly a consensus. Second, the paper gives evidence that existing estimates for climate finance through officially supported export credits seem to be underestimated. The lower and upper bound estimates of 2020 EXIM and ECA are much higher than CPI figures due to the fact that supported climate finance amounts to EUR 6.7 billion and EUR 8.4 billion respectively. Third, EXIM and ECA activities must rise significantly in order to contribute substantially to required climate finance volumes in 2030. To retain their current proportion relative to other climate finance flows under the 2030 scenario, EXIMs and ECAs (at least institutions participating in this study) would need to increase their climate financing approximately 6.8 times. Fourth, this research shows that higher annual climate-related export credits have significant authorisation and portfolio challenges. The overall capital allocation for export credits will need to substantially increase even with much higher private finance contributions because, based on past experience, EXIMs and ECAs will always need to catalyse commercial financing.

This research also has important practical implications for a number of parties involved in officially supported export credits. First, EXIMs and ECAs must collaborate to develop

a common understanding of climate finance. Together with initiatives like GFANZ or E3F, institutions could create a platform for an aligned definition and common measurement of climate finance activities. Second, a broad commitment to upgrade EXIM and ECA climate goals and include net zero by 2050 at the latest would create significant opportunities to increase climate financing. The scale and scope of the green transformation creates a huge need for innovation and the development of new industries. EXIMs and ECAs can include innovation and industrial policy objectives in their mandate, securing and regaining technological competence, competitiveness and industrial leadership through green growth. This would allow to work towards the required rise of EXIM and ECA total annual spend on climate finance to EUR 45.3 billion to EUR 57.4 billion by 2030. Third, global organisations like the OECD can help ensure a sector-wide transition that leaves EXIMs and ECAs in a stronger position in a net zero economy. In particular, incentives such as lower minimum pricing, longer repayment periods or reduced advance payment requirements for innovation and technology-driven transactions under the OECD Arrangement could significantly push climate finance.

AUTOREN



**Prof. Andreas Klasen** LL.M. MLitt DBA  
Professor für Int. Betriebswirtschaft  
Wissenschaftlicher Leiter Institut IFTI  
andreas.klasen@hs-offenburg.de



**Jenni Henderson**  
Visiting Researcher  
Institute for Trade and Innovation (IFTI)



**Dr. Roseline Wanjiru**  
Associate Professor of International Business  
and Economic Development  
Northumbria University



**Josh Philipps**  
Visiting Researcher  
Institute for Trade and Innovation (IFTI)



## **Peter-Osypka-Institut für Medizintechnik – POIM**

2017 wurde der POIM-Neubau fertiggestellt

Die Medizintechnik ist eine dynamische und innovative Branche. Rund ein Drittel ihres Umsatzes erzielen die Hersteller mit Produkten, die höchstens drei Jahre alt sind. Der medizintechnische Fortschritt ist entsprechend rasant. Im Durchschnitt investieren die Medizintechnik-Unternehmen rund neun Prozent ihres Umsatzes in Forschung und Entwicklung. Auch der im Bereich Forschung und Entwicklung beschäftigte Mitarbeiteranteil von rund 15 Prozent liegt weit über dem Industriedurchschnitt.

Das Peter-Osypka-Institut für Medizintechnik (POIM) der Hochschule Offenburg ist in vielen Forschungsprojekten mit der regionalen und überregionalen Medizintechnikindustrie und anderen Instituten vernetzt. Das Themenspektrum reicht von Grundlagenforschung bis hin zu produktnaher Forschung in den Bereichen „Chirurgische Navigation und Augmented Reality“, „Kardiovaskuläre Medizintechnik“, „NeuroAkustik“ und „NeuroScience“. Auch die „Elektrostimulation und Ablation“ ist im POIM vertreten und stellt ein aktuelles Projekt auf den nächsten Seiten vor.

Aktuell hat das POIM 13 Institutsmitglieder, darunter vier Professoren der Hochschule Offenburg, sechs akademische Mitarbeiter und drei externe Mitglieder. Zudem befindet sich das Labor „Medizintechnische Werkstoffe“ derzeit in Aufbau.

In allen Arbeitsgruppen werden regelmäßig Projekt-, Bachelor- und Masterarbeiten sowie Doktorandenstellen ausgeschrieben. Interessierte Studierende (beispielsweise aus den Studiengängen Elektrotechnik, Medizintechnik und Informatik) können sich jederzeit gern melden.

*Institutsleitung*

*Prof. Dr. rer. biol. hum. Stefan Zirner*

# Pilotstudie: mechanischer Parameter für ein kardiovaskuläres Implantat

Dr. rer. biol. hum. Corinna Brenner, Dr. phil. Tobias Haber, Prof. Dr. med. Juraj Melichercik,  
Prof. Dr. med. Nikolaus A. Haas, Prof. Dr. rer. nat. habil. Bruno Ismer

Zur Reduktion des Schlaganfallrisikos hat sich bei ausgewählten Patienten mit Vorhofflimmern der minimal-invasive interventionelle Verschluss des linken Vorhofohrs mit einem Okkluder etabliert. Für deren Implantation werden von den verschiedenen Herstellern spezifische Indikationen und Kriterien vorgegeben. Der Parameter „Kompression“ wird derzeit ausschließlich bei Okkludern vom Typ Watchman™ angegeben und lediglich im Rahmen der Implantation verwendet. Mit dieser interdisziplinären Studie sollten Möglichkeiten für eine klinische Nutzung dieses mechanischen Implantat-Parameters in der Patienten-Nachsorge (Follow-up) und seine Anwendbarkeit auch für andere Fabrikate in einer interdisziplinären Kooperation erschlossen werden.

*Minimally invasive interventional closure of the left atrial appendage with an occluder has been established to reduce the risk of stroke in selected patients with atrial fibrillation. For their implantation, specific indications and criteria are given by the different manufacturers. The parameter „compression“ is currently only given for occluders of the Watchman™ type and is only used in the context of implantation. With this interdisciplinary study, possibilities for a clinical use of this mechanical implant parameter in patient follow-up and its applicability for other makes should be investigated in an interdisciplinary cooperation.*

## Einleitung

Vorhofflimmern ist als „Volkskrankheit“ des Alters (Abbildung 1) [1] die weltweit häufigste Form von Herzrhythmusstörungen. Allein in Deutschland sind rund 1,8 Millionen Menschen betroffen. Sie äußert sich in einem unregelmäßigen Herzschlag, der sogenannten Arrhythmia absoluta. Obwohl Vorhofflimmern nicht akut lebensbedrohlich ist, kann es unbehandelt schwerwiegende Folgeschäden hervorrufen. Seine Erkennung und Behandlung sind somit dringend angeraten.

Die unter dem Vorhofflimmern eingeschränkte Kontraktion der Vorhöfe fördert nämlich die Bildung von Thromben, welche sich häufig im linken Vorhof-Herzohr (left atrial appendage, LAA), einer 2-4 cm langen röhrenförmigen Ausstülpung, anlagern. Werden sie von dort ausgeschwemmt, kann es zu Gefäßverschlüssen zum Gehirn hin und damit zu Schlaganfällen kommen. Die Behandlung von Vorhofflimmern erfolgt durch prophylaktische Gabe blutverdünnder Medikamente, sogenannten Gerinnungshemmern. Da diese aufgrund des mit ihnen einhergehenden

Altersverteilung der Inzidenz von Vorhofflimmern

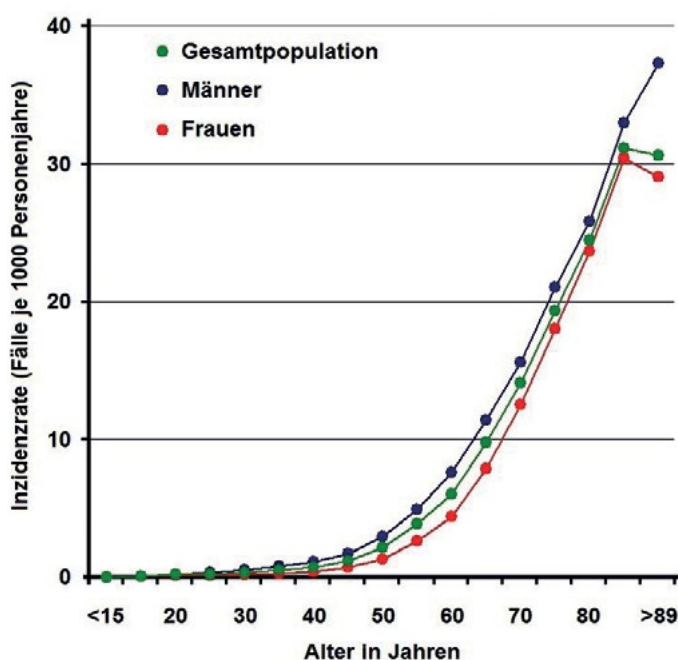
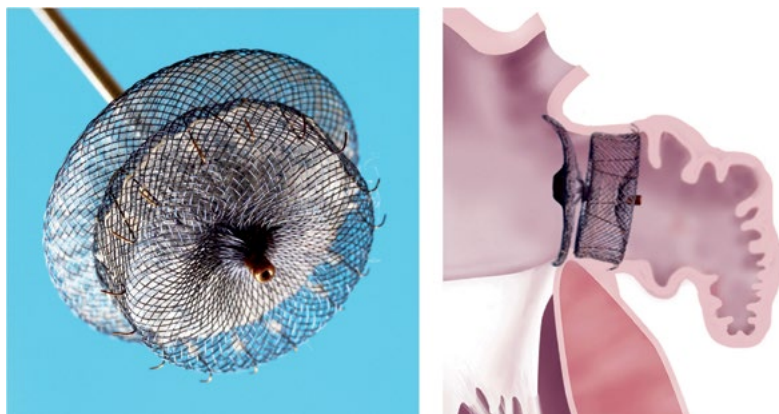


Abb. 1: Inzidenz für das Auftreten von Vorhofflimmern gruppiert nach Gesamtpopulation, Alter und Geschlecht (Deutschland, 2008)

erhöhten Blutungsrisikos nicht für alle Patienten geeignet sind, kann prophylaktisch auch der mechanische Verschluss des Vorhofohrs mittels Okkluder, das heißt eines per Katheter eingeführten Implantats erfolgen (Abbildung 2) [2, 3, 4, 5].



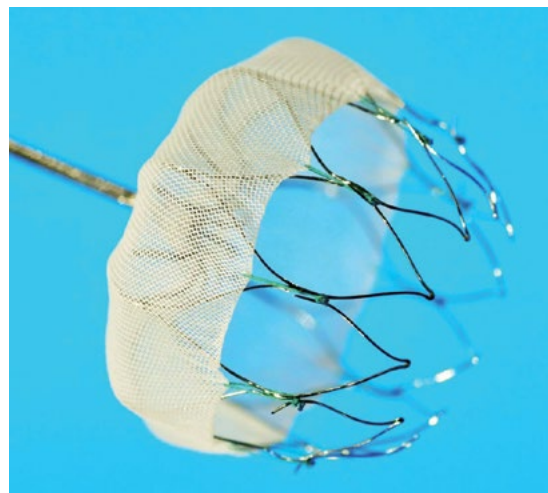
**Abb. 2:** Amplatzer™ Amulet™ Okkluder (links) mit schematischer Darstellung seiner Position im linken Vorhofohr (rechts)

Da die Anatomie des Vorhofohres interindividuell sehr unterschiedlich ist, muss für das verwendete Okkluder-Fabrikat die am besten geeignete Größe intraprozedural durch Vermessung mit einer Angiographie- und/oder Transösophageale Echo-Bildgebung bestimmt werden. Die Herstellerempfehlung für die Okkludergöße ergibt sich aus dem nach der Herstellervorschrift gemessenen Durchmesser des Vorhofohr-Eingangs, dem LAA-Ostium (Tabelle 1).

Ein Vorhofohr-Okkluder (Abbildung 2) bildet mit seinem selbstexpandierenden Metallgerüst aus der Legierung Nitinol ein Schirmchen, welches das Vorhofohr verschließt. Nitinol ermöglicht, dass der Okkluder auch nach extremer Verformung wieder seine ursprüngliche Form einzunehmen versucht. Dieses Bestreben wird beim Hersteller der Watchman™ Okkluder (Abbildung 3) durch den mechanischen Parameter „Kompression“ beschrieben. Er ist als prozentuales Verhältnis zwischen dem originalen Implantatdurchmesser (Werkstdurchmesser) vor dem Einsetzen und dem Durchmesser unmittelbar nach der Implantation definiert. Die Einhaltung einer Kompressionsvorgabe zwischen 80 % und 92 % soll dabei eine genügende „Klemmkraft“ und somit den optimalen Halt des Implantats im LAA-Ostium garantieren (Tabelle 1).

**Tab. 1:** Hersteller-Empfehlung der Okkludergöße in Abhängigkeit vom LAA-Ostium-Messwert und der sich bei 80 - 92 % Kompressionsvorgabe ergebende Implantatgröße bei Watchman™

Okkludergröße (mm)	LAA-Ostium Durchmesser (mm)	Bei 80-92% Kompression resultierende Implantatgröße (mm)
21	17 – 19	16,8 – 19,3
24	20 – 22	19,2 – 22,1
27	23 – 25	21,6 – 24,8
30	26 – 28	24,0 – 27,6
33	29 – 31	26,4 – 30,4



**Abb. 3:** Watchman™ Okkluder mit selbst-expandierendem Nitinol-Rahmen und Haken zur Fixierung im Gewebe sowie PET-Schirm

## Zielstellungen

Da sich Okkluder-Patienten regelmäßigen Nachkontrollen unterziehen, bei denen unter anderem der korrekte Sitz des Implantats mit transösophagealer Echo-Bildgebung kontrolliert wird, sollte im Rahmen einer Pilotstudie am Herzzentrum Lahr geklärt werden, ob der bislang exklusiv für Watchman™ Okkluder angegebene Kompressionsparameter auch bei anderen Fabrikaten sinnvoll ist. Darüber hinaus war der Frage nachzugehen, wie sich der Verlauf der Kompression postprozedural darstellt und ob seine Betrachtung klinisch von Nutzen ist. Es wurde die Hypothese aufgestellt, dass die mit dem Einwachsen des Implantats einhergehende Formänderung zu einer Stabilisierung führt, sodass bei einer Vermessung der Kompression im Follow-up aus ihrem Verlauf das Ende der Einheilung abgelesen werden kann.

## Methodik

Im Zeitraum zwischen November 2015 bis Juni 2018 waren 62 Patienten, bei denen am MediClin Herzzentrum Lahr die Implantation und Nachsorge eines Okkluders vom Typ Watchman™ oder Amplatzer™ Amulet™ unter interdisziplinärer Begleitung erfolgte, für eine Follow-up-Pilotstudie vorgesehen. Von diesen erschienen aus unterschiedlichsten Gründen 10 nicht in der implantierenden Einrichtung zur Nachsorge. Aus den während der ärztlichen Follow-up Untersuchungen dokumentierten TEE-Aufnahmen bei den verbleibenden 52 Patienten (34 m, 16 w, 67,2 ± 7,6 Jahre), 27 mit Watchman™ und 25 mit Amplatzer™ Amulet™ Okkluder wurden die Okkluder-Diameter in verschiedenen Projekti-

onen vermessen, die Kompression bestimmt und - normiert hinsichtlich der individuell unterschiedlichen Okkludergößen - mit ihrem intraprozedural dokumentierten Wert verglichen.

## Ergebnisse

Die Ergebnisse der Pilotstudie zeigen die Abbildungen 4 und 5. Für die Patienten mit Watchman™ Okkluder ist bis zum 180sten Tag nach Implantation ein kontinuierlicher Anstieg des auf die intraprozedurale Kompression normierten Kompressionsverlusts bis auf im Mittel  $9,5 \pm 3,7\%$  erkennbar. Von hier bis zum nächsten Follow-up nach 225 Tagen beträgt die Änderung bei den nur noch drei hier betrachtbaren Patienten im Mittel  $-0,3\%$ . Ein sich durch eine deutlich größere Population in dieser Größenordnung bestätigender Mittelwert des Kompressionsverlusts würde ärztlicherseits als nicht relevant betrachtet werden.

Für Patienten mit Amplatzer™ Amulet™ Okkluder zeigt Abbildung 4 bereits ab dem 135sten Tag nach Implantation einen flacheren Anstieg des Kompressionsverlustes als davor. Bis zu diesem Zeitpunkt wurde ein kontinuierlicher Anstieg auf im Mittel  $10,3 \pm 5,2\%$  normiert auf die intraprozedurale Kompression gemessen. Obwohl Ergebnisse nach diesem Zeitraum nur bei sechs beziehungsweise drei Patienten zur Verfügung stehen, ergaben sich aus den nächsten Follow-ups bei 180 und 225 Tagen Veränderungen von gemittelt nur noch  $0,9\%$  bzw.  $1,3\%$ .

## Diskussion

Die Ergebnisse zeigen die Problematik und verdeutlichen den nötigen Aufwand für medizinische Studien in Bezug auf Patientenzahlen und Studiendauer. Für eine abschließende Beantwortung dieser Fragestellung reichen weder die Beobachtungsdauer noch die Zahl der eingeschlossenen Patienten aus. Dennoch belegen die vorgenommenen Untersuchungen, dass die Betrachtung der Kompression auch für andere Fabrikate als den Watchman™ und nicht allein im Rahmen der Implantation, sondern darüber hinaus auch im Follow-up klinisch nützliche Informationen liefern kann.

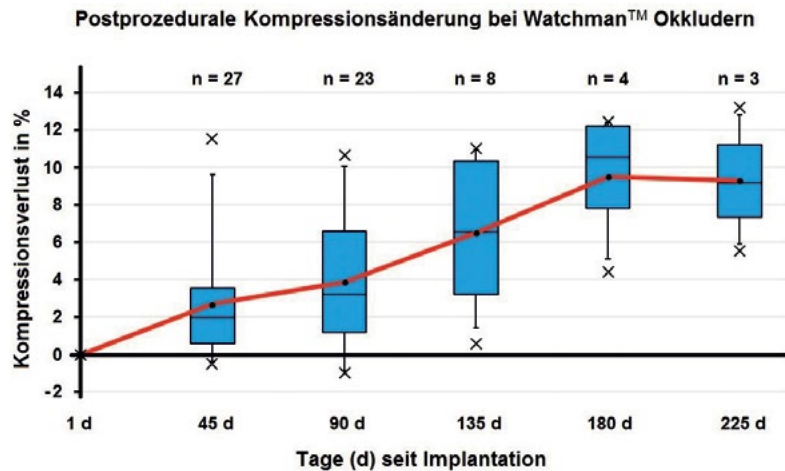


Abb. 4: Zeitlicher Verlauf der Veränderung des Implantatdiameters bei Patienten mit Watchman™ Okkluder normiert auf den individuellen intraprozeduralen Wert

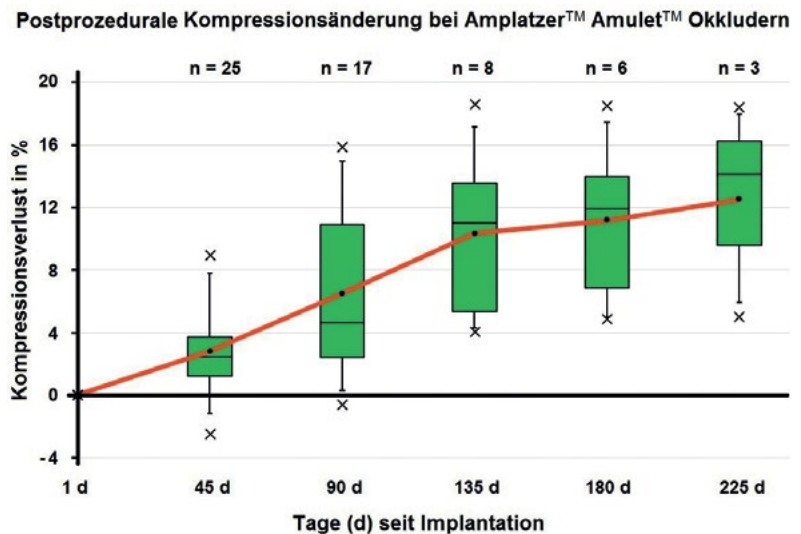


Abb. 5: Zeitlicher Verlauf der Veränderung des Corpus-Diameters bei Patienten mit Amplatzer™ Amulet™ Okkluder normiert auf den individuellen intraprozeduralen Wert

## Zusammenfassung

Diese Untersuchungen belegen, dass die Angabe eines Kompressionsparameters auch für Amplatzer™ Amulet™ Okkluder möglich und sinnvoll ist. Die bisher nicht übliche Bestimmung dieses Parameters im zeitlichen Verlauf des Follow-ups deutet auf einen charakteristischen Verlauf hin. Diese Messungen unterstützen die Hypothese, nach welcher sich in diesem der abgeschlossene Einheilungs-

prozess widerspiegelt. Beschränkt auf die betrachtete Kohorte könnte bei einer alleinigen Betrachtung der Kompression die Einheilung der Okkluder Amplatzer™ Amulet™ nach 135 Tagen bzw. bei Watchman™ nach 180 Tagen abgeschlossen sein. Für genauere und endgültige Aussagen wären Studien mit deutlich größeren Patientenzahlen und längeren Follow-up Intervallen bzw. Multicenter-Studien hilfreich.

### Referenzen/References:

- 1 Wilke T et al. (2013) Incidence and prevalence of atrial fibrillation: an analysis based on 8.3 million patients. *Eurpace* 15 (4): p. 486-493
- 2 Boston-Scientific (2015) Watchman: Left Atrial Appendage Closure Device with Delivery System; Direction for Use
- 3 Reddy VY et al. (2018) "WATCHMAN Left Atrial Appendage System for Embolic Protection in Patients with Atrial Fibrillation - PROTECT-AF" *American College of Cardiology*
- 4 Landmesser U et al. (2017) Left atrial appendage occlusion with the AMPLATZER Amulet device: periprocedural and early clinical/ echocardiographic data from a global prospective observational study. *EuroIntervention* 13 (7): p. 867-876
- 5 Chen S et al. (2019) Left atrial appendage occlusion using Lambre Amulet and Watchman in atrial fibrillation. *J Cardiol* 73 (4): p. 299-306

### AUTOREN



Dr. rer. biol. hum. Corinna Brenner  
Ludwig Maximilian Universität München  
corinna.brenner@outlook.com



Dr. phil. Tobias Haber  
Stellvertretender Leiter POIM  
tobias.haber@hs-offenburg.de

Prof. Dr. med. Juraj Melichercik: Leiter Abt. Elektrophysiologie  
Herzzentrum Lahr/Baden, juraj.melichercik@mediclin.de  
Prof. Dr. med. Nikolaus A. Haas: Direktor Kinderkardiologie und Pädiatrische Intensivmedizin LMU Klinikum Großhadern, Nikolaus.Haas@med.uni-muenchen.de  
Prof. Dr. rer. nat. habil. Bruno Ismer: ehem. Leiter POI, bruno.ismer@hs-offenburg.de

## WIR BETREUEN STUDENTEN IN DEN BEREICHEN:

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



**Interesse uns kennen zu lernen?**

Dann freuen wir uns über eine Email:

jobs@genesys-offenburg.de



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  
In der Spöck 10  
77656 Offenburg  
Tel.: +49 (0) 781 96 92 79 - 0  
www.genesys-offenburg.de



# IUAS – INSTITUTE FOR UNMANNED AERIAL SYSTEMS

Im Jubiläumsjahr 2021 konnte das „Institute for Unmanned Aerial Systems“ auf eine große Anzahl erfolgreich umgesetzter Projekte in den vergangenen 10 Jahren zurückblicken. Während zu Beginn der Schwerpunkt der Forschungs- und Entwicklungsarbeiten noch auf autonomen Helikoptern lag, zeichnet sich nun das Institut mit seinen Mitgliedern aus unterschiedlichen Fakultäten durch eine hohe interdisziplinäre Vielfalt aus. Im vergangenen Jahr lag deshalb der Fokus in den Bereichen, unbemannte Flugsysteme und Anwendungen, Radartechnologie und Anwendungen, digitale Prototypen und virtuelle Produktentwicklung (Simulation, Rapid Prototyping, Additive Fertigung).

Im Sinne der hochschulweiten Internationalisierung leitet das IUAS internationale Forschungs- und Entwicklungsarbeiten, hat sich ein intensives Netzwerk mit nationalen und internationalen Partnern aufgebaut und transferiert seine Forschungsergebnisse zurück in die Praxis und Gesellschaft:

So konnte im Bereich Computational Fluid Dynamics mit dem vom Bund geförderten Projekt „WindSim“ in Zusammenarbeit mit dem Olympiastützpunkt (OSP) in Freiburg anhand numerischer Methoden zur Strömungslehre eine erfolgreiche Konzeption und Evaluation eines optimierten Konstruktionsvorschlages eines Trainingswindkanals für den spezifischen Einsatz im Skisprung ausgearbeitet werden, der in naher Zukunft realisiert werden soll.

Im Bereich der Hochfrequenz- und Radarsysteme konnte das Verbundprojekt „Programmable Systems for Intelligence in Automobiles“ (PRYSTINE), das durch das Electronic Components and Systems for European Leadership Joint Undertaking (ESCEL) sowie das Bundesministerium für Bildung und Forschung gefördert wurde, Ende 2021 ebenfalls erfolgreich abgeschlossen werden. Innerhalb des Projekts wurde eine fehlertolerante 360°-Rundumwahrnehmung für das hochautomatisierte Fahren entwickelt, die auf robuster Radar- und Lidar-Sensorfusion basiert.

Mit dem jüngsten Projekt „RADALYSE - Entwicklung eines berührungslosen Analyseverfahrens zur Erkennung von Bodenschichten durch Radar“, das von dem Zentralen Innovationsprogramm Mittelstand (ZIM) bewilligt wurde, wird ein Bodenradar zur Erkennung von Bodenschichten entwickelt und realisiert.

Dank der positiven Projektlage bietet das Institut auch dieses Jahr eine Vielzahl an Möglichkeiten, spannenden Projekten, Aufgaben und Herausforderungen, die Studierenden aus der ganzen Welt die Möglichkeit bieten, einen Forschungsaufenthalt im Rahmen von Praktika, Abschlussarbeiten oder sonstigen wissenschaftlichen Aufenthalten am IUAS zu absolvieren. Bei Interesse treten Sie gern mit uns in Kontakt.

*Wissenschaftliche Leitung  
Prof. Dr.-Ing. Marlene Harter*



# Ultra-Breitband Mikrowellen-System zur medizinischen Bildgebung

Prof. Dr.-Ing. Marlene Harter, Mathias Kromer B.Sc., Hima Dominic M.Sc, Reinhard Echle, M.Eng.

In dieser Studie wurde ein Ansatz für ein mikrowellenbasiertes Radarsystem zur Detektion und Lokalisierung von Objekten erforscht, welches aufgrund seiner nicht-ionisierenden Strahlung ein hohes Potenzial für diverse Anwendungen im Bereich der medizinischen Bildgebung besitzt. Hierfür wurde ein Messaufbau einschließlich geeigneter Antennen realisiert sowie bildgebende Algorithmen implementiert. Die Funktionalität des Messaufbaus wurde unter Berücksichtigung von verschiedenen Testszenarien analysiert. Dabei wurde nachgewiesen, dass der Messaufbau in der Lage ist, sowohl mehrere Objekte als auch ausgedehnte Objekte zu lokalisieren.

*In this study, an approach for a microwave-based radar system for the detection and localization of objects was explored, which, due to its non-ionizing radiation, represents a high potential for diverse applications in the field of medical imaging. For this purpose, a measurement setup including suitable antennas was realized and imaging algorithms were implemented. The functionality of the measurement setup was analyzed under consideration of different test scenarios. It was proven that the measurement setup is able to localize multiple objects as well as extended objects.*

## Einleitung

Die in der Medizintechnik eingesetzten bildgebenden Verfahren besitzen verschiedene Stärken und Schwächen. So sind beispielsweise Ultraschallsysteme zwar gesundheitlich unbedenklich und bieten eine ausreichende Auflösung, sind jedoch nicht in der Lage, Knochenstrukturen zu durchdringen.

Während Röntgenstrahlen Knochen und Gewebe durchdringen können, sollten diese aufgrund der auf die ionisierende Strahlung zurückzuführenden gesundheitlichen Risiken nur im geringen Maße eingesetzt werden. Dagegen ist die Magnetresonanztomografie zwar gesundheitlich unbedenklich, jedoch ist die Verfügbarkeit aufgrund der hohen Kosten und räumlichen Anforderungen stark begrenzt, wodurch eine zeitnahe Diagnostik oftmals nicht möglich ist. Daher erscheint die vergleichsweise kostengünstige und nicht-invasive Mikrowellentechnik als eine mögliche Alternative. Mit Mikrowellen lassen sich Unterschiede in den dielektrischen Eigenschaften von menschlichem Gewebe feststellen. Durch ein verändertes Absorptions- und Rückstreuverhalten der hochfrequenten elektromagnetischen Wellen lassen sich diagnostische Informationen über etwa krankhaft verändertes Gewebe gewinnen. Die dabei eingesetzte Mikrowellenstrahlung ist nicht-ionisierend und resultiert

in Verbindung mit der geringen abgestrahlten Leistung in einem für den Patienten risikoarmen Verfahren und könnte in der Zukunft für gewisse Anwendungsbereiche eine Alternative zu herkömmlichen Verfahren bieten.

Derzeitig werden Anwendungen wie die Früherkennung von Brustkrebs, die Erkennung von Schlaganfällen [1] und kongestiver Herzinsuffizienz [2] sowie die Früherkennung von Hautkrebs [3], [4] erforscht.

Darunter ist die Früherkennung von Brustkrebs eine der vielversprechendsten mikrowellenbasierten Anwendungen, das vor allem an dem, relativ zu anderen Körperteilen, homogenen Fettgewebe sowie niedrigen Wassergehalt und damit geringen Dämpfung einhergeht [5]. Dabei erscheint der Frequenzbereich von 1 GHz bis 5 GHz gerade für die medizinische Bildgebung besonders geeignet, da die vergleichsweise niedrigen Frequenzen weiter in den Körper eindringen können, während Frequenzen oberhalb von 5 GHz aufgrund des Wassergehalts im menschlichen Körper stärker gedämpft werden. Dazu wurde in [6] ein anatomisches Modell für die Schichten des menschlichen Rumpfes definiert und simuliert, dessen dielektrischen Eigenschaften nach dem Cole-Cole-Modell berechnet wurden.

In diesem Forschungsbericht wird ein Messaufbau zur Lokalisierung von Objekten auf der Grundlage eines Ultra-Breitband (UWB, engl. Ultra-wideband) Systems sowie erste Messergebnisse zu verschiedenen Testszenerarien vorgestellt.

## Messaufbau

Der Aufbau des Systems ist ein quasi-monostatisches System (das heißt dieselbe Antenne wird zum Senden und Empfangen verwendet), die acht Antennen besitzt, die nacheinander für die Messung von Reflexionsparametern im Frequenzbereich von 1 GHz bis 5 GHz durchgeschaltet werden. Eine anschließende Analyse der gemessenen Signale wird mit dem Algorithmus namens „Delay- and Sum Beamformer with Point Spread Function (DAS-PSF)“ durchgeführt, worüber sich das Messszenario abbilden lässt. Das Gesamtsystem besteht aus einem Vektor-Netzwerkanalysator (VNA) und einer Schaltmatrix, worüber sich die einzelnen Antennen ansteuern lassen.

Als Messantennen werden sogenannte Vivaldi-Antennen eingesetzt, die sich durch eine große Bandbreite und einer vergleichsweise kostengünstigen Realisierbarkeit auszeichnen. Der in Abbildung 1 gezeigte Messaufbau besteht aus einer kreisförmigen Anordnung der acht Antennen mit einem Innenradius von 300 mm, auf der die Antennenhalterungen mit einem Winkelabstand von 45° zueinander angebracht sind. Mit der Schaltmatrix können die Antennen in verschiedenen Kombinationen den Messanschlüssen des VNAs zugeordnet werden. Die Zuweisung dieser Belegung wird derzeit softwareseitig über ein MATLAB-Programm gesteuert, in dem bereits auch die Kalibrierung sowie die Abbildungsalgorithmen implementiert worden sind.



Abb. 1:  
Messaufbau mit acht Vivaldi-Antennen

## Messergebnisse

Im Folgenden werden die Ergebnisse erster Messungen vorgestellt, die mit dem aufgebauten Messsystem durchgeführt wurden. Zunächst wurden die Detektion und Lokalisierung eines einzelnen exemplarischen Objekts untersucht. Anschließend wurde das Experiment für die Erkennung mehrerer Objekte und ausgedehnter Objekte erweitert.

### Lokalisierung mehrerer Objekte

Die Messung von zwei Objekten wurde als Beispiel für ein Szenario mit mehreren Zielobjekten durchgeführt. Wie in Abbildung 2 zu sehen, wurden zwei Zylinder aus Aluminium beliebig auf der Messfläche positioniert. Durch eine physikalische Messung der Objektpositionen konnte die korrekte Messung mit DAS-PSF bestätigt werden.

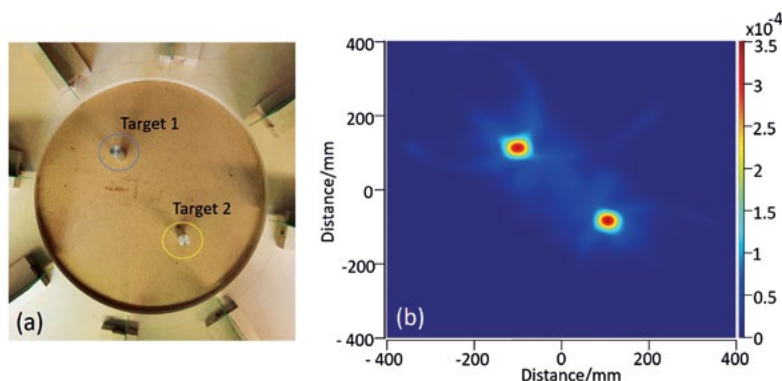


Abb. 2:  
(a) Versuchsaufbau für die Lokalisierung von zwei Objekten.  
(b) Abbildungsergebnis mit DAS-PSF.

Das System ist in der Lage, die für die Tests verwendeten Aluminiumziele mit 6 mm und 26 mm Durchmesser präzise zu lokalisieren. Das Zentrum der abgebildeten Reflexion stimmt dabei mit einer Toleranz von  $\pm 2$  mm auf x- und y-Achse mit dem Mittelpunkt des Ziels überein. Diese Aussage gilt für die Positionierung eines Objekts in einem 150-mm-Radius um den Nullpunkt des Messaufbaus.

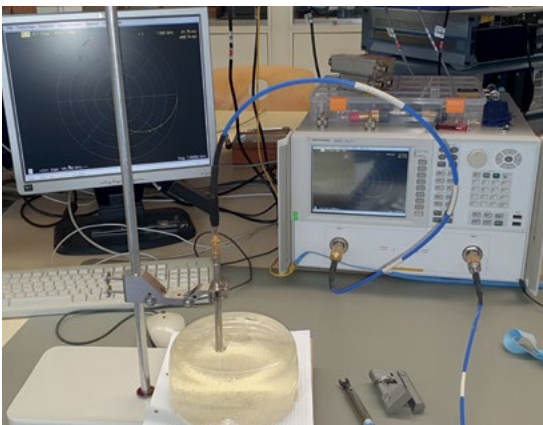
### Messung ausgedehnter Objekte

In diesem Abschnitt wird die Fähigkeit des Systems, ausgedehnte Objekte mit dielektrischen Grenzschichten zu detektieren, dargestellt. Die verwendeten Messobjekte waren ein mit Wasser gefüllter Eimer, eine mit Wasser gefüllte Plastikflasche sowie ein ABS-Plastikquader gefüllt mit Rapsöl. Die Objekte wurden zur Evaluierung des Verfahrens gewählt, da sie jeweils über den größten Teil des Volumens eine gute Homogenität der dielektrischen Eigenschaften aufweisen. Die gemessene Ausrichtung der Objekte stimmt mit der tatsächlichen Ausrichtung der Objekte (Abbildung 3) sehr

gut überein. Bei der Messung größerer, geometrisch einfacher Strukturen mit einer homogenen Oberfläche kann die Form des Objekts in der Messebene anhand des generierten Bildes erkannt werden. Bei den wassergefüllten Objekten kommt es vorrangig zu einem hohen Kontrast an der Objektoberfläche, während Luft einschüsse im Öl zu den sichtbaren Reflexionen in dem mit Öl gefüllten Behälter führen.

## Ausblick

Für eine weitere Untersuchung und Erforschung von Mikrowellen zur medizinischen Bildgebung ist die Anfertigung von Phantomen zur Imitation des menschlichen Gewebes notwendig. Dazu zeigt Abbildung 4 ein erstes Testphantom, angefertigt aus Gelatine, Zucker und Wasser, das zur Nachbildung von menschlichem Gewebe modelliert wurde. Die erzielten dielektrischen Eigenschaften sowie deren frequenzabhängiges Verhalten wurden anschließend mit einer dielektrischen Messsonde und einem VNA charakterisiert.



### Referenzen/References:

- [1] X. Li, „Body Matched Antennas for Microwave Medical Applications,“ Dissertation, Karlsruhe Institute of Technology, 2013
- [2] A. M. Abbosh, S. A. Rezaeieh, and K. Bialkowski, “Microwave techniques as diagnostic tool for congestive heart failure,“ in Conf. Proc-2014 IEEE MTT-S International Microwave Workshop Series on: RF and Wireless Technologies for Biomedical and Healthcare Applications, IMWS-Bio 2014, 2015, doi: 10.1109/IMWS-BIO.2014.7032406
- [3] B. J. Mohammed, S. A. R. Naqvi, M. Manoufali, K. Bialkowski, and A. M. Abbosh, “Changes in epidermal dielectric properties due to skin cancer across the band 1 to 50 GHz,“ Aust. Microw. Symp. AMS 2018 – con. Proc., Vol. 2018-Januar, no. 2, pp. 77-78, 2018, doi: 10.1109/AUSMS.2018.8346990
- [4] O. Malyuskin and V. Fusco, “Resonance microwave reflectometry for early stage skin cancer identification,“ 9th Eur. Conf. Antennas Propagation, EuCAP 2015, pp. 1-6, 2015, [Online]
- [5] M. Jalilvand, X. Li, L. Zwirello, T. Zwick, „Ultra wideband compact nearfield imaging system for breast cancer detection,“ IET Microw. Antennas Propag., 2015, Vol. 9, Iss.10, pp. 1009-1014
- [6] A. Sathe, A. Rawat, M. Harter, „Estimation of Scattering and Transfer Parameters in Stratified Dispersive Tissues of the Human Torso,“ Asia-Pacific Microwave Conference, 2020

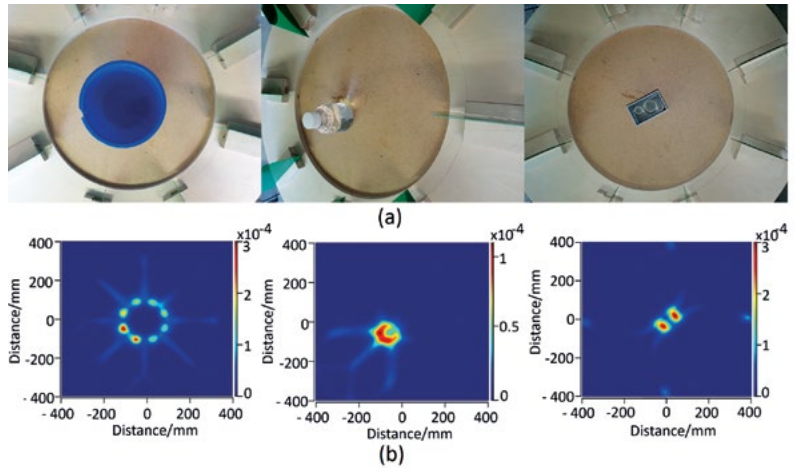


Abb. 3:

(a) Messobjekte (von links): mit Wasser gefüllter Eimer, Plastikflasche mit Wasser, ABS-Kunststoffquader, gefüllt mit Rapsöl. (b) Bildgebendes Ergebnis mit DAS-PSF (von links): Wassergefüllter Eimer, Kunststoffflasche mit Wasser, ABS Kunststoffquader gefüllt mit Rapsöl.

### AUTOREN



**Prof. Dr.-Ing. Marlene Harter**  
 Institutsleiterin IUAS,  
 Fakultät EMI, Hochfrequenz- und  
 Radartechnik  
 marlene.harter@hs-offenburg.de



**Mathias Kromer B.Sc.**  
 Absolvent im Bachelor-Studiengang Elektro-  
 und Informationstechnik,  
 mkromer@stud.hs-offenburg.de



**Hima Dominic M.Sc.**  
 Akademische Mitarbeiterin am IUAS  
 hima.dominic@hs-offenburg.de



**Reinhard Echle, M.Eng.**  
 Fakultät EMI,  
 Akademischer Mitarbeiter  
 Labor Hochfrequenztechnik und EMV  
 reinhard.echle@hs-offenburg.de

# Publikationen 2021

*Artikel in wissenschaftlichem Journal  
mit Peer Review*

*Autor(en), Titel, Verlag*

**Abdolinezhad, Saeed; Zimmermann, Lukas; Sikora, Axel; Shon, Taeshik:** A Novel Key Generation Method for Group-Based Physically Unclonable Function Designs. In: *Electronics* 10 (21), S. 1–12. DOI: 10.3390/electronics10212597

**Amjad, Zubair; Nsiah, Kofi Atta; Hilt, Benoît; Lauffenburger, Jean-Philippe; Sikora, Axel:** Latency reduction for narrowband URLLC networks: a performance evaluation. In: *Wireless Networks : The Journal of Mobile Communication, Computation and Information* 27, S. 2577–2593. DOI: 10.1007/s11276-021-02553-x

**Angermeier, Julian; Hemmert, Werner; Zirn, Stefan:** Sound Localization Bias and Error in Bimodal Listeners Improve Instantaneously When the Device Delay Mismatch Is Reduced. In: *Trends in Hearing* 25, S. 1–11. DOI: 10.1177/23312165211016165

**Bantleon, Ulrich; d’Arcy, Anne; Eulerich, Marc; Hucke, Anja; Pedell, Burkhard; Ratzinger-Sakel, Nicole:** Coordination challenges in implementing the three lines of defense model. In: *International Journal of Auditing (Special Issue)*, S. 1–16. DOI: 10.1111/ijau.12201

**Bantleon, Ulrich; d’Arcy, Anne; Eulerich, Marc; Hucke, Anja; Pedell, Burkhard; Ratzinger-Sakel, Nicole V.S.:** Vom „Three Lines of Defense Model“ zum „Three Lines Model“. In: *WPg : Kompetenz schafft Vertrauen* (22), S. 1383–1392

**Beauxis-Aussalet, Emma; Behrisch, Michael; Borgo, Rita; Chau, Duen Horng; Collins, Christopher; Oelke, Daniela et al.:** The Role of Interactive Visualization in Fostering Trust in AI. In: *IEEE Computer Graphics and Applications* 41 (6), S. 7–12. DOI: 10.1109/MCG.2021.3107875

**Bessler, Wolfgang G.; Leible, Valentin:** Passive hybridization of photovoltaic cells with a lithium-ion battery cell: An experimental proof of concept. In: *Journal of Power Sources* 482, S. 1–9. DOI: 10.1016/j.jpowsour.2020.229050

**Bordini, Rogério Augusto; Münscher, Johann-Christoph; Baumgartner, Kim Annabell; Hagos, Sara; Hornig, Jennifer; Korn, Oliver et al.:** Strangers in a Strange Land: Designing a Mobile Application to Combat Loneliness and Isolation Among Foreign University Students. In: *Journal of Technology in Behavioral Science* (6), S. 81–87. DOI: 10.1007/s41347-020-00171-6

**Bruder, Lukas; Neumayer, Dirk A.; Lutz, Theo:** Auswahlkriterien für IoT-Plattformen. Fundierte Auswahl einer passenden IoT-Plattform auf Basis häufig verwendeter Kriterien. In: *Industrie 4.0 Management* 37 (4), S. 55–58

**Bürger, Adrian; Bull, Daniel; Sawant, Parantapa Amar-sinh; Bohlayer, Markus; Klotz, Andreas; Beschütz, Daniel et al.:** Experimental operation of a solar-driven climate system with thermal energy storages using mixed-integer nonlinear model predictive control. In: *Optimal Control Ap-*

*plications and Methods* 42 (5), S. 1293–1319. DOI: 10.1002/oca.2728

**Ciesielski, Slawomir; Obeyaa Adu, Elizabeth; Mozejko-Ciesielska, Justyna; Pokoj, Tomasz; Wilke, Andreas:** Wood Juice Valorization through Production of Poly(3-hydroxybutyrate-co-3-hydroxyvalerate) Using *Bacillus* sp. G8\_19. In: *ACS Sustainable Chemistry & Engineering (ACS Sustainable Chem. Eng.)* 9 (50), S. 16870–16873. DOI: 10.1021/acssuschemeng.1c06856

**Decker, Eva; Schlemmer, Daniela; Altenberend, Mareike; Meier, Barbara; Barnat, Miriam; Bosse, Elke; Szczyrba, Birgit:** Start ins MINT-Studium. Interaktion und Kommunikation im digitalen Live-Format. In: *Forschung und Innovation in der Hochschulbildung : Forschungsimpulse für hybrides Lehren und Lernen an Hochschulen* 10, S. 17–32. Online verfügbar unter <https://nbn-resolving.org/urn:nbn:de:hbz:832-cos4-9465>

**Durall Lopez, Ricard; Tschannen, Valentin; Etrich, Norman; Keuper, Janis:** Generative models for the transfer of knowledge in seismic interpretation with deep learning. In: *The Leading Edge* 40 (7), S. 534–542. DOI: 10.1190/tle40070534.1

**El Damaty, Sarah; Hazubski, Simon; Otte, Andreas:** ArtiFacts: Creating a 3-D CAD Reconstruction of the Historical Roman Capua Leg. In: *Clinical Orthopaedics and Related Research* 479 (9), S. 1911–1913. DOI: 10.1097/CORR.0000000000001741

**Feil, Niclas M.; Mayer, Elena; Nair, Akash; Christian, Björn; Ding, Anli; Sun, Cheng et al.:** Properties of higher-order surface acoustic wave modes in Al(1-x)Sc(x)N / sapphire structures. In: *Journal of Applied Physics* 130 (16), 164501-1-164501-10. DOI: 10.1063/5.0055028

**Fischer, Carl; Schweizer, Christoph:** Experimental investigation of the damage characteristics of two cast aluminium alloys: Part I – Temperature dependent low cycle and thermomechanical fatigue behavior. In: *International journal of fatigue* 152, S. 1–15. DOI: 10.1016/j.ijfatigue.2021.106359

**Fischer, Carl; Schweizer, Christoph:** Experimental investigation of the damage characteristics of two cast aluminium alloys: Part II – LCF/HCF and TMF/HCF loading with special focus on the short crack growth behavior. In: *International journal of fatigue* 152 (106387), S. 1–11. DOI: 10.1016/j.ijfatigue.2021.106387

**Fischer, Carl; Schweizer, Christoph:** Experimental investigation of the damage characteristics of two cast aluminium alloys: Part III – Influence of the local microstructure and initial defect size on the fatigue properties. In: *International journal of fatigue* 152, S. 1–17. DOI: 10.1016/j.ijfatigue.2021.106388

**Fitz, Oliver; Ingenhoven, Stefan; Bischoff, Christian; Gentischer, Harald; Birke, Kai Peter; Saracsan, Dragos; Biro, Daniel:** Comparison of Aqueous- and Non-Aqueous-Based Binder Polymers and the Mixing Ratios for Zn//MnO<sub>2</sub> Batteries with Mildly Acidic Aqueous Electrolytes. In:

Batteries 7 (2), S. 1–18. DOI: 10.3390/batteries7020040

**Gawron, Philipp; Wendt, Thomas; Stiglmeier, Lukas; Hangst, Nikolai; Himmelsbach, Urban; Zhu, Dibin:** A Review on Kinetic Energy Harvesting with Focus on 3D Printed Electromagnetic Vibration Harvesters. In: *Energies* 14 (21), S. 1–24. DOI: 10.3390/en14216961

**Ghovanlooy Ghajar, Fatemeh; Salimi Sratakhti, Javad; Sikora, Axel; Valderas, Pedro; Torres, Victoria:** SBTMS: Scalable Blockchain Trust Management System for VANET. In: *Applied Sciences* 11 (24), S. 1–18. DOI: 10.3390/app112411947

**Grunde, Jens; Graumann, Matthias:** Die Rolle des Aufsichtsrats im Strategieprozess. In: *Der Betrieb* 74 (5), S. 181–189. Online verfügbar unter <https://research.owlit.de/document/9c88d32f-ea05-3c3f-a081-5ddf26c6e286>

**Hahn, Sarah; Kröger, Inga; Willwacher, Steffen; Augat, Peter:** Reliability and validity varies among smartphone apps for range of motion measurements of the lower extremity: a systematic review. In: *Biomedical Engineering / Biomedizinische Technik* 66 (6), S. 537–555. DOI: 10.1515/bmt-2021-0015

**Hazubski, Simon; Bamerni, Derya; Otte, Andreas:** Conceptualization of a Sensory Feedback System in an Anthropomorphic Replacement Hand. In: *Prosthesis* 3 (4), S. 415–427. DOI: 10.3390/prosthesis3040037

**Hazubski, Simon; Hoppe, Harald; Otte, Andreas:** Neues Konzept für die Aktivierung künstlicher Hände durch Augmented Reality. In: *Orthopädie Technik* (07), S. 40–42

**Hazubski, Simon; Otte, Andreas:** 3-D-CAD-Rekonstruktion der zweiten „Eisernen Hand“ des Reichsritters Gottfried von Berlichingen (1480–1562). In: *Archiv für Kriminologie* 248 (1+2), S. 53–56. Online verfügbar unter <https://silkcodeapps.de/desktop/kriminologie/#doc/64875/55>

**Hensel, Stefan; Marinov, Marin B.; Koch, Michael; Arnaudov, Dimitar; Blažič, Boštjan:** Evaluation of Deep Learning-Based Neural Network Methods for Cloud Detection and Segmentation. In: *Energies* 14 (19), S. 1–14. DOI: 10.3390/en14196156

**Himmelsbach, Urban; Wendt, Thomas; Hangst, Nikolai; Gawron, Philipp; Stiglmeier, Lukas; Schmitz, Anne:** Human–Machine Differentiation in Speed and Separation Monitoring for Improved Efficiency in Human–Robot Collaboration. In: *Sensors* 21 (21), S. 1–18. DOI: 10.3390/s21217144

**Hussain, Navid; Fu, Tongtong; Marques, Gabriel; Das, Chittaranjan; Scherer, Torsten; Aghassi-Hagmann, Jasmin et al.:** High-Resolution Capillary Printing of Eutectic Gallium Alloys for Printed Electronics. In: *Advanced materials technologies* 6 (11), S. 1–11. DOI: 10.1002/admt.202100650

**Israel, Kai; Zerres, Christopher; Tschulin, Dieter K.:** Try before you buy – Akzeptanz von Virtual-Reality-Anwendungen zur Leistungsbeurteilung von Erfahrungsgütern. In: *HMD Praxis der Wirtschaftsinformatik*, S. 1–15. DOI: 10.1365/s40702-021-00820-1

**Kazacos Winter, Duarte; Khatri, Rahul; Schmidt, Michael:** Decentralized Prosumer-Centric P2P Electricity Market Coordination with Grid Security. In: *Energies* 14 (15), S. 1–17. DOI: 10.3390/en14154665

**Kim, Hanhee; Hartmann, Niklas; Zeller, Maxime; Luise, Renato; Soylu, Tamer:** Comparative TCO Analysis of

Battery Electric and Hydrogen Fuel Cell Buses for Public Transport System in Small to Midsize Cities. In: *Energies* 14 (14), S. 1–31. DOI: 10.3390/en14144384

**Klasen, Nils; Weißer, Daniel; Rößler, Torsten; Neuhaus, Dirk Holger; Kraft, Achim:** Performance of shingled solar modules under partial shading. In: *Progress in photovoltaics Early View*, S. 1–14. DOI: 10.1002/pip.3486

**Korn, Oliver; Akalin, Neziha; Gouveia, Ruben:** Understanding Cultural Preferences for Social Robots: A Study in German and Arab Communities. In: *ACM Transactions on Human-Robot Interaction* 10 (2), 12:1–12:19. DOI: 10.1145/3439717

**Košťál, Josef; Šebek, František; Petruška, Jindřich; Seifert, Thomas:** Cyclic plasticity models and fatigue criteria for exhaust manifold life assessment in the context of limited material data available. In: *Materials at High Temperatures*, S. 1–18. DOI: 10.1080/09603409.2021.2013615

**Kreins, Marion; Schilli, Simon; Seifert, Thomas; Iyer, Anand; Colliander, Magnus Hörnqvist; Wesselmecking, Sebastian; Krupp, Ulrich:** Bauschinger effect and latent hardening under cyclic micro-bending of Ni-base Alloy 718 single crystals: Part I. Experimental analysis of single and multi slip plasticity. In: *Materials Science and Engineering: A* 827, S. 1–12. DOI: 10.1016/j.msea.2021.142027

**Kuhlen, Karl Gerhard; Rothe, Paul; Seifert, Thomas:** Near-component testing of materials for cylinder heads to determine thermomechanical fatigue under superimposed high-frequency mechanical loads. In: *Materials Testing* 63 (12), S. 1081–1089. DOI: 10.1515/mt-2021-0059

**Mai, Patrick; Robertz, Leon; Thelen, Matthias; Weir, Gillian; Trudeau, Matthieu; Hamill, Joseph; Willwacher, Steffen:** A method to quantify stiffness across the entire surface of a shoe’s midsole. In: *Footwear Science* 13 (2), S. 105–116. DOI: 10.1080/19424280.2021.1878286

**Meier, Lina; Preuschoff, Anne; Otte, Andreas:** Zur Biomechanik des frühneuzeitlichen Riefelharnisches. In: *Waffen- und Kostümkunde* 63 (2), S. 153–160

**Okudaira, Masamichi; Willwacher, Steffen; Kawama, Raki; Ota, Kazuki; Tanigawa, Satoru:** Sprinting kinematics and inter-limb coordination patterns at varying slope inclinations. In: *Journal of Sports Sciences* 39 (21), S. 2444–2453. DOI: 10.1080/02640414.2021.1939949

**Otte, Andreas:** Christian von Mechel’s Reconstructive Drawings of the Second „Iron Hand“ of Franconian Knight Gottfried (Götz) von Berlichingen (1480–1562). In: *Prosthesis* 3 (1), S. 105–108. DOI: 10.3390/prosthesis3010011

**Otte, Andreas:** Der Dieb Pietro Bersone: Ein historischer Fallbericht des Kriminalanthropologen Cesare Lombroso unter Einsatz eines Hydrosphygmographen. In: *Archiv für Kriminologie* 247 (1+2), S. 2–8. Online verfügbar unter <https://silkcodeapps.de/desktop/kriminologie/#doc/63060/4>

**Otte, Andreas:** Rekonstruktion des Taxiunfalls des französischen Komponisten Maurice Ravel. In: *Archiv für Kriminologie* 247 (5+6), S. 165–175. Online verfügbar unter <https://silkcodeapps.de/desktop/kriminologie/#doc/64429/31>

**Otte, Andreas:** Zur Pathophysiologie berühmter Persönlichkeiten. In: *Archiv für Kriminologie* 248 (1+2), S. 1–5. Online verfügbar unter <https://silkcodeapps.de/desktop/kriminologie/#doc/64875/3>

**Otte, Andreas; Hazubski, Simon:** The Ancient Artificial Leg of Capua: First 3D Print after 2300 Years. In: *Prosthesis* 3 (3), S. 190–193. DOI: 10.3390/prosthesis3030019

**Pfafferott, Jens; Rißmann, Sascha; Halbig, Guido; Schröder, Franz; Saad, Sascha; Casanueva, Ana et al.:** Towards a Generic Residential Building Model for Heat-Health Warning Systems. In: *International Journal of Environmental Research and Public Health* 18 (24), S. 1–26. DOI: 10.3390/ijerph182413050

**Pfafferott, Jens; Rißmann, Sascha; Sühling, Matthias; Kanani-Sühling, Farah; Maronga, Björn:** Building indoor model in PALM-4U: indoor climate, energy demand, and the interaction between buildings and the urban microclimate. In: *Geoscientific Model Development* 14 (6), S. 3511–3519. DOI: 10.5194/gmd-14-3511-2021

**Pupyrev, Pavel Dmitrievich; Lomonosov, Alexey M.; Nedospasov, Ilya; Mayer, Andreas:** Anomalous reflection and transmission of surface acoustic waves at a crystal edge via coupling to leaky wedge waves. In: *Applied Physics Letters* 119 (2), 021902-1-021902-5. DOI: 10.1063/5.0051060

**Pupyrev, Pavel Dmitrievich; Nedospasov, Ilya; Sokolova, Elena; Mayer, Andreas:** Surface acoustic waves confined to a soft layer between two stiff elastic quarter-spaces. In: *Wave Motion* 101, 102672-1-102672-6. DOI: 10.1016/j.wavemoti.2020.102672

**Quarti, Michael; Bessler, Wolfgang G.:** Model-Based Overpotential Deconvolution, Partial Impedance Spectroscopy, and Sensitivity Analysis of a Lithium-Ion Cell with Blend Cathode. In: *Energy Technology Early View*, S. 1–16. DOI: 10.1002/ente.202001122

**Quester, Christian; Hörth, Johannes; Heinke, Matthias:** Simulation and Visualization of the electrical Activity of the Heart with focal ventricular tachycardia in a 3D Model. In: *Current Directions in Biomedical Engineering* 7 (2), S. 17–20. DOI: 10.1515/cdbme-2021-2005

**Ramaraju, Sriharsha; Reichert, Simon; Wang, Yujang; Forsyth, Rob; Taylor, Peter N.; Romigi, Andrea:** Carbogen inhalation during non-convulsive status epilepticus: A quantitative exploratory analysis of EEG recordings. In: *PLoS One* 16 (2), S. 1–14. DOI: 10.1371/journal.pone.0240507

**Romanov, Alexey M.; Gringoli, Francesco; Sikora, Axel:** A Precise Synchronization Method for Future Wireless TSN Networks. In: *IEEE Transactions on Industrial Informatics (Early Access)* 17 (5), S. 3682–3692. DOI: 10.1109/TII.2020.3017016

**Rösch, Andres Georg; Giunta, Fabian; Mallick, Md. Mofasser; Franke, Leonard; Gall, André; Aghassi-Hagmann, Jasmin et al.:** Improved Electrical, Thermal, and Thermoelectric Properties Through Sample-to-Sample Fluctuations in Near-Percolation Threshold Composite Materials. In: *Advanced Theory and Simulations* 4 (6), S. 1–8. DOI: 10.1002/adts.202000284

**Rösch, Tobias; Treffinger, Peter; Koch, Barbara:** Regional Flexibility Markets—Solutions to the European Energy Distribution Grid—A Systematic Review and Research Agenda. In: *Energies* 14 (9), S. 1–32. DOI: 10.3390/en14092403

**Sawant, Parantapa Amarsinh; Villegas Mier, Oscar; Schmidt, Michael; Pfafferott, Jens; Cho, Heejin; Lee,**

**Kwang Ho; Colangelo, Gianpiero:** Demonstration of Optimal Scheduling for a Building Heat Pump System Using Economic-MPC. In: *Energies* 14 (23), S. 1–15. DOI: 10.3390/en14237953

**Schlecht, Michael; Köbler, Jürgen; Guio, Roland de:** Flexibles Referenzmodell zur Planung und Optimierung der Produktion. Generierung digitaler Fabrikmodelle mit dem digitalen Zwilling. In: *Industrie 4.0 Management* 37 (5), S. 53–56. DOI: 10.30844/I40M\_21-5\_S53-56

**Schmidt, Claudia; Utz, Maren; Sängler, Volker:** Digitale Lernszenarien in der Hochschullehre. Bedeutung und Funktion aus Sicht von Studierenden. In: *Ludwigsburger Beiträge zur Medienpädagogik* 21, S. 1–14. DOI: 10.21240/lbzm/21/12

**Scholz, Alexander; Gerig, Daniel; Zimmermann, Lukas; Seiberlich, Mervin; Strobel, Stefan; Hernandez-Sosa, Gerardo; Aghassi-Hagmann, Jasmin:** A Hybrid Optoelectronic Sensor Platform with an Integrated Solution-Processed Organic Photodiode. In: *Advanced materials technologies* 6 (2), S. 1–7. DOI: 10.1002/admt.202000172

**Schwendemann, Sebastian; Amjad, Zubair; Sikora, Axel:** A survey of machine-learning techniques for condition monitoring and predictive maintenance of bearings in grinding machines. In: *Computers in Industry* 125, S. 1–17. DOI: 10.1016/j.compind.2020.103380

**Schwendemann, Sebastian; Amjad, Zubair; Sikora, Axel:** Bearing fault diagnosis with intermediate domain based Layered Maximum Mean Discrepancy: A new transfer learning approach. In: *Engineering Applications of Artificial Intelligence* 105, S. 1–14. DOI: 10.1016/j.engappai.2021.104415

**Seidenstuecker, Michael; Schmeichel, Thomas; Ritschl, Lucas; Vinke, Johannes; Schilling, Pia; Schmal, Hagen; Bernstein, Anke:** Mechanical Properties of the Composite Material consisting of  $\beta$ -TCP and Alginate-Di-Aldehyde-Gelatin Hydrogel and Its Degradation Behavior. In: *Materials* 14 (5), S. 1–18. DOI: 10.3390/ma14051303

**Seifert, Benjamin; Lutz, Theo:** Maschinelles Lernen im Supply Chain Management - Ein Überblick über bestehende Ansätze anhand des SCOR-Modells. In: *Industrie 4.0 Management* 37 (2), S. 49–51

**Sharma, Neha; Welker, Dennis; Aghlmandi, Soheila; Maintz, Michaela; Zeilhofer, Hans-Florian; Seifert, Thomas et al.:** A Multi-Criteria Assessment Strategy for 3D Printed Porous Polyetheretherketone (PEEK) Patient-Specific Implants for Orbital Wall Reconstruction. In: *Journal of Clinical Medicine* 10 (16), S. 1–17. DOI: 10.3390/jcm10163563

**Spangenberg, Bernd; Anders, Barbara; Doll, Sabrina:** A validated quantification of triclosan in toothpaste using high-performance thin-layer chromatography and a 48-bit flatbed scanner. In: *Journal of Planar Chromatography* (34), S. 203–209. DOI: 10.1007/s00764-021-00108-6

**Spangenberg, Bernd; Henninger, Corinna; Doll, Sabrina:** An improved Patulin determination in apple juice using HPTLC in combination with a DAD-scanner, a 16-bit camera and a 48-bit flatbed scanner. In: *Journal of Liquid Chromatography & Related Technologies* 44 (7-8), S. 343–349. DOI: 10.1080/10826076.2021.1930556

- Stodt, Jan; Schönle, Daniel; Reich, Christoph; Ghovanlooy Ghajar, Fatemeh; Welte, Dominik; Sikora, Axel:** Security Audit of a Blockchain-Based Industrial Application Platform. In: *Algorithms* 14 (4), S. 1–21. DOI: 10.3390/a14040121
- Weingärtner, Lucas; Latorre, Sergio H.; Velten, Dirk; Bernstein, Anke; Schmal, Hagen; Seidenstuecker, Michael; Belvedere, Claudio:** The Effect of Collagen-I Coatings of 3D Printed PCL Scaffolds for Bone Replacement on Three Different Cell Types. In: *Applied Sciences* 11 (22), S. 1–19. DOI: 10.3390/app112211063
- Weller, Dennis D.; Hefenbrock, Michael; Beigl, Michael; Aghassi-Hagmann, Jasmin; Tahoori, Mehdi Baradaran:** Realization and training of an inverter-based printed neuromorphic computing system. In: *Scientific Reports* 11, S. 1–13. DOI: 10.1038/s41598-021-88396-0
- Werkhausen, Amelie; Willwacher, Steffen; Albracht, Kirsten:** Medial gastrocnemius muscle fascicles shorten throughout stance during sprint acceleration. In: *Scandinavian journal of medicine & science in sports* 31 (7), S. 1471–1480. DOI: 10.1111/sms.13956
- Wilke, Jan; Mohr, Lisa; Tenforde, Adam S.; Edouard, Pascal; Fossati, Chiara; Willwacher, Steffen et al.:** A Pandemic within the Pandemic? Physical Activity Levels Substantially Decreased in Countries Affected by COVID-19. In: *International Journal of Environmental Research and Public Health* 18 (5), S. 1–11. DOI: 10.3390/ijerph18052235
- Willwacher, Steffen; Oberländer, Kai Daniel; Mai, Patrick; Mählich, Daniela; Kurz, Markus; Koopmann, Till et al.:** A new method for measuring treadmill belt velocity fluctuations: effects of treadmill type, body mass and locomotion speed. In: *Scientific Reports* (11), S. 1–10. DOI: 10.1038/s41598-021-81951-9
- Yagci, Mehmet C.; Behmann, René; Daubert, Viktor; Braun, Jonas A.; Velten, Dirk; Bessler, Wolfgang G.:** Electrical and Structural Characterization of Large-Format Lithium Iron Phosphate Cells Used in Home-Storage Systems. In: *Energy Technology Early View*, S. 1–14. DOI: 10.1002/ente.202000911
- Zerres, Christopher:** Too hard to measure! Measurement of social media activities. An objective-based process. In: *Management & Marketing XIX (2/2021)*, S. 201–211. DOI: 10.52846/MNMK.19.2.04
- Proceedings of ICPR 2020:** 25th International Conference on Pattern Recognition : Milan, 10 – 15 January 2021, S. 95–102. Online verfügbar unter <https://www.computer.org/csdl/proceedings-article/icpr/2021/09412878/1tmh-KsYHJCM>. DOI: 10.1109/ICPR48806.2021.9412878
- Harder, Paula; Pfreundt, Franz-Josef; Keuper, Margret; Keuper, Janis:** SpectralDefense: Detecting Adversarial Attacks on CNNs in the Fourier Domain. In: 2021 International Joint Conference on Neural Networks (IJCNN) Proceedings: IEEE, S. 1–8. Online verfügbar unter <https://ieeexplore.ieee.org/document/9533442>. DOI: 10.1109/IJCNN52387.2021.9533442
- Ho, Kalun; Pfreundt, Franz-Josef; Keuper, Margret; Keuper, Janis:** Learning Embeddings for Image Clustering: An Empirical Study of Triplet Loss Approaches. In: Proceedings of ICPR 2020 : 25th International Conference on Pattern Recognition : Milan, 10–15 January 2021: IEEE, S. 87–94. Online verfügbar unter <https://www.computer.org/csdl/proceedings-article/icpr/2021/09412602/1tmjj-Xo0xO>. DOI: 10.1109/ICPR48806.2021.9412602
- Junk, Stefan; Burkart, Lukas:** Comparison of CAD systems for generative design for use with additive manufacturing. In: Eric Lutters (Hg.): *Procedia CIRP*, Bd. 100: Elsevier, S. 577–582. DOI: 10.1016/j.procir.2021.05.126
- Lauer, Tobias; Prinzbach, Jürgen; Kiefer, Nicolas:** Accelerating Density-Based Subspace Clustering in High-Dimensional Data. In: Proceedings : 21st IEEE International Conference on Data Mining Workshops : ICDMW 2021: IEEE, S. 474–481. DOI: 10.1109/ICDMW53433.2021.00064
- Messaad, Mohamed Abou; Jerad, Chadlia; Sikora, Axel:** AI Approaches for IoT Security Analysis. In: Marcin Paprzycki, Sabu M. Thampi, Sushmita Mitra, Ljiljana Trajkovic und El-Sayed M. El-Alfy (Hg.): *Intelligent Systems, Technologies and Applications. Proceedings of Sixth ISTA 2020, India, Advances in Intelligent Systems and Computing* 1353. Singapore: Springer, S. 47–70. Online verfügbar unter [https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-981-16-0730-1\\_4](https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-981-16-0730-1_4). DOI: 10.1007/978-981-16-0730-1\_4
- Sawant, Parantapa Amarsinh; Braasch, Christian; Koch, Manuel; Bürger, Adrian; Kallio, Sonja:** An energy-economic analysis of real-world hybrid building energy systems. In: *Journal of Physics: Conference Series*, Bd. 2042: IOPscience, S. 1–6. Online verfügbar unter <https://nbn-resolving.org/urn:nbn:de:bsz:ofb1-opus4-52633>. DOI: 10.1088/1742-6596/2042/1/012095
- Skuballa, Matthias; Walz, Andreas; Bühler, Heiko; Sikora, Axel:** Cryptographic Protection of Cyclic Real-Time Communication in Ethernet-Based Fieldbuses: How Much Hardware is Required? In: IEEE Conference on Emerging Technologies & Factory Automation (ETFA): IEEE, S. 1–7. DOI: 10.1109/ETFA45728.2021.9613244
- Weller, Dennis D.; Bleier, Nathaniel; Hefenbrock, Michael; Aghassi-Hagmann, Jasmin; Beigl, Michael; Kumar, Rakesh; Tahoori, Mehdi Baradaran:** Printed Stochastic Computing Neural Networks. In: Proceedings of the 2021 Design, Automation & Test in Europe (DATE 2021): IEEE, S. 914–919. DOI: 10.23919/DATE51398.2021.9474254

#### Konferenzveröffentlichungen: h5-Index >30

Autor(en), Titel, Verlag

- Durall Lopez, Ricard; Jam, Jireh; Strassel, Dominik; Yap, Moi Hoon; Keuper, Janis:** FacialGAN: Style Transfer and Attribute Manipulation on Synthetic Faces. In: [32nd British Machine Vision Conference], S. 1–14. Online verfügbar unter [https://www.bmvc2021-virtualconference.com/conference/papers/paper\\_0325.html](https://www.bmvc2021-virtualconference.com/conference/papers/paper_0325.html)
- Durall Lopez, Ricard; Pfreundt, Franz-Josef; Keuper, Janis:** Local Facial Attribute Transfer through Inpainting. In:

*Konferenzveröffentlichungen: h5-Index <30**Autor(en), Titel, Verlag*

**Angermayr, Andreas; Mackensen, Elke:** Entwicklung eines energieautarken Türschildes mit E-Paper-Display und NFC-Konfigurationsschnittstelle. In: Tagungsband zum Workshop der Multiprojekt-Chip-Gruppe Baden-Württemberg, Bd. 63, S. 27–34

**Bordini, Rogério Augusto; Korn, Oliver:** A Mobile App to Combat Loneliness and Social Isolation Among University Students. In: Extended Abstract : MobileHCI ,20: 22nd International Conference on Human-Computer Interaction with Mobile Devices and Services. New York: Association for Computing Machinery, S. 1–4. DOI: 10.1145/3406324.3409260

**Bordini, Rogério Augusto; Korn, Oliver:** Noneliness: A Gamified Mobile App to Reduce Loneliness Among University Students. In: Günter Wallner, Alexander Meschtscherjakov, Max Birk, Jo Iacovides und Mitchell McEwan (Hg.): CHI PLAY ,21: Extended Abstracts of the 2021 Annual Symposium on Computer-Human Interaction in Play. New York: Association for Computing Machinery, S. 87–93. DOI: 10.1145/3450337.3483480

**Braun, Simone; Alkhouri, Georges; Peukert, Eric:** KOBRA: Praxisfähige lernbasierte Verfahren zur automatischen Konfiguration von Business-Regeln in Duplikaterkennungssystemen. In: Ralf H. Reussner, Anne Koziulek und Robert Heinrich (Hg.): INFORMATIK 2020. Gesellschaft für Informatik : Lecture Notes in Informatics : Proceedings, P-307. Bonn, S. 395–409. DOI: 10.18420/inf2020\_37

**Brenner, Corinna; Haber, Tobias; Melichercik, Juraj; Ismer, Bruno; Haas, Nikolaus A.:** Abstract: Feasibility of preprocedural LAA occluder sizing. In: European Heart Journal, 42 Supplement\_1: Oxford University Press, S. 582. DOI: 10.1093/eurheartj/ehab724.0582

**Breyer-Mayländer, Thomas:** Die Rolle von Hochschulen als zentrale Netzwerkpartnerinnen mit digitaler Kompetenz in digitalen regionalen Bildungslandschaften – Kooperationsprojekte der Hochschule Offenburg und der Bildungsregion Ortenau (BRO). In: Lisa Lehmann, Doris Engelhardt und Winfried Wilke (Hg.): Kompetenzen für die digitale Transformation 2020 : Digitalisierung der Arbeit – Kompetenzen – Nachhaltigkeit. 1. Aufl. Berlin: Springer Vieweg, S. 215–228. Online verfügbar unter [https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-662-62866-9\\_15](https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-662-62866-9_15). DOI: 10.1007/978-3-662-62866-9\_15

**Brucker, Jennifer; Bessler, Wolfgang G.; Gasper, Rainer:** Grey-box modelling of lithium-ion batteries using neural ordinary differential equations. In: Anke Weidlich, Dirk Neumann, Gunther Gust, Philipp Staudt und Mirko Schäfer (Hg.): Proceedings of the 10th DACH+ Conference on Energy Informatics : Energy Informatics, Bd. 4. Cham: SpringerOpen, S. 1–13. Online verfügbar unter <https://nbn-resolving.org/urn:nbn:de:bsz:ofb1-opus4-50730>. DOI: 10.1186/s42162-021-00170-8

**Bühler, Heiko; Walz, Andreas; Sikora, Axel:** A Mechanism for Seamless Cryptographic Rekeying in Real-Time Communication Systems. In: 17th IEEE International Workshop

on Factory Communication Systems 2021 (WFCS 2021): IEEE, S. 53–58. DOI: 10.1109/WFCS46889.2021.9483613

**Chatzimichailidis, Avraam; Zela, Arber; Shalini, Shalini; Labus, Peter; Keuper, Janis; Hutter, Frank; Yang, Yang:** Group Sparsity: A Unified Framework for Network Pruning and Neural Architecture Search. In: CVPR2021-NAS: Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition : Workshop on Neural Architecture Search, S. 1–4. Online verfügbar unter [https://cvpr21-nas.com/resources/upload/0894f613d1c1/1624351787353/Differentiable\\_Architecture\\_Search\\_based\\_on\\_Group\\_Sparsity.pdf](https://cvpr21-nas.com/resources/upload/0894f613d1c1/1624351787353/Differentiable_Architecture_Search_based_on_Group_Sparsity.pdf).

**Curticapean, Dan; Gampe, Stefano; Haiss, Ulrich:** Hands On vs. VR Lectures in Times of the Pandemic. In: Anne-Sophie Poulin-Girard, Aaron Danner und Nicholas Wong (Hg.): Education and Training in Optics and Photonics 2021. Washington, DC: Optica, F2B.4-1-F2B.4-2. Online verfügbar unter <https://www.osapublishing.org/abstract.cfm?uri=ETOP-2021-F2B.4>

**Curticapean, Dan; Gampe, Stefano; Haiss, Ulrich; Vauderwange, Oliver:** VR: a new challenge in digital teaching of optics and photonics. In: Proceedings Digital Optical Technologies 2021, Bd. 11788. Bellingham, Washington: SPIE - International Society for Optics and Photonics, 1178807-01-1178807-10. Online verfügbar unter <https://www.spiedigitallibrary.org/conference-proceedings-of-spie/11788/1178807/VR--a-new-challenge-in-digital-teaching-of-optics/10.1117/12.2594265.full?SSO=1>. DOI: 10.1117/12.2594265

**Curticapean, Dan; Wiegert, Jana; Rohrer, Stefanie; Landmann, Simon; Rother, Philipp; Wittmann, Lukas:** The Magic of Stonehenge or How to Predict Solar and Lunar Eclipses. In: Anne-Sophie Poulin-Girard, Aaron Danner und Nicholas Wong (Hg.): Education and Training in Optics and Photonics 2021. Washington, DC: Optica, Th1B.3-1-Th1B.3-2. Online verfügbar unter <https://www.osapublishing.org/abstract.cfm?uri=ETOP-2021-Th1B.3>

**da Costa Fernandes, Jesus Salazar; Schmidt, Michael; Khatri, Rahul; Gasper, Rainer; Hartmann, Niklas:** Smart Energy Management for SME Using Digital Twins. In: EU PVSEC Proceedings. München: WIP, S. 1482–1487. Online verfügbar unter <http://www.eupvsec-proceedings.com>. DOI: 10.4229/EUPVSEC20212021-6BV.5.31

**Degel, Jan Philipp; Hähnlein, Stefan; Klöffler, Christian; Doppelbauer, Martin:** A phase based approach for machine inductance estimation via current slope detection of an inverter fed IPMSM. In: Proceedings : IEEE International Conference on Industrial Technology (ICIT). New York: IEEE, S. 134–141. Online verfügbar unter <https://ieeexplore.ieee.org/document/9453555>. DOI: 10.1109/ICIT46573.2021.9453555

**Druml, Norbert; Ryabokon, Anna; Schorn, Rupert; Musralina, Alua; Harter, Marlene; Memadathil Jose, Joseena et al.:** Programmable Systems for Intelligence in Automobiles (PRYSTINE): Final results after Year 3. In: Proceedings 2021 24th Euromicro Conference on Digital System Design: IEEE, S. 268–277. DOI: 10.1109/DSD53832.2021.00049

**Durall Lopez, Ricard; Chatzimichailidis, Avraam; Labus, Peter; Keuper, Janis:** Combating Mode Collapse in GAN



training: An Empirical Analysis using Hessian Eigenvalues. In: Giovanni Maria Farinella, Petia Radeva, Jose Braz und Kadi Bouatouch (Hg.): Proceedings of the 16th International Joint Conference on Computer Vision, Imaging and Computer Graphics Theory and Applications, Bd. 4: SciTePress, S. 211–218. Online verfügbar unter <https://www.scitepress.org/Papers/2021/101679/101679.pdf>. DOI: 10.5220/0010167902110218

**Durall Lopez, Ricard; Frolov, Stanislav; Hees, Jörn; Raue, Federico; Pfreundt, Franz-Josef; Dengel, Andreas; Keuper, Janis:** Combining Transformer Generators with Convolutional Discriminators. In: Stefan Edelkamp, Ralf Möller und Elmar Rueckert (Hg.): KI 2021: Advances in Artificial Intelligence, LNCS 12873. Cham: Springer, S. 67–79. Online verfügbar unter [https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-030-87626-5\\_6](https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-030-87626-5_6). DOI: 10.1007/978-3-030-87626-5\_6

**Durall Lopez, Ricard; Ho, Kalun; Pfreundt, Franz-Josef; Keuper, Janis:** Latent Space Conditioning on Generative Adversarial Networks. In: Giovanni Maria Farinella, Petia Radeva, Jose Braz und Kadi Bouatouch (Hg.): Proceedings of the 16th International Joint Conference on Computer Vision, Imaging and Computer Graphics Theory and Applications, Bd. 4: SciTePress, S. 24–34. Online verfügbar unter <https://www.scitepress.org/Papers/2021/101788/101788.pdf>. DOI: 10.5220/0010178800240034

**Durall Lopez, Ricard; Keuper, Janis:** Investigating Shifts in GAN Output-Distributions. In: [35th Conference on Neural Information Processing Systems], S. 1–8. Online verfügbar unter <https://openreview.net/pdf?id=HPOZLHaMxQo>

**Durall Lopez, Ricard; Pfreundt, Franz-Josef; Keuper, Janis:** Stabilizing GANs with Octave Convolutions. In: Giovanni Maria Farinella, Petia Radeva, Jose Braz und Kadi Bouatouch (Hg.): Proceedings of the 16th International Joint Conference on Computer Vision, Imaging and Computer Graphics Theory and Applications, Bd. 4: SciTePress, S. 15–23. Online verfügbar unter <https://www.scitepress.org/Papers/2021/101787/101787.pdf>. DOI: 10.5220/0010178700150023

**Firmkes, Joschka; Zerres, Christopher; Israel, Kai:** Enhanced Product Presentation with Augmented Reality: The Role of Affective Reactions and Authenticity. In: Fiona Fui-Hoon Nah und Keng Siau (Hg.): HCI in Business, Government and Organizations, LNCS 12783. Cham: Springer Nature, S. 55–70. Online verfügbar unter [https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-030-77750-0\\_4](https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-030-77750-0_4). DOI: 10.1007/978-3-030-77750-0\_4

**Forster, Thomas; Chauhan, Vikrant; Mayer, Markus; Mayer, Elena; Mayer, Andreas; Ebner, Thomas et al.:** Finite Element Simulations for Predicting Nonlinear Responses of Layered SAW Systems. In: IEEE IUS 2021 Symposium Proceedings: IEEE, S. 1–4. DOI: 10.1109/IUS52206.2021.9593732. Gavrikov, Paul; Keuper, Janis : An Empirical Investigation of Model-to-Model Distribution Shifts in Trained Convolutional Filters. In: Workshop on Distribution Shifts: Connecting Methods and Applications, S. 1–11. Online verfügbar unter <https://openreview.net/pdf?id=2st0Azc3mh>

**Giel, Dominik:** Drop Out and Attendance in Online Pre-Stu-

dy Preparatory Physics Courses. In: New Perspectives in Science Education : Conference Proceedings. Bologna: Filodiritto Publisher, S. 39–42. Online verfügbar unter <https://www.filodiritto.com/proceedings>. DOI: 10.26352/F318\_2384-9509

**Hagen, Tobias; Castro Kohler, Mariela:** A Conceptual Framework for a Communication and Collaboration Platform Within a European Transnational Logistics Knowledge Cluster of Universities and Companies. In: Álvaro Herrero, Carlos Cambra, Daniel Urda, Javier Sedano, Héctor Quintián und Emilio Corchado (Hg.): The 11th International Conference on European Transnational Educational (ICEUTE 2020), Advances in Intelligent Systems and Computing 1266. Cham: Springer Nature, S. 84–93. Online verfügbar unter [https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-030-57799-5\\_9](https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-030-57799-5_9). DOI: 10.1007/978-3-030-57799-5\_9

**Hähnlein, Stefan; Degel, Jan Philipp; Klöffler, Christian; Doppelbauer, Martin:** Online identification of semiconductor switching times in inverters with inductive load using field programmable gate arrays. In: 2021 23rd European Conference on Power Electronics and Applications: IEEE Xplore, S. 1–10. Online verfügbar unter <https://ieeexplore.ieee.org/document/9570433>

**Hangst, Nikolai; Junk, Stefan; Wendt, Thomas:** Design of an Additively Manufactured Customized Gripper System for Human Robot Collaboration. In: Mirko Meboldt und Christoph Klahn (Hg.): Industrializing Additive Manufacturing : Proceedings of AMPA2020. Cham: Springer Nature Switzerland, S. 415–425. DOI: 10.1007/978-3-030-54334-1\_29

**Harder, Paula; Watson-Parris, Duncan; Strassel, Dominik; Gauger, Nicolas; Stier, Philip; Keuper, Janis:** Emulating Aerosol Microphysics with Machine Learning. In: [ICML 2021 Workshop], S. 1–7

**Harter, Marlene; Sathe, Ashay; Rawat, Amit:** Estimation of Scattering and Transfer Parameters in Stratified Dispersive Tissues of the Human Torso. In: 2020 IEEE Asia-Pacific Microwave Conference (APMC): IEEE, S. 731–733. DOI: 10.1109/APMC47863.2020.9331557, Datum der Online-Veröffentlichung: 01.02.2021

**Heidt, Johannes; Dorer, Klaus:** Classification and Prediction of Bicycle-Road-Quality using IMU Data. In: Karl-Herbert Schäfer und Franz Quint (Hg.): Artificial Intelligence : Application in Life Sciences and Beyond, S. 138–149. Online verfügbar unter <https://nbn-resolving.org/urn:nbn:de:bsz:ofb1-opus4-53809>

**Hensel, Stefan; Marinov, Marin B.; Schmitt, Max:** Object Detection and Mapping with Unmanned Aerial Vehicles Using Convolutional Neural Networks. In: Dragan Perakovic und Lucia Knapcikova (Hg.): Future Access Enablers for Ubiquitous and Intelligent Infrastructures (FABULOUS 2021), LNICST 382. Cham: Springer, S. 254–267. DOI: 10.1007/978-3-030-78459-1\_19

**Hensel, Stefan; Marinov, Marin B.; Schwilk, Tino; Nikolov, Dimitar:** Application of Gaussian Process Estimation for Magnetic Field Mapping. In: Dragan Perakovic und Lucia Knapcikova (Hg.): Future Access Enablers for Ubiquitous and Intelligent Infrastructures (FABULOUS 2021), LNICST 382. Cham: Springer, S. 284–298. DOI: 10.1007/978-3-030-78459-1\_21

**Hensel, Stefan; Marinov, Marin B.; Seigel, Adrian; Ganey, Borislav:** Experimental Setup for Neural Networks and Camera-Based Navigation of Mobile Systems. In: 2021 XXX International Scientific Conference Electronics: IEEE, S. 1–5. DOI: 10.1109/ET52713.2021.9579521

**Ho, Kalun; Chatzimichailidis, Avraam; Keuper, Margret; Keuper, Janis:** MSM: Multi-stage Multicuts for Scalable Image Clustering. In: Heike Jagode, Hartwig Anzt, Hatem Ltaief und Piotr Luszczek (Hg.): High Performance Computing, LNCS 12761. 1. Aufl. Cham: Springer, S. 267–284. Online verfügbar unter [https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-030-90539-2\\_18](https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-030-90539-2_18). DOI: 10.1007/978-3-030-90539-2\_18

**Ho, Kalun; Kardoost, Amirhossein; Pfreundt, Franz-Josef; Keuper, Janis; Keuper, Margret:** A Two-Stage Minimum Cost Multicut Approach to Self-Supervised Multiple Person Tracking. In: ACCV 2020: Computer Vision – ACCV 2020, LNCS 12623. Cham: Springer, S. 539–557. Online verfügbar unter [https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-030-69532-3\\_33](https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-030-69532-3_33)

**Hoch, Sebastian; Lange, Sascha; Keuper, Janis:** Sample efficient localization and stage prediction with autoencoders. In: ESANN 2021 proceedings, S. 71–76. Online verfügbar unter <https://www.esann.org/sites/default/files/proceedings/2021/ES2021-24.pdf>. DOI: 10.14428/esann/2021.ES2021-24

**Junk, Stefan; Dorner, Manuel; Fleig, Claus:** Additive Manufacturing of Continuous Carbon Fiber-Reinforced Plastic Components. In: Steffen G. Scholz, Robert J. Howlett und Rossi Setchi (Hg.): Sustainable Design and Manufacturing 2020, Smart Innovation, Systems and Technologies 200: Springer, Singapore, S. 149–159. DOI: 10.1007/978-981-15-8131-1\_14

**Kersting, Uwe Gustav; Robertz, Leon; Thelen, Matthias; Mai, Patrick; Willwacher, Steffen:** Effects of localised bending stiffness reinforcement on level and inclined walking. In: Footwear Science, Bd. 13: Taylor & Francis, S. 26–28. DOI: 10.1080/19424280.2021.1916619

**Khatri, Rahul; Schmidt, Michael; Gasper, Rainer:** Active participation of industrial enterprises in electricity markets - a generic modeling approach. In: Anke Weidlich, Dirk Neumann, Gunther Gust, Philipp Staudt und Mirko Schäfer (Hg.): Proceedings of the 10th DACH+ Conference on Energy Informatics : Energy Informatics, 4, Suppl 3. Cham: SpringerOpen, S. 1–20. Online verfügbar unter <https://nbn-resolving.org/urn:nbn:de:bsz:ofb1-opus4-50504>. DOI: 10.1186/s42162-021-00173-5

**Knapp, Matthias; Lutz, Theo:** Master Data Taxonomy - A systematic approach to assess and migrate master data. In: Conference Proceedings ICE/IEEE ITMC 2021: IEEE, S. 1–8. DOI: 10.1109/ICE/ITMC52061.2021.9570250

**Kreins, Marion; Schilli, Simon; Krupp, Ulrich; Seifert, Thomas:** Analyse des zyklischen Plastizitätsverhaltens eines Duplex-Stahls mittels instrumentierter Mikrohärteprüfung. In: Beate Langer und Michael Wächter (Hg.): Tagungsband „Werkstoffprüfung 2020“, S. 1–6

**Livotov, Pavel:** Method for Formulation, Selection and Application of Elementary TRIZ Inventive Principles for Automated Idea Generation. In: Yuri Borgianni, Stelian

Brad, Denis Cavallucci und Pavel Livotov (Hg.): Creative Solutions for a Sustainable Development. Cham: Springer, S. 315–329. DOI: 10.1007/978-3-030-86614-3\_25

**Livotov, Pavel:** Modeling and productivity prediction of the companies-internal crowdsourcing-based ideation. In: Proceedings of the Design Society. Cambridge: Cambridge University Press, S. 2147–2156. Online verfügbar unter <https://www.designsociety.org/publication/44849/Modeling+and+productivity+prediction+of+the+companies-internal+crowdsourcing-based+ideation>. DOI: 10.1017/pds.2021.476

**Livotov, Pavel; Mas'udah; Chandra Sekaran, Arun Prasad:** Learning eco-innovation from nature: an interdisciplinary approach to education in systematic environmental innovation. In: Proceedings of the REES-AAEE 2021 Annual Conference, S. 1–8. Online verfügbar unter [https://aaee.net.au/wp-content/uploads/2021/11/REES\\_AAEE\\_2021\\_paper\\_356.pdf](https://aaee.net.au/wp-content/uploads/2021/11/REES_AAEE_2021_paper_356.pdf)

**Lorenz, Peter; Harder, Paula; Strassel, Dominik; Keuper, Margret; Keuper, Janis:** Detecting AutoAttack Perturbations in the Frequency Domain. In: [ICML 2021 workshop on A Blessing in Disguise], S. 1–7

**Mai, Patrick; Robertz, Leon; Robbin, Johanna; Thelen, Matthias; Kurz, Markus; Willwacher, Steffen et al.:** Individual response to multi-density midsoles to minimise biomechanical injury risk factors of Achilles tendinopathy in distance running. In: Footwear Science, Bd. 13: Taylor & Francis, S. 49–51. DOI: 10.1080/19424280.2021.1917676

**Mas'udah; Santosa, Sandra; Livotov, Pavel; Chandra Sekaran, Arun Prasad; Rubianto, Luchis:** Nature-Inspired Principles for Sustainable Process Design in Chemical Engineering. In: Yuri Borgianni, Stelian Brad, Denis Cavallucci und Pavel Livotov (Hg.): Creative Solutions for a Sustainable Development. Cham: Springer, S. 30–41. DOI: 10.1007/978-3-030-86614-3\_3

**Miclau, Christina; Demaeght, Annebeth; Müller, Andrea:** Empirical Research as a Challenge in Day-to-Day Teaching During the Pandemic of 2020/21 - Practical Solutions. In: Fiona Fui-Hoon Nah und Keng Siau (Hg.): HCI in Business, Government and Organizations, LNCS 12783. Cham: Springer, S. 608–618. Online verfügbar unter [978-3-030-77750-0](https://doi.org/10.1007/978-3-030-77750-0_40) (Online). DOI: 10.1007/978-3-030-77750-0\_40

**Musralina, Alua; Harter, Marlene; Kodari, Rakesh Yadav:** Investigation of the Angle Dependency of Self-Calibration in Multiple-Input-Multiple-Output Radars. In: 2020 IEEE Asia-Pacific Microwave Conference (APMC): IEEE, S. 576–578. Online verfügbar unter <https://ieeexplore.ieee.org/document/9331706>. DOI: 10.1109/APMC47863.2020.9331706.

**Pflöschinger, Stephan; Lottermoser, Jens; Bausch, Jörg:** Power Line Communication for Grid Monitoring: A Prototype Based on Software Defined Radio. In: 2021 IEEE International Symposium on Power Line Communications and its Applications (ISPLC): Proceedings: IEEE, S. 7–12. Online verfügbar unter <https://ieeexplore.ieee.org/document/9628877>. DOI: 10.1109/ISPLC52837.2021.9628877

**Salzano, Matthew; Weir, Gillian Jessie; Kuzmeski, John; Thompson, Jessica; Trudeau, Mathieu; Willwacher, Steffen et al.:** Can We predict cushioning perception from the mechanical properties of shoes? In: Foot-

wear Science, Bd. 13: Taylor & Francis, S. 22–24. DOI: 10.1080/19424280.2021.1916617

**Schaad, Andreas; Binder, Dominik:** FEX – A Feature Extractor for Real-Time IDS. In: Joseph K. Liu, Sokratis Katsikas, Weizhi Meng, Willy Susilo und Rolly Intan (Hg.): Information Security, LNCS 13118. Cham: Springer, S. 221–237. DOI: 10.1007/978-3-030-91356-4\_12

**Schappacher, Manuel; Dant, Amrut Ganesh; Sikora, Axel:** Implementation and Validation of LoRa-Based Systems in the 2.4 GHz Band. In: IEEE 4th International Conference on Advanced Information and Communication Technologies (AICT) : Conference Proceedings: IEEE, S. 106–111. DOI: 10.1109/AICT52120.2021.9628942

**Schlegel, Udo; Oelke, Daniela; Keim, Daniel A.; El-Asady, Mennatallah:** An Empirical Study of Explainable AI Techniques on Deep Learning Models For Time Series Tasks. In: [NeurIPS 2020 Workshops], S. 1–7. Online verfügbar unter <https://deepai.org/publication/an-empirical-study-of-explainable-ai-techniques-on-deep-learning-models-for-time-series-tasks>

**Schnurr, Aline; Renz, Pamela; Müller, Andrea:** Customer Solution Design – A New Agile Role Needed in the Automotive Industry to Support Digital Transformation? In: Fiona Fui-Hoon Nah und Keng Siau (Hg.): HCI in Business, Government and Organizations, LNCS 12783. Cham: Springer, S. 256–276. Online verfügbar unter [https://link.springer.com/chapter/10.1007%2F978-3-030-77750-0\\_17](https://link.springer.com/chapter/10.1007%2F978-3-030-77750-0_17). DOI: 10.1007/978-3-030-77750-0\_17

**Scholz, Alexander; Zimmermann, Lukas; Sikora, Axel; Tahoori, Mehdi Baradaran; Aghassi-Hagmann, Jamin:** Printed Low-Voltage Crossbar-PUF for Identification. In: 2021 IEEE International Flexible Electronics Technology Conference: IEEE, S. 62–66. DOI: 10.1109/IFETC49530.2021.9580520

**Schrock, Steffen; Proksch, Andreas; Junk, Stefan; Rapp, Simon; Albers, Albert:** Systematische Erfassung von Einflussfaktoren für das Additive Tooling von Spritzgusswerkzeugen. In: Dieter Krause, Kristin Paetzold und Sandro Wartzack (Hg.): Proceedings of the 32nd Symposium Design for X (DFX2021), S. 1–10. DOI: 10.35199/dfx2021.09

**Sharma, Pranav; Rüb, Marcus; Gaida, Daniel; Lutz, Heiko; Sikora, Axel:** Deep Learning in Resource and Data Constrained Edge Computing Systems. In: Jürgen Beyerer, Alexander Maier und Oliver Niggemann (Hg.): Machine Learning for Cyber Physical Systems: Selected papers from the International Conference ML4CPS 2020, TIA 13: Springer, S. 43–51. DOI: 10.1007/978-3-662-62746-4\_5

**Spitznagel, Martin; Weiler, David; Dorer, Klaus:** Deep Reinforcement Multi-Directional Kick-Learning of a Simulated Robot with Toes. In: Vitor Santos, Nuno Lau, Pedro Neto und Ana Cristina Lopes (Hg.): Proceedings of IEEE International Conference on Autonomous Robot Systems and Competitions: IEEE Xplore, S. 104–110. DOI: 10.1109/ICARSC52212.2021.9429811

**Strzeletz, Simon; Moctezuma, José-Luis; Shah, Mukesch; Hubbe, Ulrich; Hoppe, Harald:** Externe Ventrikeldrainage mittels Augmented Reality und Peer-to-Peer-Navigation. In: Christoph Palm, Heinz Handels, Andreas Maier, Klaus Maier-Hein, Thomas Tolxdorff und Thomas M. Deserno

(Hg.): Bildverarbeitung für die Medizin 2021 : Proceedings. 1. Aufl. Wiesbaden: Springer Vieweg, S. 73–78. DOI: 10.1007/978-3-658-33198-6\_18

**Sulzmann, Martin; Wehr, Stefan:** A Dictionary-Passing Translation of Featherweight Go. In: Hakjoo Oh (Hg.): Programming Languages and Systems : Proceedings of APLAS 2021, LNCS 13008. 1. Aufl. Cham: Springer, S. 102–120. DOI: 10.1007/978-3-030-89051-3\_7

**Weber, Beatrice; Müller, Andrea; Miclau, Christina:** Methodical Framework and Case Study for Empowering Customer-Centricity in an E-Commerce Agency—The Experience Logic as Key Component of User Experience Practices Within Agile IT Project Teams. In: Fiona Fui-Hoon Nah und Keng Siau (Hg.): HCI in Business, Government and Organizations, LNCS 12783. Cham: Springer, S. 156–177. Online verfügbar unter [https://link.springer.com/chapter/10.1007%2F978-3-030-77750-0\\_11](https://link.springer.com/chapter/10.1007%2F978-3-030-77750-0_11). DOI: 10.1007/978-3-030-77750-0\_11

**Wendt, Thomas; Gawron, Philipp; Stiglmeier, Lukas:** Kinetic Energy Harvesting in a driven Tool Holder. In: MikroSystemTechnik Kongress 2021. Berlin: VDE Verlag GmbH, S. 684–687. Online verfügbar unter <https://www.vde-verlag.de/proceedings-de/455656177.html>

**Willwacher, Steffen; Korn, Oliver:** Gamification of Movement Exercises in Rehabilitation and Prevention: A Framework for Smart Training in AI-Based Exergames. In: Cliff Sungsoo Shin, Giuseppe Di Bucchianico, Shuichi Fukuda, Yong-Gyun Ghim, Gianni Montagna und Cristina Carvalho (Hg.): Advances in Industrial Design, LNNS 260. Cham: Springer, S. 855–862. Online verfügbar unter <https://nbn-resolving.org/urn:nbn:de:bsz:ofb1-opus4-52744>. DOI: 10.1007/978-3-030-80829-7\_104

#### *Artikel in wissenschaftlichem Journal ohne peer-review*

*Autor(en), Titel, Verlag*

**Bessler, Wolfgang G.; Wetzels, Thomas; Kamlah, Marc; Nirschl, Hermann:** Simulation of mechano-electro-thermal processes in lithium-ion batteries. In: Energy Technology 9 (6), S. 1–2. DOI: 10.1002/ente.202100246

**Bollin, Elmar; Schmelas, Martin:** Das prognosebasierte Werkzeug AMLR. Thermoaktive Bauteilsysteme effizient steuern. In: TAB : das Fachmedium der TGA-Branche 52 (9), S. 44–48. Online verfügbar unter [https://www.tab.de/artikel/tab\\_Das\\_prognosebasierte\\_Werkzeug\\_AMLR\\_3680707.html](https://www.tab.de/artikel/tab_Das_prognosebasierte_Werkzeug_AMLR_3680707.html)

**Bollin, Elmar; Schmelas, Martin:** Steuerung von thermoaktiven Bauteilsystemen mittels AMLR. In: HLH : Lüftung, Klima, Heizung, Sanitär, Gebäudetechnik 72 (9), S. 49–55. DOI: 10.37544/1436-5103-2021-09-49

**Braun, Simone; Follwarczny, Dan:** KI-Projekte – diese Rolle spielt die Datenqualität. In: Elektronik Praxis, 2 Normseiten. Online verfügbar unter <https://www.elektronikpraxis.vogel.de/ki-projekte-diese-rolle-spielt-die-datenqualitaet-a-992396/>

**Braun, Simone; Follwarczy, Dan:** So entscheiden Datenqualität und Datenquantität über den Erfolg von KI-Projekten. In: Netzwoche (05/2021), S. 14–15. Online verfügbar unter <https://www.netzwoche.ch/news/2021-04-21/so-entscheiden-datenqualitaet-und-datenquantitaet-ueber-den-erfolg-von-ki-projekten>

**Breyer-Mayländer, Thomas:** Führung an Ganztagschulen und das neue „Normal“. In: Die Ganztagschule 61 (1), S. 55–64

**Breyer-Mayländer, Thomas:** Rechtsanspruch auf Ganztagsbetreuung – die Grundschule ist am Ziel. In: Die Ganztagschule 61 (1), S. 25–32

**Breyer-Mayländer, Thomas:** SchulverwaltungSpezial. In: Schulverwaltung Spezial (3), S. 139–142

**Breyer-Mayländer, Thomas:** Vom Zeitungsverlag zum subventionierten Medienhaus? In: Medienwirtschaft 18 (3), S. 10–14. DOI: 10.15358/1613-0669-2021-3-10

**Burkhardt, Achim; Graumann, Matthias; Becker, Roman; Paul, Patricia:** Lob vergrößert Arbeitszufriedenheit und Commitment. Richtig loben. In: Personalführung : das Fachmagazin für Personalverantwortliche 54 (2/2021), S. 58–62

**Drechsler, Dirk:** Integratives und differenziertes Cyber-Risikomanagement. In: Zeitschrift für Risikomanagement (3), S. 78–83. DOI: 10.37307/j.2701-7605.2021.03.06

**Drechsler, Dirk; Schmid, Marco Dennis:** Social Engineering: Umfassendes Sicherheitskonzept für das Risikomanagement. In: Zeitschrift für Risikomanagement (2), S. 52–56. Online verfügbar unter [https://zfrmdigital.de/ce/social-engineering-2/\\_sid/ZMJK-637708-ZvqK/detail.html](https://zfrmdigital.de/ce/social-engineering-2/_sid/ZMJK-637708-ZvqK/detail.html)

**Fetzner, Daniel; Janssen, Derk; Nebelung, Andreas:** JARDIN GLOCAL. In: Sukzession : Vom Schweigen der Natur (II), S. 58–70

**Gisiger, Martin; Klase, Andreas:** Les agences publiques de crédit à l'exportation en concurrence. In: Die Volkswirtschaft (5), S. 37–38. Online verfügbar unter <https://dievolkswirtschaft.ch/fr/2021/04/les-agences-publiques-de-credit-a-lexportation-en-concurrence/>

**Graumann, Matthias:** Angemessene Informationsgrundlage von Prognosen bei unternehmerischen Entscheidungen. In: Zeitschrift für Wirtschaftsrecht : ZIP 42 (2), S. 61–70. Online verfügbar unter <https://www.zip-online.de/65567-MTQwMQ.htm>

**Graumann, Matthias; Grundei, Jens; Lehnen, Marc:** Prognosebewertung durch den Aufsichtsrat. In: Der Aufsichtsrat 18 (4), S. 50–51. Online verfügbar unter <https://research.owlit.de/document/2327ab87-fd41-338c-a121-9a9c857aa7c2>

**Ispas, Adriana; Bund, Andreas; Sörgel, Timo; Büttner, Ricardo; Baumgartl, Hermann; Seifert, Thomas et al.:** The need for digitalisation in electroplating – How digital approaches can help to optimize the electrodeposition of chromium from trivalent electrolytes. In: Journal for Electrochemistry and Plating Technology, S. 1–11. DOI: 10.12850/ISSN2196-0267.JEPT7147

**Junk, Stefan; Einloth, Henning:** New Method for the Application of Voxels in Product Design for Multi-Material 3D-Printing. In: Computer-Aided Design & Applications 18 (3), S. 624–633. DOI: 10.14733/cadaps.2021.624-633

**Lankau, Ralf:** IT in Schulen: Erziehung zur Konformität oder Autonomie? In: Pädagogik 2021 (12), S. 52–56. DOI: 10.3262/PAED2112052

**Willwacher, Steffen; Kurz, Markus; Robbin, Johanna; Thelen, Matthias; Hamill, Joseph; Kelly, Luke; Mai, Patrick:** Running related biomechanical risk factors for overuse injuries in distance runners: A systematic review considering injury specificity and the potentials for future research. In: medRxiv, S. 1–19. DOI: 10.1101/2021.07.23.21261034

### *Buch inkl. Herausgeberschaft*

*Autor(en), Titel, Konferenz/Verlag*

**Bollin, Elmar; Schmelas, Martin:** TABS - Thermoaktive Bauteilsysteme. Selbstlernendes und vorausschauendes Steuern mit AMLR. Wiesbaden: Springer Vieweg, 136 Seiten. DOI: 10.1007/978-3-658-31163-6

**Borgianni, Yuri; Brad, Stelian; Cavallucci, Denis; Livotov, Pavel (Hg.):** Creative Solutions for a Sustainable Development. 1. Aufl. Cham: Springer, XIV, 466 Seiten (IFIP Advances in Information and Communication Technology, 635). Online verfügbar unter <https://link.springer.com/book/10.1007/978-3-030-86614-3>. DOI: 10.1007/978-3-030-86614-3

**Breyer-Mayländer, Thomas; Zerres, Christopher (Hg.):** Social Media im kommunalen Sektor. Einsatzfelder, Herausforderungen, Entwicklungsperspektiven. 1. Aufl. Wiesbaden: Springer Gabler, X, 229 Seiten. Online verfügbar unter <https://www.springer.com/de/book/9783658328191>. DOI: 10.1007/978-3-658-32820-7

**Dierckx, Rudi A. J. O.; Otte, Andreas; Vries, Erik F. J. de; van Waarde, Aren; Lammertsma, Adriaan A. (Hg.):** PET and SPECT of Neurobiological Systems. 2. Aufl. Cham: Springer International Publishing, XII, 1132 Seiten. Online verfügbar unter <https://www.springer.com/de/book/9783030531751>. DOI: 10.1007/978-3-030-53176-8

**Dierckx, Rudi A. J. O.; Otte, Andreas; Vries, Erik F. J. de; van Waarde, Aren; Leenders, Klaus L. (Hg.):** PET and SPECT in Neurology. 2. Aufl. Cham, Schweiz: Springer International Publishing, xiii, 1289 Seiten. Online verfügbar unter <https://www.springer.com/gp/book/9783030531676>. DOI: 10.1007/978-3-030-53168-3

**Dierckx, Rudi A. J. O.; Otte, Andreas; Vries, Erik F. J. de; van Waarde, Aren; Sommer, Iris E. (Hg.):** PET and SPECT in Psychiatry. 2. Aufl. Cham: Springer International Publishing, XII, 1084 Seiten. Online verfügbar unter <https://www.springer.com/gp/book/9783030572303>. DOI: 10.1007/978-3-030-57231-0

**Gücker, Robert (Hg.):** Klang und Didaktik: Lehren und Lernen mit allen Sinnen. Aufsätze zu Ehren von Hans-Ulrich Werner. 1. Aufl. Hamburg: Verlag Dr. Kova, 149 Seiten (Didaktik in Forschung und Praxis, 108). Online verfügbar unter <https://www.verlagdrkovac.de/978-3-339-11626-0.htm>. Haneke, Uwe; Trahasch, Stephan; Zimmer, Michael; Felden, Carsten (Hg.): Data Science. Grundlagen, Architekturen und Anwendungen. 2., überarbeitete und erweiterte Auflage. Heidelberg: dpunkt.verlag, 392 Seiten

**Lankau, Ralf (Hg.):** Autonom und mündig am Touchscreen. Für eine konstruktive Medienarbeit in der Schule. 1. Aufl. Weinheim: Beltz, 214 Seiten

**Nasdala, Lutz:** Statik Verständnisaufgaben. Herleitungen, Lern- und Klausur-Formelsammlung. 1. Aufl. Wiesbaden: Springer Fachmedien, IX, 305 Seiten. DOI: 10.1007/978-3-658-32484-1

**Zerres, Christopher (Hg.):** Handbuch Marketing-Controlling. Grundlagen – Methoden – Umsetzung. 5. Aufl. Berlin, Heidelberg: Springer Gabler, XXVII, 742 Seiten. Online verfügbar unter <http://link.springer.com/978-3-662-62837-9>. DOI: 10.1007/978-3-662-62837-9

### Buchbeiträge

*Autor(en), Titel, Konferenz/Verlag*

**Bärtl, Mathias:** Kurzes Tutorium Statistik - Statistik-Videos auf YouTube. In: Alexander Salle, Stefanie Schumacher und Mathias Hattermann (Hg.): Mathematiklernen mit digitalen Medien an der Hochschule : Konzepte, Umsetzungen und Ergebnisse aus dem Projekt mamdim. 1. Aufl. Wiesbaden: Springer Spektrum, S. 29–44. Online verfügbar unter [https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-658-33636-3\\_3](https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-658-33636-3_3). DOI: 10.1007/978-3-658-33636-3\_3

**Bollin, Elmar:** Energiemanagement im Betrieb. In: Haufe Arbeitsschutz Office Professional. das Komplettpaket mit Fachwissen, Tools, Beförderungsbeurteilungen und Weiterbildung. Freiburg: Haufe, S. 1–14

**Braun, Simone:** Valide Kundendaten – Das Fundament für Omni-Channel Marketing. In: Uwe Hannig (Hg.): Marketing und Sales Automation. Wiesbaden: Springer Gabler, S. 159–175. Online verfügbar unter [https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-658-21688-7\\_12](https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-658-21688-7_12). DOI: 10.1007/978-3-658-21688-7\_12

**Breyer-Mayländer, Thomas:** Medien, Macht und Meinung: Die Rolle der Medienschaffenden in unserer Gesellschaft. In: Robert Gücker (Hg.): Klang und Didaktik: Lehren und Lernen mit allen Sinnen, Didaktik in Forschung und Praxis 108. 1. Aufl. Hamburg: Verlag Dr. Kova, S. 81–91. Online verfügbar unter <https://nbn-resolving.org/urn:nbn:de:bsz:ofb1-opus4-44442>

**Breyer-Mayländer, Thomas; Falk, Christian:** Social Media und digitale Kommentare als Herausforderung für kommunale Gremien. In: Thomas Breyer-Mayländer und Christopher Zerres (Hg.): Social Media im kommunalen Sektor. Einsatzfelder, Herausforderungen, Entwicklungsperspektiven. 1. Aufl. Wiesbaden: Springer Gabler, S. 155–181. DOI: 10.1007/978-3-658-32820-7\_8

**Breyer-Mayländer, Thomas; Löffel, Marc:** Erreichbarkeit von Zielgruppen – Informations- und Mediennutzungsverhalten in Deutschland. In: Thomas Breyer-Mayländer und Christopher Zerres (Hg.): Social Media im kommunalen Sektor. Einsatzfelder, Herausforderungen, Entwicklungsperspektiven. 1. Aufl. Wiesbaden: Springer Gabler, S. 3–33. DOI: 10.1007/978-3-658-32820-7\_1

**Breyer-Mayländer, Thomas; Löffel, Marc:** Medienmarketing-Controlling. In: Christopher Zerres (Hg.): Handbuch Marketing-Controlling. Grundlagen – Methoden – Umsetzung. 5. Aufl. Berlin, Heidelberg: Springer Gabler, S. 609–630. Online verfügbar unter <https://link.springer.com/>

[chapter/10.1007/978-3-662-62837-9\\_28](https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-662-62837-9_28). DOI: 10.1007/978-3-662-62837-9\_28

**Drechsler, Dirk:** Business Analytics als Grundlage für das Marketing-Controlling. In: Christopher Zerres (Hg.): Handbuch Marketing-Controlling. Grundlagen – Methoden – Umsetzung. 5. Aufl. Berlin, Heidelberg: Springer Gabler, S. 69–92. Online verfügbar unter [https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-662-62837-9\\_4](https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-662-62837-9_4). DOI: 10.1007/978-3-662-62837-9\_4

**Drechsler, Dirk:** Futures Studies, Foresight Management und Szenario-Technik. In: Christopher Zerres (Hg.): Handbuch Marketing-Controlling. Grundlagen – Methoden – Umsetzung. 5. Aufl. Berlin, Heidelberg: Springer Gabler, S. 223–245. Online verfügbar unter [https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-662-62837-9\\_10](https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-662-62837-9_10). DOI: 10.1007/978-3-662-62837-9\_10

**Drechsler, Dirk:** Strategische Frühaufklärung und Risikomanagement. Die langfristige Risikoperspektive. In: Christopher Zerres (Hg.): Handbuch Marketing-Controlling. Grundlagen – Methoden – Umsetzung. 5. Aufl. Berlin, Heidelberg: Springer Gabler, S. 247–269. Online verfügbar unter [https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-662-62837-9\\_11](https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-662-62837-9_11). DOI: 10.1007/978-3-662-62837-9\_11

**Ebers, Mark; Maurer, Indre; Graumann, Matthias:** Organisation. In: Walther Busse von Colbe, Adolf G. Coenenberg, Peter Kajüter, Ulrich Linnhoff und Bernhard Pellens (Hg.): Betriebswirtschaft für Führungskräfte: Eine Einführung in betriebswirtschaftliches Denken und Handeln. 5. Aufl., S. 267–315

**Ernst, Stefan:** Internet-Auktionsvertrag. In: Helmut Redeker (Hg.): Handbuch IT-Verträge. 45. Ergänzungslieferung. Köln: Verlag Dr. Otto Schmidt, Kapitel 3.13. Online verfügbar unter <https://www.otto-schmidt.de/handbuch-der-it-vertraege-grundwerk-mit-fortsetzungsbezug-fur-mindestens-2-jahre-und-datenbank-9783504560089>

**Ernst, Stefan:** Kommentierung §§ 1, 2, 11, 16, 20, Anh. § 3 Abs. 3 Nr. 14; Aktualisierung § 19. In: Dirk Seichter (Hg.): Juris PraxisKommentar UWG : Gesetz gegen den unlauteren Wettbewerb. 5. Aufl. Saarbrücken: jurisAllianz. Online verfügbar unter [https://www.juris.de/jportal/allianz/nav/proktdetailsseiten/uwg?id=produktdetails\\_52839.jsp](https://www.juris.de/jportal/allianz/nav/proktdetailsseiten/uwg?id=produktdetails_52839.jsp)

**Ernst, Stefan:** Kommentierung der §§ 1, 2 BDSG. In: Boris P. Paal und Daniel A. Pauly (Hg.): Datenschutz-Grundverordnung Bundesdatenschutzgesetz: DS-GVO BDSG. 3. Aufl. München: Verlag C.H.Beck, S. 1139–1158. Online verfügbar unter [https://beck-online.beck.de/?vpath=bibdata%2Fkomm%2FpaalPaulyKoDSGVO\\_3%2FBDSG%2Fcont%2FpaalPaulyKoDSGVO%2EBDSG%2EglTeil1%2EglKap1%2Ehtm](https://beck-online.beck.de/?vpath=bibdata%2Fkomm%2FpaalPaulyKoDSGVO_3%2FBDSG%2Fcont%2FpaalPaulyKoDSGVO%2EBDSG%2EglTeil1%2EglKap1%2Ehtm)

**Ernst, Stefan:** Kommentierung der Art. 1-4 DSGVO. In: Boris P. Paal und Daniel A. Pauly (Hg.): Datenschutz-Grundverordnung Bundesdatenschutzgesetz: DS-GVO BDSG. 3. Aufl. München: Verlag C.H.Beck, S. 23–82. Online verfügbar unter [https://beck-online.beck.de/?vpath=bibdata%2Fkomm%2FpaalPaulyKoDSGVO\\_3%2FEWG\\_DSGVO%2Fcont%2FpaalPaulyKoDSGVO%2EEWG\\_DSGVO%2EglKap1%2Ehtm](https://beck-online.beck.de/?vpath=bibdata%2Fkomm%2FpaalPaulyKoDSGVO_3%2FEWG_DSGVO%2Fcont%2FpaalPaulyKoDSGVO%2EEWG_DSGVO%2EglKap1%2Ehtm)

**Fischer, Rainer:** Produkt-Controlling. In: Christopher Zerres (Hg.): Handbuch Marketing-Controlling. Grundlagen – Methoden – Umsetzung. 5. Aufl. Berlin, Heidelberg: Springer Gabler, S. 387–403. DOI: 10.1007/978-3-662-62837-9\_17

**Friedel, Andreas:** Ökologisch nachhaltige Produktion. In: Dietmar Ernst, Ulrich Sailer und Robert Gabriel (Hg.): Nachhaltige Betriebswirtschaft. 2. Aufl. München: UVK Verlag, S. 241–255. Online verfügbar unter <https://www.utb.de/doi/book/10.36198/9783838553757>. DOI: 10.36198/9783838553757

**Gücker, Robert:** Qualitative Forschung mit der morphologischen Marktpsychologie. In: Robert Gücker (Hg.): Klang und Didaktik: Lehren und Lernen mit allen Sinnen, Didaktik in Forschung und Praxis 108. 1. Aufl. Hamburg: Verlag Dr. Kova, S. 108–143. Online verfügbar unter <https://www.verlagdrkovac.de/978-3-339-11626-0.htm>

**Hattermann, Mathias; Salle, Alexander; Bärtil, Mathias; Hofrichter, Ralph:** Instruktionale Texte und Lernvideos – Konzeption und Evaluation zweier multimedialer Lernformate. In: Rolf Biehler, Andreas Eichler, Reinhard Hochmuth, Stefanie Rach und Niclas Schaper (Hg.): Lehrinnovationen in der Hochschulmathematik : praxisrelevant – didaktisch fundiert – forschungsbasiert. 1. Aufl. Berlin: Springer Spektrum, S. 399–436. Online verfügbar unter [https://link.springer.com/chapter/10.1007%2F978-3-662-62854-6\\_17](https://link.springer.com/chapter/10.1007%2F978-3-662-62854-6_17). DOI: 10.1007/978-3-662-62854-6\_17

**Korn, Oliver; Buchweitz, Lea; Theil, Arthur; Fracasso, Francesca; Cesta, Amedeo:** Akzeptanz und Marktfähigkeit sozialer Roboter. In: Oliver Bendel (Hg.): Eine Studie mit älteren Menschen aus Italien und Deutschland : Soziale Roboter: Technikwissenschaftliche, wirtschaftswissenschaftliche, philosophische, psychologische und soziologische Grundlagen. 1. Aufl. Wiesbaden: Springer, S. 59–88. Online verfügbar unter [https://link.springer.com/chapter/10.1007%2F978-3-658-31114-8\\_4](https://link.springer.com/chapter/10.1007%2F978-3-658-31114-8_4). DOI: 10.1007/978-3-658-31114-8\_4

**Lankau, Ralf:** Adlatus digitalis oder vom Unterrichten zur Optimierung der IT-Systeme. In: Timo Bautz (Hg.): Sozialisationswandel im digitalen Klassenzimmer. Weinheim: Beltz, S. 86–107

**Lankau, Ralf:** Digitalisierung als De-Humanisierung von Schule und Unterricht – und Alternativen. In: Martin Wendisch (Hg.): Kritische Psychotherapie. Interdisziplinäre Analysen einer leidenden Gesellschaft. Bern: Hogrefe, S. 325–338

**Lankau, Ralf:** Digitalisierung als Technik der Gegenauflärung. In: Martin Wendisch (Hg.): Kritische Psychotherapie. Interdisziplinäre Analysen einer leidenden Gesellschaft. Bern: Hogrefe, S. 147–157. DOI: 10.1024/85989-000

**Lankau, Ralf:** Schule und Gesellschaft: Digitalsysteme vs. humanes Lernen. Anmerkungen zur Pädagogik mit digitalen Medien im Unterricht. In: Matthias Gronover, Andreas Obermann und Hanne Schnabel-Henke (Hg.): Religiöse Bildung in einer digitalisierten Welt : Beiträge zur Theorie und Praxis des Religionsunterrichts an berufsbildenden Schulen, Glaube – Wertebildung – Interreligiosität 23. Münster, New York: Waxmann, S. 10–29

**Lankau, Ralf:** Vom Homo faber zum Homo digitalis. Was bleibt vom Menschen in einer vermessenen Welt? In: Robert Gücker (Hg.): Klang und Didaktik: Lehren und Lernen mit allen Sinnen, Didaktik in Forschung und Praxis 108. 1. Aufl. Hamburg: Verlag Dr. Kova, S. 21–30. Online verfügbar unter <https://www.verlagdrkovac.de/978-3-339-11626-0.htm>

**Lankau, Ralf:** Wenn aus Science fiction Realität wird. Digitalisierung statt pädagogischer Konzepte. In: Ralf Lankau (Hg.): Autonom und mündig am Touchscreen. Für eine konstruktive Medienarbeit in der Schule. 1. Aufl. Weinheim: Beltz, S. 24–41

**Lankau, Ralf:** Werkzeug im Unterricht statt Allheilmittel. Alternative IT Konzepte für Schulen. In: Ralf Lankau (Hg.): Autonom und mündig am Touchscreen. Für eine konstruktive Medienarbeit in der Schule. 1. Aufl. Weinheim: Beltz, S. 169–183

**Müller, Andrea; Miclau, Christina; Demaeght, Annebeth:** Customer Experience: Die Messung und Interpretation von Emotionen im Dialogmarketing. In: Heinrich Holland (Hg.): Digitales Dialogmarketing : Grundlagen, Strategien, Instrumente. 2. Aufl. Wiesbaden: Springer Gabler, S. 603–625. Online verfügbar unter [https://link.springer.com/chapter/10.1007%2F978-3-658-28959-1\\_26](https://link.springer.com/chapter/10.1007%2F978-3-658-28959-1_26). DOI: 10.1007/978-3-658-28959-1\_26

**van Rheenen, Ronald W. J.; Stroomezand, Gilles N.; van Amerongen, Jacoba P.; Otte, Andreas; Deyn, Peter Paul de; Dierckx, Rudi A. J. O.:** Perfusion SPECT: Its Role in the Diagnosis and Differential Diagnosis of Alzheimer's Disease, with Particular Emphasis on Guidelines. In: Dierckx, Rudi A. J. O., Andreas Otte, Erik F. J. de Vries, Aren van Waarde und Klaus L. Leenders (Hg.): PET and SPECT in Neurology. 2. Aufl. Cham, Schweiz: Springer International Publishing, S. 453–468. DOI: 10.1007/978-3-030-53168-3\_14

**Weitzer, Melina; Weislämle, Valentin:** Achieving Positive Hospitality Experiences through Technology: Findings from Singapore and Malaysia. In: K. Thirumaran, Dirk Klimkeit und Chun Meng Tang (Hg.): Service Excellence in Tourism and Hospitality : Insights from Asia. 1. Aufl. Cham: Springer, S. 133–147. DOI: 10.1007/978-3-030-57694-3\_9

**Zerres, Christopher:** Planung und Umsetzung von Social Media für Kommunen. In: Thomas Breyer-Mayländer und Christopher Zerres (Hg.): Social Media im kommunalen Sektor : Einsatzfelder, Herausforderungen, Entwicklungsperspektiven. 1. Aufl. Wiesbaden: Springer Gabler, S. 35–48. Online verfügbar unter [https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-658-32820-7\\_2](https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-658-32820-7_2). DOI: 10.1007/978-3-658-32820-7\_2

**Zerres, Christopher:** Strategische Analysetechniken. In: Christopher Zerres (Hg.): Handbuch Marketing-Controlling. Grundlagen – Methoden – Umsetzung. 5. Aufl. Berlin, Heidelberg: Springer Gabler, S. 181–203. DOI: 10.1007/978-3-662-62837-9\_8

**Zerres, Christopher; Litterst, Florian:** Social-Media-Controlling. In: Christopher Zerres (Hg.): Handbuch Marketing-Controlling. Grundlagen – Methoden – Umsetzung. 5. Aufl. Berlin, Heidelberg: Springer Gabler, S. 313–333. Online verfügbar unter 978-3-662-62836-2 (Print). DOI: 10.1007/978-3-662-62837-9\_14

**Zerres, Christopher; Tscheulin, Dieter K.; Israel, Kai:** Online-Marketing-Controlling. In: Christopher Zerres (Hg.): Handbuch Marketing-Controlling. Grundlagen – Methoden – Umsetzung. 5. Aufl. Berlin, Heidelberg: Springer Gabler, S. 295–312. Online verfügbar unter [https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-662-62837-9\\_13](https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-662-62837-9_13). DOI: 10.1007/978-3-662-62837-9\_13

**Zerres, Christopher; Zerres, Michael:** Einführung in das Marketing-Controlling. In: Christopher Zerres (Hg.): Handbuch Marketing-Controlling. Grundlagen – Methoden – Umsetzung. 5. Aufl. Berlin, Heidelberg: Springer Gabler, S. 3–15. DOI: 10.1007/978-3-662-62837-9\_1

# Dissertationen 2021

## Intern, abgeschlossen:

Name, Titel, HSO-Betreuer, kooperierende Universität –  
Betreuer

**Brudsche, Markus Lothar:** Determination klinisch relevanter mechanischer Eigenschaften von Implantaten zum Verschluss des Vorhofseptumdefekts, 121 Seiten. Online verfügbar unter <https://nbn-resolving.org/urn:nbn:de:bvb:19-272124>. DOI: 10.5282/edoc.27212, HSO Prof. Dr. rer. nat. habil. Bruno Ismer, Universität Rostock – Prof. Dr. Christoph Nienaber

**Carelli, Serena:** Mechanistic Modelling of Electrochemical Ageing Reaction at the Anode of Li-ion Batteries, HSO Prof. Dr. rer. nat. habil. Wolfgang Bessler, Helmholtz Institut Ulm – Prof. Dr. Arnulf Latz

**Feng, Xiaowei:** Characterization and compact modeling of printed electrolyte-gated thin film transistors and circuits, 13, ix, 126 Seiten. DOI: 10.5445/IR/1000137975. HSO Prof. Dr. rer. nat. Jasmin Aghassi-Hagmann, KIT Karlsruhe – Prof. Dr. Mehdi B. Tahoori

**Haber, Tobias:** Ingenieurtechnische Lösungen zur Didaktik der Elektrotherapie des Herzens, HSO Prof. Dr. rer. nat. habil. Bruno Ismer, Albert-Ludwigs-Universität Freiburg – Prof. Dr.-Ing. Martin Doppelbauer

**Sawant, Parantapa:** Kleinskalige Kraft-Wärme-Kopplung als netzreaktives System zur energieeffizienten Biogas/Erdgas-Nutzung, HSO Prof. Dr.-Ing. Jens Pfafferott, Albert-Ludwigs-Universität Freiburg – Prof. Dr. Leonhard Reindl

**Scholz, Alexander:** Hybride integrierte Elektronik: Modullösungen aus gedruckter Elektronik und Siliziumelektronik mit sensorischen Elementen und Energiewandlern und/oder Speichern, HSO Prof. Dr. rer. nat. Jasmin Aghassi-Hagmann, KIT Karlsruhe – Prof. Dr. rer. nat. Uli Lemmer

**Tajan, Louis (2020, Abschlussprüfung am 19.3.2021):** Privacy-preserving data processing for real use cases, Mannheim, XLIV, 120 Seiten. Online verfügbar unter <https://nbn-resolving.org/urn:nbn:de:bsz:180-madoc-593544>, HSO Prof. Dr. rer. nat. habil. Dirk Westhoff, Universität Mannheim – Prof. Dr. Frederik Armknecht

## Intern, laufend:

Name, Titel, HSO-Betreuer, kooperierende Universität –  
Betreuer

**Abdolinezhad, Saeed:** MEMS Based Physical Uncloable 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 synchronized 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

**Angemeier, Julian:** Einfluss des Referenz-ITD auf das bin-

aurale Hören, HSO Prof. Dr. rer. biol. hum. Stefan Zirn, Technische Universität München – Prof. Dr.-Ing. Werner Hemmert

**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 Zellalterungsmodelle, 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 Parameterschätzung 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 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 Augensteuerung mithilfe sensorischen Feedbacks zur Bedienung von Assistenzsystemen, HSO Prof. Dr.-Ing. Thomas Wendt, Universität Siegen – Prof. Kristof Van Laerhoven

**Föll, Dario:** Hochdynamische nichtlineare Zustandsregelung von Drehstromantrieben mit ausgeprägter Sättigungscharakteristik, HSO Prof. Dr.-Ing. habil. Uwe Nuß, Universität Stuttgart – Prof. Dr. Jörg Roth-Stielow

**Gawron, Philipp:** Additiv hergestellte Energy Harvester, 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

**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.*

**Hähnlein, Stefan:** Dynamische Regelung hochausgenutzter Synchronmaschinen durch Rechenzeitoptimierung und stranggrößenbasierte Parameteridentifikation, *HSO Prof. Dr.-Ing. Christian Klöffler, 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. Adreas Otte, Universität Leipzig – Prof. Dr. Martin Bogdan*

**Himmelsbach, Urban:** A novel approach of achieving 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. Schindelbauer*

**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*

**Schlauer, Markus:** Mechanismenbasierte 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 Zelleistung 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 2021

*Jahresangabe in Klammern ist das Datum der Einreichung. Das Offenlegungsdatum befindet sich jeweils am Ende der Angaben*

**Bessler, Wolfgang G. (2019):** Verfahren und Vorrichtung zur Bestimmung des Ladezustands und des Gesundheitszustands einer aufladbaren Batterie (DE102019127828A1), Anmeldetag: 15.10.2019, Offenlegungstag: 15.04.2021, 32 Seiten. Veröffentlichungsnr: DE 10 2019 127 828 A1. <https://depatisnet.dpma.de/DepatisNet/depatisnet?action=bibdat&docid=DE102019127828A1>

**Bessler, Wolfgang G. (2020):** Method and device for determining the state of charge and the state of health of a rechargeable battery (WO2021073690A2), Anmeldetag: 14.10.2020, Offenlegungstag: 22.04.2021, 51 Seiten. Veröffentlichungsnr: WO 2021/073690 A2. <https://patents.google.com/patent/WO2021073690A2>

**Eber, Fabian; Ketterer, Thomas; Kolland, Katharina; Mutzke, Thorsten; Roos, Tilmann; Sewig, Stefanie et al. (2016):** Dry powder composition comprising long-chain RNA (EP000003916091A2), Anmeldetag: 20.05.2016, Offenlegungstag: 01.12.2021, 55 Seiten. Veröffentlichungsnr: EP3916091. <https://depatisnet.dpma.de/DepatisNet/depatisnet?action=bibdat&docid=EP000003916091A2>

**Eber, Fabian; Ketterer, Thomas; Kolland, Katharina; Mutzke, Thorsten; Roos, Tilmann; Sewig, Stefanie et al. (2016):** Dry powder composition comprising long-chain RNA (EP000003928800A2), Anmeldetag: 20.05.2016, Offenlegungstag: 29.12.2021, 50 Seiten. Veröffentlichungsnr: EP3928800. <https://depatisnet.dpma.de/DepatisNet/depatisnet?action=bibdat&docid=EP000003928800A2>

**Eber, Fabian; Ketterer, Thomas; Kolland, Katharina; Mutzke, Thorsten; Roos, Tilmann; Sewig, Stefanie et al. (2019):** Dry powder composition comprising long-chain RNA (US000011179337B2), Anmeldetag: 11.11.2019, Offenlegungstag: 27.02.2020, Tag der Patenterteilung: 23.11.2021, 45 Seiten. Veröffentlichungsnr: US11179337. <https://depatisnet.dpma.de/DepatisNet/depatisnet?action=bibdat&docid=US000011179337B2>

**Gringoli, Francesco; Romanov, Alexey M.; Sikora, Axel (2020):** Synchronisation eines Netzwerkgeräts für die drahtlose Kommunikation, insbesondere eines Netzwerk-Endgeräts, in einem Drahtlosnetzwerk (DE102020118068A1), Anmeldetag: 08.07.2020, Offenlegungstag: 18.11.2021, 24 Seiten. Veröffentlichungsnr: DE102020118068A1. <https://depatisnet.dpma.de/DepatisNet/depatisnet?action=bibdat&docid=DE102020118068A1>

**Spangenberg, Bernd; Futterknecht, Sidon; Ehsaei, Mohammad Hossein (2020):** Inorganic material with improved properties (WO002021013383A2), Anmeldetag: 22.07.2020, Offenlegungstag: 28.01.2021, 49 Seiten. Veröffentlichungsnr: WO2021013383A2. <https://depatisnet.dpma.de/DepatisNet/depatisnet?action=bibdat&docid=WO002021013383A2>

**Spangenberg, Bernd; Futterknecht, Sidon; Ehsaei, Mohammad Hossein (2020):** Inorganic polymers and use thereof in composite materials (WO2021018694A1), Anmeldetag: 22.07.2020, Offenlegungstag: 04.02.2021, 44 Seiten. Veröffentlichungsnr: WO2021018694A1. <https://depatisnet.dpma.de/DepatisNet/depatisnet?action=bibdat&docid=WO002021018694A1>

## Impressum

Herausgeber:  
Campus Research & Transfer [CRT]  
Hochschule Offenburg  
Badstraße 24 · 77652 Offenburg  
[crt@hs-offenburg.de](mailto:crt@hs-offenburg.de)  
<https://crt.hs-offenburg.de>  
Redaktion, Projektkoordination, Layout:  
Sandra Lutz-Vogt, Hochschule Offenburg

Verantwortlich für den Inhalt:  
Autoren und Projektleiter der jeweiligen Projekte  
Bildnachweis:  
Hochschule Offenburg, Adobe Stock  
Druckerei:  
Druckhaus Franz Seibert GmbH & CO. KG, Osthofen  
Auflage: 2500 Exemplare – ISSN 1866-9352

© Hochschule für Technik, Wirtschaft und Medien Offenburg. Kopien, auszugsweise wie auch elektronisch, sind ohne Freigabe durch die CRT der Hochschule Offenburg nicht gestattet.

## Campus Research & Transfer [CRT]

Prof. Dr.-Ing. Thomas Seifert

Wissenschaftliche Leitung  
E-Mail: [thomas.seifert@hs-offenburg.de](mailto:thomas.seifert@hs-offenburg.de)

Telefon: +49 781 205-272  
E-Mail: [crt@hs-offenburg.de](mailto:crt@hs-offenburg.de)  
<https://www.hs-offenburg.de/forschung-und-transfer/service-fuer-forschende-crt>

## 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>

## 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>

## Institute for Unmanned Aerial Systems [IUAS]

Prof. Dr.-Ing. Jörg Ettrich

Wissenschaftliche Leitung  
E-Mail: [joerg.ettrich@hs-offenburg.de](mailto:joerg.ettrich@hs-offenburg.de)

Prof. Dr.-Ing. Marlene Harter  
Stellvertretende wiss. Leitung  
E-Mail: [marlene.harter@hs-offenburg.de](mailto:marlene.harter@hs-offenburg.de)

Telefon +49 781 205-271  
<https://iuas.hs-offenburg.de>

## 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>

## 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/>

## Institut für nachhaltige Silikatforschung Offenburg [NaSiO]

Prof. Dr. rer. nat. Bernd Spangenberg

Institutsleitung  
E-Mail: [spangenberg@hs-offenburg.de](mailto:spangenberg@hs-offenburg.de)

Prof. Dipl.-Ing. Dietmar Kohler  
Stellvertretende Institutsleitung  
E-Mail: [dietmar.kohler@hs-offenburg.de](mailto:dietmar.kohler@hs-offenburg.de)

Telefon: +49 781 205-101  
<https://inasio.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 9698-4433  
<https://ifti.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)

Dipl.-Ing. (FH) Tobias Haber  
Stellvertretende Institutsleitung  
E-Mail: [tobias.haber@hs-offenburg.de](mailto:tobias.haber@hs-offenburg.de)

Telefon: +49 781 205-4640  
<https://poim.hs-offenburg.de>

## Affective and Cognitive Institute [ACI]

Prof. Dr. phil. Oliver Korn

Institutsleitung  
E-Mail: [oliver.korn@hs-offenburg.de](mailto:oliver.korn@hs-offenburg.de)

Telefon: +49 781 205-4690  
<https://aci.hs-offenburg.de>

HERRENKNECHT



Tunnelvortriebstechnik

**„FÜR HERRENKNECHT  
REVOLUTIONIERE ICH DEN  
UNTERGRUND DER USA.“**

**Steffen Dubé, Niederlassungsleiter bei Herrenknecht USA**

Ich habe es vom Auszubildenden, über ein Studium, bis zum Leiter der US-Landesgesellschaft gebracht. Durch mein Praxissemester zog es mich in die USA, wo ich später eine Vielzahl an Projekten betreute. Bereits in jungen Jahren übernahm ich verschiedene Führungspositionen, Herrenknecht hat mir von Anfang an viele Entwicklungschancen geboten und in mich vertraut.

Willst auch du den Durchbruch schaffen?  
Dann bewirb dich jetzt:

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



**HOBART**

# WIR SIND WAHNSINNIG STOLZ...

## ... AUF UNSERE INNOVATIONEN

Spülen ohne Wasser – ist das überhaupt möglich?

„Diese Vision treibt uns seit mehr als 15 Jahren an. Es geht um ein möglichst ressourcenschonendes Spülen – das heißt, mit so wenig wie möglich Wasser, Chemie und Energie, aber auch mit so wenig wie möglich Kosten, Zeit und Platz. Für die Küchenchefs ist Spülen eine Anstrengung, denn es ist ja nicht ihr Kerngeschäft. Spülen ist für sie Mittel zum Zweck. Wir haben verstanden, dass unsere Kunden den Vorgang so effizient wie möglich, mit wenig Aufwand, wenig Lärm und geringen Betriebskosten ausführen wollen.“

### **HARALD DISCH**

52 Jahre, Dipl. Ingenieur, Mitglied der Geschäftsleitung

Sei wie Du bist und komm in ein starkes Team.

Arbeite bei HOBART – dem Weltmarktführer für gewerbliche Spültechnik!

**#SPÜLENDEINFACH**



**PERFEKTE  
PERSPEKTIVEN**

**HOBART.DE**