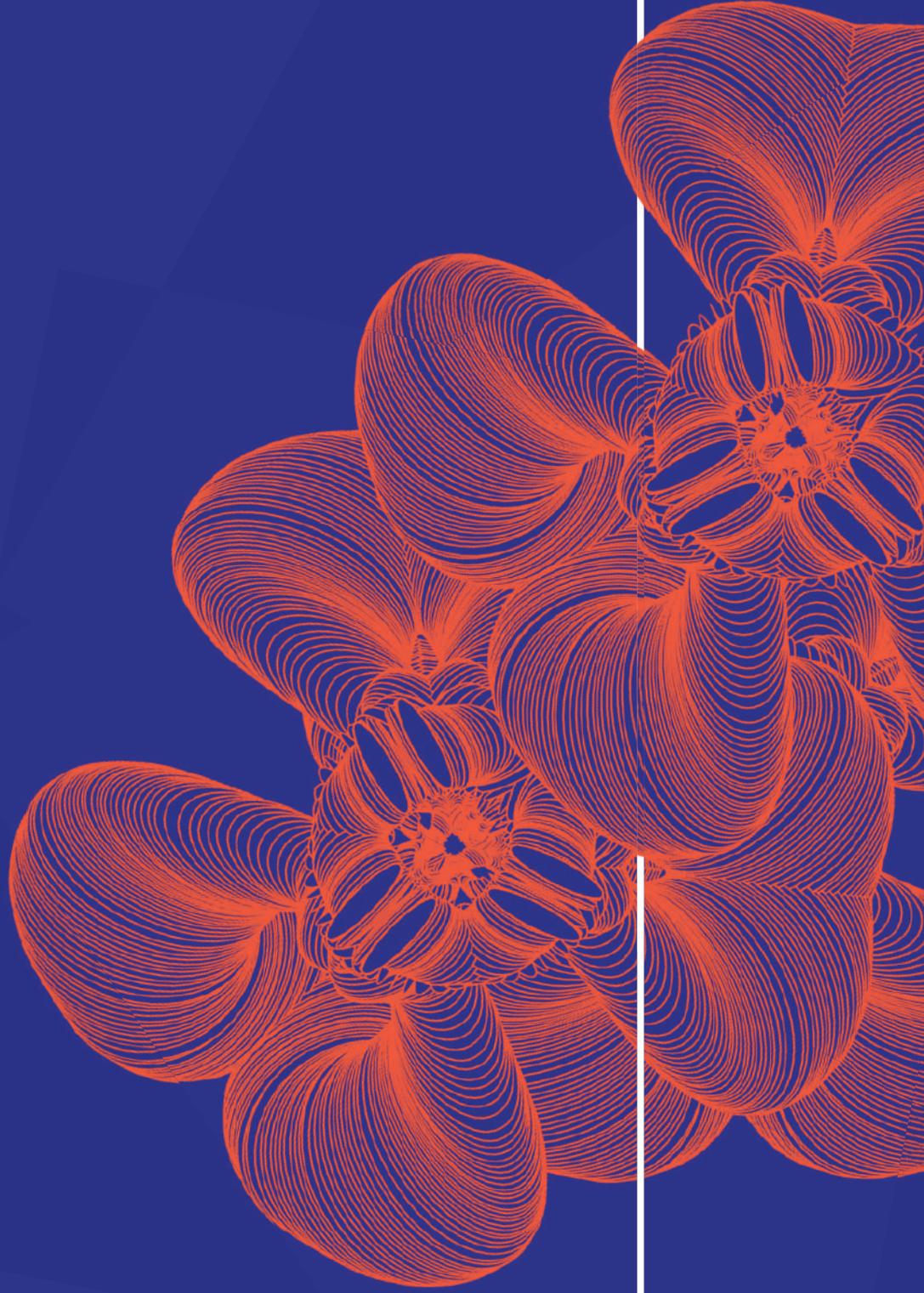


# TAGUNGSBAND

**HAW-FORSCHUNGSTAG 2024**

Rheinland-Pfalz



# TAGUNGSBAND

HAW-FORSCHUNGSTAG 2024  
Rheinland-Pfalz

## HERAUSGEBERSCHAFT

Eder, S., Vizepräsident für Forschung & Technologietransfer der Technischen Hochschule Bingen  
Hermsen, T., Leitung Institut Forschung und Internationales der Katholischen Hochschule Mainz  
Kehr, H., Vizepräsident i.R. der Hochschule Worms  
Liersch, A., Vizepräsidentin für Forschung der Hochschule Koblenz  
Mehler-Bicher, A., Vizepräsidentin für Forschung & Transfer der Hochschule Mainz  
Piller, G., Präsident der Hochschule Ludwigshafen  
Schäfer, K.-H., Vizepräsident für Forschung & Transfer der Hochschule Kaiserslautern  
Te Heesen, H., Vizepräsident der Hochschule Trier

Kaiserslautern, 25.06.2024

Sehr geehrte Leserinnen und Leser,

die Hochschullandschaft hat sich in den letzten 10 bis 20 Jahren deutlich verändert. Eine Hochschule für Angewandte Wissenschaften ohne Forschung ist heute unvorstellbar. Wir finden eine breite Palette an Projekten, die im Einzelnen den Vergleich nicht scheuen müssen. Die Gesamtheit der HAWs in Rheinland-Pfalz ist als Motor der Innovation und Forschung unverzichtbar für den Wissenschaftsbetrieb.

Mit dem hier vorliegenden Tagungsband des landesweiten HAW-Forschungstages 2024 an der Hochschule Kaiserslautern ermöglichen wir allen Teilnehmenden und Interessierten einen Einblick in die Vielfalt und Exzellenz der Forschung an unseren Hochschulen in Rheinland-Pfalz.

Der HAW-Forschungstag 2024 steht unter dem Motto "Die Zukunft ist WIR – Wissenschaft, Innovation, Rheinland-Pfalz". Unsere Forschungsthemen reichen von Gestaltung über Life Sciences und Informatik bis hin zu Wirtschaft, Soziales und Gesundheit. Diese interdisziplinäre Ausrichtung spiegelt sich in den hier versammelten Beiträgen wider und verdeutlicht die Rolle der Hochschulen für Angewandte Wissenschaften als zentrale Player in der modernen Forschungslandschaft.

Besonders stolz sind wir auf die Vielfalt der vorgestellten Projekte, die von praxisnahen Studien über Kooperationen mit Industrie und Wirtschaft bis hin zu theoretischen Untersuchungen und Grundlagenforschung reichen und die zu interessanten Gesprächen und Austausch anregen sollen. Die hier präsentierten Arbeiten zeigen nicht nur den hohen wissenschaftlichen Standard und die Kreativität unserer Forscherinnen und Forscher, sondern auch ihre Fähigkeit, Lösungen für die drängenden Fragen unserer Zeit zu entwickeln.

Wir möchten uns an dieser Stelle bei allen Mitwirkenden bedanken, die zum Gelingen des landesweiten HAW-Forschungstages 2024 beigetragen haben. Unser Dank gilt den Autorinnen und Autoren der wissenschaftlichen Beiträge sowie den Organisatorinnen und Organisatoren, die diese Veranstaltung möglich gemacht haben.

Ein besonderer Dank gilt auch unseren Sponsoren und Partnern aus der Wirtschaft, die mit Ihrem Beitrag zum Poster Award die Bedeutung der Zusammenarbeit zwischen Hochschulen und Wirtschaft für die Förderung von Innovation und Forschung unterstreichen.

Wir wünschen Ihnen eine inspirierende Lektüre und hoffen, dass die hier vorgestellten Forschungsarbeiten neue Einblicke und Anregungen für Ihre eigene Arbeit bieten. Lassen Sie uns gemeinsam daran arbeiten, die Herausforderungen der Zukunft anzugehen und durch wissenschaftliche Erkenntnisse und praxisorientierte Lösungen einen nachhaltigen Beitrag zur Gesellschaft zu leisten.

Mit freundlichen Grüßen

Prof. Dr. med. Karl-Herbert Schäfer

Vizepräsident für Forschung & Transfer, Hochschule Kaiserslautern

---

# Inhaltsverzeichnis

---

## Gestaltung

---

MAMANWA COMMUNITY CENTER   DesignBuild-Projekt auf den Philippinen   Bauen mit Bambus	8
Brigitte Al Bosta, Carina Neff	
Innovation für geistige Gesundheit und Wohlbefinden im Alter: NeuroVR als Wegweiser- des Pilotprojekt für Neurofeedback in virtueller Realität	12
Martine Hoffmann, Matthias Pfaff	
Der Wert der Nachhaltigkeit im Fokus der aktuellen Herausforderungen am Weinmarkt	18
Sandra Morsch, Marc Dreßler	

## Informatik

---

Human-Computer Interaction in Control Rooms: Smartphone, Smartwatch, Smart Control Room?	24
Nadine Flegel, Jonas Pöhler, Kristof Van Laerhoven, Tilo Mentler	
Ɛ is E, but not 3: Computerunterstützte Analyse früher schriftsprachlicher Fähigkeiten	28
Stefanie Jung, Rebekka Echternkamp	

## Life Sciences

---

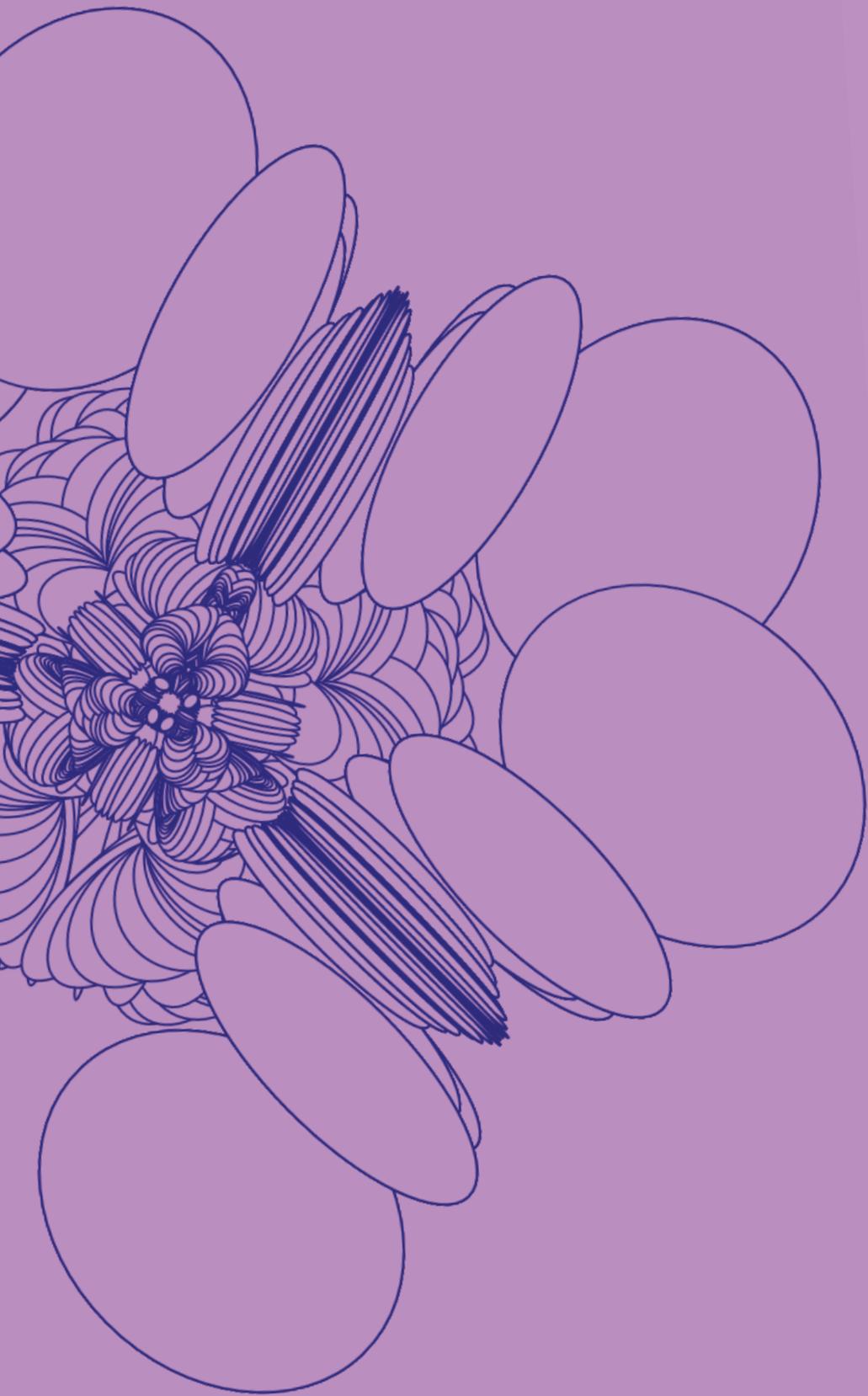
Oenologische Strategien bei Botrytis belastetem Lesegut	33
Louis Backmann, Caroline Dietzel, Pascal Wegmann-Herr, Andreas Jürgens, Maren Scharfenberger-Schmeer	
TrichoScreen: Das kleinste bekannte Tier als neuartige Hochdurchsatzplattform zur Aufklä- rung komplexer organischer Reaktionen auf Umwelteinflüsse	37
Daron Hakimian, Paula Heddenhausen, Florian Heigwer	

Detection of proteases as biomarkers for major depressive disorder with graphene field-effect transistors	41
<hr/>	
Felix Hempel, Pratika Rai, Ahmar Hasnain, Alexey Tarasov	
Benchtop-NMR-Spektroskopie zur Qualitätsbewertung bei der Trauben- und Mostanalyse	44
<hr/>	
Julian F. D. Lueck, Billy Salgado, Johnnie Phuong, Patrick Nickolaus, Fabian Jirasek, Erik von Harbou; Ulrich Fischer, Jörg Fahrner, Kerstin Münnemann, Lena Keller	
OriDarmi: Komplexe dreidimensionale biomimetische Sensor- und Organoid-Netzwerke zur Erhebung funktioneller Daten der Darmbarriere	48
<hr/>	
Monika Saumer	
<b>Technik und Naturwissenschaft</b>	
<hr/>	
Quasi-Isotherme Kompression und Expansion zur Effizienzsteigerung in Druckluftspeicherkraftwerken	53
<hr/>	
Christian Braasch, Simon Kaiser, Diana Nett, Marc Nadler, Willi Nieratschker	
Der Einfluss des Speichels auf die retronasale Wahrnehmung des Mäuseltons	59
<hr/>	
Caroline Dietzel, Louis Backmann, Ulrich Fischer, Maren Scharfenberger-Schmeer	
Entwicklung eines ganzheitlichen Automations-ansatzes für die Speckle-interferometrischen Verfahren der Digital-Holografie und -Shearografie	63
<hr/>	
Jessica Plaßmann, Georg von Freymann, Michael Schuth, Nicolas Schuler	
Bildgebendes Verfahren zur Visualisierung lokal unterschiedlicher Oberflächenhärte niedriglegierter Stähle mittels laserinduzierter Plasmaspektroskopie	67
<hr/>	
Lukas Retterath, Peter Kohns, Georg Ankerhold	
Kunststoffrecycling für die additive Fertigung	71
<hr/>	
Michael Wahl, Kai Scherer, Bruno Gallace	
Lebensdauerbetrachtung von schnellschaltenden Galliumnitrid-Transistoren in verschiedenen Last- und Temperaturprofilen	75
<hr/>	
Max Wagner, Simon Holzmann, Christian Schumann	
Stabilitätsuntersuchungen beim Koordinatenschleifen von Taschenkonturen	79
<hr/>	
Arno Zürbes	

## Wirtschaft/Soziales/Gesundheit

---

Gemeinsam stark für die Ausbildungspraxis: Peer-Support an Schulen für Pflege und Physiotherapie gestalten - Evaluation der ersten Workshops	84
<b>Anna Coppers, Philipp Struck</b>	
Schmuddelkind Erbbaurecht	88
<b>Dirk Lühr</b>	
German SMEs on the Path to Climate Neutrality: Leveraging Regenerative Finance (ReFi) in the Carbon Offset Market and Beyond	92
<b>Erik Ackermann, Alexandra Moritz, Margareta Teodorescu, Joern Block</b>	
Die Zukunft des Recruitings in Deutschland	97
<b>Stephan Weinert, Elmar Günther, Silko Pfeil</b>	
Wissenschaftliche Poster	103
Autor*innenverzeichnis	109
Impressum	118



**GESTALTUNG**

---

# MAMANWA COMMUNITY CENTER | DesignBuild-Projekt auf den Philippinen | Bauen mit Bambus

---

**Brigitte Al Bosta, Carina Neff**

## Abstract

Im Frühjahr 2024 (09. Feb. – 17. März 2024) wurde auf den Philippinen mit knapp 60 Studierenden der Studiengänge Architektur, Innenarchitektur und Bauingenieurwesen der Hochschule Kaiserslautern, dem gemeinnützigen Verein für humanitäre Hilfe Fruit-Tree e.V. aus Darmstadt sowie einer kleinen indigenen Bevölkerung im Dorf Mamanwa ein Gemeindezentrum aus nachhaltigem Bambus errichtet. Initiiert haben das Vorhaben Prof. Dipl.-Ing. Brigitte Al Bosta (Studiengang Architektur) und Prof. Dr.-Ing. Carina Neff (Studiengang Bauingenieurwesen) vom Fachbereich Bauen und Gestalten der Hochschule Kaiserslautern. Insgesamt hat die Vorbereitungsphase in Theorie und Praxis an der Hochschule Kaiserslautern fast zwei Jahre gedauert.

**Schlüsselbegriffe:** *Bambus, Nachhaltigkeit, DesignBuild-Projekt, Philippinen.*

## 1. Motivation

### 1.1. Hintergrundinformationen

In den Bergen der Insel Mindanao auf den Philippinen, in der Provinz Surigao del Norte, standen viele Siedlungen des indigenen Stammes der Mamanwa dem Bergbau im Weg. Im September 2000 wurde unter anderem eine kleine indigene Dorfgemeinschaft vertrieben und umgesiedelt. Das neu gegründete Dorf ‚Mamanwa Village‘ liegt nun ca. 15 km südlich der Hauptstadt Surigao. Insgesamt leben 94 Familien, ca. 380 Erwachsene und ca. 100 Kinder, in einfachen Behausungen mit wenig Besitz. Die Haupteinnahmequelle des Dorfes ist das Schürfen von Gold.

Ende 2021 hat der Taifun Rai auf den Philippinen schwere Schäden verursacht. Auch in ‚Mamanwa Village‘ wurden durch den Taifun sieben Häuser beschädigt. Einige Notunterkünfte wurden nach der Verwüstung langsam wiederaufgebaut bzw. notdürftig repariert.

### 1.2. Materialwahl

In Anlehnung an die traditionelle Bauweise auf den Philippinen wurde eine Konstruktion mit lokal verfügbarem Bambus ausgeführt, der durch spezielle Behandlungen gegen Witterungseinflüsse, Pilze, Termiten und Käfer ca. 20 Jahre halten wird. Bambus ist ein nachhaltiger, kostengünstiger und auf den Philippinen weit verbreiteter Rohstoff. Als der schnellste nachwachsende Rohstoff der Welt dient er in der Wachstumsphase als CO<sub>2</sub>-Speicher und O<sub>2</sub>-Produzent. Der Einsatz von Bambus im Bereich Ökologie und Ökonomie trägt zur Umsetzung der 17 Ziele für nachhaltige Entwicklung bei, die die Vereinten

Nationen verabschiedet haben. Die „Sustainable Development Goals, SDGs“ sollen weltweit der Sicherung einer nachhaltigen Entwicklung auf ökonomischer, sozialer sowie ökologischer Ebene dienen [1].



**Abbildung 1. Rohbau kurz vor dem Richtfest.**

### 1.3. Methodik

---

DesignBuild-Projekte sind mittlerweile ein elementarer Bestandteil im projektorientierten Studium der Architektur und des Bauingenieurwesens [2]. Die Studierenden planten ein konkretes Bauvorhaben und realisierten dieses dann in einem interdisziplinären Team, zuerst mit Modellen und Versuchsdurchführungen während verschiedener Workshops sowie später im Frühjahr 2024 im Maßstab 1:1 vor Ort auf den Philippinen. Experimentelle Praktiken als Lern- und Lehrmethode wurden in die Lehre mit eingebunden und erweiterten somit den Erfahrungshorizont. Theorie und Praxis wurden verknüpft, dabei standen das experimentelle Denken und das lernende Forschen im kollektiven Team unter soziologischen Gesichtspunkten im Vordergrund. Die Studierenden wurden in den ganzheitlichen Prozess mit eingebunden und konnte diesen aktiv gestalten. Die Studierenden sammelten bei der Fachexkursion im Frühjahr 2024 erste Auslandserfahrungen, erlangten Einblicke in die humanitäre Arbeit, erfuhren Sensibilisierung im Umgang mit indigenen Bevölkerungen und stärkten ihre Empathie gegenüber in Armut lebenden Menschen. Sie sammelten praxisnahe Erfahrungen in interdisziplinären Teams. Die größte Motivation von allen Beteiligten war, etwas Sinnvolles zu tun, um Menschen zu helfen.

## 2. Vorbereitungen

---

Seit 2022 gab es zahlreiche Bachelor- und Masterarbeiten sowie Wahlpflichtfächer zur Vorbereitung. Des Weiteren wurden die gewonnenen Fähigkeiten durch zahlreiche Workshops und

Werkvorträge mit Bambusexpert\*innen wie z.B. Andrés Bäßler und Lorena Nolte weiter vertieft. Im Juni 2023 wurde das Projekt erstmalig an der European Bamboo Expo präsentiert.



**Abbildung 2. Gruppenbild der 60 Studierende der Studiengänge Architektur, Innenarchitektur und Bauingenieurwesen.**

Während der gesamten Vorbereitungszeit standen wir im Kontakt mit der indigenen Bevölkerung vor Ort. Aufgrund der negativen Erfahrungen der Dorfgemeinschaft mit der Regierung war eine besonders sensible Annäherung notwendig. So ist es wesentlich, dass der Entwurf des Gemeinschaftshauses vom Dorf gestaltet und mitentwickelt wurde.

### 3. Realisierung

---

Innerhalb von 5 Wochen (09. Feb.- 14. März 2024) bauten die Studierenden zusammen mit Mitgliedern der Dorfgemeinschaft das gemeinsam entworfene Gemeinschaftshaus aus Bambus im gegenseitigen Lernen und Austausch. Innerhalb der interdisziplinären Teams wurden Gründung, die tragende Struktur, das Dach, die große Außentreppe sowie die drehbaren und festen Wandelemente errichtet. Zusammen mit den Korbflechterinnen im Dorf wurden 25 Lampenschirme geflochten, die nun nachts das Gebäude erleuchten. Am 14. März 2024, am geplant letzten Tag des Projekts, wurde die Einweihung des Gemeindezentrums mit dem gesamten Dorf und offiziellen Vertreter\*innen der Stadt und der Gemeinde gefeiert. Ein wichtiger Aspekt der Feier war die Übergabe von Dokumenten gewesen, die das Gemeindezentrum ins Eigentum der Dorfgemeinschaft übertrug.



**Abbildung 3. Gemeindezentrum mit drehbaren Fassadenelementen und geflochtenen Lampenschirmen.**

## 4. Ausblick

---

Durch den gemeinsamen Bau des Hauses wird die Dorfgemeinschaft erneut mit dem Baumaterial Bambus vertraut. Ursprünglich bauten die Mamanwa viel mit Bambus. Dies kostbare Wissen ging mit der Zeit verloren. Das Gemeinschaftshaus soll richtungsweisend und Vorbild für weitere Häuser sein. Mit dem Baustoff Bambus kann nachhaltig und kostengünstig gebaut werden, sodass Elemente von der Bevölkerung für den eigenen Hausbau einfach kopiert werden können. Der Stil des Gemeinschaftshauses enthält sowohl traditionelle Elemente der Mamanwa als auch moderne Aspekte, sodass die Attraktivität innerhalb der Dorfgemeinschaft für den Baustoff gefördert wird. Die Einwohner\*innen sollen in der Lage sein, eigene Häuser kostengünstig zu bauen, bzw. bestehende Häuser auszubauen oder nachzubessern. Mittel- und langfristig sollen der Anbau und die Verarbeitung von Bambus zu einer nachhaltigen Einnahmequelle für die Dorfgemeinschaft werden.

## 5. Danksagung

---

Wir möchten uns bei allen Studierenden und bei unserem Team für ihre großartige Unterstützung bedanken. Wir danken der Hochschule Kaiserslautern und der Verwaltung für die Unterstützung. Und wir sagen vielen Dank für die vielen Spenden, ohne die ein solches Projekt nicht möglich gewesen wäre.

## Literatur

---

[1] UN. *The Sustainable Development Goals Report, 2018*. <https://unstats.un.org/sdgs/files/report/2018/TheSustainableDevelopmentGoalsReport2018-EN.pdf>

[2] Lepik, A.; Bade, V.: *Experience in Action: DesignBuild in Architecture*, Edition Detail; 2022.

## Autorenhinweise

---

### **Prof. Dipl.-Ing. Brigitte Al Bosta**

Fachbereich Bauen und Gestalten, Studiengang Architektur, Hochschule Kaiserslautern

[brigitte.albosta@hs-kl.de](mailto:brigitte.albosta@hs-kl.de)

---

### **Prof. Dr.-Ing. Carina Neff**

Fachbereich Bauen und Gestalten, Studiengang Bauingenieurwesen, Hochschule Kaiserslautern

[carina.neff@hs-kl.de](mailto:carina.neff@hs-kl.de)

---

---

# Innovation für geistige Gesundheit und Wohlbefinden im Alter: NeuroVR als Wegweisendes Pilotprojekt für Neurofeedback in virtueller Realität

---

**Martine Hoffmann, Matthias Pfaff**

## 1. Einleitung

---

In einer Zeit, in der der technische Fortschritt mit beispiellosem Tempo voranschreitet und die Digitalisierung nahezu alle Lebensbereiche und Lebensabschnitte im Sturm erobert, bleibt das hohe Erwachsenenalter oft etwas zurück. Gerade in Bezug auf die Integration digitaler Lösungen zur Förderung der mentalen Gesundheit und Prävention im Alter besteht hier eine spürbare Lücke. An dieser Stelle setzt das NeuroVR-Projekt an. In einem kokreativen Ansatz der Hochschule Kaiserslautern und dem GERO-Kompetenzzentrum für das Alter entstand eine wegweisende prototypische E-Mental-Health-Lösung, die Neurofeedback mit modernster VR-Technologie vereint, um die Resilienz älterer Menschen zu fördern.

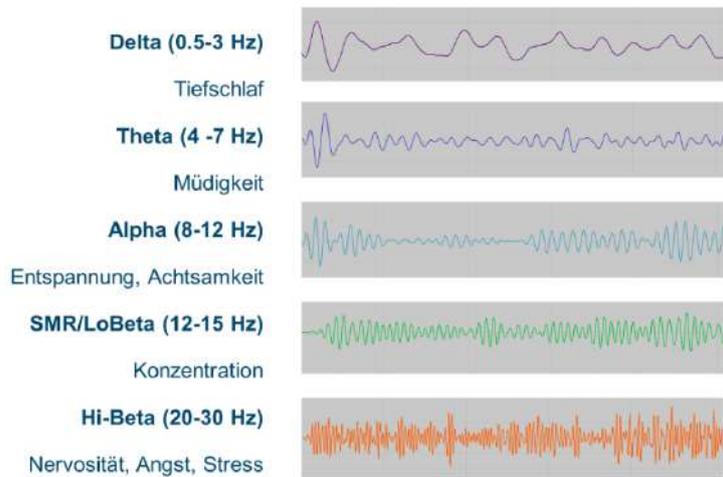
## 2. Theoretischer Hintergrund

---

Neurofeedback ist eine computergestützte, wissenschaftlich fundierte Methode zur Verbesserung der Selbstregulationsfähigkeit des Gehirns. Das Ausmaß der neuronalen Aktivität spiegelt sich in unterschiedlichen Geschwindigkeiten der Hirnwellen wider. Man spricht hier von sogenannten Frequenzbändern, in die sich das EEG mathematisch zerlegen lässt. Die Hirnwellenmuster variieren in Abhängigkeit der geistigen Bewusstseinszustände (z.B. Konzentration, Entspannung oder Müdigkeit, siehe Graphik 1).

Neurofeedback funktioniert auf dem Prinzip der Konditionierung, d.h. Veränderungen der Gehirnaktivität in die gewünschte Richtung werden positiv verstärkt. So wird, um ein entspanntes Wachbewusstsein zu fördern, darauf abgezielt, die Amplitude des sogenannten Alpha-Frequenzbandes (8-12 Hz) zu erhöhen. Dagegen werden hohe Beta-Wellen (Frequenzbereich 23-30 Hz), die mit Stress und Angst verbunden sind, gleichermaßen wie niedrigfrequente Theta-Wellen (4-7Hz), die mit Schläfrigkeit einhergehen, reduziert.

Hierzu werden Animationen oder Videos eingeblendet, die die Veränderungen der Hirnaktivitätsmuster sichtbar und hörbar zurückmelden („Neurofeedback“). Dem Gehirn werden dabei keinerlei elektrische Impulse zugeführt, es wird ausschließlich die augenblickliche Hirnaktivität gemessen und zurückgemeldet. Das Gehirn lernt dabei unbewusst, sich in die gewünschte Richtung zu verändern bzw. sich selbst zu regulieren.



**Grafik 1. Neuronale Frequenzbänder und assoziierte mentale Bewusstseinszustände**

Der Vorteil des Neurofeedbacks im Vergleich zu klassischen Entspannungstechniken wie Meditation oder Autogenem Training liegt darin, dass (a) keine spezifische Entspannungstechnik erlernt werden muss und (b) eine gezielte, sprich bedarfsorientierte Veränderung indizierter Hirnaktivitätsmuster nach wenigen Trainingsanwendungen erreicht wird. Mit Neurofeedback wird es möglich, die geistige Fitness und die Selbstregulationsfähigkeit des Gehirns gezielt zu trainieren und dadurch Wahrnehmung, Denken und Verhalten nachhaltig positiv zu beeinflussen.

Obwohl es bis dato wenig systematische Forschung zu Neurofeedback im gerontologischen Kontext gibt, sind die Erfahrungen aus der eigenen Anwendungspraxis vielversprechend. Das Fazit: Besonders für ältere Menschen bietet Neurofeedback eine nicht-invasive und gut akzeptierte Methode zur Verbesserung kognitiver und sensitiver Fähigkeiten sowie zur Steigerung der Entspannungsfähigkeit und Stresstoleranz [1,2].

### 3. Von der Idee zum Prototypen

Gerade angesichts der altersbedingt höheren Ablenkbarkeit durch äußere Störreize, der reduzierten Aufmerksamkeitsspanne und schnelleren Ermüdung, sollen immersive Anwendungen für diese Zielgruppe Vorteile bieten. Erwartet wird, dass das Gefühl des Präsentseins und die Möglichkeit zur Interaktion in der virtuellen Entspannungswelt die Wirkeffekte des Trainings im Vergleich zum klassischen zweidimensionalen Neurofeedback verstärkt bzw. eine vergleichbare Wirkung zeitökonomischer erzielt werden kann [3].

### 4. Proof-of-concept Pilotstudie

Die Durchführung der Pilotstudie erstreckte sich über einen Zeitraum von sechs Monaten, während denen die Teilnehmenden über das „GERO-Kompetenzzentrum für den Alter“ rekrutiert wurden. Die Testung des Prototyps erfolgte auf Basis einer standardisierten Vorgehensweise in 60-minütigen

Einzel Sitzungen unter der Aufsicht einer qualifizierten Neurofeedback-Therapeutin.



**Grafik 2. Verlaufprotokoll der Pilotstudie**

Zunächst erfolgte ein Vorgespräch, bei dem die Teilnehmenden hinsichtlich ihrer geistigen und körperlichen Befindlichkeit, möglichen Erkrankungen bzw. Ausschlusskriterien (z.B. photosensible Epilepsie, psychotische Erkrankungen) befragt wurden. Anschließend erfolgte eine ausführliche Aufklärung über die methodische Vorgehensweise und die technischen Grundlagen sowie eine schriftliche Einverständniserklärung zur Teilnahme.

Anschließend ging es weiter mit der Vorbereitung zur Neurofeedback-Anwendung. Dazu wurde den Teilnehmenden zunächst eine aktive Elektrode an Cz positioniert sowie als Referenz und Erdung jeweils eine Clip-Elektrode am Lobulus auricularae befestigt. Vor Platzierung der Elektroden wurde die entsprechende Kopfstelle mit einer abrasiven, leitfähigen EEG-Paste vorbereitet. Nachdem die Elektroden platziert waren, wurde die Neurofeedback-Trainingssoftware (Mindfield 2.35) gestartet und mit einer Echtzeit-Entwicklungsumgebung (Unreal Engine) synchronisiert. Diese computergenerierte Umgebung zeigt eine in einem VR-Headset generierte Entspannungswelt in Virtual Reality (siehe Grafik 3)

Und schon startete die immersive 15-minütige Entspannungsreise. Hier ein Einblick in die VR-Experience:

Mit dem Aufsetzen der VR-Brille beginnt ein idyllischer Waldspazierweg, umgeben von natürlichen Geräuschen und sanfter Musik. Sonnenstrahlen durchdringen das Blätterdach des Waldes, während der mit Moos bedeckte Weg von niedrigen Pflanzen gesäumt ist. Die Geschwindigkeit des Fortschritts, die Intensität der Landschaft und sogar die Klarheit der Sicht werden nicht dem Zufall überlassen, sondern von den Schwingungsmustern der eigenen Hirnaktivität beeinflusst. Mit jedem Schritt der Entspannung erwacht der virtuelle Spaziergang zu neuem Leben, und die Landschaft entfaltet sich in immer reicherer Vielfalt. Der Pfad führt schließlich zu einer Lichtung, wo ein kristallklarer See in der Sonne glitzert. In der Ferne erheben sich majestätisch die Berge, ihre Gipfel sind mit funkelndem Schnee bedeckt, als ob sie in den Himmel greifen würden. Dann hebt man ab, schwerelos wie ein sanfter Windhauch, schwebt über das glitzernde Wasser des Sees, das sich wie ein Spiegel unter einem erstreckt.

Lautlos gleitet man durch die Luft, der Blick schweift über das schimmernde Wasser, bis man schließlich sanft auf der gegenüberliegenden Seite landet.



**Grafik 3. Screenshot des Neurofeedback-Trainings in einer in Echtzeit synchronisierten, computergenerierten Entspannungswelt.**

Nach Abschluss der NeuroVR-Experience wurden das Headset abgenommen, die Elektroden entfernt und die Haut an den entsprechenden Stellen gereinigt. Anschließend fand eine kurze Nachbesprechung der Erfahrung statt, bei der auch Verbesserungsvorschläge besprochen wurden. Zudem erhielten die Teilnehmenden einen standardisierten Fragebogen zur Erfassung der User Experience.

An der Pilottestung nahmen 15 Personen im Durchschnittsalter von 67 Jahren teil, mit einer Altersspanne von 33 bis 90 Jahren. Alle Teilnehmenden waren frei von schwerwiegenden körperlichen oder psychischen Beschwerden und erfüllten die Kriterien zur Teilnahme am Projekt. Die qualitative Auswertung ergab eine durchweg sehr positive Bewertung des immersiven Neurofeedbacks, was die folgenden exemplarischen Aussagen aus den Interviews verdeutlichen:

*„Es war wahrhaftig eine andere Welt, die mir als positive und schöne Erfahrung im Gedächtnis bleibt. Es war mir zwar bewusst, dass diese Welt nur eine visuelle Darstellung zeigte, jedoch fühlte es sich an vereinzelt Stellen sehr real an. Ich spürte auch, wie mein Körper sich währenddessen entspannte. Sehr schön. Diese Methode sollte unbedingt auch in Altenheimen angeboten werden“* (Männlich, 86 Jahre)

*„Für mich persönlich würde sich diese Entspannungsmethode hervorragend eignen, ich fühlte richtig, wie mein ganzer Körper sich ausruhte. Ich habe in diesem kurzen Entspannungstraining bemerkt, wie gut ich mithilfe dieser Methode an mir selbst arbeiten konnte“* (Weiblich, 62 Jahre)

*„Ich fühle mich richtig lebendig und total entspannt“* (Männlich, 90)

*„Geräusche vom See sowie die wechselnden Jahreszeiten und die Seifenblasen waren spannend. Der Himmel hatte eine beruhigende Wirkung. Das Zeitgefühl ging verloren. Ich fühlte mich nach der virtuellen Reise deutlich entspannter als zuvor“* (Weiblich, 75 Jahre)

Im Einklang mit diesen Ergebnissen zeigten die quantitativen Auswertungen der angepassten User-Experience-Testbatterie nach Tcha-Tokey (2016) hohe Werte in den selbstberichteten Dimensionen von Immersion und Flow sowie eine gute Bewertung der Benutzerfreundlichkeit der Anwendung. Zudem belegten objektive Messungen der neuronalen Aktivitätsveränderungen während der NeuroVR-Sitzungen eine zeitliche Veränderung der Alpha-Theta- und Alpha-HiBeta-Verhältnisse, mit einem relativen Anstieg der Alpha-Amplituden im Vergleich zu den Theta- und HiBeta-Wellen. Diese Ergebnisse

unterstreichen die Effektivität des immersiven Neurofeedbacks bei der Förderung eines entspannten, aber wachen Zustands.

Zur weiteren Veranschaulichung der neuronalen Entspannungreaktion wurde das 15-minütige Verlaufsprofil eines 86-jährigen männlichen Teilnehmers, der keine Vorerfahrung mit VR und Neurofeedback hatte, mit Hilfe des Mindfield CSV Analysetools (Version 1.09) ausgewertet und in Abbildung 1 graphisch dargestellt.

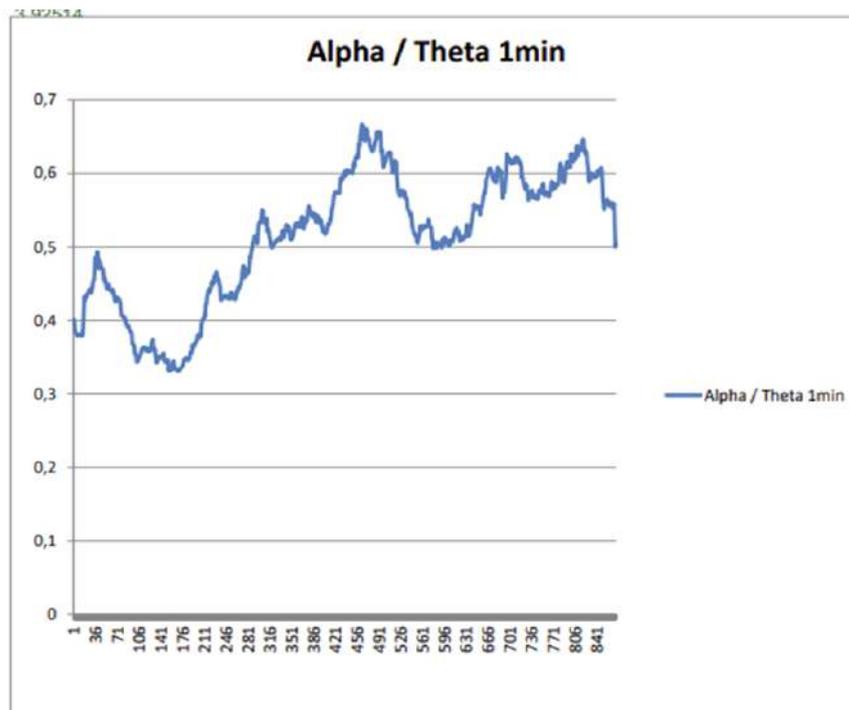


Abbildung 1. Verhältnis des Alpha-Frequenzbandes (8-12HZ) zum Theta-Frequenzbandes (4-7 Hz)

## 5. Ausblick und Weiterentwicklung

An der Hirn-Computer-Schnittstelle stehen wir vor einer faszinierenden und herausfordernden Reise in die Zukunft technikgestützter Gesundheitsanwendungen. Innovative Technologien bergen das Potenzial, eine breite Palette von Virtual-Reality-Welten zu erschaffen, die sowohl realistische Nachbildungen unserer physischen Umgebung als auch fantastische, neuartige Erlebnisswelten umfassen.

Als besonders vielversprechende Entwicklung in diesem Bereich ist die Integration von Virtual Reality (VR) in die Psychotherapie zu sehen, die durch den Einsatz von Passthrough-Modus und realistischen Avataren neue Dimensionen erreicht. Der Passthrough-Modus ermöglicht es, die reale Umgebung durch die VR-Brille wahrzunehmen, während man gleichzeitig in eine virtuelle Welt eintaucht. Diese Kombination aus realer und virtueller Wahrnehmung schafft ein einzigartiges therapeutisches Setting, das sowohl Sicherheit als auch Flexibilität bietet: Patienten können also in einer vertrauten Umgebung bleiben und dennoch von den Vorteilen immersiver therapeutischer Interventionen profitieren.

Durch die Personalisierung von Avataren lassen sich spezifische therapeutische Szenarien gestalten und auf die individuellen Bedürfnisse der Patienten zuschneiden. Dies kann besonders bei der Behandlung von Angststörungen, posttraumatischen Belastungsstörungen und sozialen Phobien von Vorteil sein, da Patienten in einer kontrollierten Umgebung ihre Ängste konfrontieren und bewältigen können.

Damit erreicht auch die Neurofeedback-Therapie eine ganz neue Dimension. Jetzt kann sich der Therapeut virtuell in die Neurofeedback-Sitzung zuschalten, sichtbar werden und dem Patienten in Echtzeit Anweisungen geben. Diese Innovation überwindet räumliche Barrieren und ermöglicht eine intensivere und persönlichere Betreuung, die den Therapieerfolg erheblich steigern kann. Diese Entwicklungen versprechen nicht nur eine Revolution in der Gesundheitsvorsorge und -behandlung, sondern auch eine Verbesserung der Resilienz und Leistungsfähigkeit für Menschen in stressreichen Berufen wie Polizei, Feuerwehr und Rettungsdienst.

## Literatur

---

[1] Michaux, G, Schauls, T., Casali, L., Hoffmann, M., Beckius, D., Pisani, M. & Kowalski, A. (2017). Zur Steigerung des Entspannungserlebens und der Aufmerksamkeitsleistung: Eine vergleichende Pilotstudie zur differentiellen Effektivität eines mobilen Alpha-Frequenzband-Trainings. *Entspannungsverfahren*, 34, 12-23.

[2] Trambaiolli, L. R., Cassani, R., Mehler, D. M. A., & Falk, T. H. (2021). Neurofeedback and the Aging Brain: A Systematic Review of Training Protocols for Dementia and Mild Cognitive Impairment. *Frontiers in Aging Neuroscience*, 13, 682683.

[3] Berger, A.M. & Davelaar, E.J. (2018). Frontal alpha oscillations and attentional control: A virtual reality neurofeedback study. *Neuroscience*, 378, 189–197.

## Autorenhinweise

---

### **Prof. Dipl.-Ing. (FH) Matthias Pfaff**

Fachbereich Bauen und Gestalten

Hochschule Kaiserslautern

matthias.pfaff@hs-kl.de

---

### **Dr. Martine Hoffmann**

Leiterin angewandte Forschung

GERO – Kompetenzzentrum für den Alter

martine.hoffmann@gero.lu

---

---

# Der Wert der Nachhaltigkeit im Fokus der aktuellen Herausforderungen am Weinmarkt

---

Sandra Morsch, Marc Dreßler

## Abstract

Der Weinmarkt steht vor vielfältigen Herausforderungen, die durch politische Regularien, den Klimawandel, gesellschaftliche Trends zu reduziertem Alkoholkonsum und finanzielle Einschränkungen verursacht werden. Nachhaltigkeit gewinnt in diesem Kontext zunehmend an Bedeutung, um die Zukunftsfähigkeit der Betriebe zu sichern [1]. Der Weincampus Neustadt untersucht im Projekt "Nachhaltiger Wein Baden-Württemberg" die Definition, Kommunikation und Wahrnehmung von Nachhaltigkeit in der Vermarktung von Wein. Die Forschung zeigt, dass Nachhaltigkeit für Erzeuger und Verbraucher oft unklar bleibt, aber dennoch entscheidend für Kaufentscheidungen ist. Gesellschaftliche Trends hin zu bewussterem Konsum und eine höhere Sensibilität für ökologische und soziale Verantwortung bieten Chancen für nachhaltige Weinproduktion [2]. Wir können zeigen, dass Frauen und junge Menschen besonders positiv auf nachhaltige Weine reagieren und bereit sind, einen Mehrpreis zu zahlen. Visuelle Gestaltung und glaubwürdige Zertifizierungen auf Etiketten erhöhen die Wahrnehmung von Nachhaltigkeit. Die sich aus den Erkenntnissen der Experimente ergebenden Handlungsempfehlungen umfassen eine klare Kommunikation der Nachhaltigkeitsstrategien, zielgruppenspezifisches Marketing und die Einführung klimaangepasster Rebsorten. Durch eine effektive Nachhaltigkeitskommunikation können Weinproduzenten nicht nur ökologische und soziale Vorteile erzielen, sondern auch wirtschaftlich erfolgreich sein.

**Schlüsselwörter:** Nachhaltigkeit, Weinmarkt, Klimawandel, Konsumverhalten, Marketing

## 1. Einleitung

Der Weinmarkt steht vor zahlreichen Herausforderungen, die durch politische Auflagen, den Klimawandel, generationale Probleme in der Landwirtschaft, gesellschaftliche Trends hin zu reduziertem Alkoholkonsum und eine geringere monetäre Verfügbarkeit für nicht lebensnotwendige Produkte entstehen. In diesem Kontext gewinnt das Thema Nachhaltigkeit zunehmend an Bedeutung, um die zukunftsfähige Existenz der Betriebe zu sichern. Politische Auflagen zielen darauf ab, den ökologischen Fußabdruck der gesamten Landwirtschaft zu verringern. Diese Regularien betreffen auch den Weinbau, der sich an zunehmend strenge Auflagen anpassen muss. Der Klimawandel stellt eine weitere immense Herausforderung dar: Extremwetterereignisse, steigende Temperaturen und veränderte Niederschlagsmuster zwingen Winzer, ihre Anbaumethoden zu überdenken und anzupassen. Nachhaltigkeitsstrategien, die auf Biodiversität, Ressourcenschonung, zeitgemäße Verpackungsmöglichkeiten und klimaadaptierte Rebsorten setzen, sind daher von zentraler Bedeutung [3].

Das Projekt "Nachhaltiger Wein Baden-Württemberg" hat untersucht, wie Nachhaltigkeit im Weinbau definiert, kommuniziert und wahrgenommen wird. Dabei zeigt sich, dass Nachhaltigkeit zwar ein

wichtiges, aber für Erzeuger und Kunden wenig klar definiertes Konzept im Weinbereich ist; allerdings wird eine präzise und eindeutige Optik benötigt, um die Kaufentscheidungen der Verbraucher zu beeinflussen.

## 2. Gesellschaftliche Entwicklungen und Konsumverhalten

---

Gesellschaftliche Trends zeigen eine Verschiebung hin zu einem bewussteren Konsumverhalten: Der Konsum von Alkohol nimmt ab, und Verbraucher legen mehr Wert auf Produkte, die ökologisch und sozial verantwortlich hergestellt werden. Diese Entwicklung eröffnet Chancen für Weinproduzenten, die Nachhaltigkeit als Verkaufsargument nutzen möchten. Allerdings zeigt die aktuelle Forschung, dass das Konzept der Nachhaltigkeit im Weinbereich oft wenig klar definiert ist und trotz vielversprechender Wirkung für Verbraucher schwer erkennbar bleibt [3,4].

## 3. Die Herausforderung der Nachhaltigkeit am Weinmarkt

---

Die Forschung im Rahmen des Projekts "Nachhaltiger Wein Baden-Württemberg" hat jene Themen herausgearbeitet, die in Bezug auf Nachhaltigkeit für bestimmte Zielgruppen besonders wichtig sind. Die Unklarheiten bzgl. Nachhaltigkeit im Weinbereich erschweren den Kunden den gezielten Kauf nachhaltiger Produkte im Weinbereich erheblich: Die Erzeuger wissen nicht, welche ihrer (vielfältigen) Maßnahmen wie beworben werden sollten und die Weinkunden wissen nicht wofür Nachhaltigkeit im Weinbereich steht und wie sie ein solches Produkt erkennen können. Frauen reagieren sensibler auf nachhaltige Produktionsthemen als Männer, und junge Menschen lassen sich gut mit nachhaltigen Argumenten ansprechen. Die große Schwierigkeit bleibt die wirksame Darstellung von Nachhaltigkeit am Weinregal [4].

## 4. Visuelle Gestaltung und Wahrnehmung von Nachhaltigkeit

---

Der Weineinkauf findet entweder mit oder (meist) ohne Beratung statt. Zahlreiche Studien belegen, dass Etiketten der Entscheidungsgrund für den Weineinkauf am Regal sind bzw. das Design auch die Erwartung an die Weinqualität definiert [5]. Am Weinregal ist der Verbraucher oft von der Vielfalt des Angebots überfordert. Eine wirksame Gestaltung, die den nachhaltigen Anschein erzeugt, und ein glaubwürdiger Beleg auf der Flasche, der dies bestätigt, sind daher entscheidend. In einer nationalen Sichtung nachhaltiger Weine wurden Designklassen identifiziert, die auf ihre Wirksamkeit in der Wahrnehmung als nachhaltiges Produkt getestet wurden.

Die Ergebnisse zeigen, dass eine biodiverse Gestaltung des Etiketts mit Pflanzen oder Insekten die höchste Wahrnehmung für das Thema Nachhaltigkeit erzeugt. Besonders wirkungsvoll sind Ausstattungselemente wie Logos von Zertifizierern (z.B. Fair'n Green, FairChoice oder Bioland) und ein konkretes Wording des Erzeugers zu seinen nachhaltigen Maßnahmen. Frauen haben insgesamt ein höheres Interesse an nachhaltigen Produkten und sind auch bereit, einen Mehrpreis zu zahlen. Auch junge

Leute zeigen eine Preisbereitschaft für eine nachhaltige Erzeugung. In einem Weinproben-Experiment konnte gezeigt werden, dass eine wirksame Nachhaltigkeits-Story die Wahrnehmung eines Weines hinsichtlich Qualitätsstufe, persönlicher Präferenz des Teilnehmers und Preis durchweg positiv erhöht.

## 5. Zielgruppen und ihre Präferenzen

---

Junge Leute und Frauen sind offen für nachhaltige Weine. Frauen mit Weinerfahrung sind eher bereit, neue Rebsorten mit klimawandelangepassten Eigenschaften zu probieren als Männer. Junge Menschen sind in ihrer Auswahl von Rebsorten weniger festgelegt und bevorzugen eher Markennamen als spezifische Rebsorten. Diese Erkenntnisse bieten wertvolle Hinweise für die Gestaltung von Marketingstrategien und Produktpräsentationen. Die Erkenntnisse aus den ersten beiden Projektjahren floss in die Gestaltung der „Meine Kostbarkeiten“- Linie von Weinland Baden ein. Die exklusive Globus-Linie wird im Verkauf mittels einer Einkaufszettelanalyse, einer Befragung am POS und Fokusgruppen- Diskussionsrunden durch die Forschungsgruppe begleitet.

## 6. Handlungsempfehlungen an die Praxis

---

Es ist klar, dass Nachhaltigkeit ein zentraler Wert im modernen Weinbau ist, der jedoch klarer kommuniziert und sichtbarer gemacht werden muss. Im Rahmen des Projekts wurden die Kommunikation der Praxispartner untersucht und Handlungsanreize formuliert:

1. Nachhaltigkeit klar definieren und kommunizieren: Es ist wichtig, Nachhaltigkeitsstrategien und - Maßnahmen transparent zu machen. Dies kann durch detaillierte Informationen auf dem Rückenetikett oder durch die Nutzung bekannter Zertifizierungssiegel geschehen. Um eine klare Positionierung über Nachhaltigkeit zu gewähren, muss der gesamte Betrieb auf die für ihn definierten Werte hin ausgerichtet werden und sich dies auch im Auftritt nach Außen widerspiegeln.

2. Visuelle Gestaltung optimieren: Eine biodiverse Gestaltung des Etiketts, die Pflanzen oder Insekten darstellt, kann die Wahrnehmung von Nachhaltigkeit eines Weines erhöhen. Diese visuelle Kommunikation sollte durch konkrete Nachhaltigkeitsaussagen unterstützt werden.

3. Zielgruppen spezifisch ansprechen: Frauen und junge Menschen sind besonders empfänglich für nachhaltige Produkte. Marketingstrategien sollten daher gezielt diese Gruppen ansprechen und ihre Präferenzen berücksichtigen.

4. Neue Rebsorten einführen und kommunizieren: Der Anbau klimaangepasster, gesünderer Rebsorten (Piwi= pilzwiderstandsfähige Rebsorten) ist eine der großen Stellschrauben, um eine nachhaltigere Ausrichtung zu erwirken. Da Frauen mit Weinerfahrung und junge Menschen offen für neue, klimaresistente Rebsorten sind, sollten diese vermehrt in den Anbau und die Vermarktung einbezogen werden. Hierbei ist die richtige Kommunikation der Eigenschaften der Weine von großer Bedeutung.

## 7. Der Wert der Nachhaltigkeit

---

Es gibt zahlreiche Ansätze zur Nachhaltigkeit im Weinbereich. Am Weincampus Neustadt werden viele Projekte realisiert, die sich direkt oder indirekt um Nachhaltigkeit drehen. Produzenten initiieren

vielfältige Projekte und treiben ihre Nachhaltigkeit ambitioniert voran, oft motiviert durch eigene Überzeugungen und aus intrinsischen Motiven, die in ihrer Tradition und Geschichte begründet liegen. Das Projekt entwickelt ein Tool zur Selbstevaluierung und Weiterentwicklung der eigenen Nachhaltigkeit. Wein-Produzenten erkennen den Wert der Nachhaltigkeit für die Weinbranche, sind jedoch unsicher in der Kommunikation. Diese Unsicherheit spiegelt sich auch bei den Konsumenten wider, obwohl Nachhaltigkeit ein wichtiges Kriterium für sie ist. Besonders zukünftige Weinkunden legen großen Wert auf nachhaltige Produktionsmethoden.

Durch eine gut kommunizierte nachhaltige Positionierung können Weinproduzenten nicht nur den aktuellen Herausforderungen am Weinmarkt besser begegnen, sondern auch einen wichtigen Beitrag zur nachhaltigen Entwicklung der gesamten Branche leisten. Nachhaltigkeit im Weinbau bietet somit nicht nur ökologische und soziale Vorteile, sondern kann auch wirtschaftlich erfolgreich sein, wenn sie richtig kommuniziert und umgesetzt wird.

Der Wert der Nachhaltigkeit definiert sich dadurch, dass durch eine funktionierende Nachhaltigkeits-Kommunikation

- Weine als qualitativ höherwertig wahrgenommen werden
- Weine eher präferiert werden (vor allem von Frauen)
- Weine in höhere Preisklassen eingestuft werden (vor allem von Frauen und jungen Leuten)
- Neue Zielgruppen angesprochen werden (Junge Menschen)
- Bewusstsein für die zukunftsfähige Ausrichtung der Weinbranche geschaffen wird
- Neue Rebsorten mit nachhaltigeren Anbau-Eigenschaften am emotionalen, traditionellen Weinmarkt etabliert werden

## Literatur

---

[1] Dressler, M. SUSTAINABLE ENTREPRENEURSHIP; A GUIDE TO STRATEGIC BUSINESS MANAGEMENT FOR FOR SMALL ENTREPRENEURS IN THE WINE INDUSTRY AND BEYOND: A guide to strategic business management for for small entrepreneurs in the wine industry and beyond; UVK Verlagsgesellschaft M: [S.I.], 2024.

[2] Kiefer, C.; Szolnoki, G. Consumer preferences for fungus-resistant grape varieties: an explorative segmentation study in Germany. *British Food Journal* 2024.

[3] Ordóñez de Pablos, P., Marco-Lajara, B., Gilinsky, A., Martínez-Falcó, J., Sánchez-García, E., Eds.: *Handbook of Research on Sustainability Challenges in the Wine Industry. Advances in Business Strategy and Competitive Advantage*; IGI Global: 2023.

[4] Pomarici, E.; Vecchio, R. Will sustainability shape the future wine market? *Wine Economics and Policy* 2019, 8 (1) 1–4. Statistik\_2023\_2024-V1. [https://www.deutscheweine.de/fileadmin/DWI/News\\_Medien/Publikationen/Deutscher\\_Wein\\_Statistik/Statistik\\_2023\\_2024-V1.pdf](https://www.deutscheweine.de/fileadmin/DWI/News_Medien/Publikationen/Deutscher_Wein_Statistik/Statistik_2023_2024-V1.pdf) (accessed Apr 26, 2024).

[5] Usai, R. Diese Trends verändern den Weinverkauf Klasse statt Masse: Überlebensstrategien für Händler und Winzer. wein.plus, Dec 22, 2021 <https://magazin.wein.plus/diese-trends-veraendern-den-weinverkauf-klasse-statt-masse-ueberlebensstrategien-fuer-haendler-und-winzer> (accessed May 21, 2024).

Autorenhinweise:

---

**Prof. Dr. Marc Dressler**

Weincampus Neustadt

Marc.dressler@hwg-lu.de

---

**Sandra Morsch**

Weincampus Neustadt

Sandra.morsch@hwg-lu.de

---



**INFORMATIK**

---

# Human-Computer Interaction in Control Rooms: Smartphone, Smartwatch, Smart Control Room?

---

Nadine Flegel, Jonas Pöhler, Kristof Van Laerhoven, Tilo Mentler

## Abstract

Control rooms are of central importance for the well-being and safety of people. In various areas (e.g. emergency services, energy control rooms or air traffic control), operators process a large number of alarms and make decisions in a very short space of time. While pervasive technologies (e.g. wearables, smart home solutions) are increasingly becoming part of private life, state-of-the-art control rooms are characterised by seated work at numerous screens operated with a mouse and keyboard in terms of human-computer interaction (HCI). Well-being, individual needs of the operators and their collaboration are hardly supported proactively by technical solutions. Integrating mobile devices, wearables, and sensor technologies could enhance current operations by transforming control rooms into pervasive computing environments that are aware of people and processes. Within our research we focus on a systematic approach that consider usability and user experience. We propose a root concept for human-centered pervasive computing control rooms and introduce a framework for developing a wearable assistant as one of the central and novel components.

**Keywords:** *Control Room, Human-Computer Interaction, Pervasive Computing, Safety-Critical Systems, User Experience*

## 1. Introduction

---

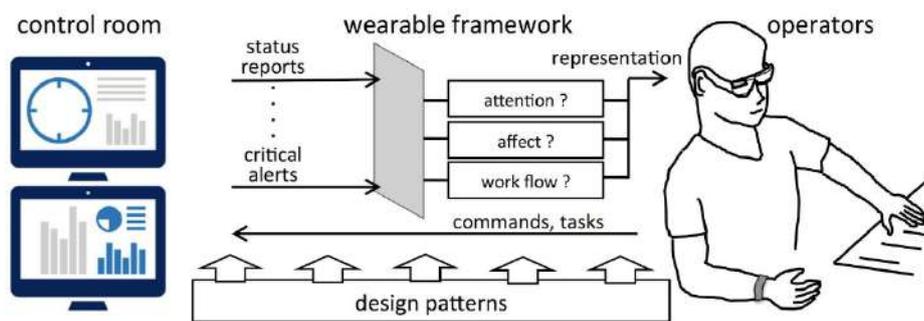
In collaboration with colleagues from the University of Siegen, scientists at Trier University of Applied Sciences are researching how digital technologies can support and relieve operators in control rooms. The PervaSafe Computing project is funded by the German Research Foundation and is part of the priority programme SPP2199. The first phase of the project ran from 2020 to 2023 and was extended by a second phase until 2026 (see section 3). The research objective is to develop a cross-domain pattern language for scalable interaction design in control rooms. This contains a collection of similar problems that occur in control rooms in a wide range of areas, for which solutions are being developed in the project. For example, the project is investigating how smartwatches can measure the individual stress level of operators and how their movements can be recorded to track work processes. This data could help to distribute the workload more evenly and react in adequate time to excessive workloads. As part of our research, we work closely with operators from control rooms in Rhineland-Palatinate, Germany and Luxembourg. One of the central questions of our research is acceptance. The question arises as to whether operators regard technical solutions, such as a smartwatch as an assistant, as support or paternalism.

In the following, some of the key methods and results (see section 2) of our research are described, as well as the future work in our project.

## 2. Research

One major aim of our project is the development of a pattern language for scalable interaction design in control rooms and safety-critical environments with comparable characteristics. Following a root concept of human-centered pervasive computing environments [1], a collection of 83 design patterns was composed based on tasks, workflows and operators' needs with respect to individual and cooperative work in routine and emergency situations.

Within a wearable framework (see Figure 1), control room operators' cognitive load and affective state will be modelled on a user-worn computer and used to influence information flow to the operator. It also implements the design patterns. By integrating these models, the wearable assistant can respond more effectively to events by providing situation-tailored feedback, such as alarms and notifications.



**Figure 1. Overview of the wearable framework, and the way the design patterns affect and influence the selection of an operator, representation of information, and the choice of (micro-)interaction with the help of the individual models. [1]**

A cross-domain online-survey (emergency control rooms, energy control rooms, ship bridges) on digitalization in control rooms with operators of three selected control room domains (N=155) as well as interviews and workshops with control room experts, control room operators and researchers on HCI in safety-critical systems from different countries were conducted [1]. They revealed key differences in control rooms that are critical from an HCI perspective. The survey questions assessed demographic variables, current state of workplace digitization (including use of tablets, smartphones, IoT, etc.), evaluation of possible pervasive technology scenarios, and affinity for technology interaction [2]. In general, the results showed that control room operators have a quite high affinity for interacting with technology. Depending on the domain and scenario, control room operators can be open to pervasive technology, especially if autonomy is preserved.

User experience aspects in control rooms were investigated [3] with workshop groups of operators and participants of follow-up interviews from the survey, using an interaction vocabulary and a description of the respective group with terms that apply to an "ideal control room". Results suggest that

operators generally give higher weight to pragmatic quality, i.e. focused on aspects such as effectiveness and efficiency. However, physical space and working atmosphere were described with adjectives such as large, bright, tidy and quiet; followed by other adjectives with character traits that could also be attributed to a work colleague, such as competent, team player, and resilient. The phrase "high feel-good factor" sums up this broader claim.

Building on this work, our research will scale "beyond the control room" in a variety of ways (see section 3). This will lead to new insights in the design of scalable interaction paradigms.

### 3. Future Work

The second phase of our project started at the end of 2023. This will run until 2026 and focus on "Scaling Control Rooms From Places To Spaces of Control". We take Benyon's spaces of interaction [4] as a conceptual basis and, building on this, consider control rooms as spaces rather than places of control. Our prior work shows (see section 2) that technology affinity, especially toward personal wearables, is not a hurdle in enabling operators to stay involved in control tasks even when they are not physically present in control rooms. We specifically aim to qualify resulting opportunities and limitations by revising our pattern language on scalable interaction beyond the control room, performing an eye-tracking study and designing a primary control space display. As part of this project, we will again be working closely not only with operators from control rooms, but also with architects who design control rooms and manufacturers of control room systems.

### 4. Acknowledgements

The authors carried out this research as part of the PervaSafe Computing project, funded by the Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG, German Research Foundation) – 425868829 and part of Priority Program SPP2199 Scalable Interaction Paradigms for Pervasive Computing Environments.

### References

- [1] Flegel, N.; Poehler, J.; Van Laerhoven, K.; Mentler, T. Towards control rooms as human-centered pervasive computing environments. In *IFIP Conference on Human-Computer Interaction* (pp. 329-344). Cham: Springer International Publishing. August 2021. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-98388-8\\_29](https://doi.org/10.1007/978-3-030-98388-8_29)
- [2] Flegel, N.; Wessel, D.; Pöhler, J.; Van Laerhoven, K.; Mentler, T. Autonomy and Safety: A Quantitative Study with Control Room Operators on Affinity for Technology Interaction and Wish for Pervasive Computing Solutions. In *Extended Abstracts of the 2023 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems* (pp. 1-10). April 2023. <https://doi.org/10.1145/3544549.3585822>

[3] Flegel, N.; Pöhler, J.; Van Laerhoven, K.; & Mentler, T. 2022b. "I Want My Control Room To Be...": On the Aesthetics of Interaction in a Safety-Critical Working Environment. In *Proceedings of Mensch und Computer 2022* (pp. 488-492). <https://doi.org/10.1145/3543758.3547562>

[4] Benyon, D. (2014). *Spaces of interaction, places for experience*. *Synthesis Lectures on Human-Centered Information*, 7(2), 1-129. <https://doi.org/10.1007/978-3-031-02206-7>

[5] Flegel, N.; Van Laerhoven, K.; Mentler, T. 2022a. Scalable Human Computer Interaction in Control Rooms as Pervasive Computing Environments. In *Proceedings of the 33rd European Conference on Cognitive Ergonomics (ECCE '22)*. Association for Computing Machinery, New York, NY, USA, Article 32, 1–5. <https://doi.org/10.1145/3552327.3552351>

#### Author's note

---

**Nadine Flegel, M.Sc.**

Trier University of Applied Sciences

N.Flegel@hochschule-trier.de

---

**Jonas Pöhler, M.Sc.**

University of Siegen

jonas.poehler@uni-siegen.de

---

**Dr. Kristof Van Laerhoven**

University of Siegen

kvl@eti.uni-siegen.de

---

**Dr. Tilo Mentler**

Trier University of Applied Sciences

mentler@hochschule-trier.de

---

---

# ƒ is E, but not 3: Computerunterstützte Analyse früher schriftsprachlicher Fähigkeiten

---

Stefanie Jung, Rebekka Echternkamp

## Abstract

In der Logopädie/Sprachtherapie werden digitale Technologien als zeit- und ressourcensparende Anwendungen immer noch wenig genutzt. Mangelnde Ressourcen sind jedoch ein Hauptgrund dafür, dass sich geeignete Therapiemaßnahmen verzögern. In diesem Projekt untersuchen wir den Einsatz digitaler Technologien - sowohl bei der Datenerhebung als auch für die Datenanalyse - in der logopädischen Diagnostik des frühen Schriftspracherwerbs von 5- bis 6-jährigen Kindern mit und ohne Sprachentwicklungsstörung. Die logopädische Sprachdiagnostik erfolgt online per Videokonferenz. Zusätzlich dokumentieren die Eltern mit dem Smartphone zu Hause, wie sie ihre Kinder bei verschiedenen Schreibaufgaben begleiten. Die so erhobenen Daten werden mittels computerbasierter Speech-to-Text-(STT)-Methoden, automatischer Wort- und Stimmerkennung analysiert. Initial wurde eine Pilotstudie mit Kindern ohne Sprachentwicklungsstörung durchgeführt. Untersucht wurden Aufgaben zur Symbolkenntnis, zum Wortschatz, das Schreiben (d.h. Buchstaben, Zahlen und erste Wörter) sowie die Feinmotorik. Ziel war u.a. auch die Evaluation der Datenerhebung per Smartphone im häuslichen Umfeld. Die Ergebnisse der Pilotstudie zeigten, dass die Durchführung der Schreibaufgaben von den Familien gut zu bewältigen waren. Gleichzeitig deuten sie an, dass die STT-Modelle eine schnelle und zuverlässige Transkription ermöglichen, was ein Argument für deren Anwendbarkeit in der Logopädie/Sprachtherapie ist.

**Schlüsselbegriffe:** Früher Schriftspracherwerb, Symbolwissen, Sprachentwicklungsstörung, computerbasierte Sprachanalyse, Speech-To-Text

## 1. Theoretischer Hintergrund

---

Das Potenzial digitaler Technologien für eine moderne, zeit- und ressourcensparende Patient\*innenversorgung ist in vielen Gesundheitsbereichen noch nicht vollständig ausgeschöpft, auch nicht in der Logopädie/Sprachtherapie [1]. Dabei könnten computerbasierte Methoden die oft sehr umfangreiche Analyse von Sprech-, Sprach-, Schreib- und Kommunikationsprozessen erheblich effizienter gestalten. Die Eignung computergestützter Analyseverfahren für eine schnelle und zuverlässige Erkennung atypischer Sprachverarbeitungsprozesse wurde bereits bei Kindern mit Artikulationsstörungen [2] und Personen mit Alzheimer-Demenz [3] nachgewiesen. Diese Technologien sind jedoch auf große Datensätze und eine standardisierte Testumgebung angewiesen, welche bei logopädischen Therapieansätzen oft nicht vorliegt. Besonders herausfordernd ist die Datenerfassung in der häuslichen Umgebung des Kindes. Das häusliche Umfeld spielt eine zentrale Rolle bei der Entwicklung von Lese- und Schreibfähigkeiten und eignet sich gut für eine natürliche Untersuchung, ist jedoch kaum standardisierbar [4]. Inwieweit sich computerbasierte Analyseverfahren auch in diesen wenig standardisierten

Settings zur logopädischen Diagnostik eignen, ist bisher nicht erforscht. Ziel des Projekts ist es daher, typische und atypische Schreibprozesse bei Kindern mit und ohne Sprachentwicklungsstörungen (SES) in der häuslichen Umgebung der Familie per Videoaufnahme zu dokumentieren und diese anschließend möglichst automatisiert (z.B. mit STT, Wort- und Signalerkennung) auszuwerten. Initial wurde eine Pilotstudie an Kindern ohne SES durchgeführt, um Herausforderungen im Zusammenhang mit der Datenerhebung per Smartphone und im häuslichen Umfeld zu identifizieren und geeignete Modelle der automatischen Sprach-, Wort- und Stimmerkennung auszuwählen.

## 2. Methoden

---

### 2.1. Stichprobe und Vorgehen

---

An der Pilotstudie nahmen insgesamt  $N = 52$  monolingual deutschsprachige Kinder (27 Mädchen und 25 Jungen:  $M = 5,8$  Jahre,  $SD = 0,5$  Jahre) mit typischer Sprachentwicklung teil. Der Studienteilnahme ging eine individuelle Aufklärung und schriftliche Einwilligung der Eltern voraus. Von allen Kindern wurde zusätzlich die mündliche Zustimmung zur Teilnahme eingeholt. Dieses Vorgehen wurde von der lokalen Ethikkommission genehmigt (LEK 2021/10). Die Studienmaterialien wurden per Post zusammen mit einem Rücksende-Etikett verschickt. Zur Studiendurchführung hatten die teilnehmenden Familien insgesamt zwei Wochen Zeit. Mit den Aufgaben erhielten die Eltern konkrete Anweisungen zur Durchführung, inklusive einer Anleitung zur Dokumentation per Smartphone, bei der die Eltern instruiert wurden, möglichst nur die Hände ihrer Kinder zu filmen. Der Upload der erstellten Videos erfolgte über einen individuellen Link auf einen datenschutzkonformen Institutsserver. Die Videos wurden dann auf einer passwortgeschützten Datenbank gesichert. Abschließend füllten die Eltern einen Onlinefragebogen aus, der ihre Beobachtungen und mögliche Schwierigkeiten bei der Durchführung erfasste.

### 2.2. Aufgaben und Datenanalyse

---

Es wurden elf Aufgaben zu drei Bereichen durchgeführt, wobei i) stets mit einer sog. Mitlesegeschichte begonnen wurde. In dieser wurden die Zielwörter für die weiterführenden Aufgaben eingeführt. Alle ii) Schreibaufgaben (z.B. Schreiben von Buchstaben [E], Wörtern [Ei], Ziffern [8] und Zahlen [18]) wurden sowohl handschriftlich als auch mit der Computertastatur erhoben. In iii) den Kontrollaufgaben wurden u.a. die Feinmotorik, die phonologische Bewusstheit, der Wortschatz und das Zahlenwissen der Kinder erfasst. Der Fokus der Datenanalyse lag sowohl auf der Beobachtung bekannter sprachlicher Phänomene in der frühkindlichen Schriftsprachentwicklung als auch auf der automatisierten Sprachanalyse mit Python. Im Rahmen der Vorverarbeitung wurden die Audiospuren von den Videoaufnahmen mit der Python-Bibliothek MoviePy getrennt. Für die Umwandlung von STT wurden Open-Source-Modelle eingesetzt (z.B. Whisper-large, Whisper-tiny von openai) und auf ihre Transkriptionsgenauigkeit evaluiert. Die Evaluation umfasste einen Abgleich mit der manuellen Transkription der Videos mittels MAXQDA. Die Transkription ist noch nicht abgeschlossen, sodass das finale Ergebnis noch aussteht.

### 3. Ergebnisse

Insgesamt wurden  $n = 46$  vollständige Datensätze (24 Mädchen und 22 Jungen:  $M = 5,2$  Jahre,  $SD = 0,45$  Jahre) analysiert. Tabelle 1 zeigt die beobachteten typischen Phänomene der Schriftsprachentwicklung.

Phänomen	Stimulus	Realisation
Lautgetreues Schreiben	Pfeffer	FÄFA
Elision bzw. Addition	Pilz bzw. Mehl	PLS bzw. MEHEL
Substitution (Ersetzung)	Hefe	HEXE
Spiegelschrift	E oder S	Ǝ oder Ƨ

**Tabelle 1. Frühkindliche Phänomene der Schriftsprachentwicklung**

Die verwendeten Bibliotheken erwiesen sich für die Vorverarbeitung der Video- und Audiodaten als erfolgreich. Derzeit erfolgt die Evaluation der Transkriptionen durch einen Vergleich der automatisch und manuell erstellten Transkripte. Erste Ergebnisse zeigen, dass die SST-Methoden deutlich schnellere Bearbeitungszeiten und eine gute Konsistenz bieten. Die Fragebogenergebnisse dokumentieren, dass die Durchführung für viele Familien gut möglich war (siehe Tabelle 2).

Aufwand der Studie	MW (SD)
Ich empfand den Aufwand für die Studie als zu viel.	2,83 (1,12)
Ich habe länger für die Studie gebraucht als geplant.	2,73 (1,29)
Ich hatte den Eindruck, die Aufgaben waren meinem Kind zu lang.	2,57 (1,16)
Ich empfand die Zeit für die Studie als ausreichend.	3,80 (1,05)
Ich konnte die Studie gut in den Familienalltag einbauen.	3,64 (1,05)

**Tabelle 2. Auszug aus dem Onlinefragebogen der Eltern zur Durchführung der Pilotstudie**

Anm.: Es wurde eine 5-stufige Likert-Skala verwendet (1: stimme gar nicht zu, 3: weder noch, 5: stimme voll zu)

### Diskussion

Das Projekt verdeutlicht die Möglichkeiten digitaler Technologien für die Logopädie/Sprachtherapie. Zum einen dokumentiert die Pilotstudie die erfolgreiche Umsetzung von Smartphone-basierter Erfassung früher schriftsprachlicher Fähigkeiten im häuslichen Umfeld und die Einbindung der Eltern in den Diagnostikprozess durch technologiegestützte Ansätze. Dies fördert eine partizipative und ressourcenorientierte Gesundheitsversorgung, die Eltern als wichtige Partner anerkennt. Zum anderen erscheinen die verwendeten Modelle zur Sprachanalyse vielversprechend für die computerbasierte Analyse kindlicher Sprache, da sie eine schnelle und konsistente Transkription - auch in nicht-standardisierten Untersuchungssituationen - bieten. Insgesamt verdeutlicht das Projekt das Potenzial digitaler Technologien in der modernen logopädischen Forschung und Praxis.

## Literatur

---

- [1] Leinweber, J.; Alber, B.; Barthel, M.; Whillier, A. S.; Wittmar, S.; Borgetto, B.; Starke, A. Technology Use in Speech and Language Therapy: Digital Participation Succeeds through Acceptance and Use of Technology. *Front. Commun.* 2023, 8, 1176827. DOI: 10.3389/fcomm.2023.1176827
- [2] Suthar, K.; Yousefi Zowj, F.; Speights Atkins, M.; He, Q. P. Feature Engineering and Machine Learning for Computer-Assisted Screening of Children with Speech Disorders. *PLOS Digit. Health* 2022, 1, e0000041. DOI: 10.1371/journal.pdig.0000041
- [3] Clarke, N.; Barrick, T. R.; Garrard, P. A Comparison of Connected Speech Tasks for Detecting Early Alzheimer's Disease and Mild Cognitive Impairment Using Natural Language Processing and Machine Learning. *Front. Comput. Sci.* 2021, 3, 1–12. DOI: 10.3389/fcomp.2021.634360
- [4] Lukie, I. K.; Skwarchuk, S.-L.; LeFevre, J.-A.; Sowinski, C. The Role of Child Interests and Collaborative Parent-Child Interactions in Fostering Numeracy and Literacy Development in Canadian Homes. *Early Child. Educ. J.* 2014, 42 (4), 251–259. DOI: 10.1007/s10643-013-0604-7

## Autorenhinweise

---

**Prof. Dr. Stefanie Jung**

Hochschule Trier

s.jung@hochschule-trier.de

---

**Rebekka Echternkamp (M.A.)**

Hochschule Trier

r.echternkamp@hochschule-trier.de

---



**LIFE SCIENCES**

---

# Oenologische Strategien bei *Botrytis* belastetem Lesegut

---

Louis Backmann, Caroline Dietzel, Pascal Wegmann-Herr, Andreas Jürgens, Maren Scharfenberger-Schmeer

## Abstract

Infektionen von *Botrytis cinerea* an Trauben haben eine enorme Auswirkung auf den Ertrag und Qualität der Ernte. Eine *B. cinerea*-Infektion ist von den Witterungsbedingungen abhängig und in verschiedenen Jahrgängen sehr unterschiedlich. Die Häufigkeit und Schwere von *B. cinerea*-Infektionen in Deutschland wird durch die vom Klimawandel veränderten Witterungsbedingungen und das Auftreten neuer Erregerstämme zunehmen. Die gängigen oenologischen Verfahren zur Behandlung von *Botrytis* in Bezug auf die Weinqualität haben sich als unwirksam erwiesen und müssen überdacht werden. In einem Teilprojekt wurde hierzu belastetes Lesegut mithilfe der Flashpasteurisierung bei verschiedenen Temperaturen und Haltezeiten behandelt, zu Weinen ausgebaut und sowohl sensorisch als auch chemisch mittels GC-MS analysiert. Als Vergleich diente eine Kontrolle. Mittels GC konnte gezeigt werden, dass die getesteten Aromastoffe bis auf 1-Octen-3-ol im Wein abgebaut werden. Zwischen den Behandlungsvarianten konnte keine signifikante Reduzierung der Fehl aromatik festgestellt werden. Die sensorischen Ergebnisse zeigen allerdings, dass die Flashpasteurisierung auch bei geringerer Hitze und Haltezeiten zu einer Verringerung der Wahrnehmung von *Botrytis* bedingten Fehlnoten führt. Eine potentiell unerwünschte Aromatik durch Maillard Reaktion konnte nicht festgestellt werden, allerdings wurde eine verstärkte Wahrnehmung von Citrus Noten beschrieben. Insgesamt birgt die Flashpasteurisierung das Potential, als Behandlungsmethode gegen *Botrytis* eingesetzt zu werden.

**Schlüsselbegriffe:** *Botrytis cinerea*, Flashpasteurisierung, Sensorik, GC-MS

## 1. Einleitung

---

*Botrytis* spp. sind einige der bekanntesten Schadorganismen, welche über 596 Pflanzengattungen und über 1400 Pflanzenspezies infizieren [1]. Darunter ist *Botrytis cinerea*, welcher nach aktuellem Stand über 586 Pflanzenspezies infizieren kann. Durch die Infektion mit *B. cinerea* werden jährlich zwischen \$10 - \$100 Milliarden Dollar an ökonomischen Verlusten verzeichnet [2]. In Bezug auf Trauben (*Vitis vinifera*) findet die Infektion über verletztes Beerenmaterial während der Entwicklung der Traube statt. Der Prozess ist latent und während der Entwicklung der Traube unauffällig. Erst zu einem späteren Reifezeitpunkt der Beere treten sichtbare Infektionen auf, die zu einer schnellen Verrottung in kürzester Zeit führen können [3]. Der Infektionsprozess ist durch die Produktion von Laccase möglich [4,5]. Durch die Laccase kommt es zu Braunverfärbungen von Most und Wein sowie Instabilität des Weines [6]. Geschmacks- und Geruchsveränderungen wie Geosmin oder 1-Octen-3-ol [7,8] können die Weinqualität bereits ab einem Schadbefall von 5 % *Botrytis* infizierter Beeren beeinflussen [9]. Die entstehenden Aromen sind Erd- und Pilznoten. Eine mögliche Behandlung der Weine ist der Einsatz

von Bentonit, Aktivkohle oder oenologischen Tanninen. Eine Infektion mit *B. cinerea* ist stark witterungsabhängig und von Jahr zu Jahr unterschiedlich. Die Häufigkeit und Schwere der Infektionen in Deutschland wird durch den Klimawandel weiter erschwert. Die Witterungsbedingungen werden schlecht vorhersehbar und Extremwetterereignisse sorgen für die Entwicklung neuer Erregerstämme, die sich durch Bildung aggressiverer Stämme den Bedingungen anpassen. Schon jetzt haben sich gängige oenologische Behandlungen gegen das Pathogen als unwirksam beziehungsweise nicht ausreichend erwiesen und müssen überdacht werden.

Das Ziel dieses Teilprojektes ist es, geeignete oenologische Behandlungsmaßnahmen *gegen B. cinerea* zu überprüfen. Hierzu wurde die Flashpasteurisierung als Methode überprüft. Bei der Flashpasteurisierung werden Enzymaktivitäten, z.B. die Laccase durch kurzzeitige Hoherhitzung inaktiviert und eine Verschlechterung des Aromaprofils reduziert.

## 2. Methoden

---

### 2.1. Flashpasteurisierung

---

Um den Einfluss von der Flashpasteurisierung auf *Botrytis* infiziertes Lesegut zu überprüfen, wurden Trauben der Rebsorte Spätburgunder verwendet. Die Trauben wurden nach einer *Botrytis* Bonitur bei einem Befallsgrad von ca. 40 % geerntet. Das Traubenmaterial wurde bei verschiedenen Temperaturen und Haltezeiten mittels Flashpasteurisierung behandelt und zu Rosé-Weinen ausgebaut. Dabei wurde jede einzelne Variante in 25L Gärballons in 2-facher Wiederholung ausgebaut. Der Erfolg der Gärung wurde mittels Biegeschwinger ermittelt.

### 2.2. Sensorik

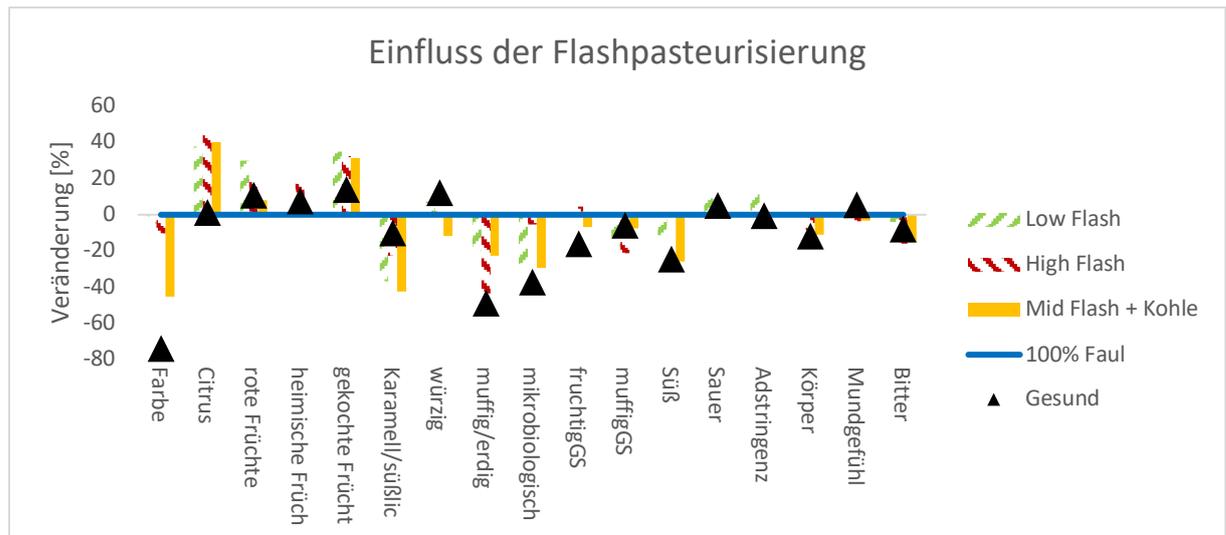
---

Für die sensorische Auswertung wurden bestimmte Varianten ausgewählt. Die gewählten Varianten waren: Kontrolle ohne *Botrytis*, Kontrolle mit *Botrytis*, Flash 70 °C/30 sek („Low Flash“), Flash 80 °C/90 sek. („High Flash“) und 75 °C/ 60 sek. („Mid Flash + Kohle“). Die Varianten wurden von einem zuvor trainierten Panel mittels deskriptiver Analyse ausgewertet. Dabei wurden die Farbe, Geruch (Citrus, rote Früchte, heimische Früchte, gekochte Früchte, karamell/süßlich, würzig, muffig/erdig und mikrobiologisch) sowie der Geschmack (fruchtigGS, muffigGS, süß, sauer, Adstringenz, Körper, Mundgefühl und bitter) auf einer hedonischen Skala von 1 bis 10 bewertet.

## 3. Ergebnisse und Diskussion

---

Die Ergebnisse zeigen bei einigen Attributen signifikante Unterschiede zwischen den Varianten (Citrus, karamell/süßlich, muffig/erdig, mikrobiologisch und süß (Geschmack). Vergleicht man die erhaltenen Ergebnisse direkt mit der gesunden Kontrolle bzw. der faulen Kontrolle, kann eine Übersicht des „Behandlungserfolges“ abgeschätzt werden (Abbildung 2).



**Abbildung 2. Ergebnisse der Flashpasteurisierung in Bezug auf die Veränderung der Weinaromatik. Die Veränderung wurde prozentual, ausgehend von der faulen Kontrolle (blaue Linie) in Bezug auf die gesunde Kontrolle (schwarze Dreiecke) aufgetragen.**

Die Ergebnisse zeigen, dass die verschiedenen Behandlungsmaßnahmen einen positiven Einfluss auf die Weinaromatik hinsichtlich typischer *Botrytis* Fehleraromen haben. Der muffig/erdige, mikrobiologische Geruch sowie der muffige Geschmack wurden durch die Behandlung verringert. Zusätzlich ist eine verstärkte Wahrnehmung der Geruchsattribute Citrus, rote Früchte sowie gekochte Frucht bemerkbar. Allerdings ist von diesen Attributen nur Citrus signifikant unterschiedlich zwischen den Proben. Es konnte ebenfalls keine Verschlechterung der Weinaromatik hinsichtlich Maillard Reaktion beobachtet werden. Die Flashpasteurisierung hat sowohl bei niedrigen Temperaturen und geringen Haltezeiten als auch bei hohen Temperaturen und Haltezeiten einen ähnlichen Effekt auf die Weinaromatik. Die Verwendung von niedrigen Temperaturen und Haltezeiten spart Zeit und reduziert die Kosten der Behandlungsmethode. Allgemein konnten die Ergebnisse zeigen, dass die Flashpasteurisierung eine geeignete Methode für die Behandlung von *Botrytis* belastetem Lesegut sein kann.

## Literatur

- [1] Elad, Y.; Pertot, I.; Cotes Prado, A.M.; Stewart, A. Plant Hosts of *Botrytis* spp. In *Botrytis—The Fungus, the Pathogen and Its Management in Agricultural Systems*, 1st ed.; Fillinger, S., Elad, Y., Eds.; Springer: Berlin/Heidelberg, Germany, 2016; Volume 1, pp. 413–486.
- [2] Poveda, J.; Barquero, M.; Gonzáles-Andrés, F. Insight into the Microbiological Control Strategies against *Botrytis cinerea* Using Systemic Plant Resistance Activation. *Agronomy* 2020, 10, 1822.
- [3] Williamson, B.; Tudzynski, B.; Tudzynski, P.; Van Kan, J.A.L. *Botrytis cinerea*: The cause of grey mould disease. *Mol. Plant Pathol.* 2007, 8, 561–580.
- [4] Armijo, G.; Schlechter, R.; Agurto, M.; Munos, D.; Nunez, C.; Arce-Johnson, P. Grapevine Pathogenic Microorganisms: Understanding Infection Strategies and Host Response Scenarios. *Front. Plant Sci.* 2016, 7, 382.

- [5] Thurston, C.F. The structure and function of fungal laccases. *Microbiology* 1994, 140, 19–26.
- [6] Vignault, A.; Pascual, O.; Jourdes, M.; Moine, V.; Fermaud, M.; Roudet, J.; Canals, J.M.; Teissedre, P.-L.; Zamora, F. Impact of enological tannins on laccase activity. *Oeno One* 2019, 53, 27–38.
- [7] La Guerche, S.; Chamont, S.; Blancard, D.; Dubourdieu, D.; Darriet, P. Origin of (-)-geosmin on grapes: On the complementary action of two fungi, *Botrytis cinerea* and *Penicillium expansum*. *Antonie Van Leeuwenhoek* 2005, 88, 131–139.
- [8] La Guerche, S.; De Senneville, L.; Blancard, D. Impact of the *Botrytis cinerea* strain and metabolism on (-)-geosmin production by *Penicillium expansum* in grape juice. *Antonie Van Leeuwenhoek* 2007, 92, 331–341.
- [9] Ky, I.; Lorrain, B.; Jourdes, M.; Pasquier, G.; Fermaud, M.; Gény, L.; Rey, P.; Doneche, B.; Teissedre, P.-L. Assessment of grey mould (*Botrytis cinerea*) impact on phenolic and sensory quality of Bordeaux grapes, musts and wines for two consecutive vintages. *Aust. J. Agric. Res.* 2012, 18, 215–226.

*Dieses IGF-Vorhaben des Forschungskreises der Ernährungsindustrie e. V. (FEI) wird/wurde im Rahmen des Programms zur Förderung der Industriellen Gemeinschaftsforschung (IGF) vom Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages gefördert.*

## Autorenhinweise

---

**Louis Backmann**

Institut für Weinbau und Oenologie

[louis.backmann@dlr.rlp.de](mailto:louis.backmann@dlr.rlp.de)

---

---

# TrichoScreen: Das kleinste bekannte Tier als neuartige Hochdurchsatzplattform zur Aufklärung komplexer organismischer Reaktionen auf Umwelteinflüsse

---

Daron Hakimian<sup>\*,1</sup>, Paula Heddenhausen<sup>\*,1</sup>, Florian Heigwer<sup>†,1,2</sup>

## Abstract

Das Verständnis komplexer genetischer Wechselwirkungen mit Klimaveränderungen und Umweltverschmutzungen und deren Auswirkungen auf die Gesundheit ist eine der bedeutendsten Herausforderung unserer Zeit. Studien, die sich damit beschäftigen, werden durch das gezielte Stören von Modellorganismen verwirklicht. Dabei werden Organismen solchen Störfaktoren ausgesetzt und die Auswirkungen der Veränderungen erforscht. Aufgrund der komplexen Natur von Lebewesen sind Forschungsstudien, die ganze Organismen einbeziehen, durch zeitaufwändige Laborpraktiken eingeschränkt. Darunter zählt die lange Kultivierungsdauer der Organismen, bis diese für eine Studie eingesetzt werden können, die komplexe Aufbereitung der Organismen zur Erfassung der Auswirkung der Störfaktoren und die Untersuchung eines einzelnen Störfaktors pro Organismus, was die systematische Bewertung von veränderten Umweltbedingungen stark verlangsamt. Trotz zeitintensiver Praktiken liefern im Labor verwendete Modellorganismen repräsentative in vivo Ergebnisse, die eine aussagekräftige Schlussfolgerung zulassen. Im Gegensatz dazu können in Einzelzellkulturen ganze Bibliotheken von Störfaktoren im Hochdurchsatz-Ansatz parallel getestet werden und liefern aufschlussreiche in vitro Resultate. Diese sind jedoch verglichen mit den in vivo Ergebnissen ganzer Organismen nur bedingt repräsentativ. Um das Beste aus beiden Ansätzen zu vereinen, stellen wir hier eine neue Plattform vor, welche in vivo Resultate aus *Trichoplax adhaerens* (*T. adhaerens*), dem kleinsten Tier der Welt, mit den zeitsparenden Hochdurchsatzmethoden der Einzelzellkultur kombiniert.

**Schlüsselbegriffe:** *Umweltanpassung, Trichoplax adhaerens, Hochdurchsatz-Screening-Plattform, Modellorganismus, Genregulation*

## 1. *Trichoplax adhaerens*

---

### 1.1. Warum *Trichoplax adhaerens*?

---

*T. adhaerens* ist ein transparenter, mariner Organismus der selten größer als ein Millimeter wird (Abbildung 1) [1]. Er ist weltweit in Gewässern bis zu einer Tiefe von 20 m aufzufinden und kann mit seiner basalen Position im Metazoen-Phylogenetischen Baum als kleinstes und einfachstes Tier

---

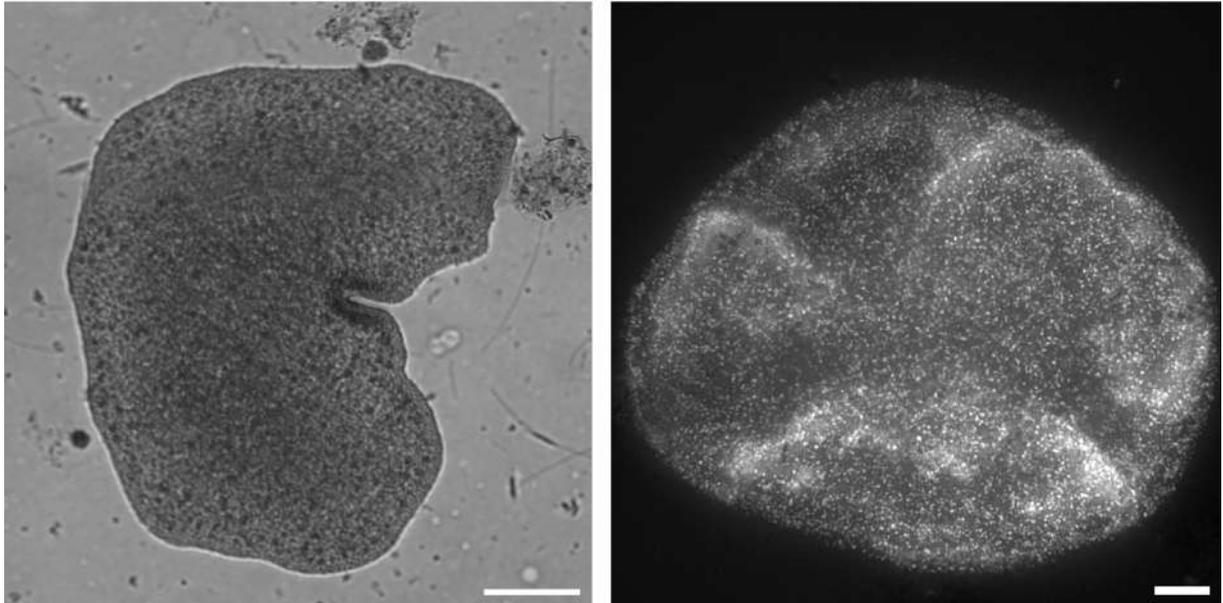
\* Autoren trugen gleichermaßen bei

† Kontaktautor: f.heigwer@th-bingen.de

<sup>1</sup> Abt. Genome Data Science, Technische Hochschule Bingen, Bingen am Rhein

<sup>2</sup> Abt. Signalwege und Funktionelle Genomik, Deutsches Krebsforschungszentrum, Heidelberg

bezeichnet werden [2]. Durch seine morphologischen und genetischen Eigenschaften ist der Organismus besonders gut für einen Hochdurchsatz-Ansatz geeignet. Er ist klein, transparent, hat ein leicht zugängliches Genom. Dieses umfasst 98 Millionen Basenpaare und beinhaltet stark konservierte Signalwege, die auch in höheren Tieren gefunden werden können [3].

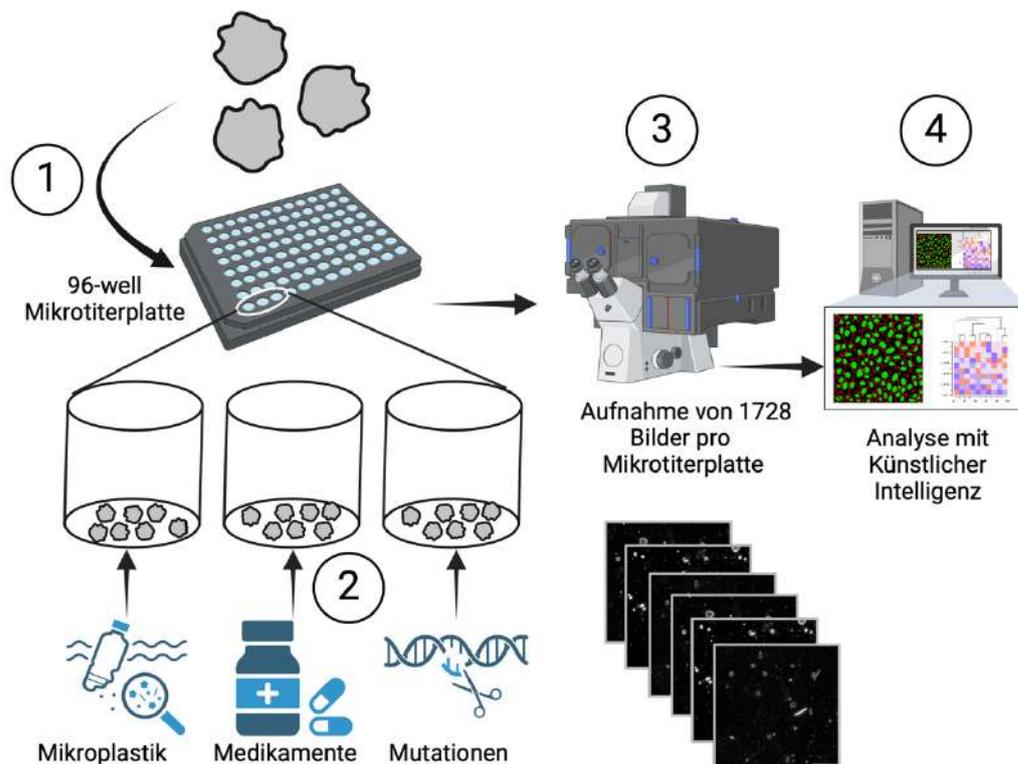


**Abbildung 1.** Das kleinste Tier der Welt *T. adhaerens H2* unter 1000-facher Vergrößerung. Links mikroskopische Hellfeldaufnahme eines Organismus. Maßstab = 100  $\mu\text{m}$ . Rechts mikroskopische Fluoreszenz Aufnahme eines Organismus mit eingefärbten Zellkernen (DAPI). Maßstab = 100  $\mu\text{m}$ .

Durch ihre Größe können die Tiere wie in einer Einzelzellkultur in Mikrotiterplatten kultiviert und zeitgleich mit verschiedenen Störfaktoren *in vivo* behandelt werden. Die Verwendung transparenter Kulturträger bietet zudem die Möglichkeit automatisierte, bildbasierte Analysemethoden zu nutzen. Wie es der Name bereits verrät, adhären die Organismen auf Oberflächen, was ebenfalls die Kultivierung und Behandlung der Organismen in Mikrotiterplatten vereinfacht. Im Labor können die Organismen mit geringem und kostengünstigem Aufwand kultiviert werden. Dazu werden lediglich Algen als Nahrungsquelle und künstliches, leicht erhältliches Salzwasser als Habitat genutzt. Zusammengefasst ist *T. adhaerens* also ein ganzer Organismus, welcher sich für Perturbationsstudien eignet und in einem Hochdurchsatz-Ansatz angewendet werden kann.

### 1.2. Trichoplax und seine Anwendung in Hochdurchsatz-Verfahren

Ein genereller Arbeitsablauf wird in Abbildung 2 dargestellt. Hier werden zunächst die Organismen in Mikrotiterplatten ausgesät.



**Abbildung 2. Vorgehensweise der Perturbationsstudien. 1) Aussäen der Organismen in 96-Well Mikrotiter platten. 2) Störung (Perturbation) der Organismen mit bspw. Mikroplastik, Medikamenten oder Mutationen. 3) Bildaufnahme der Organismen vor der Behandlung und nach der Behandlung resultieren in über 1000 Bildern pro Mikrotiterplatte. 4) Analyse der Mikroskopie Bilder mittels künstlicher Intelligenz zur Ermittlung der Auswirkung der Perturbationsfaktoren. Erstellt mit Hilfe von BioRender.**

Nach einer eintägigen Eingewöhnungszeit wird mit dem Mikroskop ein Hellfeld-Bild für Vergleichszwecke aufgenommen. Die Organismen werden dann den verschiedensten Störfaktoren wie Mikroplastik, Medikamenten, Mutationen oder Änderungen im pH-Wert, Salinität oder Temperatur ausgesetzt. Anschließend werden die Organismen eingefärbt und ein weiteres Bild mittels Fluoreszenzmikroskopie aufgenommen. Diese Bilder geben Aufschluss über die Auswirkung der Störfaktoren auf den Organismus und können genutzt werden, um künstliche Intelligenz darauf zu trainieren, deren Effekt mit Hilfe hunderter simultaner Messungen zu evaluieren.

## 2. Ausblick

*T. adhaerens* erfüllt die Anforderungen, die an einen Modellorganismus gestellt werden, bereits weitestgehend. Darunter fallen die leichte und schnelle Kultivierung unter Laborbedingungen und ein möglichst repräsentatives Genom. Methoden, die sich mit der Manipulation des Genoms beschäftigen, müssen vorerst noch entwickelt werden und könnten die Anwendungsbereiche des Modellorganismus für die Biotechnologie zusätzlich erweitern. Mit seinem leicht zugänglichen Genom von 98 Millionen Basenpaaren ist *T. adhaerens* besonders interessant für den Bereich der funktionellen Genomik. Durch das Implementieren von Hochdurchsatz-Ansätzen könnten in kurzer Zeit die Funktionen von Genen und Genprodukten bestimmt und verstanden werden. Zudem könnten die Konsequenzen von genetischen Veränderungen durch Mutationen oder Über-/Unterregulierung von Genen beobachtet und bewertet werden. Durch kontinuierliche Optimierung und Entwicklung der Plattform kann sich diese zu

einem leistungsstarken Werkzeug für die Umweltforschung entwickeln. In ökotoxikologischen Studien können zukünftig die Auswirkungen chemischer Abfälle wie Farbstoffe und Schwermetallsalze auf Organismen untersucht werden. Der Weg für grundlegende Erkenntnisse über die Wechselwirkungen zwischen Organismus und Umwelt wäre somit geebnet. Zukünftig könnten so Umweltgesetzgebungen und Entwicklungen umweltfreundlicher Produkte vorangetrieben werden.

## Danksagung

---

Wir danken Professor Bernd Schierwater und seiner Forschungsgruppe für die initiale Bereitstellung der Organismen, die unser Projekt erst ermöglicht hat. Zudem danken wir den Organisatoren des HAW-Forschungstags zur Ermöglichung der Teilnahme.

## Literatur

---

[1] Grell KG, Benwitz G., (1971), Die Ultrastruktur von *Trichoplax adhaerens* FE Schulze. *Cytobiologie* 4: 216–240.

[2] Schierwater B, Eitel M, Jakob W, Osigus H-J, Hadrys H, *et al.*, (2009), Concatenated analysis sheds light on early metazoan evolution and fuels a modern “Urmetazoon” hypothesis. *PLoS Biol* 7(1): e1000020. doi:10.1371/journal.pbio.1000020

[3] Srivastava, M., Begovic, E., Chapman, J. *et al.*, (2008), The *Trichoplax* genome and the nature of placozoans. *Nature* 454, 955–960. doi:10.1038/nature07191

## Autorenhinweise

---

### **Daron Hakimian**

Technische Hochschule Bingen

daron.hakimian@th-bingen.de

---

### **Paula Heddenhausen**

Technische Hochschule Bingen

paula.heddenhausen@th-bingen.de

---

### **Prof. Dr. Florian Heigwer**

Technische Hochschule Bingen

f.heigwer@th-bingen.de

---

---

# Detection of proteases as biomarkers for major depressive disorder with graphene field-effect transistors

---

Felix Hempel, Pratika Rai, Ahmar Hasnain, Alexey Tarasov

## Abstract

Proteases are promising biomarkers for a variety of human diseases, this includes psychiatric and neurological diseases such as depression and bipolar disorder. There are indications that the levels of the proteases MMP-9 and MMP-2 can be used as biomarkers to determine the therapy response of patients suffering from depression. However, the detection of proteases in human serum is a difficult task. This project aims to develop a sensitive graphene-based biosensor platform for the parallel detection of proteases in human serum. The novel label-free sensing platform uses the charge removal from cleaved peptides by target proteases to increase the sensitivity of the assay. This approach offers a rapid, sensitive, and user-friendly test for protease levels in patients. Integration of graphene biosensor arrays onto silicon wafers will create a miniaturized sensor system with multi-analyte detection capability, high precision, and low material consumption, contributing to point-of-care diagnostic and therapy prediction tools.

**Keywords:** *Graphene field-effect transistor (GFET), matrix metalloproteinase (MMP), major depressive disorder (MDD), therapy response sensing*

## 1. Introduction

---

Proteases have recently surfaced as a promising biomarker class with broad diagnostic, prognostic, and therapeutic potential for various human diseases [1], including neurological and psychiatric disorders [2,3], several cancer types [4], and immune system dysregulations [5]. Despite their significance there is a lack of tools for real-time activity analysis of disease-related protease biomarkers. This project aims to fill this gap by developing a highly sensitive graphene-based biosensor platform designed for the parallel detection of multiple proteases in human serum.

A novel label-free sensing mechanism which is based on charge removal resulting from the cleavage of designer peptides by the target proteases is used, extracellular MMP-9 and MMP-2.

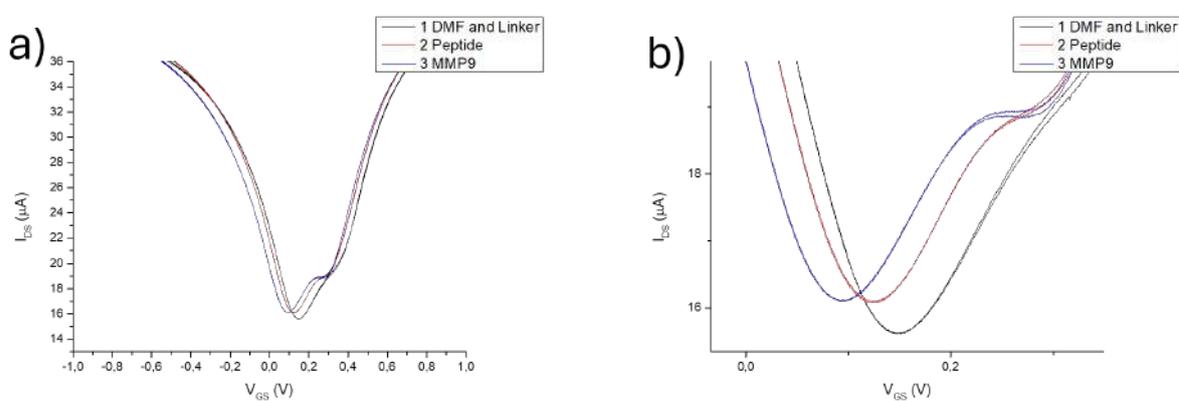
The detection of the charge removal will be facilitated by highly sensitive nano electronic transducers, utilizing the two-dimensional material graphene coated with peptides. Graphene field-effect transistors (GFETs) will serve as the means to detect proteases in blood serum. The selection of GFETs is based on their demonstrated low detection limits in biosensing studies [6,7,8] coupled with a straightforward electrical readout. Integration of arrays of these transducers onto silicon-based chips, complemented by a multiplexed readout matrix, will yield a miniaturized sensor system characterized

by multi-analyte detection capability, high dynamic range, precision, low detection limits, and minimal reagent consumption.

## 2. Results

Extensive control measurements were performed to ensure the suitability of the devices for the intended measurements. In order to achieve this all the chemicals and measurement conditions included in the proposed assay were investigated individually with the electrical readout to rule out any interference based on the solvents or other outside factors. No negative interference was found in the suitability of the devices for the proposed assay.

The IV curves were used to observe the changes in the device properties for the preparation steps, as well as for the cleaving of the peptides by MMP-9. The results of these measurements can be seen in Figure 1.



**Figure 2.** a) IV measurements of the GFET device for every preparation step all performed in PBS at room temperature. Black: Measurement after the modification of the surface with the PMAL linker, Red: Measurement after the modification of the surface with the custom peptide, Blue: Measurement after the peptide was cleaved by the MMP-9; b) zoomed in graph of the measurement.

The Dirac point shifts with each measurement step to lower  $V_{GS}$  values. The black curve shows the Dirac point at 0.148 V after the device is modified with the PMAL linker (5mM). Once the peptide (20mM) is adhered to the surface a shift to 0.126 V is observed. Finally, after the incubation with MMP-9 (25mM) the Dirac point shifts to 0.095 V. An additional doping of the graphene layer can be observed with the addition of the PMAL. This effect can also be observed when the organic solvent DMF is applied to the devices and increases with the subsequent measurement steps. The change of the measured signals throughout the assay shows a clear shift in the Dirac point after the cleaving of the peptide.

## 3. Discussion

In these initial measurements a simple protocol was established to measure the activity of the protease MMP-9 by cleaving of a custom peptide that is immobilized on the GFET surface. The Dirac point shows a clear shift to lower voltages when the peptide is cleaved. A 25mM MMP-9 concentration

could be measured reliably with the clear potential to reduce the concentration. In addition, a multiparametric approach will be tested to increase the signal strength to further push to a lower limit of detection.

## References

---

- [1] Bond, J. S. Proteases: History, Discovery, and Roles in Health and Disease. *Journal of Biological Chemistry* 2019, 294 (5), 1643–1651. <https://doi.org/10.1074/jbc.TM118.004156>
- [2] Rybakowski, J. K.; Remlinger-Molenda, A.; Czech-Kucharska, A.; Wojcicka, M.; Michalak, M.; Losy, J. Increased Serum Matrix Metalloproteinase-9 (MMP-9) Levels in Young Patients during Bipolar Depression. *J Affect Disord* 2013, 146 (2), 286–289.
- [3] Dickerson, F.; Vaidya, D.; Liu, Y.; Yolken, R. Levels of Matrix Metalloproteinase 9 Are Elevated in Persons With Schizophrenia or Bipolar Disorder: The Role of Modifiable Factors. *Biological Psychiatry Global Open Science* 2023, 3 (4), 766–772.
- [4] Mondal, S.; Adhikari, N.; Banerjee, S.; Amin, S. A.; Jha, T. Matrix Metalloproteinase-9 (MMP-9) and Its Inhibitors in Cancer: A Minireview. *Eur J Med Chem* 2020, 194, 112260.
- [5] Hannocks, M.-J.; Zhang, X.; Gerwien, H.; Chashchina, A.; Burmeister, M.; Korpos, E.; Song, J.; Sorokin, L. The Gelatinases, MMP-2 and MMP-9, as Fine Tuners of Neuroinflammatory Processes. *Matrix Biology* 2019, 75, 102–113.
- [6] Wang, S.; Qi, X.; Hao, D.; Moro, R.; Ma, Y.; Ma, L. Recent Advances in Graphene-Based Field-Effect-Transistor Biosensors: A Review on Biosensor Designing Strategy. *J Electrochem Soc* 2022, 169 (2), 027509.
- [7] Suvarnaphaet, P.; Pechprasarn, S. Graphene-Based Materials for Biosensors: A Review. *Sensors* 2017, 17 (10), 2161.
- [8] Pumera, M. Graphene in Biosensing. *Materials today* 2011, 14 (7–8), 308–315.

## Author's note

---

**Dr. rer. nat. Felix Hempel**

Kaiserslautern University of Applied Sciences

felix.hempel@hs-kl.de

---

**M. Sc. Pratika Rai**

Kaiserslautern University of Applied Sciences

pratika.raai@hs-kl.de

---

**M. Sc. Ahmar Hasnain**

Kaiserslautern University of Applied Sciences

ahmar.hasnain@hs-kl.de

---

**Prof. Dr. phil. Alexey Tarasov**

Kaiserslautern University of Applied Sciences

alexey.tarasov@hs-kl.de

---

---

# Benchtop-NMR-Spektroskopie zur Qualitätsbewertung bei der Trauben- und Mostanalyse

---

**Julian F. D. Lueck, Billy Salgado, Johnnie Phuong, Patrick Nickolaus, Fabian Jirasek, Erik von Harbou, Ulrich Fischer, Jörg Fahrer, Kerstin Münnemann, Lena Keller**

## Abstract

Grundlage der Weinproduktion ist die Verwendung qualitativ hochwertiger Trauben, wofür eine schnelle und zuverlässige Analytik notwendig ist. Viele Weinproduzenten nutzen die Fourier-Transform-Mittelinfrarotspektroskopie (FTIR), die jedoch regelmäßige und aufwendige Kalibrierungen erfordert sowie hohe Bestimmungsgrenzen für Traubenfäule-Parameter wie Gluconsäure und flüchtige Säuren aufweist. Im Gegensatz dazu ermöglicht die Protonen-Kernspinresonanzspektroskopie ( $^1\text{H-NMR}$ ) die direkte quantitative Analyse von komplexem Probenmaterial ohne Kalibrierung. Hochfeld-NMR-Geräte sind jedoch mit beträchtlichen Anschaffungs- und Wartungskosten verbunden. Günstige und kompakte Benchtop-NMR-Geräte stellen eine praktikable Alternative für die Weinindustrie dar, deren geringe Auflösung jedoch die quantitative Analyse hochkomplexer Proben erschwert.

Ziel dieser Studie ist die Entwicklung einer zuverlässigen und schnellen Methode zur Traubenanalyse mittels Benchtop-NMR-Spektroskopie sowie die Ausweitung der Analyse auf wichtige Parameter zur Erkennung von Traubenfäule und Rebsortenidentität durch quantenmechanische Berechnungen und maschinelles Lernen. Zum Vergleich wurden Mostbestandteile mittels Benchtop-NMR sowie FT-IR gemessen und die Quantifizierungsergebnisse mit bestehenden Referenzmethoden validiert. Unsere Ergebnisse zeigen eine gute Übereinstimmung mit den Referenzmethoden für viele Parameter. Außerdem konnte gezeigt werden, dass die Probenvorbereitung bei der Benchtop-NMR-Methode beschleunigt werden kann, da die Messung direkt nach dem Pressen mit Schale und Fruchtfleisch erfolgt. Dies ermöglicht eine nahtlose Integration in automatisierte Prozesse der Traubenannahme und stellt sicher, dass Weinkellereien und Genossenschaften schnell Zugang zu wichtigen Informationen erhalten.

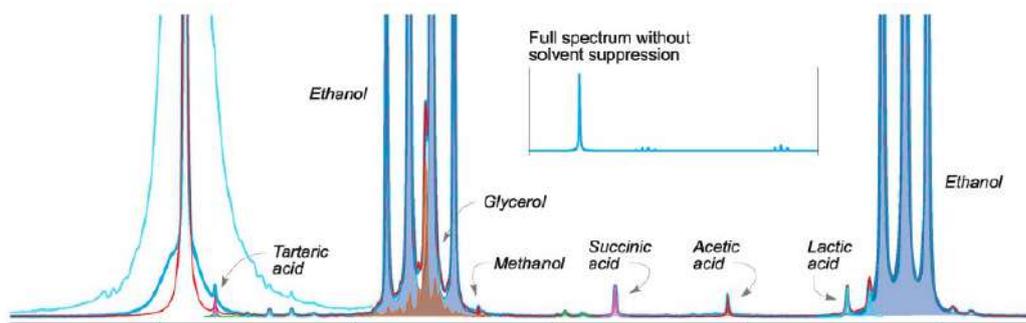
**Schlüsselbegriffe:** NMR-Spektroskopie, quantitative Analytik, Bayessche Statistik, Oenologie

## Hintergrund

---

Die NMR-Spektroskopie wird zunehmend für die Analyse von Most und Wein genutzt, da sie umfassende Informationen in einem einzigen Experiment liefert [1,2,3]. Aufgrund einfacher Probenvorbereitung, Geschwindigkeit und hoher Informationsdichte ist sie heute eine Standardmethode in Lebensmittelablaboren [4] und auch durch die Internationale Organisation für Rebe und Wein (OIV) als Analysemethode anerkannt [5]. Durch mathematische Regressionsmethoden können charakteristische Komponenten verschiedener Weine erkannt werden, was die Rückverfolgung von Rebsorten und Produktionsregionen ermöglicht [6].

Hochleistungsspektrometer sind aufgrund hoher Anschaffungs- und Betriebskosten für die Qualifizierung und Quantifizierung in der Weinbereitung begrenzt einsetzbar. Die Entwicklung leistungsfähiger Permanentmagnete hat die Verbreitung kostengünstiger Benchtop-NMR-Spektrometer erleichtert, die erfolgreich für das Online-Monitoring von Fermentationsprozessen [7,8] eingesetzt werden. Die präzise quantitative Analyse von Inhaltsstoffen in Getränken wird durch eine computerbasierte Auswertung der Daten unterstützt [9, 10]. Der Algorithmus von Matviychuk et al. beginnt mit der Phasenkorrektur der Rohdaten. Ein quantenmechanisches Modell optimiert Parameter wie chemische Verschiebungen, J-Kopplungen und Peak-Breiten, sodass Veränderungen der Matrix ausgeglichen und komplexe überlagerte Signale zugeordnet werden können. Die Optimierung erfolgt innerhalb festgelegter Grenzen, wobei ein Linearer Suchalgorithmus und ein Basin-Hopping-Algorithmus die Konvergenz unterstützen. Die Konvergenz wird bei einer Toleranz von  $10^{-12}$  erreicht, wodurch eine präzise quantitative Analyse ermöglicht wird [10].



**Abbildung 1. Modellbasierte Analyse eines Benchtop-NMR-Spektrums von Wein mit der Zuordnung der Signale zu Weininhaltsstoffen. Entnommen aus Matviychuk et al., 2021.**

## Literatur

- [1] Evilia, R. F. QUANTITATIVE NMR SPECTROSCOPY. *Analytical Letters* 2001, 34 (13), 2227–2236. DOI: 10.1081/AL-100107290
- [2] van Beek, T. A. Low-field benchtop NMR spectroscopy: status and prospects in natural product analysis†. *Phytochemical analysis : PCA* 2021, 32 (1), 24–37. DOI: 10.1002/pca.2921
- [3] Zientek, N.; Meyer, K.; Kern, S.; Maiwald, M. Quantitative Online NMR Spectroscopy in a Nutshell. *Chemie Ingenieur Technik* 2016, 88 (6), 698–709. DOI: 10.1002/cite.201500120
- [4] Viskić, M.; Bandić, L. M.; Korenika, A.-M. J.; Jeromel, A. NMR in the Service of Wine Differentiation. *Foods (Basel, Switzerland)* 2021, 10 (1). DOI: 10.3390/foods10010120
- [5] International Organisation of Vine and Wine. *Compendium of International Methods of Wine and Must Analysis*: Dijon, 2023.

[6] Solovyev, P. A.; Fauhl-Hasek, C.; Riedl, J.; Esslinger, S.; Bontempo, L.; Camin, F. NMR spectroscopy in wine authentication: An official control perspective. *Comprehensive reviews in food science and food safety* 2021, 20 (2), 2040–2062. DOI: 10.1111/1541-4337.12700.

[7] Burkhardtsmaier, P.; Pavlovskaja, K.; Maier, D.; Schäfer, S.; Salat, U.; Schmidt, M. S. Quantitative Monitoring of the Fermentation Process of a Barley Malt Mash by Benchtop 1H NMR Spectroscopy. *Food Anal. Methods* 2021, 14 (7), 1425–1431. DOI: 10.1007/s12161-021-01991-9.

[8] Kreyenschulte, D.; Paciok, E.; Regestein, L.; Blümich, B.; Büchs, J. Online monitoring of fermentation processes via non-invasive low-field NMR. *Biotechnology and bioengineering* 2015, 112 (9), 1810–1821. DOI: 10.1002/bit.25599.

[9] Isaac-Lam, M. F. Determination of Alcohol Content in Alcoholic Beverages Using 45 MHz Benchtop NMR Spectrometer. *International Journal of Spectroscopy* 2016, 2016, 1–8. DOI: 10.1155/2016/2526946.

[10] Matviychuk, Y.; Haycock, S.; Rutan, T.; Holland, D. J. Quantitative analysis of wine and other fermented beverages with benchtop NMR. *Analytica Chimica Acta* 2021, 1182, 338944. DOI: 10.1016/j.aca.2021.338944.

## Autorenhinweise

---

### **Julian Lueck**

Weincampus Neustadt, Dienstleistungszentrum Ländlicher Raum Rheinpfalz (DLR Rheinpfalz), Hochschule Kaiserslautern

julian.lueck@dlr.rlp.de

---

### **Billy Salgado**

Lehrstuhl für Thermodynamik (LTD), Laboratory of Advance Spin Engineering – Magnetic Resonance (LASE-MR), RPTU

billy.salgado@rptu.de

---

### **Johnnie Phuong**

Lehrstuhl für Thermodynamik (LTD), Laboratory of Advance Spin Engineering – Magnetic Resonance (LASE-MR), RPTU

johnnie.phuong@rptu.de

---

### **Dr. Patrick Nickolaus**

Dienstleistungszentrum Ländlicher Raum Rheinpfalz (DLR Rheinpfalz)

patrick.nickolaus@dlr.rlp.de

---

---

**Jun. -Prof. Dr.-Ing. Fabian Jirasek**

Lehrstuhl für Thermodynamik (LTD), Laboratory of Advance Spin Engineering – Magnetic Resonance (LASE-MR), RPTU

fabian.jirasek@rptu.de

---

**Prof. Dr.-Ing. Erik von Harbou**

Lehrstuhl für Thermische Verfahrenstechnik, RPTU

erik.vonharbou@rptu.de

---

**Prof. Dr. Ulrich Fischer**

Dienstleistungszentrum Ländlicher Raum Rheinpfalz (DLR Rheinpfalz)

ulrich.fischer@dlr.rlp.de

---

**Prof. Dr. Jörg Fahrer**

Fachbereich Chemie, RPTU

fahrer@chemie.uni-kl.de

---

**Dr. Kerstin Münnemann**

Lehrstuhl für Thermodynamik (LTD), Laboratory of Advance Spin Engineering – Magnetic Resonance (LASE-MR), RPTU

kerstin.muennemann@rptu.de

---

**Prof. Dr. Lena Keller**

Weincampus Neustadt, Hochschule Kaiserslautern,  
Dienstleistungszentrum Ländlicher Raum Rheinpfalz (DLR Rheinpfalz)

lena.keller@hs-kl.de

---

---

# OriDarmi: Komplexe dreidimensionale biomimetische Sensor- und Organoid-Netzwerke zur Erhebung funktioneller Daten der Darmbarriere

---

**Monika Saumer**

## **Abstract**

Das Projektteam entwickelt neuartige dreidimensionale Mikroelektrodensensorsysteme, die die Vorgänge in kultivierten darmähnlichen Zellverbänden untersuchen. Dadurch sollen verschiedene Einflüsse auf und Wechselwirkungen mit der Darmwand besser untersucht und verstanden werden. Die in den Darm eingebundenen Zelltypen (Muskel-, Immun-, Nerven- und Gliazellen) werden intensiv durch Mikroorganismen (Mikrobiom), durch Nahrung oder Medikamente und Toxine beeinflusst. Dies kann zu einer Vielzahl von Erkrankungen führen, welche nicht nur für chronisch-entzündliche Darmerkrankungen verantwortlich sind, sondern für den ganzen Organismus relevant werden können, bspw. bei neurodegenerativen Erkrankungen. Die Analyse des Einflusses dieser Faktoren auf die Funktion der Darmwand ist am lebenden Objekt nur extrem eingeschränkt möglich. Neue Kulturverfahren ermöglichen das Züchten von kugelförmigen, darmähnlichen Zellverbänden bis ca. 3 mm Durchmesser (Organoide), die ein in-vivo-äquivalentes Model der Darmwand darstellen. Ziel des Projektes ist die Entwicklung von Methoden zur Untersuchung der Vorgänge in diesen Zellverbänden. Hierzu werden dreidimensionale Mikroelektrodensensorsysteme entwickelt, die sich wie ein Netz um den Zellverbund legen oder die von den Zellen umwachsen werden und sich dann im Innern des Zellverbandes befinden. Zusätzlich soll ein Zwei-Elektroden-System mit integrierter Kapillare zur Messung von Impedanzen der Zellverbände sowie zur Injektion von Stimulantien eingesetzt werden.

**Schlüsselbegriffe:** 3D-Mikroelektroden, biomimetische Oberflächen, Aktionspotentiale, Organoide, Darmnervensystem.

## **1. Motivation und Projektziele**

---

Die angestrebten Systeme erlauben die Nutzung komplexer Organoide des Darmepithels sowohl zur Wirkstoffforschung als auch im Rahmen der Grundlagenforschung zur Aufklärung transepithelialer Prozesse. So wird es möglich sein z.B. die Auswirkung pathologischer Peptide im Darm auf die Entstehung und Modifizierung von krankheitsrelevanten Aggregaten in der Darmwand zu untersuchen. Die Nutzung humaner Zellen erlaubt es darüber hinaus direkte Schlüsse für die Behandlung von Menschen zu ziehen. Organoide spielen in der aktuellen Darmforschung eine zunehmend große Rolle, werden in der Regel aber lediglich als epitheliale Organoide verwendet. Die Kombination von komplexen Organoiden mit hoch innovativen flexiblen Sensorsystemen hat das Potenzial eine neue Forschungsausrichtung anzustoßen. Perspektivisch kann eine Kombination der komplexen Organoide mit den

Muskelwandgelen in der Zukunft zur realistischen in-vitro Simulierung und Online-Analyse einer funktionellen humanen Darmwand führen.

Forschungsfragen:

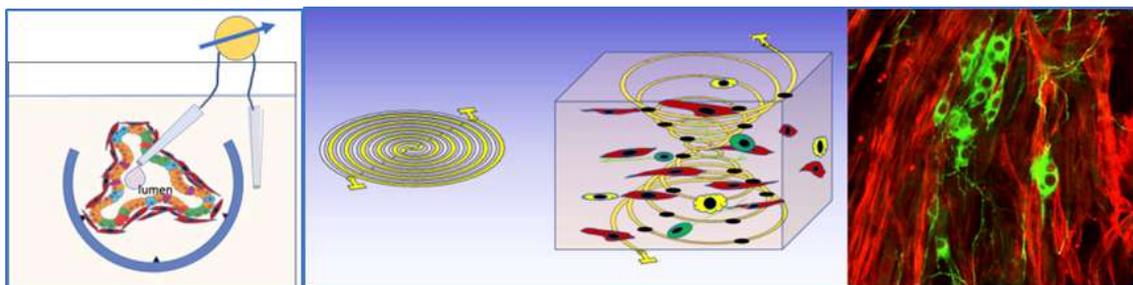
1. Wie lassen sich flexible dreidimensionale miniaturisierte Elektrodennetzwerke designen, herstellen und zur Signalanalyse von dreidimensionalen Geweben nutzen?
2. Wie können wir biomimetische Elektroden zur intrazellulären Ableitung von Zellen herstellen und in den in 1. genannten Systemen nutzen?
3. Wie können wir flexible dreidimensionale Elektrodennetzwerke zur Erfassung von Signalweiterleitung und Qualität in komplexen Organoiden der Darmbarriere nutzen?
4. Wie können wir eine Online-Analyse der Bildung von Darmwandgewebe in vitro mit flexiblen dreidimensionalen extra- und intrazellulären Elektrodenarrays erreichen?

### 1.1. Gesamtsysteme

---

Die Entwicklung von zwei unterschiedlichen Gesamtsystemen ist vorgesehen:

1. Ein Zell-Organoid-System mit Netzelektrode und Zwei-Elektroden-System (Abb. 1 links), wobei hier nach Injektion von Stimulantien gleichzeitig die Messung der Zellsignale und die Widerstandsmessung des Organoids (und damit der simulierten Darmwand) erfolgen soll.
2. Ein Zell-Schicht-System mit Spiralelektrode (Abb. 1 Mitte), wobei hier nach Injektion von Stimulantien die innergewebliche Reizleitung und Übertragung beobachtet und somit die kontinuierliche Entwicklung des innervierten Muskelgewebes beurteilt werden kann.



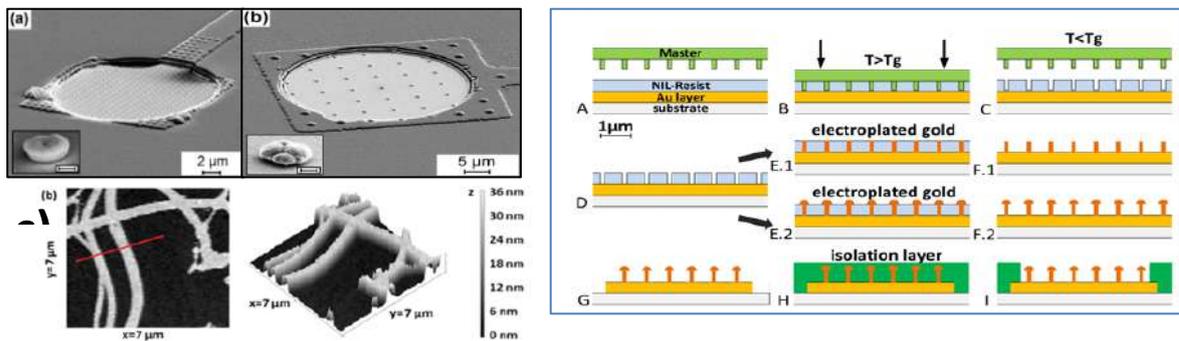
**Abbildung 1.** Links: Elektrodenkonzepte zur Untersuchung der Darmorganoide. Netzartiges Mikroelektrodensystem zur Messung von Aktionspotentialen sowie Zwei-Elektroden-System mit integrierter Kapillare zur Messung von Impedanzen. Kapillare für die Injektion von Stimulantien. Mitte: Elektrodenkonzept zur Untersuchung von Darmzellen-Schicht-Systemen: Spiralförmiges Elektrodenkonzept zur Messung von Aktionspotentialen. Rechts: In-Vitro-Zellkultur aus Darmzellen.

### 1.2. Elektrodensysteme

---

Die Mikroelektroden sollen sich auf einem flexiblen Träger (z.B. Polyimid) befinden und einen Durchmesser von ca. 30 Mikrometer haben. Sowohl das Elektroden- als auch das Trägermaterial müssen biokompatibel sein und eine ausreichende mechanische Stabilität aufweisen. Die Zuleitungen für die einzelnen Elektroden müssen in einem „Strang“ sowohl parallel als auch als Schichten übereinander untergebracht werden. Die Prozesstechnologie für das Schichtsystem muss entsprechend

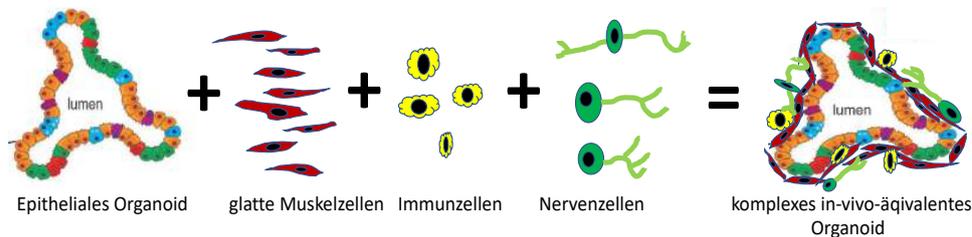
entwickelt werden. In Abbildung 2 ist beispielhaft eine Prozesslinie für die Herstellung ähnlicher Multielektrodensysteme dargestellt.



**Abbildung 2.** Links oben: Gold-Mikroelektroden mit nanostrukturierten Oberflächen (REM) [1]. Links unten: Biomimetische Oberflächen mit collagen-ähnlichen Strukturen aus Gold (AFM) [2]. Rechts: Mögliches Konzept für die Herstellung der nanostrukturierten Goldelektroden; Prozessfolge: Nanoimprintlithographie - Elektrochemische Abscheidung von Gold - Physikalische Gasphasenabscheidung für Isolationsschicht – Reaktives Ionenätzen zum Öffnen der Isolationsschicht im Bereich der Elektroden.

### 1.3. Kultivierung von Organoiden und Zellschichten

Die Kultivierung der in-vivo-äquivalenten Darm-Organoiden erfordert die Entwicklung von neuartigen Zellkulturtechniken. Zunächst wird die Organoidgrundstruktur aus Schleimhautproben aufgebaut. Darauf werden dann Immun-, Nerven- und Gliazellen aufgebracht, so dass ein funktionelles Abbild einer Darmwand entsteht (Abb. 3). Anschließend werden die Organoiden mit den Netzelektroden ummantelt. Für diese Ummantelung werden mechanische, zellschonende Konzepte entwickelt.



**Abbildung 3.** Schematische Darstellung des Aufbaus eines Darmorganoids.

Die Simulation einer Muskelwand erfolgt als Zellschichtsystem in 3D-Hydrogelen. Es sollen Sandwichkulturen von abwechselnd glatten Muskelzellen, Nervengewebe und wieder glatten Muskelzellen in den Hydrogelen kultiviert werden. Dadurch entstehen darmwandanalogue Gewebe (Abb. 1 Mitte und rechts). Für die Platzierung der Spiralelektrode, die entweder vor oder nach der Polymerisation der Hydrogele erfolgen soll, müssen mechanische Konzepte entwickelt werden.

### Literatur

[1] Decker, D.; Natter, H.; Pirrung, M.; Schäfer, K.-H.; Rabe, H.; Saumer, M. 3D Nanostructured Multielectrode Arrays: Fabrication, Electrochemical Characterization, and Evaluation of Cell–Electrode Adhesion. *Adv. Mater. Technol.* 2019 4, 1–10.

[2] Nowduri, B.; Schulte, S.; Decker, D; Schäfer, K.-H.; Saumer, M. Biomimetic nanostructures fabricated by Nanoimprint Lithography for improved cell-coupling. *Adv. Funct. Mater.* 2020 30, 2004227.

Autorenhinweise

---

**Prof. Dr. rer. nat. Monika Saumer**

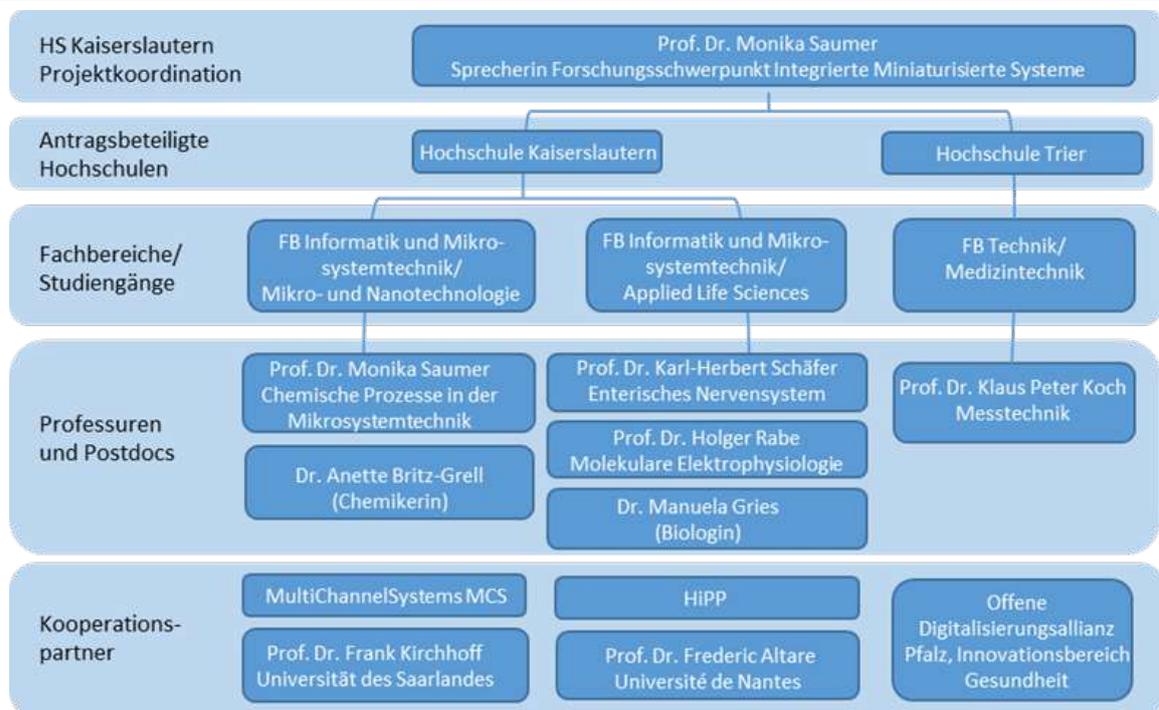
Hochschule Kaiserslautern, Campus Zweibrücken

monika.saumer@hs-kl.de

---

Projektorganisation und Arbeitsgruppen:

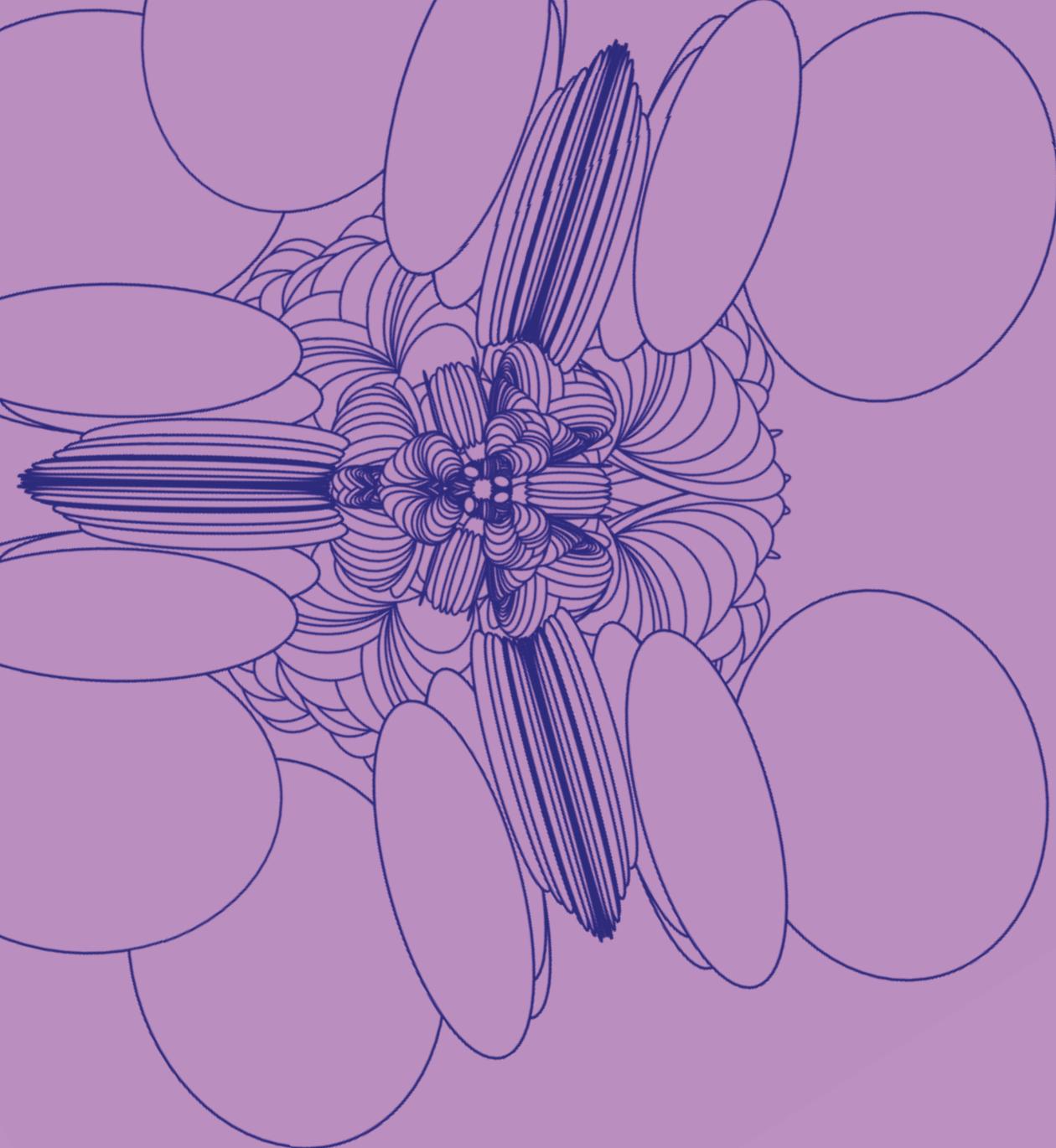
---



Projektförderung:

---

Das Projekt wird von der Carl Zeiss Stiftung im Programm „CZS Transfer: Sensorik“ gefördert.  
CZS-Projektnummer: P2022-07-010, Laufzeit: 01.06.2023 bis 31.05.2026



# **TECHNIK NATURWISSENSCHAFT**

---

# Quasi-Isotherme Kompression und Expansion zur Effizienzsteigerung in Druckluftspeicherkraftwerken

---

Christian Braasch, Simon Kaiser, Diana Nett, Marc Nadler, Willi Nieratschker

## Abstract

Druckänderungen in heutigen Kompressoren und Expansionsmaschinen verlaufen ineffizient, da stets Energie in Form von Wärme im Prozess verloren geht. Isotherme (bei gleicher Temperatur stattfindende) Kompressionen bzw. Expansionen sind der bestmögliche Verlauf solcher Zustandsänderungen und besitzen daher großes Potential zur Effizienzsteigerung heutiger Verdichter, Expander oder ganzer Druckluftspeicherkraftwerke. Die Forschungsgruppe Energietechnik der Hochschule Koblenz versucht mittels Flüssigkeitsdüsung eine annähernd isotherme Zustandsänderung zu erzeugen. In einem aktuellen dreijährigen Forschungsprojekt werden diese quasi-isothermen Kompressionen und Expansionen in einer kontinuierlich laufenden Maschine gemessen und bewertet. Entsprechend der Ergebnisse dieser Studien wird sich zeigen, ob sich das entwickelte Konzept für eine spätere Anwendung in Verdichtern oder Druckluftspeicherkraftwerken eignet.

**Schlüsselbegriffe:** Isotherme Verdichtung, Energiespeicher, CAES, Flüssigkeitseindüsung

## 1. Einleitung

Zum erfolgreichen Fortschreiten der Energiewende ist zur Stabilisierung des Stromnetzes und zur Integration erneuerbarer Energien der Ausbau von Energiespeicherkapazitäten unabdingbar. Die Speicherkapazitäten etablierter Technologien reichen bisher bei weitem nicht aus und stoßen sowohl geografisch als auch kostentechnisch häufig an ihre Grenzen.

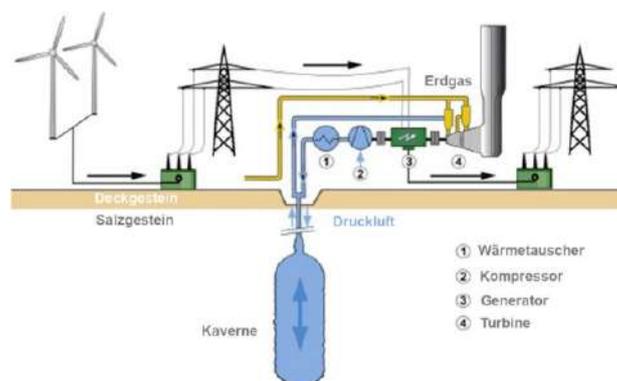
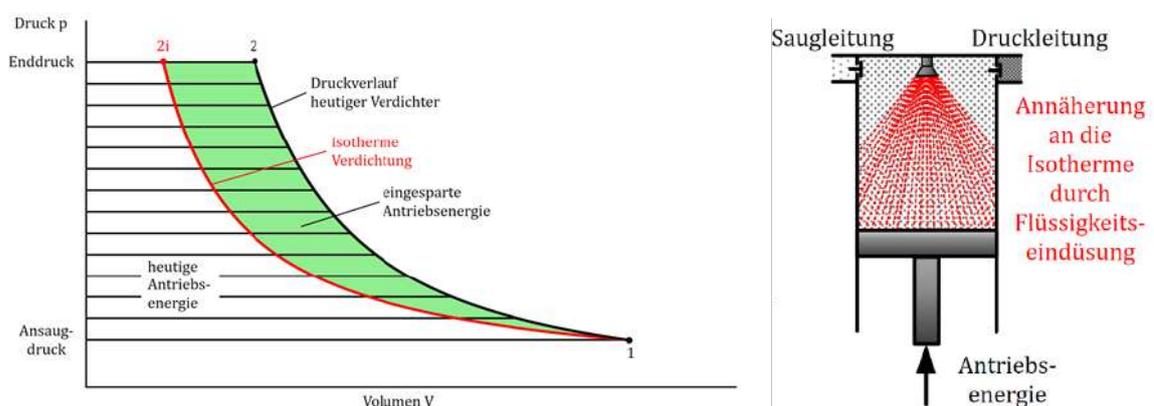


Abbildung 1. Grundlegender Aufbau eines Druckluftspeicherkraftwerks [1].

Eine einfache und lange bekannte Speichertechnologie sind Druckluftspeicherkraftwerke (Compressed Air Energy Storage, CAES), die während Zeiten mit Stromüberschuss Druckluft erzeugen, diese in unterirdischen Kavernen zwischenspeichern und bei Strombedarf über Gasturbinen wieder rückverstromen. Zum Schutz der Turbine vor der Kälte der expandierten Luft wird in einer Brennkammer Erdgas zugefeuert. Vorteil von CAES gegenüber anderen Speichertechnologien ist eine günstige und hohe verfügbare Speicherkapazität. Eine ähnlich günstige Speicherkapazität bieten lediglich Pumpspeicherkraftwerke, für die jedoch aufgrund der geografischen Gegebenheiten in Deutschland kein weiteres Potential existiert. Der größte Nachteil von CAES sind niedrige Roundtrip-Wirkungsgrade (Strom → Druckluft → Strom) von lediglich 41-53 %, im Vergleich zu Pumpspeicherkraftwerken mit etwa 70-80 % oder Batteriespeichern mit etwa 90 %. Grund dafür sind die suboptimal ablaufende Kompression und Expansion [2].

## 2. Isotherme Zustandsänderung

Kompressionen und Expansionen benötigen den geringsten Energieaufwand, wenn diese Zustandsänderungen isotherm, also bei konstanter Temperatur, ablaufen. Um dieses Prinzip in realen Maschinen nutzbar zu machen, muss anfallende Wärme ab- bzw. zugeführt werden. Dazu werden neben mehrstufigen Verdichtern mit Zwischenkühlung auch Kompressoren mit äußeren Kühlflächen eingesetzt. Eine weitere Möglichkeit besteht darin mithilfe einer Flüssigkeitseindüsung in den Verdichterraum das Gas von innen zu kühlen. Durch die Flüssigkeitseindüsung kann die entstehende Wärme vom Gas auf die fein zerstäubten Flüssigkeitströpfchen übertragen werden. Die Gastemperatur bleibt dadurch nahezu konstant (quasi-isotherm). Die eingedüste Flüssigkeit wärmt sich auf. Für einen kontinuierlichen Betrieb muss die eingedüste Flüssigkeit wieder vom Gas getrennt und abgekühlt werden, sodass sie für eine erneute Eindüsung bereitsteht [3].

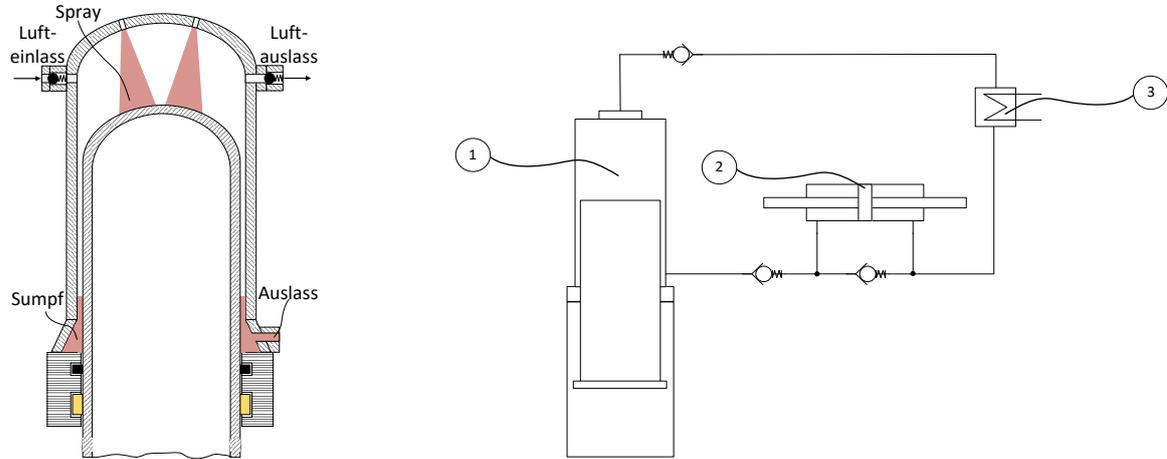


**Abbildung 2:** Links: Vergleich zwischen dem Druckverlauf heutiger Verdichter und dem bestmöglichen Druckverlauf bei einer isothermen Verdichtung; Rechts: Verdichter mit Flüssigkeitseindüsung

Sowohl in Grundlagenversuchen durch die Forschergruppe als auch in theoretischen Berechnungsmodellen wurde bereits nachgewiesen, dass die Wärmeübertragung von Flüssigkeitsspray auf Gas sehr gut funktioniert [3,4].

### 3. Plungerverdichter mit kontinuierlicher Flüssigkeitseindüsung

Zur anwendungsnahen Erforschung der Flüssigkeitseindüsung wird das Prinzip im weiteren Verlauf in realen Verdichtern und Expandern untersucht. Aus diesem Grund wurde ein spezieller Plungerverdichter mit Flüssigkeitseindüsung entwickelt [5].



**Abbildung 3. Links: Plungerverdichter im Schnitt; Rechts: Kreislaufführung der Flüssigkeit im Einspritzsystem mit: (1) Plungerverdichter, (2) Doppelwirkender Einspritzzylinder, (3) Wärmeübertrager zur Abführung der Verdichtungsenergie**

Ähnlich einem Hubkolbenverdichter verkleinert dieser über einen beweglichen Kolben den Verdichterraum und komprimiert das darin befindliche Gas. Allerdings findet im Plungerverdichter die Abdichtung des Verdichterraums nicht über mitlaufende Kolbenringe, sondern über feststehende Dichtungspakete im Gehäuseboden statt. Der Vorteil dieses Aufbaus liegt im Abfluss der eingedüsten Flüssigkeit. Zwischen beweglichem Plungerkolben und Gehäuse befindet sich ein Ringspalt, der es der Flüssigkeit ermöglicht nach unten zu fließen und sich in einem unteren Reservoir, dem Sumpf, zu sammeln. Der Auslass kann gezielt geöffnet werden um die Flüssigkeit wieder aus dem Verdichter zu entnehmen.

Die einzudüsende Flüssigkeit muss auf ein höheres Druckniveau als der Verdichterraum angehoben werden, damit sie eingebracht werden kann. Die dazu benötigte Arbeit verschlechtert die Energiebilanz des Gesamtsystems und sollte so gering wie möglich sein. Deshalb wurde ein Einspritzsystem mit Kreislaufführung über einen doppelwirkenden Zylinder entwickelt, was den Aufwand für die Flüssigkeitseindüsung auf ein Minimum reduziert.

### 4. CZS-Forschungsprojekt und erste Ergebnisse

Die Umsetzung des oben beschriebenen Verdichteraufbaus wird über das Forschungsprojekt „RessourcenEffizienz durch Isotherme Zustandsänderungen mittels Flüssigkeitseindüsung für Kompressoren und Gas-Expansionsmaschinen“ durch die Carl-Zeiss-Stiftung seit Februar 2023 für drei Jahre gefördert.

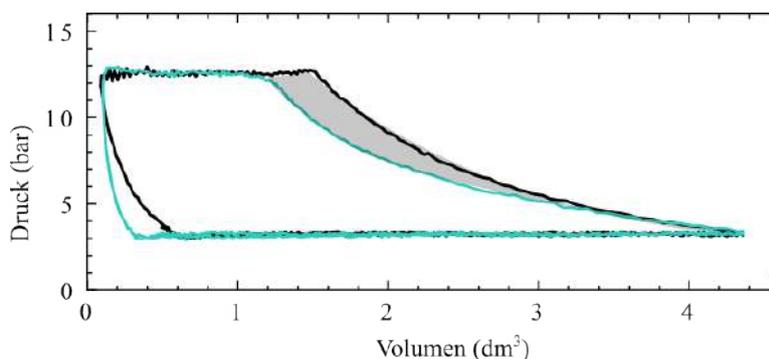
Wichtiges Zwischenziel des ersten Projektjahres war der Aufbau und die Inbetriebnahme zweier Prüfstände. Im ersten Prüfstand wird die Verdichtung in einem Plungerverdichter mit vereinfachter

Flüssigkeitseindüsung untersucht. Der hydraulisch angetriebene Plunger saugt Luft aus einem Niederdruckspeicher bei bis zu 16 bar an und verdichtet diese auf bis zu 50 bar in einen Hochdruckspeicher. Das System zum Eindüsen und zum Ablassen der Flüssigkeit besteht aus einem unter Druck stehenden Vorlagebehälter und einem Ablassstank sowie aus elektrisch ansteuerbaren Ein- und Ablassventilen. Anfallende Verdichtungswärme, die nicht über Flüssigkeitseindüsung dem Gas entzogen wird, kann über einen externen Kühlkreislauf abgeführt werden.



**Abbildung 4. Prüfstand zur Quasi-Isothermen Verdichtung: (1) Zylinder mit Verdrängerkolben, (2) Hydraulikaggregat, (3) 16 bar Niederdruckspeicher, (4) 50 bar Hochdruckspeicher, (5) Flüssigkeits-Einspritzsystem, (6) Kühlkreislauf mit Wärmeübertrager**

Der Fokus des Prüfstands liegt auf der isolierten Analyse der Betriebsparameter des Verdichters und der Eindüsung. Es wurden bereits erste Verdichtungsmessreihen von Druckluft mit und ohne Eindüsung von Flüssigkeit durchgeführt. Dabei konnten signifikante Unterschiede im Druck- und Temperaturverlauf zwischen „trockenen“ Versuchen und Versuchen mit Eindüsung gemessen werden. Es konnte aktuell eine Wirkungsgradsteigerung der Verdichtung von bis zu 6 % erzielt werden.



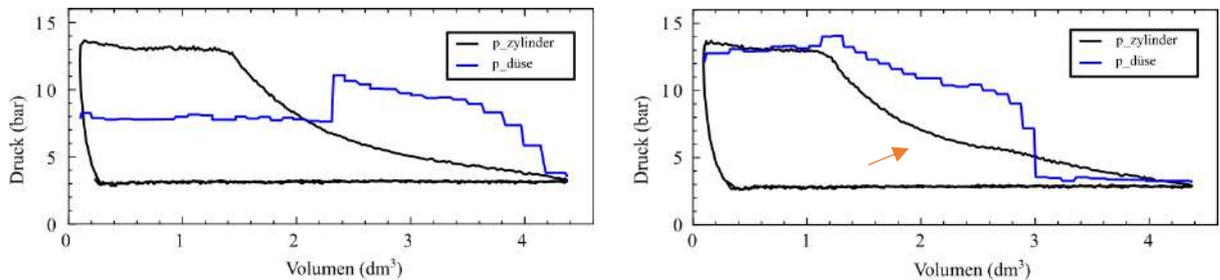
**Abbildung 5. Vergleich von Verdichtungen von 3 auf 12 bar im Druck-Volumen-Diagramm; Schwarz: Verdichtung ohne Flüssigkeitseindüsung, Türkis: Verdichtung mit Flüssigkeitseindüsung, Grau: Eingesparte Arbeit durch Flüssigkeitseindüsung.**

Verlauf der Verdichtung

Einflussreiche Parameter auf den sind neben den üblichen Betriebsparametern auch

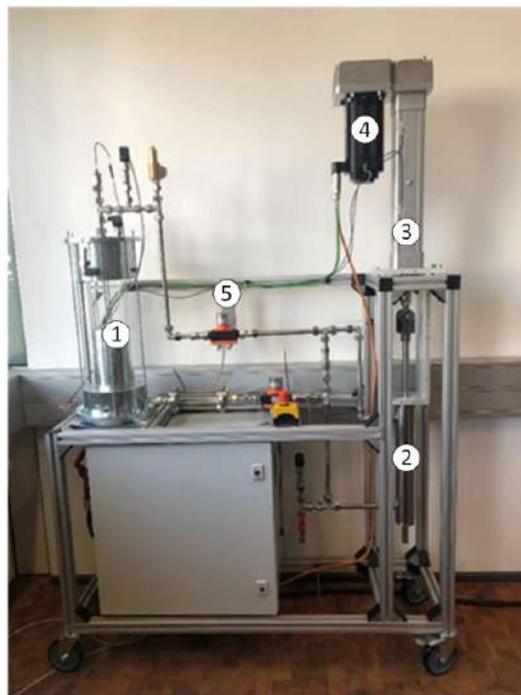
der Einspritzzeitpunkt, der Einspritzdruck und die Einspritzmenge. Ein früher Einspritzzeitpunkt führt

zu einem kontinuierlichen Druck- und Temperaturverlauf, der sich positiv auf die eingesparte Verdichtearbeit auswirkt. Dagegen verursacht eine späte Eindüsung aufgrund des bereits größeren Temperaturgefälles zwischen Gas und Flüssigkeit ein abruptes Abflachen der Druck- und Temperaturkurve. Eine Steigerung der Eindüsmenge führt erwartungsgemäß ebenfalls zu einer Verbesserung des Verdichterwirkungsgrades.



**Abbildung 6.** Einfluss des Einspritzzeitpunkts auf den Verlauf im Druck-Volumen-Diagramm, Schwarz: Zylinderdruck, Blau: Einspritzdruck, Oranger Pfeil: Abflachen der Druckkurve bei verzögerter Eindüsung.

In einem zweiten Prüfstand wurde das in 3. beschriebene Einspritzsystem mit Kreislaufführung und minimaler Eindüsarbeit untersucht und validiert. Außerdem wurde das blasenfreie Absaugen aus dem Zylindersumpf optimiert, um einen kontinuierlichen Betrieb ohne Bildung von Luftpolstern innerhalb der Einspritzstrecke zu gewährleisten.



**Abbildung 7.** Prüfstand des kontinuierlichen Einspritzsystems, (1) transparenter Modellzylinder, (2) doppelwirkender Hydraulikzylinder, (3) Linearantrieb, (4) Servomotor, (5) Volumenstromsensor

Das validierte Einspritzsystem soll im Folgenden auf den großen Verdichterprüfstand adaptiert werden, um einen Verdichter mit möglichst hohem Gesamt-Wirkungsgrad zu realisieren.

## 5. Ausblick

---

Im aktuellen Projektjahr werden in Parameterstudien zu Eindüszeitpunkt, -menge und -druck sowie der Düsenkonfiguration der Einfluss von Flüssigkeitseindüsung auf den Verlauf der Verdichtung untersucht. Durch die Variation der verwendeten Flüssigkeit soll weiterhin der Einfluss verschiedener Wärmekapazitäten und Wärmeübergangskoeffizienten untersucht werden. Die Studienergebnisse sollen die Erkenntnisse aus den bekannten Grundlagenversuchen ergänzen.

Im letzten Projektjahr soll ein weiterer Plungerzylinder als Expansionsmaschine in den Prüfstand integriert werden, um auch die Flüssigkeitseindüsung im Expanderbetrieb zu untersuchen. Dadurch entsteht als Gesamtsystem ein vollständiges CAES mit dem Potential für hohe Roundtrip-Wirkungsgrade.

## Literatur

---

- [1] Donadei, S.; Schneider, G.-S. 7 - Compressed Air Energy Storage. In Storing Energy (Second Edition); Letcher, T. M., Ed.; Elsevier, 2022; pp 141–156.
- [2] Hunt, J. D.; Zakeri, B.; Nascimento, A.; Brandão, R. 3 - Pumped Hydro Storage (PHS). In Storing Energy (Second Edition); Letcher, T. M., Ed.; Elsevier, 2022; pp 37–65.
- [3] Braasch, C.; Nieratschker, W.; Nadler, M.; Nett, D. Experimental and Numerical Investigation of Heat Transfer by Water Spray Injection into Pressurized Gas Atmospheres. Applied Thermal Engineering 2022, 214, 118682
- [4] Simpson, J. G.; Qin, C.; Loth, E. Spray-Cooled Compression: Theory and Simulation. Applied Thermal Engineering 2023, 229, 120619
- [5] Braasch, C.; Nieratschker, W.; Nadler, M.; Nett, D. Vorrichtung Und Verfahren Zur Umsetzung Quasi-Isothermer Zustandsänderungen [...], Patent DE102022114719A1, December 21, 2023

## Autorenhinweise

---

### **M.Eng. Christian Braasch**

Hochschule Koblenz

braasch@hs-koblenz.de

---

### **Dipl.-Ing. Simon Kaiser**

Hochschule Koblenz

kaiser2@hs-koblenz.de

---

### **M.Eng. Diana Nett**

Hochschule Koblenz

nett@hs-koblenz.de

---

---

# Der Einfluss des Speichels auf die retronasale Wahrnehmung des Mäuseltons

---

Caroline Dietzel, Louis Backmann, Ulrich Fischer, Maren Scharfenberger-Schmeer

## Abstract

Der Mäuselton ist ein mikrobiell induzierter Fehlton, der in den letzten Jahren wieder vermehrt im Wein aufgetreten ist. Die verantwortlichen Aromastoffe 2-Acetylterahydropyridin (ATHP), 2-Acetylpyrrolin (APY) und 2-Ethyltetrahydropyridin (ETHP) können nicht über den Geruch im Wein wahrgenommen werden, sondern nur retronasal nach Aufnahme des Weines. Mit Hilfe von Zeitintensitätskurven konnte diese retronasale Wahrnehmung erstmals beschrieben werden. Es konnte gezeigt werden, dass die Ausbildung des Geruchs im Rachen zwar einige Sekunden dauert, dann aber schnell gebildet wird und dann nur langsam wieder abnimmt. Dabei werden ATHP und APY intensiver retronasal wahrgenommen als EHP. Für die retronasale Wahrnehmung spielt der Speichel eine wichtige Rolle. Durch Messungen des Speichelflusses konnte gezeigt werden, dass Proband\*innen mit hohem Speichelfluss den Mäuselton intensiver wahrnahmen als die mit mittlerem und niedrigem Speichelfluss.

**Schlüsselbegriffe:** Mäuselton, retronasale Wahrnehmung, Speichelfluss

## 1. Einführung

---

Die Nachfrage nach natürlichen Produkten ist in den letzten zehn Jahren gestiegen und hat auch die Weinindustrie erreicht [1]. Dementsprechend werden Weine zunehmend ohne Eingriffe in den natürlichen Gärungsprozess vinifiziert. So wird beispielsweise auf Reinzuchthefen und Schwefel verzichtet [1,2]. Infolgedessen steigt das Risiko, dass unerwünschte Mikroorganismen auftreten. Dazu gehören die Schadhefe *Brettanomyces bruxellensis* sowie einige Milchsäurebakterien, die im Zuge ihres Stoffwechsels die für den Mäuselton verantwortlichen Aromastoffe ATHP, EHP und APY freisetzen können [3,4,5]. Der Geruch dieser Stoffe erinnert an geröstete Lebensmittel wie Popcorn, Reis oder namensgebend an einen Mäusekäfig [6].

Der Mäuselton kann im Wein nicht über den Geruch wahrgenommen werden, da die verantwortlichen Aromastoffe in der Weinmatrix nicht ausreichend flüchtig sind [7]. Erst im Mundraum erhöht sich die Flüchtigkeit, sodass die Aromastoffe über den Rachen zu den entsprechenden Geruchsrezeptoren gelangen. Bei der Wahrnehmung von Aroma spielt der Speichel eine entscheidende Rolle, indem er die Stoffe löst, verdünnt und verteilt [8], wobei auch der pH-Wert steigt. Für die Verbindung ATHP konnte gezeigt werden, dass diese als Tautomer vorliegt [9], dementsprechend wurde vermutet, dass durch Anstieg des pH-Wertes das Gleichgewicht zur stärker polaren und damit flüchtigeren Verbindung verschiebt [6]. Der genaue Vorgang konnte bisher allerdings nicht gezeigt werden.

## 2. Zeitintensitätsmessungen der Aromastoffe

Um die retronasale Wahrnehmung des Mäuseltons beschreiben zu können, wurden Zeitintensitätsmessungen durchgeführt. Dafür wurden 20 Proband\*innen trainiert Wein, mit Mäuselton für 5 Sekunden in den Mund zu nehmen und die Intensität des entstehenden Geruchs im Rachen über eine Zeit von maximal 4 Minuten mit Hilfe einer Skala von 0 bis 100 % zu beschreiben. Zunächst wurden die Zeitintensitätskurven der einzelnen Aromastoffe in Weißwein aufgenommen (Abbildung). Die Konzentrationen ( $c = 25 \mu\text{g/L}$ ) wurden dabei so gewählt, dass sie der durchschnittlichen, in fehlerhaften Weinen nachgewiesenen, Konzentration entsprechen [10,11,7]. Die Auswertung erfolgte nach DIN 10970:2002-09. Es konnte erstmals gezeigt werden, dass alle drei Substanzen retronasal wahrgenommen werden können, wobei ATHP am intensivsten bewertet wurde, gefolgt von APY. Die Kurven zeigen, dass es bis zu 5 Sekunden dauert, bis die Substanzen im Mundraum flüchtig werden. Die Flüchtigkeit nimmt dann stark zu, bis nach 23-25 Sekunden das Maximum erreicht ist. Dann nimmt die Intensität langsam ab und erst nach über 100 Sekunden war der Fehlton nicht mehr wahrnehmbar. Im Vergleich dazu wurde EHP in dieser Konzentration nur mit niedriger Intensität bewertet und die Wahrnehmung war deutlich kürzer. Da EHP in Weinen mit Mäuselton nicht in höheren Konzentrationen nachgewiesen werden konnte [10,11,7] scheint diese Verbindung bei der Ausbildung der retronasalen Wahrnehmung nur einen geringen Einfluss zu haben.

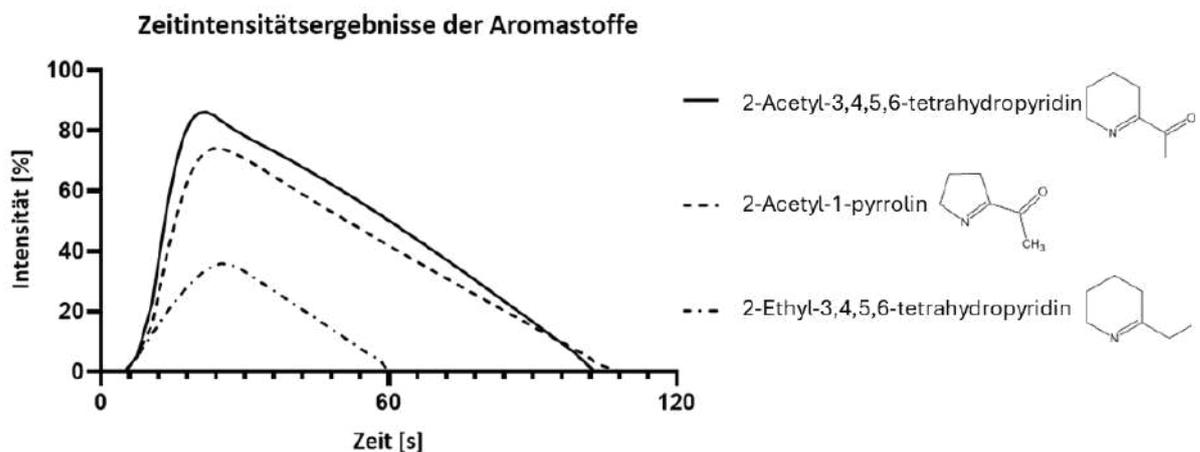


Abbildung 1. Ergebnisse der Zeitintensitätsmessungen der Aromastoffe 2-Acetylterahydropyridin, 2-Ethyl-tetrahydropyridin und 2-Acetylpyrrolin ( $c = 25 \mu\text{g/L}$ ) in Weißwein ( $n = 20$ ).

## 3. Einfluss des Speichelflusses auf die Wahrnehmung

Um den Einfluss des Speichels zu untersuchen, wurde der Speichelfluss von 15 Proband\*innen gemessen. Dabei wurde eine gravimetrische Methode genutzt, bei der der abgesonderte Speichel in einem tarierten Gefäß über eine Waage gesammelt und alle 10 Sekunden abgelesen wurde. Die 15 Personen wurden in drei Gruppen mit hohem ( $n = 5$ ), mittlerem ( $n = 5$ ) und niedrigem ( $n = 5$ ) Speichelfluss eingeteilt. In einem weiteren Versuch nahmen die Proband\*innen Zeitintensitätskurven mit einem Weißwein, der einen Mäuselton aufwies, auf. Die Ergebnisse zeigten (Abbildung), dass die Proband\*innen den Mäuselton intensiver und länger wahrnahmen als die mit mittlerem Speichelfluss. Bei

niedrigem Speichelfluss wurde das Maximum des Mäuseltons deutlich später und weniger intensiv wahrgenommen.

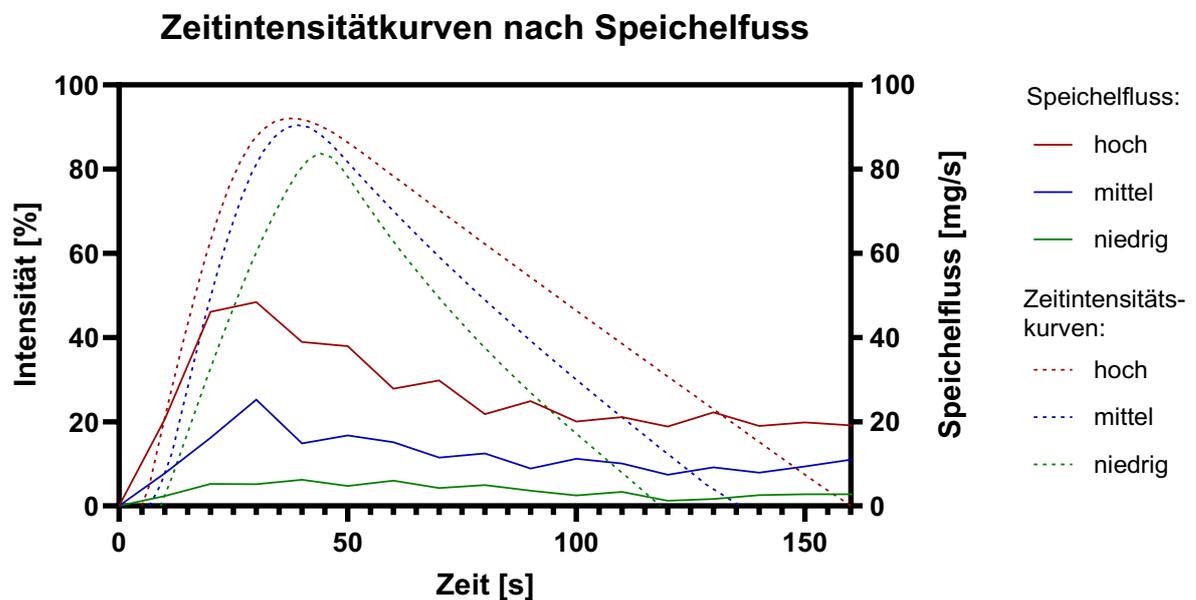


Abbildung 2. Ergebnisse der Zeitintensitätsmessungen eines Weißweins nach Einteilung in hohen (n=5, rot), mittleren (n=5, blau) und niedrigen (n=5, grün) Speichelfluss

Die Ergebnisse zeigen den Einfluss des Speichels auf die Flüchtigkeit der Verbindungen im Mundraum. Weitere Untersuchungen sind notwendig, um zu überprüfen, welche Faktoren des Speichels, beispielsweise Temperatur, pH-Wert oder Proteinzusammensetzung, hier eine Rolle spielen.

## Literatur

- 
- [1] Vecchio, R.; Parga-Dans, E.; Alonso González, P.; Annunziata, A. Why consumers drink natural wine? Consumer perception and information about natural wine. *Agricultural and Food Economics [Online]* 2021, 9 (1), 22.
- [2] Migliore, G.; Thrassou, A.; Crescimanno, M.; Schifani, G.; Galati, A. Factors affecting consumer preferences for “natural wine”. *BFJ [Online]* 2020, 122 (8), 2463–2479.
- [3] Costello, P.; Lee, T.; Henschke, P. Ability of lactic acid bacteria to produce N-heterocycles causing mousy off-flavour in wine. *Australian Journal of Grape and Wine Research [Online]* 2008, 7, 160–167.
- [4] Grbin, P. R.; Henschke, P. A. Mousy off-flavour production in grape juice and wine by *Dekkera* and *Brettanomyces* yeasts. *Australian Journal of Grape and Wine Research [Online]* 2000, 6 [3], 255–262.
- [5] Heresztyn, T. Formation of Substituted Tetrahydropyridines by Species of *Brettanomyces* and *Lactobacillus* from Mousy Wines. *American Journal of Enology and Viticulture [Online]* 1986, 37 (2), 127.
- [6] Snowdon, E. M.; Bowyer, M. C.; Grbin, P. R.; Bowyer, P. K. Mousy Off-Flavor: A Review. *Journal of Agricultural and Food Chemistry [Online]* 2006, 54 (18), 6465–6474.
- [7] Grbin, P.; Costello, P.; Herderich, M.; Markides, A.; Henschke, P.; Lee, T. Developments in the sensory, chemical and microbiological basis of mousy taint in wine [Online] 1996.

[8] Bojanowski, V.; Hummel, T. Retronasal perception of odors. *Physiology & Behavior [Online]* 2012, 107 (4), 484–487. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0031938412000947>.

[9] Sanders, R. A.; Zyzak, D. V.; Morsch, T. R.; Rizzi, G. P. Elucidation of Tautomer Structures of 2-Acetyltetrahydropyridine Using Gas Chromatography/Mass Spectrometry and Gas Chromatography/Infrared Spectroscopy. *European Journal of Mass Spectrometry [Online]* 2005, 11 (2), 217–220 (accessed December 16, 2021).

[10] Kiyomichi, D.; Franc, C.; Moulis, P.; Riquier, L.; Ballestra, P.; Marchand, S.; Tempère, S.; Revel, G. de. Investigation into mousy off-flavor in wine using gas chromatography-mass spectrometry with stir bar sorptive extraction. *Food Chemistry [Online]* 2023, 411, 135454.

[11] Hayasaka, Y. Quantitative analysis of mousy off-flavour compound 2-acetyl tetrahydropyridine in wine using liquid chromatography tandem mass spectrometry interfaced with atmospheric chemical ionisation. *Journal of Chromatography A [Online]* 2019, 1588, 108–114.

Dieses IGF-Vorhaben des Forschungskreises der Ernährungsindustrie e. V. (FEI) wird im Rahmen des Programms zur Förderung der Industriellen Gemeinschaftsforschung (IGF) vom Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages gefördert.

## Autorenhinweise

---

**Caroline Dietzel**

Dienstleistungszentrum Ländlicher Raum Rheinpfalz

Caroline.Dietzel@dlr.rlp.de

---

---

# Entwicklung eines ganzheitlichen Automationsansatzes für die Speckle-interferometrischen Verfahren der Digital-Holografie und -Shearografie

---

Jessica Plaßmann, Georg von Freymann, Michael Schuth, Nicolas Schuler

## Abstract

Die steigenden Anforderungen an die Sicherheit und Qualität von Bauteilen erfordern eine vollständige und effiziente Bauteilüberwachung während der Produktion. Diese kann nur unter Zuhilfenahme zerstörungsfreier Prüfverfahren gewährleistet werden. Folglich stellen die derzeit stetig komplexer werdenden Bauteile und innovativen Hybridwerkstoffe eine besondere Herausforderung dar.

Die frühzeitige Erkennung von produktionsbedingten Schwachstellen oder Schäden ermöglicht die Prävention unvorhergesehener Ausfälle, wodurch die Gefährdung von Menschenleben und hohe Reparaturkosten vermieden werden können. Folglich sind die Erforschung und Optimierung neuer geeigneter Technologien auf dem Gebiet der zerstörungsfreien Prüfung von essenzieller Bedeutung. In diesem Kontext sei auf die optischen Messverfahren verwiesen, unter denen die Digital-Holografie und -Shearografie ein großes Potential für die Untersuchung heterogener Materialien zeigen. Sie basieren auf dem Speckle-Effekt und nutzen den Vergleich von Bildaufnahmen eines Bauteils in unterschiedlich belasteten Zuständen, um Verformungsanomalien zu detektieren.

Begründet durch komplexitätsbedingte Limitationen ist die Anwendung der Verfahren jedoch selten. Insbesondere die Einstellung der Geräteparameter ist verfahrensbedingt aufwändig. Da Indikatoren für Fehlstellen über Anomalien im Verformungsverhalten detektiert werden, welche durch die geeignete Belastung des Bauteils provoziert werden, ist die Art, Richtung, Dauer und Intensität dieser Belastung aus einer Vielzahl an Möglichkeiten zu wählen. Dieser Komplexität wird mit Automation durch Simulation, Hyperparameteroptimierung und Methoden des maschinellen Lernens entgegengewirkt.

**Schlüsselbegriffe:** Zerstörungsfreie Prüfung, optische Messtechnik, Automatisierung, Shearografie, Holografie

## 1. Einleitung

---

Am Beispiel der Automobilbranche zeigt sich der Trend hin zu komplexeren Leichtbauwerkstoffen. Laut der International Market Analysis Research and Consulting Group werden als marktantreibende Schlüsselfaktoren die steigende Nachfrage nach leichten und treibstoffeffizienten Fahrzeugen, zahlreiche technologische Fortschritte in den Herstellungsprozessen sowie die Einführung strenger staatlicher Vorschriften identifiziert [1]. Auch Statista prognostiziert in Schätzungen aus dem März 2023 für carbonfaserverstärkte Kunststoffe allein einen weltweiten Anstieg der Nachfrage auf über

143.000 Tonnen im Jahr 2025, was einer Steigerung um über 34% der Nachfrage aus dem Jahr 2022 entspricht [2].

Aus den benannten Schlüsselfaktoren lassen sich steigende Anforderungen an Qualität und Sicherheit von Bauteilen ableiten, welche nur durch konsequente und vollständige Bauteilüberwachung sichergestellt werden können. In diesem Bereich haben sich bislang Verfahren wie beispielsweise Thermografie, Ultraschall und Röntgen etablieren können. Allerdings stoßen diese Verfahren bei modernen Hybridwerkstoffen an ihre Grenzen. Interferometrische Verfahren dagegen haben hier den Vorteil, flächig und berührungslos mit hoher Messgeschwindigkeit und Präzision weitestgehend materialunabhängig zu messen. Das Potential dieser Verfahren steigt weiter durch die Verfügbarkeit von leistungsfähiger Laser- und Kamertechnologie sowie Rechenleistung und modernen Bildverarbeitungslösungen.

## 2. Digitale Speckle-interferometrische Verfahren

Wird eine optisch raue Oberfläche mit kohärentem Laserlicht bestrahlt, bilden sich benachbarte Streuzentren aus. Die von diesen Punkten ausgehenden Wellen interferieren im Fernfeld und führen zur Ausbildung des Speckle-Phänomens, welches die Basis der Speckle-Interferometrie bildet. Durch die Bewegung der Oberfläche relativ zum Beobachter verändert sich der Weg der Strahlen, wodurch auch das Speckle-Muster sich verändert. Wird diese Veränderung durch den Aufbau zur elektronischen Speckle-Interferometrie (Holografie) beobachtet, lässt sich mit der Phaseninformation die Deformation der Oberfläche im Bereich der verwendeten Laserwellenlänge messen. Wird nun gezielt eine geringe Belastung auf ein Bauteil aufgebracht, können Aussagen über die Qualität und Belastbarkeit dieses Bauteils getroffen werden. Fehlstellen wie beispielsweise Risse, Delaminationen oder Einschlüsse provozieren bei passender Belastung Verformungsanomalien an der Oberfläche. Art, Dauer und Richtung der Belastung können je nach Material und erwarteten Fehlstellen gewählt werden. Lediglich das verwendete Verfahren zur Ermittlung der Phaseninformation beeinflusst diese Auswahl und entscheidet, ob eine statische oder dynamische Belastungsart verwendet werden kann [3].

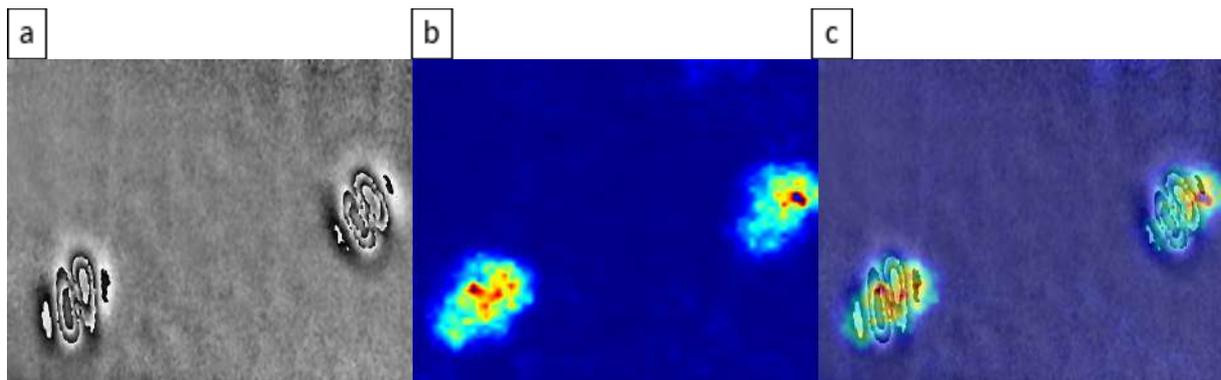
Neben der Messung der Oberflächendeformation kann mithilfe des Speckle-Effekts aber auch die räumliche Änderung der Deformation gemessen werden. Der hierzu benötigte Shearografie-Aufbau ähnelt im Wesentlichen dem Holografie-Aufbau, ist jedoch ergänzt um ein sogenanntes Shear-Element [4]. Durch dieses Element wird die Aufnahme ineinander verkippt oder „versheart“.

Die seltene Anwendung beider Verfahren kann, neben der fehlenden Verfügbarkeit preisgünstiger Komponenten, auch auf prinzip- sowie komplexitätsbedingte Limitationen zurückgeführt werden. Mit der steigenden Verfügbarkeit leistungsstarker Komponenten konnte C. Petry [5] die Überwindung der prinzipbedingten Limitationen vorantreiben. Komplexitätsbedingte Limitationen verbleiben jedoch vorerst und hemmen die Automatisierung des Verfahrens, was dessen breiter Anwendung im Wege steht.

Es wurden unter anderem folgende, die Komplexität bedingende Faktoren identifiziert: Die Einstellung optimaler Messparameter sowie Art, Dauer, Richtung und Intensität der für die erwarteten Fehlstellen geeigneten Belastung. Diese Entscheidung hängt vom Bauteil ab und wird bislang durch Erfahrungswerte der Prüfer getroffen. Hinzu kommt die Frage, ob ein Messergebnis aussagekräftig ist und ob ein

Indikator für eine Fehlstelle, die zum Ausschluss führen würde, detektiert und klassifiziert werden kann.

Einer der untersuchten Ansätze zur Begegnung dieser Limitationen ist die automatisierte Anomalie Detektion auf Basis künstlicher Intelligenz (KI), hierunter künstlicher neuronaler Netze. Eine Herausforderung für die industrielle Anwendung ist die Erzeugung von gelabelten Datensets mit ausreichend hoher Anzahl an Gut- und Fehlbauteilen. Entsprechend wird ein unüberwachtes Lernparadigma verfolgt. Abbildung 1 zeigt erste Ergebnisse der Übertragung eines Student-Teacher-Modells in die Domäne der Shearografie. Fehlstellen können so ohne Fachpersonal gezählt, lokalisiert und bewertet werden.



**Abbildung 1. a) Shearographieaufnahme mit zwei Fehlstellen b) Anomaliekarte als Ergebnis der Inferenz mit dem Student-Teacher-Modell; rote Bereiche markieren hohe Anomaliebewertungen c) Überlagerte Aufnahme**

## Literatur

---

[1] The International Market Analysis research and Consulting Group. *Automotive Polymer Composites Market by Resin Type, Product, Manufacturing Process, Application, End Use, and Region 2023-2028*. <https://www.imarcgroup.com/automotive-polymer-composites-market>(accessed 2023-04-12).

[2] Statista. *Prognose zur weltweiten Nachfrage Carbonfaserverstärkter Kunststoffe bis 2025*. <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/660055/umfrage/nachfrage-von-carbonfaser-verstaerkten-kunststoffen-weltweit/> (accessed 2023-04-12).

[3] Yang, L., Xie, X., Zhu, L. et al. *Review of electronic speckle pattern interferometry (ESPI) for three dimensional displacement measurement*. *Chin. J. Mech. Eng.* 27, 1–13. 2014. <https://doi.org/10.3901/CJME.2014.01.001>

[4] Schuth, M., Buerakov, W. *Handbuch optische Messtechnik: Praktische Anwendungen für Entwicklung, Versuch, Fertigung und Qualitätssicherung*, München. Carl Hanser Verlag GmbH & Co. KG; ISBN: 978-3-446-43634-3, 2017, S. 453ff.

[5] Petry, C. M. *Weiterentwicklung der Shearografie mit räumlichem Phasenschieben als zerstörungsfreies Prüfverfahren für die automatisierte Serienüberwachung*. Ph.D. Dissertation. Universität des Saarlandes. 2021. doi:10.22028/D291-35137

**Jessica Plaßmann**

Rheinland-Pfälzische Technische Universität Kaiserslautern-Landau, Hochschule Trier

plassmaj@hochschule-trier.de

---

**Prof. Dr. Georg von Freymann**

Fachbereich Physik und Landesforschungszentrum OPTIMAS, Rheinland-Pfälzische Technische Universität RPTU Kaiserslautern-Landau

georg.freymann@rptu.de

Fraunhofer Institut für Techno- und Wirtschaftsmathematik ITWM, Kaiserslautern

georg.von.freymann@itwm.fraunhofer.de

---

**Prof. Dr. Michael Schuth**

Hochschule Trier

schuth@hochschule-trier.de

---

**Nicolas Schuler**

Hochschule Trier

schulern@hochschule-trier.de

---

---

# Bildgebendes Verfahren zur Visualisierung lokal unterschiedlicher Oberflächenhärte niedriglegierter Stähle mittels laserinduzierter Plasmaspektroskopie

---

Lukas Retterath, Peter Kohns, Georg Ankerhold

## Abstract

Die Bestimmung der Oberflächenhärte ist ein wichtiger Bereich in der Materialwissenschaft. Herkömmliche taktile Methoden nach Brinell, Rockwell oder Vickers beschädigen erheblich die Probenoberfläche, da sie auf dem Abgleich entstehender Eindrücke beruhen. Diese Verfahren sind zudem sehr zeitaufwendig, obwohl das Aufbringen der Prüfkraft und die optische Vermessung mittlerweile häufig automatisiert stattfinden. Um heterogene Härteverteilungen darzustellen, wären viele Einzelvergleiche erforderlich, und die Ortsauflösung wäre durch die entstehenden oft millimetergroßen Abdrücke begrenzt.

Eine vielversprechende Alternative könnte die Kombination von laserinduzierter Plasmaspektroskopie (LIBS) mit einem Scan-Verfahren zu einem bildgebenden Härteprüfverfahren darstellen. Im Gegensatz zu den klassischen taktile Methoden arbeitet dieses, auch mobil einsetzbare Verfahren rein optisch und berührungsfrei, ist leicht automatisierbar und in-situ einsetzbar. Da beim Beschuss der Probenoberfläche mit kurzen Laserpulsen nur geringste Materialmengen im Nanogramm-Bereich verdampft werden, ist dieses Analyseverfahren nahezu zerstörungsfrei. Die unterschiedliche Gitterstruktur verschieden harter Stähle beeinflusst die Wechselwirkung zwischen Laserpulsen und Material, was zu spektralen Änderungen im entstehenden Plasmaleuchten führt. Im Gegensatz zum klassischen Abdruckabgleich wird hierbei der Plasmaionisierungsgrad zur Abschätzung und Visualisierung der Oberflächenhärte verwendet. Um die neu entwickelte Methode testen und den Einfluss chargenbedingter Legierungsunterschiede auszuschließen zu können, wurden Stücke eines Kohlenstoffstahls partiell gehärtet. Anschließend konnte der dabei erzeugte und zuvor mechanisch nachgewiesene Härteverlauf erfolgreich visualisiert werden.

**Schlüsselbegriffe:** Laserinduzierte Plasmaspektroskopie, LIBS, Bildgebung, Visualisierung, Härte

## 1. Einleitung

---

Konventionelle mechanische und damit berührende Härteprüfungen sind zeitaufwendig und können die Oberfläche durch plastische Verformung nachhaltig beschädigen. Darüber hinaus erfordern diese Tests oft spezifische Geometrien und eine gute Oberflächenbeschaffenheit [1]. Die Visualisierung der Materialhärte mittels laserinduzierter Plasmaspektroskopie (LIBS) bietet durch ihre berührungslose, nahezu zerstörungsfreie Natur erhebliche Vorteile. Zudem erlaubt die Analyse der LIBS-Spektren eine zeitgleiche Bestimmung der Elementzusammensetzung der Probe [2].

Aktuelle Publikationen über die Anwendung von LIBS zur Charakterisierung mechanischer Eigenschaften zeigten bereits eine Korrelation zwischen Oberflächenhärte, den resultierenden Plasmatemperaturen und dem Ionisierungsgrad des Plasmas. Obwohl diese Studien die Machbarkeit des Ansatzes zeigten, wurden dabei Proben aus unterschiedlichen Chargen verwendet, lediglich einzelne Stellen untersucht und die Ergebnisse über mehrere Pulse gemittelt [3].

In unserer Arbeit haben wir diesen Ansatz weiterentwickelt, indem wir zeitaufgelöste LIBS-Messungen mit einem Einzelschuss-Scan-Verfahren kombiniert haben. Dadurch konnten wir eine Visualisierung der Oberflächenhärte realisieren. Um unabhängig von anderen Legierungselementen zu bleiben, nutzen wir zur Auswertung Emissionslinien von ionisierten und neutralen angeregten Eisenatomen (Fe). Die lokal ermittelten Verhältnisse zwischen absoluter Ionen- und Atomlinienintensität korrelieren dabei mit der Oberflächenhärte.

## 2. Experimenteller Aufbau

Das in Abbildung 1 dargestellte Schema ist ein typischer Messaufbau für die laserinduzierte Plasmaspektroskopie. Ein gütegeschalteter Nd:YAG-Laser emittiert kurze Nanosekundenpulse, welche in einem Spot von wenigen zehn Mikrometern Durchmesser auf der Probe fokussiert werden. Durch die starke lokale Erwärmung von einigen tausend Kelvin wird ein Bruchteil der Materialoberfläche verdampft und zu einem Plasma ionisiert. Dabei entsteht ein für die Probenzusammensetzung charakteristisches Plasmaleuchten. Mit einer geeigneten Optik und eines Spektrometers kann im Anschluss eine Analyse der im Emissionsspektrum sichtbaren Elementlinien erfolgen. Rückschlüsse auf die Beschaffenheit und Zusammensetzung der Probe werden dadurch möglich. Um orts aufgelöste Messungen durchführen zu können, wird die Probe auf einem PC-gesteuerten motorisierten Probentisch positioniert und unter der Fokussierlinse verfahren.

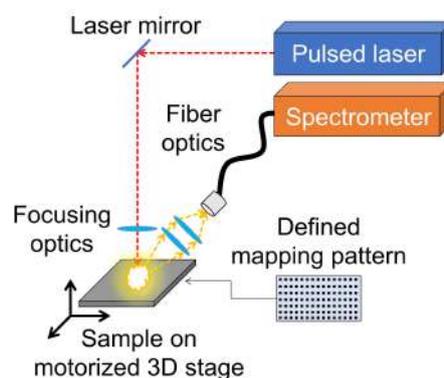


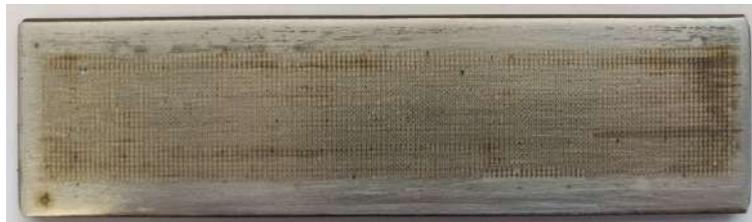
Abbildung 1. Schematischer Messaufbau – Laserinduzierte Plasmaspektroskopie.

## 3. Probenmaterial und -vorbereitung

Bei der untersuchten Probe handelt es sich um ein circa 150 Millimeter langes und 30 Millimeter breites Stück Kohlenstoffstahl 80CrV2 (Abb. 2). Die zulässigen Legierungsanteile sind durch die Norm

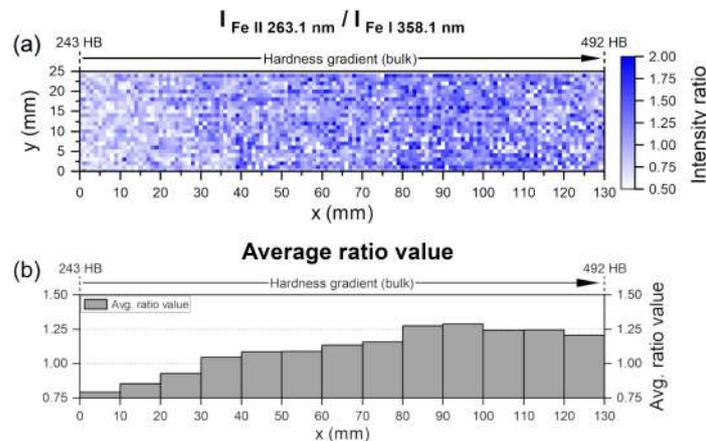
DIN EN 10132:2022-04 vorgegeben (C: 0.75-0.85%, Si: 0.15-0.35%, Mn: 0.30-0.50%, P: max. 0.025%, S: max. 0.025%, Cr: 0.40-0.60%, Mo: max. 0.10%, Ni: max. 0.40%, V: 0.15-0.25%, Cu: 0.40%) [4].

Da das Ziel unserer Forschung die Visualisierung und Unterscheidung verschieden harter Bereiche an einer einzelnen Stahlprobe war, wurde das Stahlstück zuvor wärmebehandelt. Dazu wurde die Probe langsam (360°C/h) auf eine finale Haltetemperatur von 830°C erhitzt und für 50 Minuten gehalten [5]. Anschließend wurde ein Ende der heißen Probe circa 50 Millimeter tief in kaltes Wasser eingetaucht und rasch abgekühlt. Das verbleibende heiße Ende kühlte an der Umgebungsluft und damit langsamer ab. Beim Wärmebehandeln kommt es je nach Abkühlgeschwindigkeit zu unterschiedlichen Gitterstrukturen, was den wesentlichen Grund für unterschiedliche Materialhärte darstellt [1]. Die auf oben beschriebene Weise wärmebehandelte Probe besitzt einen Härteverlauf, der von einem Probenende mit einer Brinell-Härte von 248 HB zum anderen mit 492 HB reicht.



**Abbildung 2.** Foto der untersuchten partiell gehärteten Platte aus niedriglegiertem Kohlenstoffstahl 80CrV2 mit einer von links (248 HB) nach rechts (492 HB) ansteigenden Härte.

#### 4. Ergebnisse



**Abbildung 3.** Lokal ermittelte Intensitätsverhältnisse zwischen Fe II 263,1 nm und Fe I 358,1 nm auf niedriglegiertem Kohlenstoffstahl DIN 80CrV2 im Vergleich zum von links nach rechts zunehmenden Härtegradienten (HB): (a) lokale Verhältniszahlen, (b) gemittelter Verhältniszwert für 10 mm breite Streifen.

Das Ergebnis der ortsaufgelösten Untersuchung ist in Abbildung 3 zu sehen. Das Intensitätsverhältnis  $I_{\text{Fe II } 263.1 \text{ nm}} / I_{\text{Fe I } 358.1 \text{ nm}}$  wurde für jeden Punkt der Spektrenkarte ermittelt und mit geeignetem Kontrast dargestellt (Abb. 3a). Der simultan mit der Oberflächenhärte ansteigende Verhältniszwert ist gut zu erkennen, was eine visuelle Unterscheidung von weichen und harten Arealen ermöglicht. An beiden Darstellungen ist die Eintauchtiefe von circa 50 Millimetern (Fig. 3b) und das leicht schräge

Abschrecken (Fig. 3a) gut erkennbar. Die erreichte Auflösung liegt auf ähnlichem Niveau wie die der herkömmlichen, mechanisch berührenden Verfahren. Wir haben festgestellt, dass es bei sonst gleichen Messparametern auf harten Materialien zu einer geringeren Ablation, einer größeren Plasmaerwärmung und somit zu einer stärkeren Ionisation des erzeugten Plasmas kommt.

Wir planen, unser Messverfahren auf die Härtemessung anderer Materialien zu übertragen.

## Literatur

---

[1] Bargel, H. J. *Werkstoffkunde*, Springer Vieweg, 2022.

[2] Noll, R. *Laser-Induced Breakdown Spectroscopy*, Springer, 2012.

[3] Momcilovic, M.; Petrovic, J.; Ciganovic, J.; Cvijovic-Alagic, I.; Koldzic, F.; Zivkovic, S. Laser-Induced Plasma as a Method for the Metallic Materials Hardness Estimation: An Alternative Approach, *Plasma Chem Plasma Process* 2020, 40, 499-510. DOI: 10.1007/s11090-020-10063-5

[4] DIN Media. *Cold rolled narrow steel strip for heat treatment - Technical delivery conditions; German version EN 10132:2022-04*, 2022. DOI: 10.31030/3334919

[5] Wegst, M.; Wegst, C. *Stahlschlüssel Taschenbuch: Wissenswertes über Stähle*, Verlag Stahlschlüssel Wegst GmbH, 21. Auflage, 2007.

## Autorenhinweise

---

### **Lukas Retterath, M.Sc.**

Hochschule Koblenz, RheinAhrCampus Remagen

retterath1@hs-koblenz.de

---

### **Prof. Dr. Peter Kohns**

Hochschule Koblenz, RheinAhrCampus Remagen

kohns@hs-koblenz.de

---

### **Prof. Dr. Georg Ankerhold**

Hochschule Koblenz, RheinAhrCampus Remagen

ankerhold@hs-koblenz.de

---

---

# Kunststoffrecycling für die additive Fertigung

---

**Michael Wahl, Kai Scherer, Bruno Gallace**

## Abstract

Die additive Fertigung gewinnt zunehmend an Bedeutung. Mit einer wachsenden Nachfrage an extrusionsbasierten Verfahren z.B. in Makerspaces, im privaten Umfeld oder der Industrie, steigt auch das Interesse daran, die anfallenden Kunststoffabfälle wie Stützstrukturen oder Ausschussteile zu recyceln. Dieser Artikel zeigt Möglichkeiten auf, wie Abfälle aus der Industrie oder Druckabfälle in einem Kreislauf erneut für die additive Fertigung nutzbar gemacht werden können. Dabei werden Möglichkeiten zur Aufarbeitung der Kunststoffabfälle für den Filamentdruck sowie für den Direktdruck mit einem Granulatdrucker vorgestellt.

**Schlüsselbegriffe:** additive Fertigung, Kunststoffrecycling, Granulatdruck, Filamentdruck.

## 1. Materialaufbereitung

---

Die additive Fertigung, umgangssprachlich auch als 3D-Druck bekannt, wird industriell, in der Forschung sowie im Privatbereich immer häufiger genutzt. Dabei reicht der Einsatz vom allgemeinen Maschinenbau [1] bis hin zu spezielleren Anwendungsbereichen in der Biotechnologie [2].

Die am weitesten verbreiteten Verfahren im Bereich der Materialextrusion mit Kunststoffen sind Fused-Filament-Fabrication (FFF) und Fused-Granular-Fabrication (FGF). Bei beiden Verfahren fallen in der Regel sortenreine Kunststoffabfälle beispielsweise durch Stützstrukturen oder Fehldrucke an.

Etwa 45% der anfallenden Abfälle sind Stützstrukturen, welche fertigungsbedingt bei den Verfahren eingesetzt und nach dem Druck entfernt werden müssen. Ca. 55 % der Abfälle entstehen aus fehlerhaften Drucken. Gründe hierfür sind zum Beispiel das Ablösen der Bauteile von der Druckplatte oder andere Störungen während des Druckprozesses [3].

Neben Druckabfällen sind auch industrielle Kunststoffabfälle für das Recycling geeignet. 2021 stellten Verpackungsmaterialien mit 31,2 % den größten Anteil der in Deutschland eingesetzten Kunststoffe dar [4]. Die anfallenden Kunststoffabfälle gilt es möglichst ressourceneffizient aufzubereiten und für die additive Fertigung nutzbar zu machen.

Die Druckabfälle oder Kunststoffreste werden in kaskadierten Schritten für das Recycling und den erneuten Einsatz in der additiven Fertigung vorbereitet. In einem ersten Schritt werden die Kunststoffreste z.B. mit einer Sortiermaschine möglichst sortenrein getrennt. Eine Demonstrationsanlage zum Sortierprozess wurde im Innovationslabor Digitalisierung am Umwelt-Campus Birkenfeld im Rahmen des von der Carl-Zeiss-Stiftung geförderten Projektes „KI-GenF“ aufgebaut [5] und dient insbesondere

der Veranschaulichung der Prozesskette für Schüler\*innen und interessierte Besucher\*innen. Basierend auf einem Kamerasystem und der entsprechenden Bildauswertung erfolgt eine effiziente Sortierung, indem unterschiedliche Fraktionen auf einem Förderband nach Form und Farbe automatisiert sortiert werden. Die entsprechenden Kunststoffsorten können dem Sortierprozess einprogrammiert werden.

In einem weiteren Aufbereitungsschritt werden die Kunststoffabfälle mit Hilfe einer Schneidmühle auf die gewünschte Partikelgröße zu Granulat (z.B. Flakes oder Pellets) zerkleinert und somit für die weiterführenden Recyclingschritte vorbereitet.

## 2. Filamentherstellung

Eine bereits vielfach untersuchte Möglichkeit zur Kreislaufführung von Kunststoffen für die additive Fertigung ist die Filamentherzeugung. Dieser Prozess ermöglicht das Recycling verschiedener Kunststoffabfälle für den filamentbasierten 3D-Druck (FFF), nach der zuvor beschriebenen Materialaufbereitung. Dabei kann ein Anteil von bis zu 100% Recyclingmaterial verwendet werden [6]. Die eingesetzten Schneckenextruder schmelzen das Recyclingmaterial in einer beheizten Schnecke auf und fördern es zu einer Düse, an der durch den kontrollierten Austritt des geschmolzenen Kunststoffs das Filament hergestellt wird (vgl. Abbildung 1).

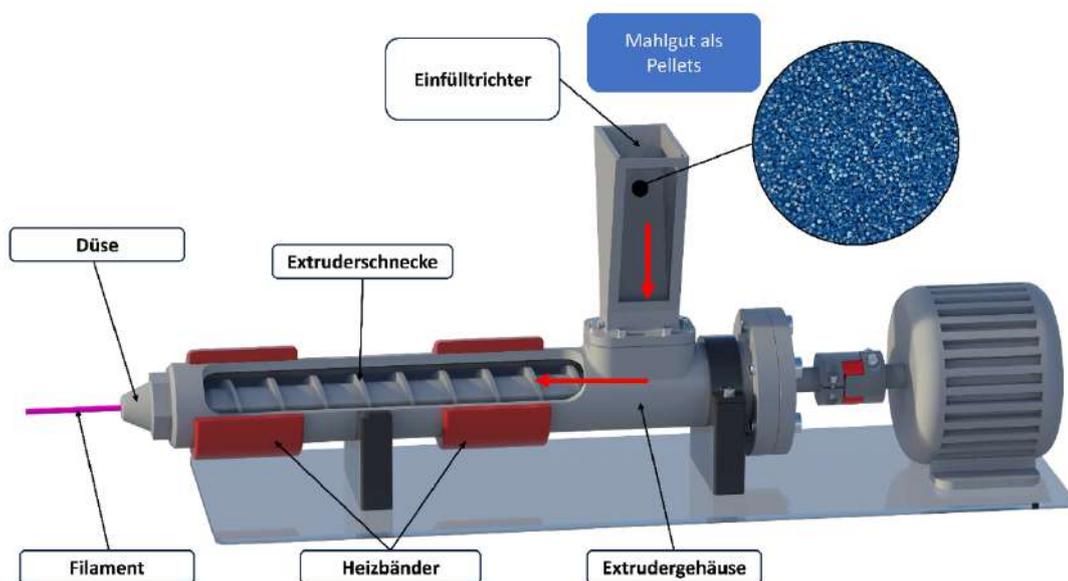


Abbildung 3. Schematischer Aufbau eines Schneckenextruders.

In Abhängigkeit der Anzahl der Recyclingzyklen kann der Kunststoff durch den Kreislaufprozess degenerieren und seine Eigenschaften verändern. Der Degradation kann durch das Beimischen von Neumaterial bei der Filamentherstellung entgegengewirkt werden. Die Degradation bei wertstofflichem Recycling wurde anhand der zwei häufig im 3D-Druck eingesetzten Kunststoffen PLA [6] und PETG [7] untersucht.

Kritisch neben der Degradation sind Verunreinigungen durch Fremdmaterial wie z.B. Kunststoffe mit einer höheren Schmelztemperatur als das Grundmaterial. Dieses Fremdmaterial kann bei der Filamentherstellung nicht aufschmelzen und führt zu einem Verstopfen der Düse, wodurch der Herstellungsprozess unterbrochen wird und der Extruder aufwändig gereinigt werden muss.

### 3. Direktdruck mit Granulatdrucker

Eine weitere Möglichkeit die zerkleinerten Kunststoffabfälle in der additiven Fertigung einzusetzen, bietet der Direktdruck mit Granulat auf einem Granulatdrucker nach dem FGF-Verfahren. Hierbei ist der Zwischenschritt der Filamentherstellung nicht notwendig und die zerkleinerten Kunststoffabfälle werden direkt durch einen im Drucker montierten Pellet-Extruder verarbeitet. Hierdurch wird die Energie für die Filamentherstellung eingespart, was zu einem energieeffizienteren und ressourcenschonenderen Verfahren führt. Da hierbei Düsen mit großen Durchmessern eingesetzt werden, ist die Gefahr einer Verstopfung durch Fremdmaterial ebenfalls deutlich geringer als bei der Filamentherstellung.

Der direkte Granulatdruck mit Rezyklaten ist aktuell noch Gegenstand der Forschung und kann in Bezug auf die Druckqualität noch nicht mit dem Filamentdruck konkurrieren. Am Umwelt-Campus Birkenfeld wurde zur Erforschung des Direktdrucks mit Recyclingmaterial ein Granulatdrucker (Abbildung 2) von Studenten selbst entwickelt und gebaut, sowie im Rahmen des von der Carl-Zeiss-Stiftung geförderten Projekts „Pellet 3D“ weiterentwickelt [8]. Ein Forschungsschwerpunkt liegt aktuell darin, die Förderung der durch den Recyclingprozess unförmigen und scharfkantigen Rezyklate im Druckprozess zu optimieren und einen gleichmäßigen Materialfluss sicherzustellen. Zurzeit werden hierbei Mischungen aus Recycling- und Neumaterial eingesetzt, mit dem Ziel den Granulatdruck auf einen Recyclinganteil von 100% zu adaptieren.

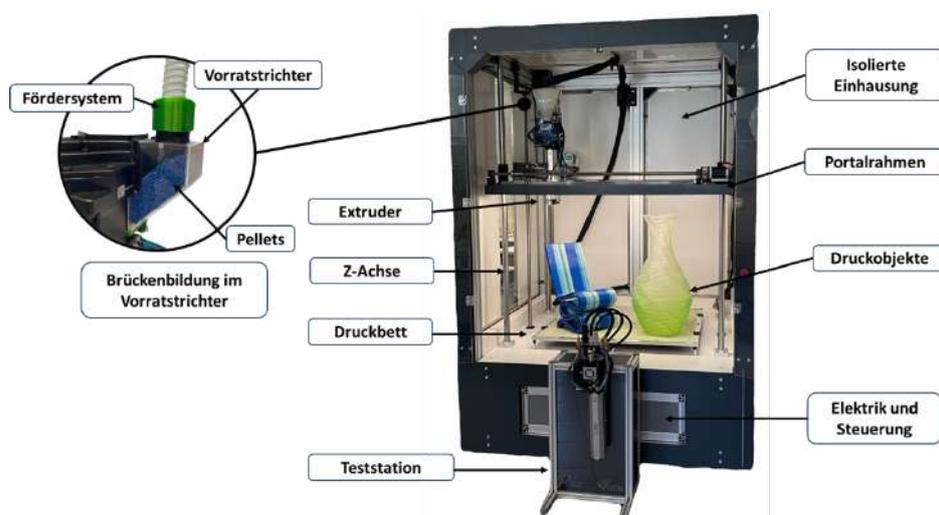


Abbildung 2. Pellet 3D Drucker und vergrößert Materialzuführung (links).

## Literatur

---

- [1] te Heesen, H.; Wahl, M.; Bremer, M.; Huwer, A.; Messemer, J. Heterogene Einsatzfelder der generativen Fertigung. *Industrie 4.0 Management* 2020, 36, 25-29. DOI: 10.30844/I40M\_20-1\_S25-29
- [2] Scherer, K.; Soerjawanata, W.; Schaefer, S.; Kockler, I.; Ulber, R.; Lakatos, M.; Bröckel, U.; Kampeis, P.; Wahl, M. Influence of wettability and surface design on the adhesion of terrestrial cyanobacteria to additive manufactured biocarriers. *Bioprocess and Biosystems Engineering* 2022, 45, 931-941. DOI: 10.1007/s00449-022-02712-0
- [3] Song, R.; Telenko, C. Material end energy loss due to human and machine error in commercial FDM printers. *Journal of Cleaner Production* 2017, 148, 895-904. DOI: 10.1016/j.jclepro.2017.01.171
- [4] Umweltbundesamt. Kunststoffabfälle. <https://www.umweltbundesamt.de/daten/ressourcen-abfall/verwertung-entsorgung-ausgewaehlter-abfallarten/kunststoffabfaelle#kunststoffvielfalt> (accessed 2024-05-17)
- [5] Mattern, M.; Bast, S.; Scherer, K.; Gollmer, K.; Wahl, M. Innovationslabor Digitalisierung – Produktentwicklung mittels Design Thinking im Makerspace. *Industrie 4.0 Management* 2023, 39, 63-64. DOI: 10.30844/IM\_23-6\_61-65
- [6] Bremer, M.; Schneider, N.; Wahl, M. Untersuchung zur Degradation bei wertstofflichem Recycling am Beispiel von PLA. *RTe Journal* 2022. DOI: 10.58134/fh-aachenrte\_2022\_001
- [7] Bremer, M.; Janoschek, L.; Kaschta, D.; Schneider, N.; Wahl, M. Influence of plastic recycling - a feasibility study for additive manufacturing using glycol modified polyethylene terephthalate (PETG). *SN Applied Sciences* 2022, 4. DOI: 10.1007/s42452-022-05039-3
- [8] Gallace, B.; Blug, M.; Huwer, A.; Mattern, M.; Wahl, M. Nachhaltigkeit in der industriellen Fertigung – Ressourceneffiziente Kreislaufwirtschaft durch den Einsatz eines Pellet-3D-Druckers. *Industry 4.0 Science* 2024, 40, 14-21. DOI: 10.30844/I4SD.24.1.14

## Autorenhinweise

---

**Prof. Dr.-Ing. Michael Wahl**

Hochschule Trier, Umwelt-Campus Birkenfeld

m.wahl@umwelt-campus.de

---

**Dr.-Ing. Kai Scherer**

Hochschule Trier, Umwelt-Campus Birkenfeld

k.scherer@umwelt-campus.de

---

**Bruno Gallace**

Hochschule Trier, Umwelt-Campus Birkenfeld

b.gallace@umwelt-campus.de

---

---

# Lebensdauerbetrachtung von schnellschaltenden Galliumnitrid-Transistoren in verschiedenen Last- und Temperaturprofilen

---

**Max Wagner, Simon Holzmann, Christian Schumann**

## **Abstract**

Der stark zunehmende Einsatz schnellschaltender Halbleitertechnologien bspw. basierend auf Galliumnitrid führt zu innovativen neuartigen Gehäusebauformen bei Leistungstransistoren. Unter Nachhaltigkeitsaspekten ist eine maximale Lebensdauer der Bauelemente und der kontaktierenden Lötverbindungen essentiell. Zur Modellierung und erkenntnisorientierten potentiellen Verlängerung der Lebensdauer aus multiparametrischen Experimenten werden die Transistoren verschiedenen Last- und Temperaturprofilen ausgesetzt. Dabei werden Testmethoden entwickelt, mit welchen Ausfallmechanismen möglichst frühzeitig erkannt werden können. Dazu werden zyklische Doppelpulstests durchgeführt, deren Auswertung abnormale oder sich ändernde Schalteigenschaften aufzeigt. Zur Erhöhung der Erkenntnisparameter wird die Untersuchung zeitgleich an verschiedenen Leiterplattenaufbauten und Kupferstärken durchgeführt. Dabei werden zwei grundsätzlich verschiedene Gehäusebauformen gegenübergestellt und thermo-mechanisch begründete Brüche der Lötkontaktierung bewertet.

***Schlüsselbegriffe: Leistungstransistoren, Lebensdauer, thermische Alterung***

## **1. Fragestellung und Vorgehensweise**

---

Transistoren unterliegen, wie alle anderen Bauteile, einer betriebsbedingten Alterung, die in einer Veränderung der Schaltvorgänge resultiert [1]. Wie schnell dieser Prozess abläuft, ist maßgeblich von den Betriebsbedingungen, wie thermischer und elektrischer Belastung abhängig. Zur Abschätzung der Lebensdauer und der Erstellung von Prognosen zum Ausfallzeitpunkt werden die Galliumnitrid (GaN)-Transistoren in einem definierten Lastprofil betrieben und zyklisch thermischen Änderungsbelastungen mit hohen Gradienten ausgesetzt.

Die Proben werden bei diesem Prozess nicht zwangsläufig bis zum Versagen beansprucht, sondern der jeweilige Zustand der Transistoren wird nach einer definierten Anzahl von thermischen Zyklen bewertet. Dies erfolgt über einen Doppelpulstest, wodurch eine Bewertung über eine große Anzahl von charakteristischen Größen, wie bspw. Schaltzeiten, Schaltenergie, Ladungen, etc. ermöglicht wird [2]. Dadurch können vor allem Ausfallmechanismen gefunden werden, welche kein abruptes Versagen, wie der Bruch einer Lötverbindung, zur Folge haben, sondern sich stetig ausbilden (z.B. Gate-Versagen [1]). Zusätzlich wird durch eine kontinuierliche Strommessung sichergestellt, dass ein möglicher Ausfall einer Probe direkt erkannt wird, was eine exakte Aussage der Ausfallrate in Abhängigkeit der Zyklenzahl ermöglicht. Denn Temperaturänderungen führen unter anderem zur mechanischen

Beanspruchung der Lötverbindungen zwischen Transistor und Leiterplatte, was zum Bruch der Lötstellen führen kann. Daraus resultiert i.a. der Totalausfall des Bauteils und somit der kompletten Baugruppe [1]. Zusätzlich können noch weitere Ausfallmechanismen auftreten, die im Rahmen des Projekts untersucht werden sollen.

Zunächst werden zweilagige Leiterplatten mit 35  $\mu\text{m}$  und 70  $\mu\text{m}$  Kupferstärke untersucht und mit den Ergebnissen aus [1] verglichen. Zudem wird eine weitere Gehäusebauform betrachtet und weitere Designoptionen, wie Multilagen Leiterplatten und deren Einfluss auf die Lebensdauer der Schaltungen erprobt.

## 2. Experimente

### 2.1. Temperaturprofile

Zur intensiven Beanspruchung der Proben müssen hohe Temperaturgradienten erzielt werden, weshalb der zulässige Temperaturbereich von - 40  $^{\circ}\text{C}$  bis + 125  $^{\circ}\text{C}$  der Transistoren voll ausgenutzt wird. Der genutzte Thermoschockschrank verfügt über zwei Kammern, die separat temperiert werden. Der Gradient wird durch Verfahren der Probe zwischen diesen Kammern erreicht (siehe Abbildung 1). Durch thermische Vorsteuerung, kann der Einfluss der thermischen Kapazität des Aufbaus minimiert werden. Während bei der Lufttemperatur ein Überschwingen beobachtet werden kann (siehe Abbildung 2), tritt dies bei der Bauteiltemperatur nicht auf, womit ein größerer Temperaturgradient an den Bauteilen erreicht wird.

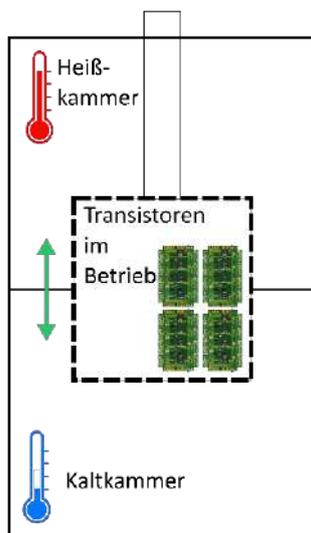


Abbildung 1: Aufbau des Thermoschockschranks

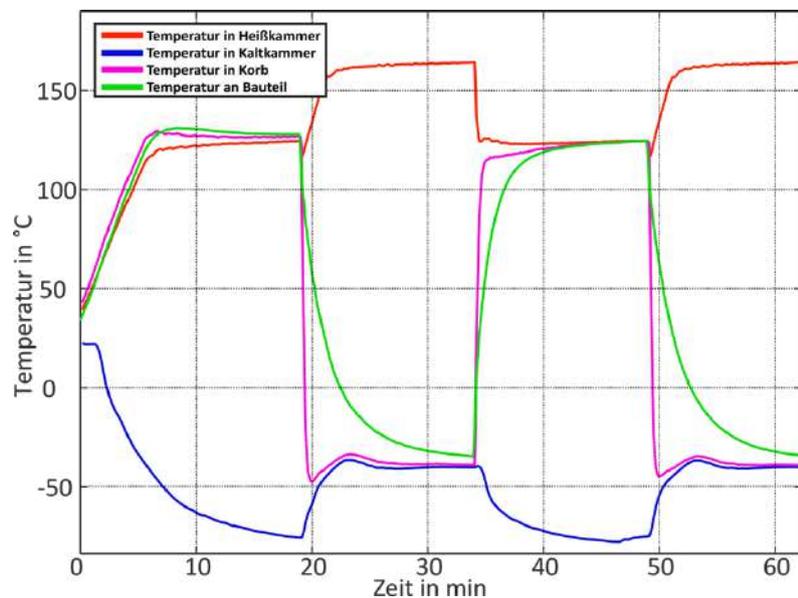


Abbildung 2: Temperaturzyklen im Thermoschockschrank während eines Experiments

## 2.2. Schaltungstechnik

Die Transistoren werden als Vollbrücke verschaltet (siehe Abbildung 3) und ein mittelwertfreier Strom in der Lastinduktivität zwischen den Halbbrücken eingeprägt. Dabei wird die eigentliche Schaltbelastung des Transistors über die Höhe des Stromrippels  $\Delta i_L$  und anliegenden Zwischenkreisspannung eingestellt. Durch die Mittelwertfreiheit reduziert sich die Verlustleistung und somit die zuzuführende Leistung des Versuchs. Zur Ausfallerkennung einzelner Transistoren wird der Laststrom mittels Stromwandler kontinuierlich überwacht. Zur Modularisierung werden jeweils zwei Transistoren als Halbbrücke auf einer Leiterplatte angeordnet. Jedes Halbbrückenmodul enthält dabei Keramikkondensatoren, die der Entkopplung dienen und hochfrequente Spitzenströme bereitstellen. Dadurch werden parasitäre Induktivitäten im Kommutierungspfad möglichst gering gehalten, um Überspannungen bei hohen Stromgradienten zu reduzieren. Aus dem gleichen Grund werden schnellschaltende GaN-Transistoren in sehr kompakten Gehäusen gefertigt, die geringe parasitäre Eigenschaften aufweisen. Die daraus bedingten kleinen Löt pads (vgl. Q1 und Q2 in Abbildung 6) sind bei thermischer Belastung anfällig für Lötstellenbruch, was durch die Strommessung direkt erkannt werden kann [3]. Die Steuerung wird für jeweils acht Halbbrückenmodule auf einer Leiterplatte zusammengefasst, wodurch sich der in Abbildung 4 gezeigte Aufbau ergibt.

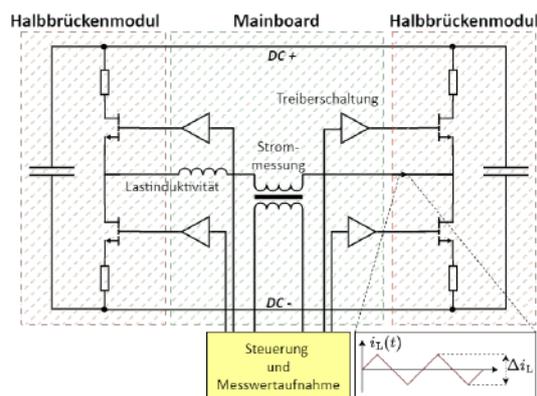


Abbildung 3: Prinzipaufbau einer Vollbrücke

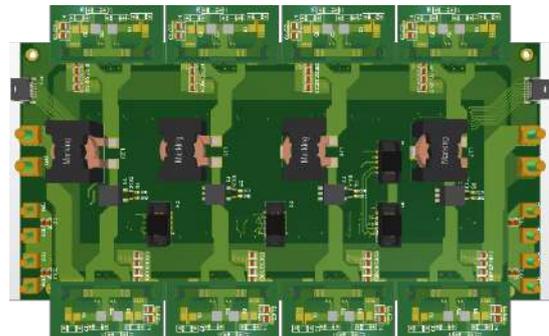


Abbildung 4: Mainboard mit aufgesteckten Halbbrückenmodulen

## 2.3. Bewertung der Transistoren

Zur Bewertung der Transistoren werden Doppelpulstests durchgeführt. Dazu wird ein Halbbrückenmodul mit einer Trägerplatine verbunden, welche große Impulsströme für die Tests bereitstellen kann, sowie die nötigen Steuersignale liefert (siehe Abbildung 5). Zur Reduktion der Einflüsse von parasitären Effekten auf die Messung der Drain-Source-Spannung sowie des Drainstroms wird das Halbbrückenmodul mit möglichst kleiner Messschleife kontaktiert. Dies wird durch Tastköpfe mit montierter Massfeder realisiert [2]. Die Messung erfolgt mit passiven Tastköpfen, um eine möglichst hohe Bandbreite zu erreichen.

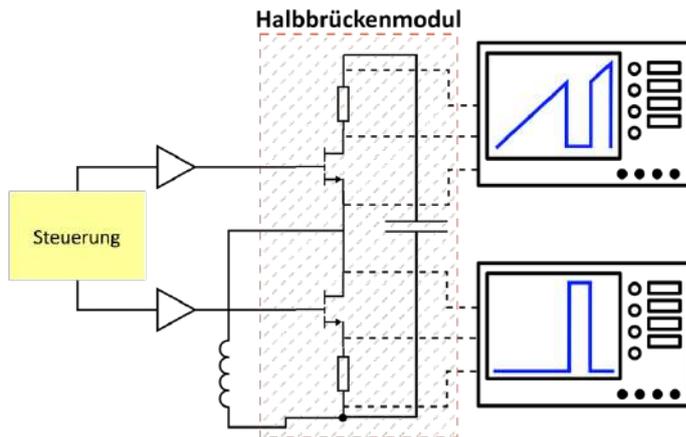


Abbildung 5: Aufbau eines Doppelpulstests

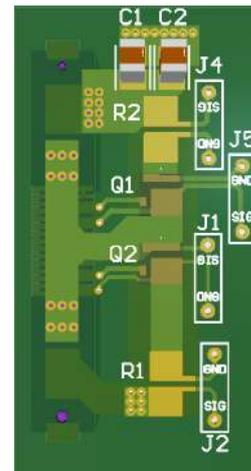


Abbildung 6: Daughterboard mit Anschlussflächen zur Messung

### 3. Fazit

Auf Basis multiparametrischer Beanspruchung von GaN-Transistoren mit neuartigen Footprints können praxisrelevante Aussagen zur Lebensdauer generiert werden. Aus Doppelpulstests werden hier charakteristische Modellierungsdaten extrahiert, die in weiteren Projekten als Grundlage verwendet werden. Weiterhin werden lötpellenbruchbasierte Ausfallraten bei verschiedenen Lagenaufbauten, Kupferstärken und Gehäuseformen erfasst.

### Literatur

- [1] EPC Reliability Report - Phase 16 <https://epc-co.com/epc/design-support/gan-fet-reliability/reliability-report-phase-16> (accessed 2024-05-13)
- [2] Rhode & Schwarz Tips & Tricks on Double-Pulse Testing [https://www.rohde-schwarz.com/us/applications/tips-tricks-on-double-pulse-testing-application-note\\_56280-1049218.html](https://www.rohde-schwarz.com/us/applications/tips-tricks-on-double-pulse-testing-application-note_56280-1049218.html) (accessed 2024-05-14)
- [3] U. Rahangdale *et al.*, "Effect of PCB thickness on solder joint reliability of Quad Flat no-lead assembly under Power Cycling and Thermal Cycling," *2017 33rd Thermal Measurement, Modeling & Management Symposium (SEMI-THERM)*, San Jose, CA, USA, 2017, pp. 70-76, doi: 10.1109/SEMI-THERM.2017.7896911.

### Autorenhinweise

**Max Wagner, B. Eng.**

Hochschule Kaiserslautern

max.wagner@hs-kl.de

**Simon Holzmann, M. Eng.**

Hochschule Kaiserslautern

simon.holzmann@hs-kl.de

**Prof. Dr.-Ing. Christian Schumann**

Hochschule Kaiserslautern

christian.Schumann@hs-kl.de

---

# Stabilitätsuntersuchungen beim Koordinatenschleifen von Taschenkonturen

---

Arno Zürbes

## Abstract

Koordinatenschleifen ist ein Fertigungsverfahren, das z.B. zum Bearbeiten sprödharter Werkstoffe für optische Bauteile eingesetzt wird, wobei Schleifstifte als Werkzeuge verwendet werden, die ähnlich aufgebaut sind wie Stirnfräser. Anwender dieser Technologie berichten, dass es beim Herstellen von „Taschen“ insbesondere in Eckenbereichen zum starken Aufschwingen des Werkzeuges kommen kann, sodass entweder das Werkzeug oder das Werkstück beschädigt werden.

Aufgrund von Literaturangaben wird angenommen, dass die Passiv- und Schnittkräfte an Schleifwerkzeugen analog zur Kombination von Normal- und Reibkräften mit dem Coulombschen Reibgesetz betrachtet werden können. Basierend auf dieser Annahme wird das schwingungsfähige Zweifreiheitsgradmodell eines Werkzeuges entwickelt, das in einer kreisförmigen Bearbeitungszone des Werkstückes mit Umschließungswinkeln zwischen  $0^\circ$  und  $180^\circ$  arbeitet. Dabei zeigen die Berechnungen der komplexen Eigenwerte, dass bei diesem Modell abhängig vom Reibwert und vom Umschließungswinkel positive Realteile auftreten können, sodass instabiles Schwingungsverhalten vorliegt.

Die analytischen Untersuchungen werden durch numerische Simulationen mit einem reibungsbehafteten elastischen MKS-Modell ergänzt, die das Auftreten reibungsinduzierter selbsterregter Schwingungen mit Abheben und Anschlagen des Werkzeuges aufzeigen. Hierbei ergibt sich analog zum analytischen Modell, dass instabiles Verhalten umso eher entsteht, je höher die Reibwerte und je größer die Werkzeugumschließungswinkel sind.

Diese instabilen Schwingungen werden auch messtechnisch nachgewiesen, wobei die Simulationsergebnisse des MKS-Modells qualitativ gut mit den Messergebnissen übereinstimmen.

**Schlüsselbegriffe:** *Koordinatenschleifen, instabile reibungsinduzierte Schwingungen, Elastisches MKS-Simulationsmodell*

## 1. Einleitung

---

Bei dem Fertigungsverfahren Koordinatenschleifen, das zur Bearbeitung sprödharter Werkstoffe eingesetzt wird, kann es nach Aussagen von Anwendern zu sehr starken Werkzeugschwingungen kommen, die entweder das Werkzeug oder das Werkstück schädigen können.

## 2. Analytisches Zweifreiheitsgradmodell

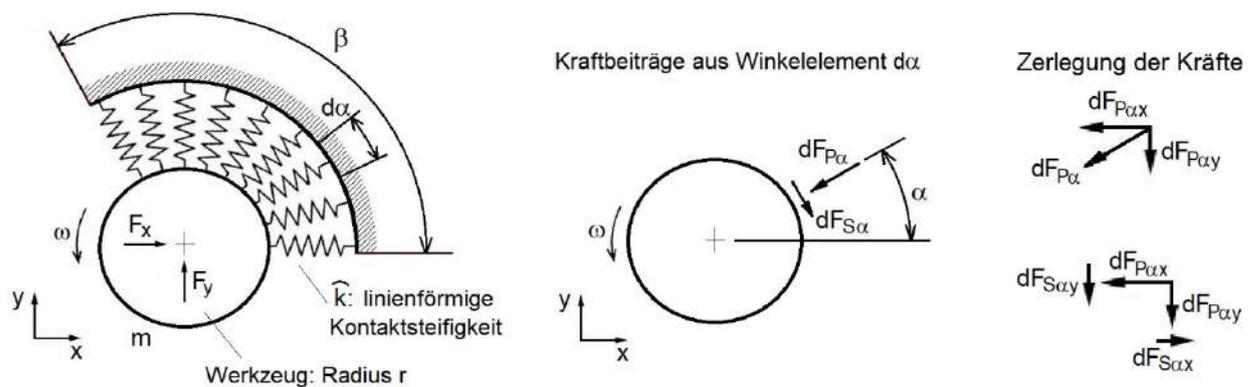
---

Zu der oben beschriebenen Schwingungsproblematik wird angenommen, dass es sich um instabile Schwingungen handelt, die durch die gleichzeitige Krafteinwirkung in zwei Richtungen auf das Werkzeug angeregt werden. Zur theoretischen Analyse wird ein zylindrisches Schleifwerkzeug betrachtet, das sich in einer runden Kontaktzone mit einem Gesamtumschließungswinkel  $\beta$  an ein Werkstück mit

gleichem Radius  $r$  anschmiegt. Die entsprechende Kontaktzone wird über eine linienförmige Kontaktsteifigkeit  $\hat{k}$  zwischen Werkzeug und Werkstück repräsentiert (Abb. 1 Links). Die Kraftwirkung der Kontaktsteifigkeit wird dabei an einem differentiellen Winkelement  $d\alpha$  in einer Winkellage  $\alpha$  betrachtet (Abb. 1 Mitte), wobei die Schnittkraft analog zum Coulombschen Reibgesetz in Abhängigkeit zur Passivkraft angenommen wird:

$$F_S = \mu * F_P$$

In der Schleiftechnik wird der Koeffizient  $\mu$  auch als Schleifkraftverhältnis bezeichnet und er hängt u.a. vom Schleifmittel, der Körnung des Schleifmittels, dem Werkstückwerkstoff und auch vom Verschleißzustand des Werkzeuges ab.



**Abbildung 4.** Links: Modell eines Schleifwerkzeuges in einer runden Kontaktzone  
Mitte: Freischnitt des Werkzeuges mit differentiellen Kraftbeiträgen am Winkelement  $d\alpha$   
Rechts: Kräftezerlegung ins x-y-Koordinatensystem

Nach Abb. 1 Mitte sind die Kraftkomponenten der differentiellen Beiträge  $dF_{P\alpha}$  und  $dF_{S\alpha}$  die rückstellenden Kräfte auf das Werkzeug, die ins x-y-Koordinatensystem transformiert werden (siehe Abb. 1 Rechts) und anschließend als Steifigkeitsterme in die Bewegungsgleichung eingebaut werden. Insgesamt liefert der Aufbau der Bewegungsgleichung mit Integration der Steifigkeitsterme über den Umschließungswinkel  $\beta$  das Eigenwertproblem:

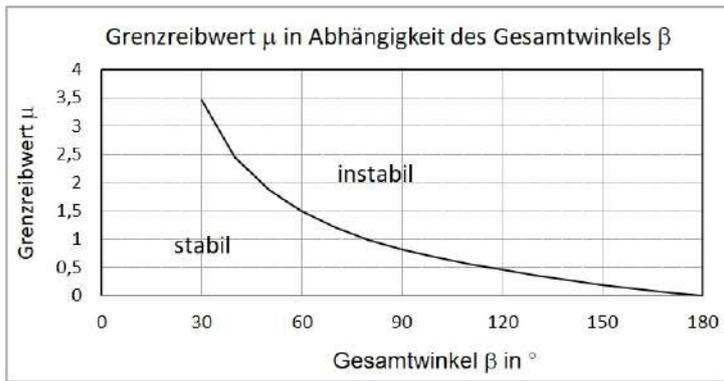
$$\begin{bmatrix} m & 0 \\ 0 & m \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} \ddot{x} \\ \ddot{y} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} k_{11} & k_{12} \\ k_{21} & k_{22} \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \end{bmatrix}$$

mit folgenden Termen in der Steifigkeitsmatrix:

$$k_{11} = \hat{k}r \left( \frac{1}{2}\beta + \frac{1}{4}\sin(2\beta) - \mu \frac{1}{2}\sin^2\beta \right); \quad k_{12} = \hat{k}r \left( \frac{1}{2}\sin^2\beta - \mu \left( \frac{1}{2}\beta - \frac{1}{4}\sin(2\beta) \right) \right)$$

$$k_{21} = \hat{k}r \left( \frac{1}{2}\sin^2\beta + \mu \left( \frac{1}{2}\beta + \frac{1}{4}\sin(2\beta) \right) \right); \quad k_{22} = \hat{k}r \left( \frac{1}{2}\beta - \frac{1}{4}\sin(2\beta) + \mu \frac{1}{2}\sin^2\beta \right)$$

Ein  $\mu$ -Beitrag in den Nebendiagonalelementen der Steifigkeitsmatrix hat unterschiedliches Vorzeichen, die Matrix ist also nicht symmetrisch, sodass die Eigenwerte aus der Schwingungsdifferentialgleichung positive Realteile aufweisen können und instabiles Systemverhalten vorliegt. Bei der Eigenwertberechnung ergeben sich unterschiedliche Stabilitätsgrenzen für die Reibkoeffizienten  $\mu$  in Abhängigkeit des Gesamtwinkels  $\beta$ , die in Abb. 2 aufgetragen sind.



**Abbildung 2.** Grenzreiwerte der Stabilität in Abhängigkeit des Gesamtwinkels  $\beta$  (oberhalb der Kurve liegt Instabilität vor, unterhalb der Kurve ist das System stabil)

Es ist erkennbar, dass bei ca.  $80^\circ$  Gesamtwinkel der Grenzreiwert zur Instabilität bei 1 liegt, bei größeren Gesamtwinkeln nimmt der Grenzreiwert bis auf 0 bei einem Gesamtwinkel von  $180^\circ$  ab. Für kleine Gesamtwinkel ist damit nicht mit Instabilitäten zu rechnen, da die Grenzreiwerte unrealistisch groß werden müssten, bei Gesamtwinkeln größer  $90^\circ$  wären dagegen Instabilitäten möglich. Besonders kritisch bezüglich Instabilität ist entsprechend dieser Betrachtung das Arbeiten ins Volle mit einem Gesamtumschließungswinkel von  $\beta = 180^\circ$ , da hier für beliebige  $\mu > 0$  Instabilität auftritt.

### 3. Vergleich Simulationsrechnungen mit Prüfstandsmessungen



**Abbildung 3.** Elastisches MKS-Modell zur Stabilitätsuntersuchung beim Taschenschleifen und Portalfräse

Um ein realitätsnäheres Rechenmodell zu untersuchen, wurden Simulationsrechnungen mit einem reibungsbehafteten elastischen MKS-Modell entsprechend Abb. 3 durchgeführt. Parallel dazu fanden auch Schwingungsmessungen an einer Portalfräse im Labor der TH Bingen statt. In den Simulationsrechnungen mit dem reibungsbehafteten elastischen MKS-Modell zeigen sich für größere Umschließungswinkel und größere Reibwerte aufklingende reibungsinduzierte Schwingungen, die durch regelmäßiges Abheben und Anschlagen des Werkzeuges gekennzeichnet sind.

Abb. 4 zeigt den Vergleich des Werkzeugschwingweges zwischen Simulation und Messung, bei dem der Effekt des Anschlagens im positiven Wertebereich erkennbar ist, während der negative Wertebereich das freie Ausschlagen des Werkzeuges nach dem Abheben beschreibt. Die Gesamtschwingwege liegen dabei sowohl bei der Simulation als auch bei dem durch Integration aus der gemessenen Schwinggeschwindigkeit ermittelten Schwingweg im Bereich von ca. 1 mm (bei Frequenzen größer 600 Hz), wobei die Werte der Simulation etwas größer sind.

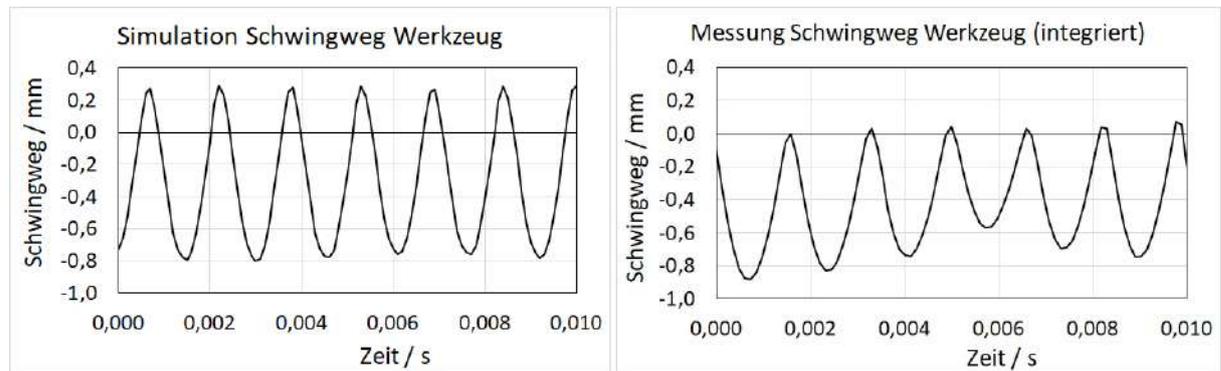


Abbildung 4. Vergleich Schwingweg Simulation - Messung am Werkzeug bei einer 180°-Umschließung

#### 4. Zusammenfassung

In dem vorliegenden Beitrag konnte analytisch, messtechnisch und durch Simulation mit einem MKS-Programm nachgewiesen werden, dass beim Koordinatenschleifen von Taschenkonturen instabile Werkzeugschwingungen auftreten können, die schädlich für das Werkzeug und das Werkstück sind. Maßgeblich für das Auftreten dieser Schwingungen sind hohe Schleifkoeffizienten  $\mu$  und große Umschließungswinkel  $\beta$  am Werkzeugeingriff, die zur Vermeidung dieser Schwingungseffekte möglichst gering gehalten werden sollten.

#### Literatur

[1] Moor, V.: Untersuchung von reibungsinduzierten selbsterregten Schwingungen beim Koordinatenschleifen, TH Bingen, Masterarbeit, 2023

[2] Zürbes, A.; Moor, V.; Wehner, B.; Maas, S.: Analytische und experimentelle Untersuchung instabiler Schwingungen beim Koordinatenschleifen von Taschenkonturen, VDI-Berichte 2429; pp 25 – 41

#### Autorenhinweise

**Prof. Dr.-Ing. Arno Zürbes**

Institution: TH Bingen

zuerbes@th-bingen.de



**WIRTSCHAFT  
SOZIALES  
GESUNDHEIT**

---

# Gemeinsam stark für die Ausbildungspraxis: Peer-Support an Schulen für Pflege und Physio- therapie gestalten - Evaluation der ersten Work- shops

---

**Anna Coppers, Philipp Struck**

## Abstract

Das EMPOWER Teilprojekt „Peer-to-Peer-Transfer“ setzt am Lernort Schule die Empfehlung der Implementierung von Peer-Support als Maßnahme zur Vermeidung von Ausbildungsabbrüchen in der Pflege und der Physiotherapie um [1]. Gefördert werden die soziale Integration der Auszubildenden, die Resilienz gegenüber Herausforderungen der beruflichen Praxis sowie die berufliche Identität, welche mit einer motivierenden Wirkung für die berufliche Tätigkeit assoziiert werden [2]. Nach der Methodologie des Design-Based Research ist eine fortlaufende Evaluierung und Anpassung der Maßnahmen über zwei Design-Zyklen vorgesehen [3]. Am Ende jedes Workshops werden die Auszubildenden durch Benotung (1-6) sowie Freitexte um ein schriftliches Feedback gebeten. Ergänzt wird diese Prozessevaluation durch nicht-teilnehmende Beobachtungen. Die Auswertung der quantitativen Daten erfolgt mit SPSS. Die Analyse der qualitativen Daten wird durch MaxQDA unterstützt. Die Ergebnisse des ersten Workshops, zu Beginn des ersten Ausbildungsjahres, an vier Pflege- und zwei Physiotherapieschulen, werden präsentiert. Die Workshops wurden von den Auszubildenden im Mittel als „gut“ (Note: 2,2 (SD: 0,96), n=118) bewertet. Weitere Ergebnisse aus der qualitativen Inhaltsanalyse der Freitexte sowie der Beobachtungsprotokolle (n=4) werden ergänzt, um erste Implikationen für die Durchführung an den Schulen abzuleiten sowie Möglichkeiten und Grenzen des Vorgehens zu diskutieren.

**Schlüsselbegriffe:** Peer-Support, Resilienz, Generalistische Pflegeausbildung, Physiotherapie Ausbildung, Berufliche Bildung

## 1. Peer-Support in der Pflege- und Physiotherapieausbildung

---

In der beruflichen Bildung konnte bereits die Förderung der Zusammenarbeit, Solidarität und Integration von Auszubildenden durch den Einsatz von Peer-Support Systemen nachgewiesen werden [4,5]. Für die Pflegeausbildung wird die Implementierung solcher Systeme, neben der Förderung der Resilienz der Auszubildenden, als Maßnahme zur Vermeidung von Ausbildungsabbrüchen identifiziert und (nachdrücklich) empfohlen [1]. Im Peer-Support unterstützt sich eine Gruppe von Auszubildenden gegenseitig und alle Beteiligten befinden sich in der gleichen Rolle [6]. Diese positiven Effekte von Peer-Kontakten wurden international auch für Studierende der Physiotherapie berichtet, weiterhin wurde der Zusammenhang zwischen sozialer Unterstützung und Resilienz aufgezeigt [7].

Im Kontext der Ausbildung und beruflichen Tätigkeit von Pflegenden wird Resilienz meist als die Fähigkeit definiert, sich von Widrigkeiten oder schwierigen Herausforderungen zu erholen oder sie zu

überwinden und deren Förderung positiv mit der Bewältigung von Arbeitsbelastungen und der Sicherung des Verbleibes von Fachkräften assoziiert [2]. Die Ergebnisse eines aktuellen Reviews [8] deuten darauf hin, dass durch geeignete Lernangebote wie dem Peer-Support, resilientes Verhalten im Rahmen der Ausbildung gefördert werden kann.

## 2. Projektziel und Forschungsfrage

---

Das Ziel des EMPOWER Projektes „Peer-to-Peer-Transfer“ ist die Entwicklung, Erprobung und Evaluation von Peer-Support Systemen für die Verbesserung der sozialen Integration und Resilienz der Auszubildenden im Rahmen der pflegerischen und physiotherapeutischen Ausbildung am Lernort Schule. Im Sinne des Design-Based Research, soll sowohl ein bildungspraktischer Nutzen gestiftet als auch theoretische Erkenntnisse gewonnen werden [3]. In diesem Beitrag werden erste Ergebnisse der Prozessevaluation präsentiert, um Antworten auf die folgende Frage zu geben: *Welche pädagogischen Hinweise lassen sich für die Gestaltung von Peer-Support, mit dem Ziel der Förderung der sozialen Integration, Resilienz und beruflichen Identität der Auszubildenden, aus den Workshops an Schulen für Pflege und Physiotherapie ableiten?*

## 3. Methodisches Vorgehen

---

In zwei Design-Zyklen wird an den kooperierenden Schulen in Rheinhessen und der Vorderpfalz über den Zeitraum von 12 Monaten in Form von drei Workshops Peer-Support umgesetzt. In diesem Beitrag werden die Ergebnisse der Evaluation des ersten Workshops zu Beginn des ersten Ausbildungsjahres an vier Pflege- und zwei Physiotherapieschulen vorgestellt. Die Evaluation umfasst das subjektive Urteil der Auszubildenden, welches zu dem jeweiligen Workshop-Tag sowie den Erkenntnissen aus dem Workshop erfasst wird. In der schriftlichen, anonymen Evaluation werden diese um die Bewertung in Schulnoten (1-6) sowie Einschätzungen in Freitexten gebeten. Ergänzt wird diese formative Evaluation um offene, nicht-teilnehmende, teilstrukturierte Beobachtungen. Die Auswertung der quantitativen Daten erfolgt mit SPSS. Die Analyse der qualitativen Daten wird durch MaxQDA unterstützt.

## 4. Erste Ergebnisse

---

Der Workshop über sechs Unterrichtseinheiten wurde im Mittel als „gut“ (Note: 2,2 (SD: 0,96), n=118) bewertet, ohne signifikante Unterschiede zwischen den Ausbildungsgängen. Begründet wurde dies am häufigsten wie folgt: Die Veranstaltung war „interessant und hilfreich“ (n=20) „abwechslungsreich und interaktiv“ (n=13), „hat Spaß gemacht“ (n=8) und das „Kennenlernen wurde gefördert“ (n=5). Bei schlechterer Benotung (3-6) wurde am häufigsten benannt, dass die Veranstaltung „zu lang“ war (n=9). Signifikante Unterschiede zeigten sich in der „Stimmung im Kurs“ zwischen den Auszubildenden der Pflege und der Physiotherapie (s. Tabelle 1). Bei der Analyse der ergänzenden Freitexte berichteten nur die Auszubildenden aus der Pflege von „Konflikten und Spannungen im Kurs“ (n=12).

Weiterführende Einblicke geben die Beobachtungsprotokolle (n=4), so wird in einem Kurs in der Pflege sichtbar, dass bei der kollegialen Beratung im Rahmen des Peer-Supports ein Konflikt aufkam, der durch Missverständnisse aufgrund von Sprachbarrieren ausgelöst wurde. Als Erkenntnisse für die Praxis wurden vor allem die Relevanz von „Kommunikation“ (n=22) und „Teamarbeit“ (n=14) genannt, aber auch, dass Strategien im Umgang mit Problemen (n=11) und Sicherheit für die kommenden Praxiseinsätze (n=9) erworben wurden.

Aspekte	Ausbildung	N	Mittelwert	SD	t-Test
Veranstaltung gesamt	Pflege	84	2,05	0,957	-1,71
	Physiotherapie	34	2,38	0,922	
Stimmung im Kurs	Pflege	82	2,48	1,254	4,58*
	Physiotherapie	33	1,61	0,747	
Verhalten der Lehrperson	Pflege	82	1,46	0,903	-1,01
	Physiotherapie	34	1,65	0,950	

SD: Standardabweichung; t-Test: unabhängig, zweiseitig für Mittelwertvergleich, \*:  $p < 0,05$

**Tabelle 1. Benotung (1-6) verschiedener Aspekte des ersten Workshops durch die Auszubildenden**

## 5. Diskussion und Ausblick

Die Auftaktveranstaltung wurde sowohl von den Auszubildenden aus der Pflege als auch der Physiotherapie gut angenommen. Die Intention war, u.a. durch Interviews und kollegiale Beratung, eine Basis für die gegenseitige Unterstützung bei zukünftigen Herausforderungen zu schaffen. In der Reflexion der Veranstaltung ließ sich teils sehr deutlich erkennen, dass die Auszubildenden entsprechend erste Erkenntnisgewinne in „Kommunikation“ sowie „Teamarbeit“ benennen konnten. Es darf interpretativ resümiert werden, dass es den Auszubildenden hilft und ihr emotionales Erleben und Wachsen stärkt, wenn ihnen innerhalb der Ausbildung Zeit und Raum für selbstreflexive und teamarbeitsbezogene Übungen gegeben wird. Im weiteren Verlauf ist zu evaluieren, ob die Akzeptanz der Workshops in den beiden Gruppen von Auszubildenden vergleichbar bleibt und ob sich die Stimmung in den Ausbildungskursen der Pflege positiv beeinflussen lässt.

## Literatur

[1] Garcia-González, D.; Perters, M. Ausbildungs- und Studienabbrüche in der Pflege - ein integratives Review. BIBB 2021.

[2] Aryuwat, P.; Asp, M.; Lövenmark, A.; Radabutr, M.; Holmgren, J. An integrative review of resilience among nursing students in the context of nursing education. Nursing open 2022. DOI: 10.1002/nop2.1559

[3] Reinmann, G. Design-based Research. In *Gestaltungsorientierte Forschung - Basis für soziale Innovationen: Erprobte Ansätze im Zusammenwirken von Wissenschaft und Praxis*, 1. Aufl.; Schemme, D., Novak, H., Eds.; Berichte zur beruflichen Bildung; Bertelsmann, 2017; pp 49–61.

[4] Struck, P. Peer Learning in Vocational Education and Training – Effects and Changes of Person Relations in Learning Groups. In *Trends in vocational education and training research*; Nägele, C., Kersh, N., Stalder, B. E., Eds., 2022; pp 170–177. DOI: 10.1002/14651858.CD013684

[5] Struck, P. H. Peer learning in der beruflichen Ausbildung: Potenziale und Auswirkungen auf Lernumgebungen in Betrieb und Berufsschule; *Berufsbildung, Arbeit und Innovation Dissertationen, Habilitationen, Band 78*; WBV, 2023. DOI: 10.3278/9783763976188

[6] Strauß, S.; Rohr, D. Peer-Learning in der Lehrer\*innenbildung. *Journal für LehrerInnenbildung* 2019, 19 [3], 106–116. DOI: 10.25656/01:18156

[7] Bíró, É.; Veres-Balajti, I.; Kósa, K. Social support contributes to resilience among physiotherapy students: a cross sectional survey and focus group study. *Physiotherapy* 2016, 102 (2), 189–195. DOI: 10.1016/j.physio.2015.05.002.

[8] Walsh, P.; Owen, P. A.; Mustafa, N.; Beech, R. Learning and teaching approaches promoting resilience in student nurses: An integrated review of the literature. *Nurse education in practice* 2020, 45, 1–9. DOI: 10.1016/j.nepr.2020.102748.

## Autorenhinweise

---

### **Anna Coppers**

Katholische Hochschule Mainz

anna.coppers@kh-mz.de

---

### **Prof. Dr. phil. habil. Philipp Struck**

Katholische Hochschule Mainz

philipp.struck@kh-mz.de

---

---

# Schmuddelkind Erbbaurecht

---

**Dirk Löhr**

## **Abstract**

Immer mehr Städte und Gemeinden setzen auf Erbbaurechte. Das vorrangige Ziel ist bezahlbarer Wohnraum. Auch die städtebauliche Steuerbarkeit ist wesentlich höher als bei Volleigentum. Allerdings empfinden Investor\*innen das Erbbaurecht gegenüber dem Volleigentum an einer Immobilie als nachteilig. Die konventionellen Erbbaurechtsmodelle erlauben es nicht, Mehrwertpotenziale in Gestalt komparativer Kostenvorteile zu nutzen. Wie dies funktionieren könnte, zeigen Erbbaurechtsmodelle, die im gewerblich-kommerziellen Bereich Anwendung finden. Diese können für bisherige Volleigentümer\*innen so vorteilhaft sein, dass sie sich freiwillig in die Position eines\*einer Erbbauberechtigten begeben. Der Übertragung solcher Modelle auf den kommunalen Bereich stehen jedoch erhebliche Hindernisse entgegen.

***Schlüsselbegriffe:** Erbbaurechte, Marktgerechtigkeit, Volleigentum.*

## **1. Eigentum zweiter Klasse?**

---

Immer mehr Kommunen wollen ihre Grundstücke nicht mehr verkaufen, sondern in Erbbaurecht vergeben. Beispiele sind die Freie und Hansestadt Hamburg, Frankfurt a.M., München, Mainz etc. Beim Erbbaurecht erteilt der\*die Grundstückseigentümer\*in („Erbbauverpflichtete“, untechnisch: „Erbbaurechtgeber\*in“) dem\*der Erbbauberechtigten (untechnisch: „Erbbaurechtnehmer\*in“) das Recht, auf ihrem\*seinem Grundstück ein Bauwerk zu errichten (§ 1 Abs. 1 ErbbauRG). Es handelt sich um ein grundstücksgleiches, beschränktes dingliches Recht, das belastet, verkauft und vererbt werden kann. Für die Nutzung des Grundstücks zahlt der\*die Erbbaurechtnehmer\*in die\*dem Erbbaurechtgeber\*in einen Erbbauzins.

Bei der Vergabe von Erbbaurechten verbleibt das Grundstückseigentum in kommunaler Hand. Dies ermöglicht eine Einflussnahme sowohl auf die Nutzung wie auch der Zwischen- und Nachnutzung. Ebenso will man den Boden der „Spekulation“ entziehen; zudem können - anders als bei Volleigentum - Sozialbindungen über die gesamte Dauer des Erbbaurechtsvertrags erstreckt werden [1]. Gegenwind gibt es in den Kommunen v.a. aus der Kämmerei, zuweilen auch von der Kommunalaufsicht. Der Grund dafür ist, dass der Erbbauzins zwar stetig anfällt, allerdings nur einen kleinen Bruchteil des ansonsten bei Verkauf erzielbaren Erlöses ausmacht.

Für Investor\*innen ergibt sich zwar der Vorteil eines „kapitallosen Zugangs“ zum Boden. Dennoch betrachten sie das Erbbaurecht vielfach als „Eigentum zweiter Klasse“. Der Grund hierfür sind Bewertungsabschläge, die sich am besten anhand des „Münchener Verfahrens“ illustrieren lassen [2], das (bei

unterschiedlicher Parametrisierung) sowohl für die Beleihungswert-, wie auch der Verkehrswertermittlung von Erbbaurechten herangezogen wird (s. Tabelle 1).

<b>A. Volleigentum</b>	<b>Sachwert</b>	<b>Ertragswert</b>
Abzüglich:	Auf Ablauf des Erbbaurechts abgezinster Bodenwert	
Abzüglich:	Bei Vertragsablauf nicht entschädigter Teil des Gebäudewertes	
Abzüglich:	Allgemeine Nachteile (Verfügungsbeschränkungen)	
<b>B. Ergibt</b>	<b>Wert des erbbauzinsfreien Erbbaurechts</b>	
<b>C. Abzüglich</b>	<b>Kapitalisierte Erbbauzinsreallast</b>	

*Tabelle 1. Schematische Darstellung des Münchner Verfahrens zur Beleihungswertermittlung von Erbbaurechten*

Es hängt vom Rang im Erbbaugrundbuch und den Sicherheitsvereinbarungen ab, ob die kapitalisierte Erbbauzinsreallast vor oder nach Vornahme des banküblichen Sicherheitsabschlags von 40% vorgenommen wird. Im zuletzt genannten Fall ergeben sich weitere Einschränkungen des Beleihungsraums, der deutlich unterhalb desjenigen bei Volleigentum liegt.

## 2. Der Köder muss den Fischen schmecken, nicht den Angelnden

Investor\*innen können in andere Kommunen ausweichen, die ihre Grundstücke in Volleigentum vergeben oder auf das Bauen ganz verzichten. Damit der Köder auch dem Fisch (Investor\*in) schmeckt, muss daher das Erbbaurecht dem Volleigentum angenähert werden. Geringere Wertabschläge bedeuten einen größeren Kuchen, der zwischen allen Stakeholder\*innen (darunter auch die Mieter\*innen) verteilt werden kann. Mit Blick auf das o.a. Münchner Verfahren ergeben sich folgende Ansatzpunkte: Der Abschlag für den verlustig gehenden Bodenwert lässt sich über entsprechend lange Vertragslaufzeiten begrenzen (mindestens zehn Jahre über die Nutzungsdauer des Gebäudes). Ein Abschlag für den nicht entschädigten Teil des Gebäudewertes lässt sich durch eine am Verkehrswert orientierte Entschädigung vermeiden. Diese hält den\*die Erbbaurechtnehmer\*in gleichzeitig auch zur Instandhaltung des Gebäudes an. Die Wertminderung wegen Eingriffen in die Verfügungsrechte ist durch eine „liberale“ Ausgestaltung des Vertrags zu reduzieren.

## 3. Erbbauzins marktgerecht vereinbaren

Ein marktgerechter Erbbauzins muss berücksichtigen, dass sich die Rendite-/Risiko-Konstellation im Erbbaurechtsverhältnis deutlich von demjenigen in Volleigentum unterscheidet.

Der\*die Erbbaurechtgeber\*in schiebt nämlich nahezu sämtliche gebäude- und mieterbezogene Risiken auf den\*die Erbbaurechtnehmer\*in ab. Der Erbbauzins kann zudem erstrangig und zwangsversteigerungsfest vereinbart werden (§ 9 Abs. 3 ErbbauRG). Über das übliche Heimfallrecht besteht eine weitere Besicherung. Dies alles gibt, wenn die Lage stimmt, einen ähnlich sicheren Zahlungsstrom wie eine festverzinsliche Bundesanleihe. Gegenüber einer Bundesanleihe besteht jedoch noch die Möglichkeit, sich gegen Inflation abzusichern (im Rahmen des § 9a ErbbauRG). Die Rendite des\*der Erbbauverpflichteten kann daher deutlich geringer als bei Volleigentum („Liegenschaftszinssatz“)

ausfallen. Als Daumenregel kann die Orientierung an 10-jährigen Baufinanzierungssätzen genannt werden. Wichtig: Hierbei handelt es sich um keine Subvention.

Der\*die Erbbaurechtberechtigte hat neben der Übernahme der o.a. Risiken den Erbbauzins unabhängig von seiner\*ihrer wirtschaftlichen Situation zu zahlen. Er\*sie nimmt damit ein Fixkosten- bzw. Leverage-Risiko in Kauf [3]. Zudem sind die Beleihungsmöglichkeiten eingeschränkt. All dies rechtfertigt eine gegenüber Volleigentum erhöhte Renditeforderung.

Leider werden bei der Vergabe von Erbbaurechten oft die Kapitalmarktverhältnisse ignoriert. Nicht selten orientieren sich Kommunen auch an Liegenschaftszinssätzen (Volleigentum). Dies widerspricht auch dem Grundsatz der Modellkonformität, wonach Daten nur innerhalb derjenigen Modelle angewendet werden sollten, aus denen sie auch abgeleitet werden.

Mit Blick auf die o.a. finanziellen Bedenken von Kämmerei und Kommunalaufsicht ist es ebenfalls möglich, eine Ablösung der Erbbauzinsverpflichtung über einen Einmalbetrag zu vereinbaren. Damit hätte die Kommune die finanziellen Mittel zur Hand, um z.B. die Entwicklungskosten von Grundstücken zu decken oder Altschulden zu tilgen. Allerdings ist investorenseitig dann der Zugang zum Boden eben nicht mehr „kapitallos“; zudem besteht die Gefahr, dass die Spekulation mit Erbbaurechten an die Stelle der Bodenspekulation tritt. Ein Beispiel hierfür ist die Volksrepublik China, deren Städte auf Erbbaurechten errichtet sind. Eher unkritisch sind solche Einmalzahlungen jedoch bei einem hohem Anteil an Sozialbindungen und kurzfristigeren, weil gewerblichen Erbbaurechten.

#### 4. Komparativer Kostenvorteil

---

Das Erbbaurecht bietet jedoch gegenüber Volleigentum eine besondere Chance: Weil zwei Partner\*innen in ein Vertragsverhältnis treten, können sog. komparative Kostenvorteile ausgeschöpft werden. Hierbei handelt es um ein allgemeines Gesetz der Arbeitsteilung. Ein Mehrwert lässt sich v.a. dann darstellen, wenn einerseits der\*die Erbbauverpflichtete auch billig an Geld kommt und andererseits der\*die Erbbauberechtigte effizienter als die Kommune bauen, managen und auch Risiken tragen kann. Im Münchner Verfahren kommt dieses potenzielle „Plus“ nicht zum Ausdruck; es kann allerdings im Rahmen konventioneller Erbbaurechtsmodelle auch nicht gehoben werden.

Anders im privaten Bereich: So tritt z.B. die Continuum Capital (eine gewerbliche Erbbaurechtsgeberin aus Frankfurt) an Volleigentümer\*innen von Büroimmobilien heran und bietet an, ihnen den Boden „unter den Füßen wegzukaufen“ und sodann ein Erbbaurecht an dem Grundstück zu bestellen („sale-lease back“). Der „Köder“ ist ein Aufpreis auf das Grundstück, der über fünfzig Prozent des Bodenwertes betragen kann. Die Rendite des\*der Erbbaurechtverpflichteten ist zwar maßvoll, aber dennoch besser als die einer Anlage mit vergleichbarer Sicherheit auf dem Kapitalmarkt. Der\*die Erbbauberechtigte erhält eine Rendite, die signifikant höher als bei Volleigentum ist. Die Nachteile des Erbbaurechts werden durch den Aufpreis für das Grundstück deutlich mehr als kompensiert. Der geschaffene Mehrwert steigt mit dem Bodenwertniveau [4].

Bei der Übernahme des Modells durch eine Kommune müssten sich allerdings Erbbaurechtnehmer\*in und Erbbaurechtgeber\*in mit üblichen – risikoadäquaten – Renditen zufriedengeben, um den Mehrwert für bezahlbare Mieten auch in hochpreisigen Gebieten zu verwenden.

## 5. Hindernisse

---

Der Umstand, dass sich Volleigentümer\*innen *freiwillig* in die Position eines\*einer Erbbauberechtigten begeben, zeugt von den Potenzialen von innovativen Erbbaurechtsmodellen wie dem der Continuum Capital. Allerdings wenden Kommunen immer noch konventionelle Erbbaurechtsmodelle an, bei denen die Hebung komparativer Vorteile keine Berücksichtigung findet. Für „modernere“ Modelle fehlt sowohl die Kapazität in den Liegenschaftsverwaltungen als auch das ökonomische Verständnis. Auch besteht latent das Risiko, dass kommunale Justiziar\*innen und Kommunalaufsichtsbehörden die einschlägigen haushalts- und beihilferechtlichen Vorschriften dahingehend auslegen, dass es sich hierbei um „Verschwendung öffentlichen Vermögens“ oder eine „unerlaubte Beihilfe“ handele. Schließlich fehlen auch häufig die beiden entscheidenden Voraussetzungen für die Hebung des komparativen Vorteils: Die Kommunen sind zumeist „klamm“ und haben oft zu wenig Grundstücke. Der Weg heraus aus der Schmutzdecke dürfte für das kommunale Erbbaurecht lang sein.

## Literatur

---

[1] BGH. Urt. vom 08.02.2019, Az.: V ZR 176/17.

[2] Werth, A. Verkaufswertermittlung nach Paragraph 21 ErbbauVO. Was ist heute möglich? Der langfristige Kredit 1989, 40 (3), S. 68-74.

[3] D. Löhr, *Über den Daumen – eine Faustformel für marktgerechte kommunale Erbbaurechte (Mehrfamilienhäuser)*, vhw werkSTADT Nr. 64, Nov. 2023.

[4] Löhr, D.; Braun, O. Warum hat es das Erbbaurecht so schwer? Zur Erhöhung der Akzeptanz von Erbbaurechten durch mehr Marktgerechtigkeit. ZIO 2020, 6, S. 111-136). DOI: 10.1365/s41056-020-00048-y

## Autorenhinweise

---

**Prof. Dr. Dirk Löhr, MBA**

Hochschule Trier / Umwelt-Campus Birkenfeld

d.loehr@umwelt-campus.de

---

---

# German SMEs on the Path to Climate Neutrality: Leveraging Regenerative Finance (ReFi) in the Carbon Offset Market and Beyond

---

Erik Ackermann, Alexandra Moritz, Margareta Teodorescu, Joern Block

## Abstract

Climate change, driven by anthropogenic greenhouse gases, is a major challenge that requires global action such as the objectives of the Paris Agreement to limit global warming. Through carbon offsetting, small and medium-sized enterprises (SMEs), representing 99.4% of all companies in Germany, can make a considerable contribution in reducing CO<sub>2</sub> emissions. Yet, only few SMEs undertake voluntary measures, such as offsetting, to mitigate their carbon footprint. However, SMEs face several challenges when purchasing carbon credits on the Voluntary Carbon Market, including the lack of common standards, high transaction costs due to market complexity, and the risk of greenwashing through double counting of credits.

This research project explores the potential role of blockchain technology and the emerging field of regenerative finance (ReFi) in addressing these challenges by providing an immutable transaction ledger, decentralized governance, and programmable cash flows. While startups are already using blockchain technology to develop ReFi business models, it remains unclear what specific use cases these ReFi entrepreneurs are exploring and how German SMEs can leverage these innovations to advance their climate neutrality efforts. To address this gap, a ReFi database will be created that allows the use case methodology to be applied and enables ReFi offerings to be categorized.

**Keywords:** *sustainable finance, regenerative finance, blockchain, carbon offsetting, climate change*

## Motivation and research question

---

Reaching the central aim of the Paris Agreement of limiting global warming to 1.5–2.0 degrees Celsius above pre-industrial levels would require substantial cuts in CO<sub>2</sub> emissions by 2050. Indeed, net-zero pledges and commitments to climate neutrality are becoming increasingly prevalent all over the world [1]. While large and mostly energy-intensive companies are often covered by mandatory regulations of emissions trading (e.g., EU ETS), SMEs typically do not fall under these regulations. Given the importance of SMEs within national economies – only in Germany 99.4 % of all companies are SMEs [2] –, these companies play a crucial role in reducing CO<sub>2</sub> emissions. However, only a small share of SMEs implements voluntary measures to reduce and offset their CO<sub>2</sub> emissions [3].

Among other ways to decarbonize, SMEs have been shown to use a market-based mechanism for CO<sub>2</sub> compensation, commonly known as offsetting through carbon credits [4,3]. In contrast to the regulated Compliance Carbon Market between countries, SMEs face several challenges when trading

carbon credits on the privately governed Voluntary Carbon Market (VCM) [5]. The lack of common standards in the VCM leads to inefficient processes when matching buyers and sellers with different attributes [4,6]. This could lead to double counting of carbon credits, placing SMEs at risk of inadvertently participating in greenwashing [7, 8,9]. In this context, the physical distance often makes it difficult for SMEs to verify the information and quality of the carbon offset projects, leading to typical principal-agent problems.

Preliminary research and practical studies emphasize the relevance of blockchain technology in enhancing the integrity and effectiveness of the VCM, as the technology allows to record any type of transaction data in a traceable and immutable way, eliminating the need for a central authority (10, 11, 12, 13, 14). Early entrepreneurs have already started to develop blockchain-based use cases such as the digital collection of climate data, the digital representation of ecosystems, or the support of decentralized decision-making. All these efforts are discussed in practice and most recently also in research under the umbrella term regenerative finance (ReFi) (15,16,17,18,19).

ReFi combines disciplines from the fields of sustainable development, finance, blockchain technology and technology in general (Figure 1). It draws on older, holistic approaches to sustainable economic systems such as Fullerton's Regenerative Capitalism [20] and integrates the latest advances in decentralized finance (DeFi) using blockchain technology. According to its own ambitions, ReFi aims to raise funds to promote ecological health, social well-being, and economic resilience [18] Nevertheless, the use of blockchain technology raises new questions, not least due to the complexity of the technology [21]. Prior research shows that ReFi lacks interoperability, and that there is neither a common definition nor criteria that clearly defines a ReFi use case, ReFi startup, or ReFi product [17].

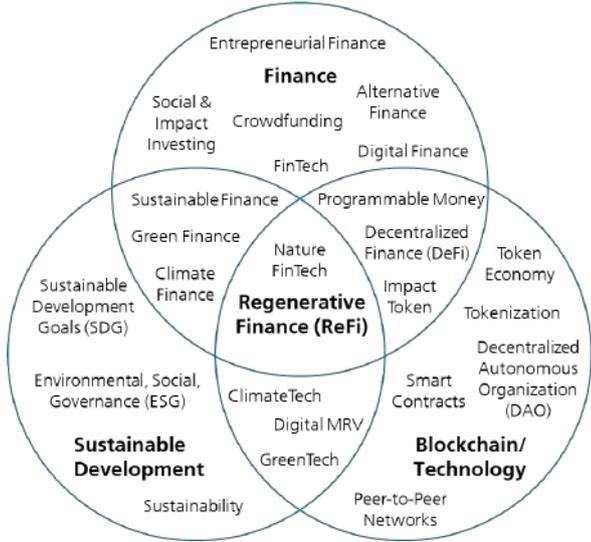


Figure 5. Regenerative finance as an interdisciplinary subject.

A better understanding of ReFi's promising approaches as well as allocating funds to ReFi entrepreneurs can accelerate climate innovation and meet the growing demand for offsetting products among SMEs. This is particularly significant as effective offsetting should generate a real climate

impact, yet some SMEs may hesitate to enter the VCM due to its current limitations. Aiming to better understand both sides and their respective challenges, this research project seeks to answer the following main research question:

*What use cases are ReFi entrepreneurs developing and how can German SMEs benefit from these in their efforts to reach climate neutrality?*

To answer this research question and to better understand the nature and diversity of ReFi market offerings, a ReFi company database will be created using the working definition by Schletz et al. 2023. These offerings are then prepared as use cases by applying the use case methodology [22]. To build the ReFi database, an existing web3 carbon database from a cooperation between the European Carbon Offset Tokenization Association (ECOTA) and the non-profit association PositiveBlockchain.io will be used as a basis. This basis will be refined and augmented with additional data. This approach aims to enhance our understanding of the intersection between technology and environmental finance and will provide practical insights for German SMEs on how to effectively leverage these innovations to achieve their climate neutrality objectives. At the same time, the research project contributes to ReFi entrepreneurs by helping them to further develop their offerings and to highlight their value proposition. Based on the above, bringing both sides together could also lead to measurable and real positive climate effects.

## References

---

[1] Black, R.; Cullen, K.; Fay, B.; Hale, T.; Lang, J.; Mahmood, S.; Smith, S. *Taking Stock A global assessment of net zero targets*. Energy & Climate Intelligence Unit and Oxford Net Zero, 2021. [https://ca1-eci.edcdn.com/reports/ECIU-Oxford\\_Taking\\_Stock.pdf](https://ca1-eci.edcdn.com/reports/ECIU-Oxford_Taking_Stock.pdf) (accessed 2024-05-17).

[2] *Statistisches Bundesamt. Anteile Kleine und Mittlere Unternehmen 2021 nach Größenklassen in %*. <https://www.destatis.de/DE/Themen/Branchen-Unternehmen/Unternehmen/Kleine-Unternehmen-Mittlere-Unternehmen/Tabellen/wirtschaftsabschnitte-insgesamt.html?nn=208440> (accessed 2024-05-17).

[3] Engler, D.; Gutsche, G.; Simixhiu, A.; Ziegler, A. *Kompensationszahlungen kleiner und mittlerer deutscher Unternehmen für CO<sub>2</sub>-Emissionen*. Allianz für Entwicklung und Klima und Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit, 2021. <https://allianz-entwicklung-klima.de/wp-content/uploads/2021/05/studie-kompensationszahlungen-unternehmen-co2-emissionen.pdf> (accessed 2024-05-17).

[4] Wolters, S.; Schaller, S.; Tänzler, D. *Potenziale des freiwilligen Marktes für die Kompensation von Treibhausgasemissionen in Deutschland*. Adelphi, 2018. <https://adelphi.de/de/publikationen/potenziale-des-freiwilligen-marktes-fuer-die-kompensation-von-treibhausgasemissionen> (accessed 2024-05-17).

[5] Fearnehough, H.; Kachi, A.; Mooldijk, S.; Warnecke, C.; Schneider, L. *Future role for voluntary carbon markets in the Paris era*. Umweltbundesamt, 2020.

[https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/5750/publikationen/2020\\_11\\_19\\_cc\\_44\\_2020\\_carbon\\_markets\\_paris\\_era\\_0.pdf](https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/5750/publikationen/2020_11_19_cc_44_2020_carbon_markets_paris_era_0.pdf) (accessed 2024-05-17).

[6] TSVCM. *Taskforce on Scaling Voluntary Carbon Markets*. TSVCM, 2021. [https://www.iif.com/Portals/1/Files/TSVCM\\_Report.pdf](https://www.iif.com/Portals/1/Files/TSVCM_Report.pdf) (accessed 2024-05-17).

[7] Schneider, L.; La Hoz Theuer, S. Environmental integrity of international carbon market mechanisms under the Paris Agreement. *Climate Policy* 2019, 19 (3), 386–400. DOI: 10.1080/14693062.2018.1521332.

[8] Kreibich, N.; Schulze-Steinen, M. Der freiwillige Kohlenstoffmarkt: Zwischen privater Governance und öffentlicher Regulierung. *Zeitschrift für Außen- und Sicherheitspolitik* 2023, 16 (3), 251–262. DOI: 10.1007/s12399-023-00954-8.

[9] Hübner, C. *Klimaschutz mit dem Web3*. Konrad-Adenauer-Stiftung, 2023. <https://www.kas.de/documents/252038/22161843/Klimaschutz+mit+dem+Web3.pdf/3b5bafbe-5992-7fe3-d146-03a5f07e73df?version=1.0&t=1675695141957> (accessed 2024-05-17).

[10] Dorfleitner, G.; Muck, F.; Scheckenbach, I. Blockchain applications for climate protection: A global empirical investigation. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 2021, 149, 111378. DOI: 10.1016/j.rser.2021.111378.

[11] Franke, L. A.; Schletz, M.; Salomo, S. Designing a Blockchain Model for the Paris Agreement's Carbon Market Mechanism. *Sustainability* 2020, 12 (3), 1068. DOI: 10.3390/su12031068.

[12] Chen, D. Utility of the Blockchain for Climate Mitigation. *The Journal of the British Blockchain Association* 2018, 1 (1), 1–9. DOI: 10.31585/jbba-1-1-(6)2018.

[13] Culotta, C.; Brüning, S.; Schulte, A.; Gesmann-Nuissl, D.; Märkel, C.; Beck, R. *Nachhaltigkeit im Kontext der Blockchain-Technologie*. WIK-Consult und Fraunhofer-Institut für Materialfluss und Logistik IML, 2022. [https://www.bmwk.de/Redaktion/DE/Publikationen/Digitale-Welt/blockchain-nachhaltigkeit.pdf?\\_\\_blob=publicationFile&v=4](https://www.bmwk.de/Redaktion/DE/Publikationen/Digitale-Welt/blockchain-nachhaltigkeit.pdf?__blob=publicationFile&v=4) (accessed 2024-05-17).

[14] Baumann, T. *Blockchain for Planetary Stewardship. Using the Disruptive Force of Distributed Ledger Technology to Fight Climate Disruption*. Blockchain Research Institute, 2018. <https://www.blockchainresearchinstitute.org/project/blockchain-for-planetary-stewardship/> (accessed 2024-05-17).

[15] World Economic Forum. *Blockchain for scaling climate action*. World Economic Forum, 2023. [https://www3.weforum.org/docs/WEF\\_Blockchain\\_for\\_Scaling\\_Climate\\_Action\\_2023.pdf](https://www3.weforum.org/docs/WEF_Blockchain_for_Scaling_Climate_Action_2023.pdf) (accessed 2024-05-17).

[16] Balzer, B.; Hildebrandt, S.; Kreisel, L.; Reinsdorf, T.; Rödiger, S.; Sohn, S. *Blockchain und Klimaschutz*. Bitkom, 2023. <https://www.bitkom.org/sites/main/files/2023-07/BitkomLeitfadenBlockchainundKlimaschutz.pdf> (accessed 2024-05-17).

[17] Schletz, M.; Constant, A.; Hsu, A.; Schillebeeckx, S.; Beck, R.; Wainstein, M. Blockchain and regenerative finance: charting a path toward regeneration. *Frontiers in Blockchain* 2023, 6, 1165133. DOI: 10.3389/fbloc.2023.1165133

[18] Shih, C.; Gwizdalski, A.; Deng, X. Building a Sustainable Future: Exploring Green Finance, Regenerative Finance, and Green Financial Technology. *World Scientific Annual Review of Fintech (Forthcoming)*, Nanyang Business School Research Paper 2023, No. 23-18. DOI: <http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.4449096>.

[19] Sorensen, D. Tokenized Carbon Credits. *Ledger* 2023, 8. DOI: 10.5195/ledger.2023.294.

[20] Fullerton, J. *Regenerative capitalism*. Capital Institute Think Tank, 2015. <https://capitalinstitute.org/wp-content/uploads/2015/04/2015-Regenerative-Capitalism-4-20-15-final.pdf> (accessed 2024-05-17).

[21] Zhao, F.; Chan, W. K. When Is Blockchain Worth It? A Case Study of Carbon Trading. *Energies* 2020, 13 (8), 1980. DOI: 10.3390/en13081980.

[22] VDE Verlag. *DIN EN 62559-2 VDE 0175-102:2016-05 Anwendungsfallmethodik*; Berlin, 2026. <https://www.vde-verlag.de/normen/0100317/din-en-62559-2-vde-0175-102-2016-5.html> (accessed 2024-05-17).

#### Author's note

---

##### **Erik Ackermann**

Fraunhofer Center for International Management and  
Knowledge Economy IMW

[erik.ackermann@imw.fraunhofer.de](mailto:erik.ackermann@imw.fraunhofer.de)

---

##### **Prof. Dr. Alexandra Moritz**

University of Applied Science

[moritz@hs-koblenz.de](mailto:moritz@hs-koblenz.de)

---

##### **Prof. Dr. Margareta Teodorescu**

University of Applied Science

[teodorescu@hs-koblenz.de](mailto:teodorescu@hs-koblenz.de)

---

##### **Prof. Dr. Joern Block**

Universität Trier

[block@uni-trier.de](mailto:block@uni-trier.de)

---

---

# Die Zukunft des Recruitings in Deutschland

---

**Stephan Weinert, Elmar Günther, Silko Pfeil**

## Abstract

Der Fachkräftemangel wird für die Unternehmen immer besorgniserregender, denn er stellt ein erhebliches Risiko für ihre Wettbewerbsfähigkeit dar. Um diesem Mangel entgegenzuwirken, müssen Recruiting-Verantwortliche effektiver sein als je zuvor. Um sich strategisch auszurichten, ist es wichtig zu wissen, wie sich das Recruiting in Zukunft entwickeln wird. Um eine wissenschaftlich fundierte Einschätzung der wahrscheinlichen Entwicklungen im Recruiting in Deutschland zu erhalten, wurde eine Szenario-Studie durchgeführt. Nach einer ersten qualitativen Befragung von Experten aus Praxis und Wissenschaft wurden verschiedene Szenarien für die Zukunft des Recruitings abgeleitet. Diese Szenarien wurden in einer sich anschließenden quantitativen Studie von 195 Praktikerinnen und Praktikern hinsichtlich ihrer Auswirkungen auf die aktuelle und zukünftige Situation sowie auf die praktische Arbeit von Personalverantwortlichen bewertet. Untersucht wurde auch, welche berufsbezogenen Fähigkeiten für Recruiter wichtiger werden und inwieweit sich Aufgaben und Instrumente des Recruitings verändern. Insgesamt zeigt die Studie fundamentale Herausforderungen auf, denen sich die Personalbeschaffung bis zum Jahr 2035 stellen muss. Wenn diese Szenarien eintreten, werden Unternehmen im Allgemeinen und Recruiting-Abteilungen im Besonderen in den kommenden Jahren einen erheblichen Veränderungsbedarf haben.

**Schlüsselbegriffe:** *Fachkräftemangel, Recruiting, Szenario-Analyse, Recruiting Tools*

## 1. Einleitung

---

Der Fachkräftemangel stellt für Industrieländer wie Deutschland ein erhebliches Risiko dar, das die Wettbewerbsfähigkeit auf Jahre hinaus erheblich beeinträchtigen könnte. Die Schere zwischen Angebot und Nachfrage nach Fachkräften öffnet sich immer weiter, wodurch gemäß diversen Prognosen ein Fachkräftemangel in Deutschland erwartet wird [1,2]. Für das Jahr 2040 wurde bereits ein Fehlbedarf von 3,3 Millionen Personen kalkuliert [3]. Dieser Fachkräftemangel ist ein Kernproblem der deutschen Wirtschaft, welcher das zukünftige Wirtschaftswachstum deutlich bremsen könnte.

Um diesem absehbaren Mangel entgegenzuwirken, spielen insbesondere die Recruiting- bzw. Einstellungsbemühungen eine entscheidende Rolle. Die große Bedeutung der Personalbeschaffung wird auch deutlich, wenn man sich die betriebs- und volkswirtschaftlichen Folgen der Nichtbesetzung vakanter Stellen vor Augen führt. Zwar gehen die Schätzungen auseinander, aber es werden potenzielle Verluste oder Umsatzeinbußen in Milliardenhöhe befürchtet. So schätzt die Wirtschaftsprüfungsgesellschaft Ernst & Young, dass dem deutschen Mittelstand jährlich Einnahmen in Höhe von rund 30 Milliarden Euro entgehen [4].

Die betriebs- und volkswirtschaftlichen Folgen dieses Mangels machen deutlich, wie wichtig es ist, sich intensiver mit der Bedeutung und der zukünftigen Ausrichtung des Recruitings

auseinanderzusetzen. Zudem ist zu beachten, dass aktuell vielfältige Veränderungen direkte Implikationen für das Recruiting mit sich bringen. Beispielsweise gewinnt die Anwerbung von Fachkräften aus dem Ausland für das Recruiting an Bedeutung. Der deutsche Arbeitsmarkt wird dadurch sowohl internationaler als auch interkultureller, was wiederum eine stärkere Berücksichtigung von Diversity-Aspekten im Recruiting erfordert. Eine weitere Veränderung stellt die Digitalisierung dar. Damit werden manche althergebrachten Berufsbilder obsolet, andere verändern sich, völlig neue dürften hinzukommen. Weiterhin ist ein Umbruch in der Art und Weise wie, wo und wann gearbeitet wird, zu beobachten. Vor allem die Corona-Pandemie wirkte wie ein Katalysator, der Arbeitsformen des mobilen Arbeitens in einem Ausmaß etabliert hat, das vor wenigen Jahren den meisten noch völlig undenkbar erschien.

Die vorliegende Studie befasst sich deshalb mit der Frage, wie sich das Recruiting inhaltlich verändern wird und welchen berufsbezogenen Anforderungen sich Recruiting-Experten zukünftig stellen müssen. Ziel ist es, mit Hilfe der Delphi-Methode auf der Basis von Experteneinschätzungen erstmals eine Prognose für das Recruiting im Jahr 2035 zu erstellen.

## 2. Theoretischer Hintergrund und Methodik

---

### 2.1. Theoretischer Hintergrund

---

Es gibt eine Vielzahl von Definitionen des Begriffs „Recruiting“. Zentrale Aspekte dieser Definitionen konzentrieren sich auf die Gewinnung von Mitarbeitern für eine Organisation. Dabei bezieht sich Recruiting auf einen zentralen Prozess des Personalmanagements zur Suche und Einstellung von Mitarbeitern [5]. Darüber hinaus wird die Gewinnung, Auswahl und Bindung von Fachkräften auch aus der Perspektive der Organisationsforschung betrachtet. In diesem Zusammenhang kann die Personalbeschaffung als eine der wichtigsten Funktionen einer Organisation angesehen werden. Da das Geschäftsumfeld immer wettbewerbsintensiver wird, wird es für den Erfolg einer Organisation immer wichtiger, die richtigen Mitarbeiter mit den richtigen Fähigkeiten zu haben [6]. Das heißt, die Personalbeschaffung spielt eine entscheidende Rolle bei der Verbesserung des Wettbewerbsvorteils einer Organisation, indem sie sicherstellt, dass die Unternehmensziele in einem wettbewerbsorientierten Umfeld erfolgreich erreicht werden können [7].

Aufgrund dieser Relevanz für strategische Ergebnisse richtet sich die Aufmerksamkeit der Managementforschung zunehmend auf Veränderungen, da die Geschwindigkeit und das Ausmaß sowie die Komplexität enorme Auswirkungen auf soziale, kulturelle, wirtschaftliche und technologische Bereiche haben, die auch als Trends bezeichnet werden. Daher sind das Erkennen und Analysieren von Trends zu einem entscheidenden Aspekt des Foresight-Prozesses geworden. In diesem Zusammenhang ist die Analyse und Identifizierung wichtiger Trends, die sich direkt auf die Welt auswirken und sich in einer mehrdimensionalen Komplexität manifestieren, von Forschungsinteresse, da sie potenziell Unternehmen, Wirtschaft und Gesellschaft beeinflussen werden [8]. Unter Megatrends werden insbesondere die wichtigsten Auswirkungen der menschlichen oder technologischen Entwicklung verstanden, die die

menschlichen Aktivitäten auf einem Horizont von etwa zehn bis fünfzehn Jahren erheblich beeinflussen [9].

## 2.2. Methodik

Szenarioanalysen können unterschiedliche Formen annehmen. Eine Möglichkeit stellen die sogenannten Delphi-Studien dar. Diese werden zwar durchaus in der Personalmanagementforschung eingesetzt (s. z.B. [10,11]), ihr Verbreitungsgrad ist jedoch relativ gering. Dies gilt insbesondere für Delphi-Studien, die sich explizit auf Aspekte des Personalmanagements in Deutschland beziehen. Die vorliegende Studie orientiert sich an dem von *Kirchgeorg et al.*, 2017 beschriebenen Verfahren. Die Autoren empfehlen im ersten Schritt, der sogenannten Szenario-Vorbereitung, den relevanten Untersuchungsgegenstand zu umreißen und den Zeithorizont für die Szenarien zu definieren.

Dementsprechend lag der Fokus hier auf zentralen Entwicklungen, die das Recruiting in Deutschland bis zum Jahr 2035 am ehesten beeinflussen werden. Darauf aufbauend wurde eine umfassende Literaturrecherche durchgeführt, die sich auf Beiträge konzentrierte, die sich mit der Entwicklung des Recruitings und damit verbundenen Determinanten befassen. Daran schloss sich ein mehrstufiges Datenerhebungs- und -bewertungsverfahren an. In der ersten Runde wurden in zwei unabhängigen Workshops mit insgesamt 15 Recruiting-Experteninnen und -Experten aus der Praxis und der Wissenschaft Rekrutierungsszenarien abgeleitet. In der anschließenden zweiten Runde wurden die Szenarien von einer großen Zahl weiterer Recruiting-Experten mittels eines Online-Fragebogens quantitativ bewertet. Insgesamt nahmen an der quantitativen Befragung 195 Personen teil. Für dieses Vorgehen gibt es zwei wesentliche Gründe: Erstens sind kollektive Einschätzungen in der Regel präziser und genauer als individuelle Einschätzungen, und zweitens werden durch den stark strukturierten und anonymen Online-Fragebogen gruppendynamische Tendenzen, die das Urteil verzerren könnten, ausgeschlossen.

## 3. Ergebnisse

Im Rahmen des qualitativen Teils wurden 15 Zukunftstrends anhand Fokusgruppendifkussionen erarbeitet. Dabei wurden diese Zukunftstrends in Form von Thesen operationalisiert. Diese Thesen wurden anschließend im quantitativen Teil von den Befragten jeweils danach bewertet, i) wie sehr sie den Alltag der Recruitingverantwortlichen zukünftig verändern werden, ii) wie wahrscheinlich das Eintreffen der Trends ist und iii) wie stark die Trends bereits heute spürbar sind. Im Folgenden werden die Trends sowie deren quantitative Bewertungen dargestellt (Tabelle 1).

	Trendeinfluss (positiv/negativ) auf Recruitingalltag	Eintrittswahrscheinlichkeit des Trends	Trend bereits jetzt spürbar
Der <b>Fachkräftemangel</b> und "War for Talent" hat sich nochmals deutlich verschärft.	eher negativer Einfluss (3,1)	wahrscheinlich (5,3)	spürbar (4,8)
Unternehmen investieren viel mehr Kapazitäten in den Aufbau einer starken <b>Arbeitgebermarke</b> .	positiver Einfluss (5,2)	wahrscheinlich (5,2)	leicht spürbar (4,3)

Recruiting ist deutlich <b>internationaler</b> geworden.	positiver Einfluss (4,8)	wahrscheinlich (5,2)	leicht spürbar (4,1)
Unternehmen, die Bewerbern keine attraktive <b>Candidate Journey</b> mit zeitnahe Feedback und Transparenz über den aktuellen Fortschritt der Bewerbung bieten, finden keine neuen Mitarbeiter mehr.	eher positiver Einfluss (3,9)	wahrscheinlich (5,1)	leicht spürbar (4,1)
<b>Remote-Arbeitsplätze</b> sind der praktische Normalfall geworden.	positiver Einfluss (4,7)	wahrscheinlich (5,0)	leicht spürbar (4,1)
Durch <b>Data Analytics</b> können die Kosten und der Nutzen des Recruitings und infolgedessen der Wertbeitrag zum Unternehmenserfolg eindeutig quantifiziert werden.	positiver Einfluss (4,8)	wahrscheinlich (4,9)	eher nicht spürbar (3,2)
Mitarbeitende wählen vollkommen individuell aus einem großen Angebot von <b>Fringe Benefits</b> .	positiver Einfluss (4,5)	wahrscheinlich (4,6)	eher nicht spürbar (2,7)
Die Fluktuation ist infolge sinkender <b>Mitarbeiterbindung</b> spürbar gestiegen.	eher negativer Einfluss (3,0)	wahrscheinlich (4,6)	leicht spürbar (3,7)
Recruiting ist so bedeutend für den Unternehmenserfolg, dass es als <b>eigenständige Organisationseinheit</b> verankert wird.	positiver Einfluss (4,9)	eher wahrscheinlich (4,4)	eher nicht spürbar (3,0)
<b>Künstliche Intelligenz</b> übernimmt große Teile des Recruitings, bspw. die autonome Durchführung von Einstellungsinterviews oder Testung.	eher positiver Einfluss (4,0)	eher wahrscheinlich (4,3)	nicht spürbar (2,3)
Recruiting sucht aktiv nach Bewerbern aus unterrepräsentierten Gruppen und ist maßgeblich für <b>Inklusion</b> verantwortlich.	positiver Einfluss (4,5)	eher wahrscheinlich (4,2)	eher nicht spürbar (2,9)
Recruiting-Verantwortliche sind fester <b>Bestandteil von Managementgremien</b> , die über die strategische Ausrichtung des Unternehmens bestimmen.	positiver Einfluss (4,7)	eher wahrscheinlich (4,1)	eher nicht spürbar (2,7)
KMU bündeln ihre Ressourcen in sog. <b>Recruiting-Allianzen</b> .	eher positiver Einfluss (4,1)	eher wahrscheinlich (3,9)	nicht spürbar (1,9)
Der Anteil unbefristeter Stellen ist zu Gunsten projektorientierter, <b>temporärer Anstellungsverhältnisse</b> spürbar gesunken.	eher negativer Einfluss (3,4)	eher wahrscheinlich (3,8)	nicht spürbar (2,4)
Informationen über Arbeitgeber via <b>Social Media</b> werden von Bewerbern als <b>nicht zuverlässig</b> angesehen.	eher negativer Einfluss (3,1)	eher wahrscheinlich (3,7)	nicht spürbar (2,4)

*Tabelle 1. Zukunftstrends zum Recruiting im Jahr 2035*

#### 4. Zusammenfassung

Zusammenfassend ergeben sich folgende wesentliche Ergebnisse aus der Analyse:

- Der Einfluss der thematisierten Trends auf das Recruiting wird überwiegend positiv beurteilt. Nur der Fachkräftemangel, rückläufige Mitarbeiterbindung, temporäre Anstellungen und die Zuverlässigkeit von Social Media wird einen leicht negativen Einfluss auf das Recruiting haben.

- Der Eintritt aller erarbeiteten Trends wird im Durchschnitt als (eher) wahrscheinlich beurteilt. Eine proaktive Beschäftigung mit diesen ist daher anzuraten und unablässig. Dies gilt insbesondere für den heute bereits spürbaren Fachkräftemangel, dessen Erscheinen auch in der Zukunft als besonders wahrscheinlich beurteilt wird.

- Hierzu passt auch, dass mit der künftig geschätzten Wahrscheinlichkeit des Fachkräftemangels die Befragten auch eine stärkere Machtposition auf Seiten der Bewerber/Mitarbeiter erwarten. Das Auftreten attraktivitätssteigernder Maßnahmen auf Seiten rekrutierender Unternehmen (Stärkung der Arbeitgebermarke, Candidate Journey, Remote Arbeitsplätze, Fringe Benefits) wird als wahrscheinlicher eingeschätzt.

- Gleichzeitig wird die Fluktuation infolge sinkender Mitarbeiterbindung mit eher negativem Einfluss auf das Recruiting wahrscheinlich spürbar steigen, auch wenn sie heute nur leicht spürbar ist.

- Die Bedeutung des internationalen Recruitings wird zunehmen, besitzt einen positiven Einfluss auf das Recruiting, ist bisher jedoch nur leicht spürbar.

- Die Trends zu künstlicher Intelligenz, Recruiting-Allianzen, temporären Anstellungen sowie Zuverlässigkeit von Social Media sind heute noch nicht spürbar. Ihnen wird auch eine geringere Eintrittswahrscheinlichkeit zugesprochen.

- Die Befragten zeigten Technologieoffenheit: Data Analytics und künstliche Intelligenz werden im Durchschnitt als (eher) positiv beurteilt.

- Eine stärkere strategische Bedeutung des Recruitings (in Form einer eigenständigen Organisationseinheit oder des Einbezugs in Managementgremien) wird überwiegend als eher wenig wahrscheinlich und heute nicht spürbar bewertet. Hier zeigt sich, dass die organisatorische Verankerung zur Bewältigung der anstehenden Herausforderungen – trotz der eingeschätzten hohen Bedeutung – noch diskutiert werden muss.

## Literatur

---

[1] Burstedde, Alexander. Die IW-Arbeitsmarktfortschreibung. Wo stehen Beschäftigung und Fachkräftemangel in den 1.300 Berufsgattungen in fünf Jahren? Methodenbericht. *IW Report* **2023** (8/2023).

[2] Peichl, Andreas; Sauer, Stefan; Wohlrabe, Klaus. Fachkräftemangel in Deutschland und Europa – Historie, Status quo und was getan werden muss. *ifo Schnelldienst* **2022**, 75 (10/2022) 70–75. <https://www.ifo.de/publikationen/2022/aufsatz-zeitschrift/fachkraeftemangel-deutschland-und-europa-historie-status-quo> (accessed Oct 27, 2023).

[3] Prognos. *Arbeitslandschaft 2040*, vbw, Ed., 2015. [https://www.prognos.com/sites/default/files/2021-01/20150521\\_prognos\\_arbeitslandschaft2040-final.pdf](https://www.prognos.com/sites/default/files/2021-01/20150521_prognos_arbeitslandschaft2040-final.pdf) (accessed Aug 29, 2023).

[4] *EY Mittelstandsbarometer*, Ernst & Young, Ed., 2021. [https://assets.ey.com/content/dam/ey-sites/ey-com/de\\_de/news/2021/12/ey-mittelstandsbarometer-konjunktur-2022-2021.pdf](https://assets.ey.com/content/dam/ey-sites/ey-com/de_de/news/2021/12/ey-mittelstandsbarometer-konjunktur-2022-2021.pdf).

[5] Barber, A. E. *Recruiting employees: Individual and organizational perspectives.*; SAGE Publications Ltd: 1998.

[6] Chungyalpa, W.; Karishma, T. Best Practices and Emerging Trends in Recruitment and Selection. *Journal of Entrepreneurship & Organization Management* **2016**, 05 (02).

[7] Collins, Christopher J.; Han, Jian. Exploring Applicant Pool Quantity and Quality: The Effects of Early Recruitment Practice Strategies, Corporate Advertising, and Firm Reputation. *Personnel Psychology* **2004**, 57 (3) 685–717.

[8] Güernes-Castorena. Megatrend Methodology to Identify Development Opportunities. *PICMET 2009 Proceedings* **2009**2391–2396.

[9] Naisbitt, John. *Megatrends*. New York, 1982.

[10] Strohmeier, Stefan. Smart HRM – a Delphi study on the application and consequences of the Internet of Things in Human Resource Management. *The International Journal of Human Resource Management* **2020**, 31 (18) 2289–2318.

[11] Wright, Patrick M.; Snell, Scott A.; Dyer, Lee. New models of strategic HRM in a global context. *The International Journal of Human Resource Management* **2005**, 16 (6) 875–881.

[12] Kirchgeorg, Manfred; Ermer, Beatrice; Wiedmann, Martin. Szenarioanalyse: Messen & Live Communication 2020. In *Handbuch Messemanagement*. Kirchgeorg, M., Dornscheidt, W. M., Stoeck, N., Eds. Springer Fachmedien Wiesbaden: Wiesbaden, 2017.

## Autorenhinweise

---

### **Prof. Dr. Stephan Weinert**

Hochschule für Wirtschaft und Gesellschaft Ludwigshafen

stephan.weinert@hwg-lu.de

---

### **Prof. Dr. Elmar Günther**

Hochschule für Wirtschaft und Gesellschaft Ludwigshafen

elmar.guenther@hwg-lu.de

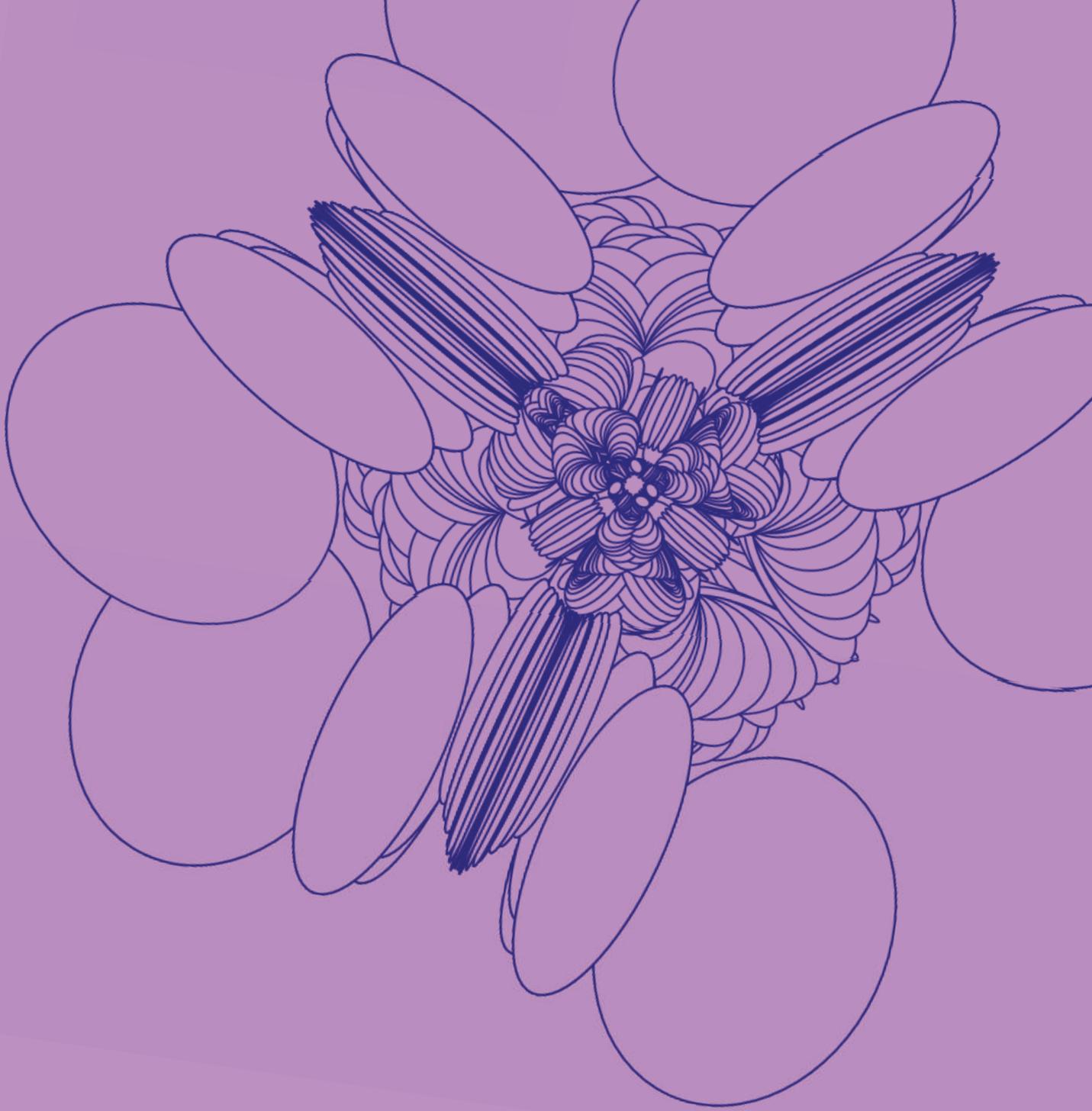
---

### **Prof. Dr. Silko Pfeil**

IU International University of Applied Sciences Leipzig

silko.pfeil@iu.org

---



# **WISSENSCHAFTLICHE POSTER**

\*Farbig gekennzeichnete Poster können digital abgerufen werden.

## Gestaltung

Hochschule Kaiserslautern	Hoffmann, M.; Pfaff, M.	<a href="#">NeuroVR als wegweisendes Pilotprojekt für Neurofeedback in virtueller Realität</a>
Hochschule Trier	Hog, J.	Taktile Sinneswahrnehmung und die Bedeutung von Oberflächen; - eine kulturwissenschaftliche und künstlerische Analyse in der Praxis
Hochschule Trier	Schröder, G.	<a href="#">Von Häusern und Wolken. Ein Kooperationsprojekt von Kunstwissenschaft und Bildender Kunst im Fachbereich Gestaltung</a>
Hochschule Kaiserslautern	Speyer, L.; Lörz, M.; Braun, A.; Schramm, M.; Löwentraut, L.; Pfaff, M.; Schmachten- berg, C.; Bedoy, A.	<a href="#">VOLAR</a>
Hochschule Trier	Steber, H.; Konder, H.; Kern, P.; Klein, M.; Nauert, A.	<a href="#">Kunststoffrecycling in Togo</a>
Hochschule Trier	Threuter, C.; Gi- annone, A.	<a href="#">Protestkleider: Kleidung und die ästhetische Politik der Straße</a>
Hochschule Trier	Wolfes, D.; Bruns, C.	CWOOMY; Circular Wool from Germany

## Informatik

Hochschule Mainz	Geist, K.; Böhm, K.	Erreichbarkeitsberechnungen für Seniorinnen und Senioren im ländlichen Raum
Hochschule Mainz	Homburg, T.	<a href="#">Linked open data and machine learning applications for cuneiform studies</a>
Hochschule Mainz	Kaminski, K.; Schaffert, M.	Szenario-Planung und partizipatives GIS zur Ermittlung ländlicher Transformation - Beispiel: Verbandsgemeinde Otterbach-Otterberg.
Hochschule Mainz	Ponciano, J.-J.; Klauer, T.	Advancing Oral Healthcare: Deep Learning for Improved Mucosal Analysis

Hochschule Kaiserslautern	Scharff, V.; Gentes, M.; Conrad, J.	<a href="#">Gamification in der Hochschullehre Am Beispiel des Lehrfachs „Algorithmen und Datenstrukturen“</a>
------------------------------	--	--

## Life Sciences

Hochschule Kaiserslautern	Baller, M.; Jahmani, M.	Analysis of Human Normal Morphology Sperm's Chromatin condensation and its link to ICSI fertilization rates through a DNA and Protein biomolecular com
Technische Hochschule Bingen	Dannenmann, D.	<a href="#">Bewertung von Erwerbsobstanlagen im Rahmen erfolgsorientierter AUKM</a>
Hochschule Kaiserslautern	Heilmann, H.; Busch, L.; Buchmann, C.; Mohamed, I.; Lohse, S.; Bufe, B.	Formylpeptide receptors can influence the innate immune response by detecting coronavirus spike protein fragments
Technische Hochschule Bingen	Hietel, E.; Doeker, A.	<a href="#">Erhaltung und Förderung von Ackerwildkräutern in Rheinland-Pfalz</a>
Hochschule Trier	Hoffmann, L.; Scherer, K.; Wahl, M.	<a href="#">Einsatz der Additiven Fertigung zur Entwicklung von innovativen Bioreaktoren für Cyanobakterien</a>
Hochschule Kaiserslautern	Rommel, S.; Schulte, S.; Feiten, J.; Schäfer, K.-H.; Gries, M.	<a href="#">Investigation of the intestinal inflammatory status in a Parkinson's disease mouse model reveals distinct changes at an early disease stage</a>
Hochschule Trier	Soerjawanata, W.; Kam- peis, P.	Entwicklung eines neuartigen Fermentationsverfahrens mittels Aufwuchskörpern für pelletbildende Pilze

## Technik I Naturwissenschaft

Hochschule Koblenz	Ankerhold, G.; Kohns, P.; Ritzdorf, H.	<a href="#">Lasernalyse römischer Fundstücke aus der Region</a>
Hochschule Kaiserslautern	Bauer, A.	Entwicklung eines Elektromotors für einen elektronischen Gruppen-Antrieb auf Leiterplattenbasis - Forschungsprojekt SYNERGIE

Hochschule Kaiserslautern	Britz-Grell, A.; Henschke, R.; Nowduri, B.; Meyszner, A.; Baumann, B.; Saumer, M.	<a href="#">Biomimetic Nanostructuring of Polymer and Metal Surfaces for Life Sciences</a>
Hochschule Koblenz	Dietz, T.; Kohns, P.; Anker- hold, G.	Molecular dynamic simulations in laser-induced plasmas on atomistic scales
Hochschule Koblenz	Dietz, T.; Kohns, P.; Anker- hold, G.	<a href="#">Quantification of halogens in concrete by molecular emission</a>
Weincampus	Döbler, J.; Garke, M.; Klei- ner, K.; Dressler, M.; Durner, D.	<a href="#">Modellierung der Wegstrecken für den Absatz von deutschem Qualitätswein durch den Lebensmittel Einzelhandel</a>
Hochschule Koblenz	Esch, S.; Klose, J.; Kohns, P.; Ankerhold, G.	<a href="#">Non-contact laser-optical method for damage assessment of refractory ceramics at high temperatures</a>
Hochschule Kaiserslautern	Franck, K.; Zacher, B. H.; Holzmann, S.; Wagner, M.; Schumann, C.	<a href="#">Dual Zeta Inverter zur einphasigen Stromregelung nichtlinearer Lasten</a>
Hochschule Trier	Frank, J.	<a href="#">FORSCHUNGSPROJEKT ENSTADT:PFAFF Abhängigkeiten zwischen Mobilitäts- und Energiekonzepten -Voraussetzungen für eine wirksame Sektorenkopplung</a>
Hochschule Kaiserslautern	Hasnain, A.; Heilmann, H.; Bufe, B.; Tarasov, A.	Graphene-coated surface plasmon resonance biosensors for analysis of living cells
Hochschule Mainz	Jeppe, K.; Kelkel, J.; Kreit- meier, F.; Trapp, A.-L.; Pal- zer, S.	<a href="#">VCSA3D: Virtual Crime Scene Assessment and Analysis in Cyber Space - dreidimensionale Tatortanalyse und Sektionsdokumentation</a>
Hochschule Kaiserslautern	Koziol, J.; Starke, P.	Die Rasterelektronenmikroskopie - eine korrelative Reise von der Makro- bis zur Mikroskala durch einen Ermüdungsversuch
Hochschule Kaiserslautern	Lehnert, L.; Baumann, B.; Fuhrmann, M.; Musyanov- vych, A.; Thoelen, R.; Möbius, H.	<a href="#">Influence of particle size of polymer nanoparticles on the static dielectric constant</a>
Hochschule Trier	Lentz, L.; Bund, M.; Osherel- jew, W.	<a href="#">Kalibrierung von Modellen zur DEM-Simulation von Planetenkugelmühlen</a>
Hochschule Kaiserslautern	López López, V.; Maibaum, H.	Elektrifizierung chemischer Prozesse: Potenzial in der Schwefelsäureproduktion

Hochschule Kaiserslautern	Nebel, J.-E.	Use of Kerr-Microscopy and X-Ray diffraction to characterize Nanostructured Hard Magnetic CoP Materials and Components for Microtechnical Applications
Hochschule Kaiserslautern	Picard, A.; Göddel, M.	Füllstandmessung an Flüssigkeitsbeuteln
Hochschule Kaiserslautern	Rai, P.; Hoba, S.; Buchmann, C.; Kersten, C.; Schirmeister, T.; Bufe, B.; Tarasov, T.	In Situ Tailoring of Peptide Interface for Protease Detection via Multi-parametric Surface Plasmon Resonance Spectroscopy
Hochschule Koblenz	Retterath, L.; Kohns, P.; Ankerhold, G.	<a href="#">Correlation of surface hardness and plasma temperature in laser-induced breakdown spectroscopy measurements</a>
Hochschule Trier	Schaupeter, L.; Truderung, V.; Schu, H.; Vette-Steinkamp, M.; Böhm, M.	InStent - Automatische, robotergeführte, optische Inspektion geflochtener und lasergeschnittener Stents
Hochschule Kaiserslautern	Shaik, S. A.	<a href="#">Characterization and recycling potential of EVA scrap for orthopedic insole manufacturing</a>
Hochschule Trier	Tatarinov J.; Guldner, A.; Schlachter, K.-H.; Ahmed, A.; Liebemann, A.; Bastgen, V.; Stumm, S.	<a href="#">INTERDISZIPLINÄRE NACHHALTIGKEITSFORSCHUNG IM RAHMEN VON KOOPERATIVEN PROMOTIONEN</a>
Hochschule Kaiserslautern	Veith, D.; Schlüter, S.; Blinn, J.; Legleitner, T.; Picard, A.; Schultheis, P.; Wagner, M.; Kehrbusch, J.	Smart Textiles Waste Management
Hochschule Kaiserslautern	Weber, F.; Starke, P.	Entwicklung eines zFP-basierten Lebensdauerprognoseverfahrens metallischer Werkstoffe und die Integration relevanter Einflussfaktoren.
Hochschule Trier	Weisgerber, M.-C.; Koch, K. P.	<a href="#">Design und Evaluierung eines dreidimensionalen Sensorsystems zu der Erfassung der Signale von Organoiden</a>
Hochschule Kaiserslautern	Wetzler, F.; Nebel, J.-E.; Starke, P.; Saumer, M.	<a href="#">Process-Material-Property Correlation of Electrochemically Deposited Hard Magnetic Cobalt Alloys</a>

Hochschule Mainz	Au, C.; Paul, H.; Wunder, A.; Fränzl, J.	the strategy machine
Hochschule Kaiserslautern	Bartscher-Finzer, S.; Müller, Caroline; Genes Laura	<a href="#">Transferprojekte zwischen Hochschule und Unternehmen zur Weiterentwicklung der Personalarbeit</a>
Hochschule für Wirtschaft und Gesellschaft Ludwigshafen	Bensch, S.; Greening, M.; Schröder, A.; Zangardi, L.-M.	Digitales Bildungsangebot für benachteiligte Schwangere & Mütter: Learningsnacks for Mothers
Hochschule Worms	Grosche, T.; Klophaus, R.	CODESHARING AND AIRLINE PARTNERSHIPS WITHIN, BETWEEN AND OUTSIDE GLOBAL ALLIANCES
Hochschule Koblenz	Heinzen, M.; Conrads, J.; Haski, S.; van Dijk, M.	<a href="#">Cross Innovation through managing innovation, collaboration and entrepreneurship</a>
Weincampus	Kleiner, K.; Döbler, J.; Dreßler, M.; Durner, D.	<a href="#">Akzeptanz von Mehrwegweinflaschen - Empirische Erhebung</a>
Katholische Hochschule Mainz	Ledtermann, I.; Henning, A.; Ungar, N.	Stärkung der Teamresilienz von Krankenhauspersonal durch die Implementierung von Tea(m)Time
Hochschule Koblenz	Marquet, A.; Leyendecker, B.	<a href="#">Forschungsprojekt HUMEUS - Humanzentriertes Entscheidungsunterstützungssystem für das Stör- und Fehlermanagement auf dem Shopfloor</a>
Hochschule Trier	Theobald, K.; Mich, A.	<a href="#">Mehrweg – Zwischen Einstellung und Verhalten. Attitude Behaviour-Gap bei der Mehrwegnutzung in der Takeaway-Gastronomie</a>
Hochschule Koblenz	Schieler, A.	<a href="#">FORSCHUNGS- UND ENTWICKLUNGSPROJEKTE IM IBEB</a>
Hochschule Mainz	Stephan, R.; Hillebrandt, I.; Redler, J.; Henseler, J.	Corporate Reputation im digitalen Umfeld – eine systematische Literaturanalyse
Hochschule Koblenz	Wallrodt, S.; Thieme, L.; Maier, T.	<a href="#">Digitaler Sportstättenatlas Rheinland-Pfalz</a>



# **AUTOR\*INNEN- VERZEICHNIS**



### **Ackermann, Eric**

---

Erik Ackermann is a Research Fellow at the Fraunhofer Center for International Management and Knowledge Economy IMW, Knowledge and Technology Transfer Division. As part of his master's thesis, he investigated the digitalization of the financial sector and the potential of FinTech. Besides managing application-oriented projects at Fraunhofer, his research focuses on crowdfunding and blockchain-based financing, as well as crowdsourced innovation management. Erik is working towards a doctorate on the topic of Regenerative Finance (ReFi).

### **Al Bosta, Brigitte**

---

Brigitte Al Bosta ist Professorin für Tragwerks- und Entwurfslehre im Studiengang Architektur, Fachgebiet Bauen und Gestalten, an der Hochschule Kaiserslautern. Im Rahmen des praxisbezogenen Forschenden Lernens mit nachhaltigen Baustoffen, wie Stampflehm, Bambus und Holz, hat sie zusammen mit Prof. Carina Neff, Studiengang Bauingenieurwesen, mehrere DesignBuild-Projekte im In- und Ausland initiiert und geleitet. Die Arbeit mit den Studierenden in interdisziplinären Teams, die Vernetzung der Studiengänge sowie die Förderung des experimentellen, produktorientierten und wissenschaftlichen Arbeitens sind ihr ein besonderes Anliegen.

### **Backmann, Louis**

---

Louis Backmann ist wissenschaftlicher Mitarbeiter am Dienstleistungszentrum Rheinlandpfalz (DLR). Im Zuge seiner Promotion bearbeitet er unter der Leitung von Prof. Dr. Maren Scharfenberger-Schmeer das FEI Projekt „weinbauliche und oenologische Strategien zur Verhinderung Qualitätseinbußen durch *Botrytis cinerea*“.

### **Block, Joern**

---

Joern Block is a professor for Management at Universität Trier, Germany. His research focuses on entrepreneurship, innovation, and sustainability. It has been published in the leading journals of the field. He is also leader of Steinbeis-Transferzentrum Technologie und IP-Management which focuses on the analysis of large scale IP data to understand technology strategies of companies, regions and countries.

### **Braasch, Christian**

---

Christian Braasch forscht als wissenschaftlicher Mitarbeiter im Fachbereich Ingenieurwesen an der Hochschule Koblenz. Im Rahmen seiner Tätigkeit arbeitete er an modellprädiktiven Regelalgorithmen für dezentrale Energiesysteme und baute einen Prüfstand zur Charakterisierung von Adsorptionsmaterialien für Anwendungen in Adsorptionskälteanlagen. Im aktuellen Forschungsprojekt entwickelt er ein Verfahren zur Umsetzung von quasi-isothermen Zustandsänderungen zur Effizienzsteigerung in Verdichtern und Druckluftspeicherkraftwerken. Neben seinen Forschungstätigkeiten ist er als Lehrbeauftragter für Thermodynamik und Energietechnik tätig.

### **Coppers, Anna**

---

Anna Coppers ist wissenschaftliche Mitarbeiterin an der Katholischen Hochschule (KH) Mainz in dem Projekt „Peer-to-Peer-Transfer“ und als Lehrbeauftragte im Bachelorstudiengang Gesundheit und Pflege tätig. Als Physiotherapeutin sammelte sie mehrjährige Berufserfahrung mit Schwerpunkt in der neurologischen Rehabilitation, während der sie berufsbegleitend einen Master in Neurorehabilitation (SRH Gera) sowie den Master in Pädagogik in Gesundheit und Pflege an der KH Mainz abschloss.

### **Dietzel, Caroline**

---

Caroline Dietzel ist wissenschaftlicher Mitarbeiter am Dienstleistungszentrum Ländlicher Raum Rheinpfalz. Im Zuge Ihrer Promotion bearbeitet sie unter der Leitung von Prof. Dr. Maren Scharfberger-Schmeer das FEI Projekt „Strategien zur Vermeidung des Mäuseltons während der Weinbereitung“.

### **Dreßler, Marc**

---

Marc Dreßler ist Professor für BWL und Entrepreneurship der Hochschule für Wirtschaft und Gesellschaft Ludwigshafen. Er lehrt und forscht am Weincampus in Neustadt und deckt in den Studiengängen die betriebswirtschaftlichen Themen ab. Herr Dreßler leitet den englischsprachigen, berufs begleitenden Master „MBA wine, sustainability & sales“. Seine Forschungsschwerpunkte sind Strategie, Organisation, Innovation und Nachhaltigkeit, mit zahlreichen Veröffentlichungen in der Fachpresse sowie renommierten wissenschaftlichen Zeitschriften.

Der Professur gingen Lehr- und Forschungsaktivitäten an nationalen und internationalen Universitäten voraus.

### **Echternkamp, Rebekka**

---

Rebekka Echternkamp ist akademische Sprachtherapeutin und wissenschaftliche Projektmitarbeiterin an der Hochschule Trier. Nach ihrem Masterabschluss der Rehabilitationswissenschaften/Sprach- und Kommunikationstherapie an der Leibniz Universität Hannover war sie sowohl als Sprachtherapeutin in einer Rehabilitationseinrichtung als auch in der Ausbildung von Logopäd\*innen tätig. Der Schwerpunkt ihrer Forschungsarbeit bezieht sich auf den Erwerb von sprachlichen Fähigkeiten bei Kindern mit und ohne Sprachentwicklungsstörungen.

### **Flegel, Nadine**

---

Nadine Flegel is research assistant at the Trier University of Applied Sciences, Germany, and PhD student in cooperation with the University of Siegen, Germany.

### **Gallace, Bruno**

---

Bruno Gallace ist wissenschaftlicher Mitarbeiter an der Hochschule Trier, Standort Umwelt-Campus Birkenfeld und forscht im Bereich des Direktdrucks mit Recyclinggranulat.

### **Günther, Elmar**

---

Prof. Dr. Elmar Günther ist Professor für Allgemeine Betriebswirtschaftslehre, insb. Marketing an der Hochschule für Wirtschaft und Gesellschaft Ludwigshafen. Er ist Autor zahlreicher Publikationen zu aktuellen Marketing- und Digitalthemen in den Bereichen Crowdfunding, Geschäftsmodelle, B2B-Marketing und Employer Branding.

### **Hakimian, Daron**

---

Daron Hakimian ist Masterstudent der Synthetischen Biotechnologie an der Technischen Hochschule Bingen. Als wissenschaftliche Hilfskraft beteiligt er sich am Projekt TrichoScreen und entwickelte während seiner Abschlussarbeit bei Prof. Dr. Florian Heigwer eine Hochdurchsatz Plattform für *T. adhaerens*. Zudem plant und führt er ökotoxikologische Perturbationsstudien an den Organismen aus.

### **Hasnain, Ahmar**

---

Ahmar Hasnain is a PhD student at Kaiserslautern University of Applied Sciences (KUAS) since 2019. Prior to joining KUAS, he did his master's thesis at Max Planck Institute for Polymer Research in Mainz. In 2018, he did an internship at ALPLA Group in Austria. From 2017 to 2018, he worked as a scientific assistant in R&D Analytical Sciences at Dow Europe GmbH in Zurich. From 2016 to 2019, he was a master's student in a Binational Master Program at the University of Freiburg and the University of Strasbourg. He received his B.Sc. in Polymer Engineering from the University of Engineering & Technology, Lahore, in 2015.

### **Heddenhausen, Paula**

---

Paula Heddenhausen absolviert ihr Bachelorstudium in Biotechnologie an der Technischen Hochschule Bingen. Seit 2023 ist sie als wissenschaftliche Hilfskraft in der Forschungsgruppe von Prof. Dr. Florian Heigwer tätig. In dieser Funktion unterstützt sie aktiv die Durchführung von Experimenten zur Umweltresistenz von *T. adhaerens* und die Etablierung von Methoden zur Quantifizierung und den Erhalt der Trichoplax-Population.

### **Heigwer, Florian**

---

Prof. Dr. Florian Heigwer ist Professor und Studiengangleiter der Synthetischen Biotechnologie an der Technischen Hochschule Bingen und Data-Scientist am DKFZ im Bereich Signalwege und funktionelle Genomik. Als studierter Biotechnologe und Computational Biologist ist er Projektleiter im CZS geförderten Projekt TrichoScreen (TH-Bingen) und dem EIC-geförderten Projekt Achilleus (DKFZ, Heidelberg).

### **Hempel, Felix**

---

Felix Hempel is a postdoctoral researcher in the group of Prof. Tarasov at the Kaiserslautern University of Applied Sciences (KUAS) in the MUNASET project. Before joining the KUAS team he worked as a team leader for microfluidic system integration at the RAM Group DE GmbH. He received his Ph.D. in the department of biophysics at the University of the Saarland in 2020 focusing on the development and application of polymer based organic electrochemical transistors. His expertise is the development of new material biosensors for a variety of sensing applications.

### **Holzmann, Simon**

---

Simon Holzmann erhielt den Bachelor of Electrical Engineering im Jahr 2020 und den Master of Electrical Engineering im Jahr 2022 von der Hochschule Kaiserslautern. Nach der Tätigkeit als Assistent während dem Masterstudium, folgte eine Anstellung als Wissenschaftlicher Mitarbeiter in der Arbeitsgruppe P3E – Power Electronics, Electronics and EMC, in der er seitdem tätig ist. Seine Interessens- und Forschungsgebiete sind Anwendungsorientierte Fragestellungen, wie das Minimieren und Quantifizieren parasitärer Effekte auf Leiterplatten, für den effizienten Einsatz von schnell schaltenden Transistoren (speziell GaN).

### **Jung, Stefanie**

---

Stefanie Jung ist Professorin für Logopädie und leitet den Bachelorstudiengang Logopädie an der Hochschule Trier. Nach ihrer Ausbildung und dem Studium der Lehr- und Forschungslogopädie an der RWTH Aachen promovierte sie am Psychologischen Institut der Eberhard Karls Universität Tübingen. Ihre Forschung konzentriert sich auf den (Wieder-)Erwerb von sprachlichen und numerischen Fähigkeiten bei Kindern mit und ohne Sprachentwicklungsstörungen sowie bei Personen mit neurologischen Erkrankungen, mit besonderem Fokus auf den Einsatz digitaler Technologien als zeit- und ressourcensparende Ansätze für die Logopädie/Sprachtherapie.

### **Kaiser, Simon**

---

Simon Kaiser ist wissenschaftlicher Mitarbeiter an der Hochschule Koblenz und arbeitet in der Forschungsgruppe Energietechnik an einem Projekt zur Umsetzung von quasi-isothermen Zustandsänderungen zur Effizienzsteigerung in Verdichtern und Druckluftspeicherkraftwerken.

### **Löhr, Dirk**

---

Prof. Dr. Dirk Löhr ist Inhaber der Professur für Steuerlehre und Ökologische Ökonomik an der Hochschule Trier, Umwelt-Campus Birkenfeld. Er promovierte und habilitierte an der Ruhr-Universität Bochum. Ein Schwerpunkt seiner Tätigkeit liegt in der Bodenpolitik. U.a. ist er Mitglied der Deutschen Akademie für Städtebau und Landesplanung und gehörte auch der Baulandkommission der ehemaligen Bundesregierung als festes Mitglied an.

### **Lueck, Julian**

---

Julian Lueck ist seit August 2022 wissenschaftlicher Mitarbeiter am Weincampus Neustadt am Lehrstuhl für Oenologie und Prozesstechnik. Schon während seines Studiums der Chemie an der TU Braunschweig interessierte er sich primär für analytische Untersuchungsmethoden und beschäftigt sich in seiner aktuellen Forschung mit der Entwicklung der Benchtop-NMR-Analytik zur Qualitätsbeurteilung von Trauben für die Weinbereitung.

### **Mentler, Tilo**

---

Tilo Mentler is professor for Human Computer Interaction and User Experience at the Trier University of Applied Sciences, Germany.

### **Moritz, Alexandra**

---

Alexandra Moritz is a Professor for Entrepreneurship Studies at the University of Applied Sciences in Koblenz, Germany. Her dissertation on Entrepreneurship, completed at the University of Trier, focused on financing patterns of SMEs and crowdfunding. Prior to her academic career, Alexandra spent ten years in the international banking sector, where she specialized in mid-sized companies and held various management roles. Her research focuses on entrepreneurship, specifically entrepreneurial finance, crowdfunding, and social entrepreneurship, and has been published in esteemed peer-reviewed academic journals.

### **Morsch, Sandra**

---

Sandra Morsch forscht im Bereich Vermarktung unter der Leitung von Prof. Dr. Dreßler am Weincampus Neustadt der Hochschule für Wirtschaft und Gesellschaft Ludwigshafen. Sie lehrt weiterhin Organische Chemie im Bachelor-Studiengang Weinbau und Oenologie am Weincampus Neustadt.

Sandra Morsch hat Biotechnologie studiert und als Diplom-Ingenieur abgeschlossen.

Sie arbeitete einige Jahre in der Abteilung Oenologie des DLR Rheinpfalz als wissenschaftliche Assistentin im Studiengang Weinbau und Oenologie. 2018 erwarb sie den MBA Wine, sales and sustainability. Aktuell forscht sie im EIP-Agri Projekt Nachhaltiger Wein Baden-Württemberg.

### **Nadler, Marc**

---

Marc Nadler ist Professor für Strömungslehre, Wärmeübertragung und Computational Engineering im Fachbereich Ingenieurwesen der Hochschule Koblenz. Er setzt die Berechnungsmethoden Finite-Elemente für Festigkeit und Finite-Volumen für Computational Fluid Dynamics (CFD) ein, um technische Fragen im Maschinenbau zu beantworten. In der Forschung liegt der Schwerpunkt aktuell auf der Optimierung von Energiesystemen, insbesondere zur Stromspeicherung.

### **Neff, Carina**

---

Carina Neff ist Professorin für Massivbau im Studiengang Bauingenieurwesen, Fachbereich Bauen und Gestalten an der Hochschule Kaiserslautern. Im Rahmen des praxisbezogenen Forschenden Lernens mit nachhaltigen Baustoffen, wie Stampflehm, Bambus und Holz, hat sie zusammen mit Prof. Brigitte Al Bosta, Studiengang Architektur, mehrere DesignBuild-Projekte im In- und Ausland initiiert und geleitet. Zudem forscht sie schwerpunktmäßig zu lebenden Baumaterialien aus Cyanobakterien und modifizierten Biopolymeren aus Abfallstoffen sowie Naturfasern zur nachhaltigen Optimierung von Baustoffen.

### **Nieratschker, Willi**

---

Willi Nieratschker ist Professor für Thermodynamik und Energiemanagement im Fachbereich Ingenieurwesen der Hochschule Koblenz. Im Rahmen seiner Tätigkeit gründete er vor 20 Jahren die Forschungsgruppe Energietechnik, die seither zu Kraft-Wärme-Kälte-Kopplung, Abwärmenutzung, Sektorenkopplung und Energiespeicherkonzepten forscht.

### **Nett, Diana**

---

Diana Nett ist wissenschaftliche Mitarbeiterin an der Hochschule Koblenz und arbeitet in der Forschungsgruppe Energietechnik an einem Projekt zur Umsetzung von quasi-isothermen Zustandsänderungen zur Effizienzsteigerung in Verdichtern und Druckluftspeicherkraftwerken.

### **Pfeil, Silko**

---

Prof. Dr. Silko Pfeil ist Professor für Betriebswirtschaftslehre an der IU International University am Standort Leipzig. Er ist Experte für quantitative Forschungsmethodik und publiziert zu den Themengebieten Marketing und Employer Branding.

### **Pläßmann, Jessica**

---

Jessica Pläßmann ist kooperative Promovendin an der Rheinland-Pfälzischen technischen Universität Kaiserslautern-Landau (Fachbereich Physik) und der Hochschule Trier (Fachbereich Technik).

### **Pöhler, Jonas**

---

Jonas Pöhler is research assistant at the University of Siegen, Germany.

### **Pratika Rai**

---

Pratika Rai is a PhD student at Kaiserslautern University of Applied Sciences (KUAS), Campus Zweibrücken, since December 2021. From 2019 to 2021, she worked as a research assistant at Forschungszentrum Jülich where she also completed her master's thesis. From 2018 to 2021, she did her master's in experimental physics at the University of Cologne. Rai completed her bachelor's and master's in theoretical physics from the University of North Bengal, India. Rai's research interests focus on designing and fabricating biosensors and bioelectronic interfaces for clinical applications.

### **Retterath, Lukas**

---

Lukas Retterath, Promotionsstudent und wissenschaftlicher Mitarbeiter des Fachbereichs Mathematik und Technik der Hochschule Koblenz, ist Mitglied der Arbeitsgruppe *Laser Spectroscopy & Photonics* am Campus Remagen. Diese wird von den beiden Co-Autoren, Prof. Dr. Georg Ankerhold und Prof. Dr. Peter Kohns, geleitet. Erste Forschungsergebnisse zur berührungslosen Visualisierung der Oberflächenhärte mittels laserinduzierter Plasmaspektroskopie wurden bereits auf der internationalen Fachtagung EMSLIBS 2023 in Porto, Portugal, präsentiert.

### **Saumer, Monika**

---

Monika Saumer ist Professorin für Chemische Prozesse in der Mikrosystemtechnik, Sprecherin des Forschungsschwerpunktes "Integrierte Miniaturisierte Systeme" und Leiterin des Reinraums am Standort Zweibrücken der Hochschule Kaiserslautern. Sie forscht schwerpunktmäßig an der Entwicklung von Mikro- und Nanobauteilen für Life Science Anwendungen, wie zum Beispiel von elektrochemischen Sensoren oder nanostrukturierten, funktionalen Oberflächen, sowie an der Entwicklung von elektrochemischen Prozessen zur Herstellung von metallischen Legierungen für magnetische Anwendungen.

### **Scherer, Kai**

---

Kai Scherer ist wissenschaftlicher Mitarbeiter an der Hochschule Trier, Standort Umwelt-Campus Birkenfeld und leitet das Labor für additive Fertigung mit Kunststoffen und Kunststoffrecycling.

### **Schuth, Michael**

---

Michael Schuth ist Professor für Konstruktionslehre und optische Messtechnik im Fachbereich Technik an der Hochschule Trier. Im Rahmen seiner Tätigkeit baute er das Technikum für optische Messtechnik, Gerätebau, Konstruktion und Bauteiloptimierung auf und forscht schwerpunktmäßig zu den Verfahren der Speckle-interferometrischen Verfahren der Digital-Holografie und Shearografie.

### **Schuler, Nicolas**

---

Nicolas Schuler ist Studierender im Masterstudiengang Künstliche Intelligenz und Data Science des Fachbereichs Informatik an der Hochschule Trier.

### **Schumann, Christian**

---

Christian Schumann erhielt den Dipl.-Ing. (FH) in Elektrotechnik von der Fachhochschule Kaiserslautern im Jahr 2009. Er promovierte 2015 zum Dr.-Ing. in Elektrotechnik an der Universität Siegen. Nach der Tätigkeit in der Forschung Technik der SEW-EURODRIVE GmbH & Co. KG in Bruchsal erhielt er 2019 einen Ruf zum Professor an die Hochschule Kaiserslautern und leitet seitdem die neu gegründete Arbeitsgruppe P3E – Power Electronics, Electronics and EMC. Er ist IEEE Senior Member. Seine Interessens- und Forschungsgebiete sind innovative leistungselektronische Schaltungstopologien, applikationsbedingte Fragestellungen bei schnell schaltenden Transistoren (speziell GaN), sowie Design Automation und AI-based methods in Power Electronics.

### **Struck, Philipp**

---

Prof. Dr. phil. habil. Philipp Struck hat an der KH Mainz die Professur für Berufspädagogik im Gesundheitswesen inne. Die Bedingungen und Herausforderungen in den schulischen Ausbildungsberufen sowie die Unterrichtsgestaltung sind Themen in seinen Hochschulseminaren. Herr Prof. Dr. Struck hat in seiner wissenschaftlichen Tätigkeit intensiv sowohl zum Übergang in die berufliche Ausbildung als auch zum Erleben und entwicklungspsychologischen Verlauf junger Erwachsener innerhalb der Ausbildung geforscht.

### **Tarasov, Alexey**

---

Alexey Tarasov is a professor of biomedical engineering at Kaiserslautern University of Applied Sciences (KUAS). Prior to joining KUAS in 2019, he led the nanomaterial-based biosensors team at Bio-Med X Institute in Heidelberg. From 2013 to 2015 he was a postdoctoral researcher at the School of Materials Science and Engineering at Georgia Institute of Technology in Atlanta. He received the Ph.D. degree in 2012 in physics from the University of Basel and a diplom degree in 2009 in physics

from Heinrich Heine University Düsseldorf. Prof. Tarasov's research interests focus on materials, interfaces, and devices for future electronics and biomedical sensors.

### **Teodorescu, Margareta**

---

Margareta Teodorescu is a Professor of Economics and Quantitative Methods at the Koblenz University of Applied Sciences and was previously a Professor of Economics and Management at the Bielefeld University of Applied Sciences. Before embarking on her academic career, she took on various challenges in several industries, including financial services (at Allianz), management consulting, and telecommunications (at Vodafone). During her PhD, she founded and worked for an SME. Her research focuses on the adoption and implementation of new technologies, in particular blockchain, and their sustainable applications in different economic sectors. She holds a PhD in Economics from the University of Bielefeld.

### **Salgado, Billy**

---

Billy Salgado ist seit Oktober 2023 wissenschaftlicher Mitarbeiter am Lehrstuhl für Thermodynamik in der Arbeitsgruppe NMR Spektroskopie an der RPTU Kaiserslautern. Zuvor hat er an derselben Universität TechnoPhysik studiert. In seiner aktuellen Forschung beschäftigt er sich hauptsächlich mit Benchtop-NMR Analytik.

### **Van Laerhoven, Kristof**

---

Kristof Van Laerhoven is professor for Ubiquitous Computing at the University of Siegen, Germany.

### **Von Freymann, Georg**

---

Georg von Freymann ist Professor für Technische Physik an der Rheinland-Pfälzischen technischen Universität Kaiserslautern-Landau und leitet dort die Arbeitsgruppe „Optische Technologien und Photonik“. Neben seiner Tätigkeit als Professor ist er Leiter der Abteilung Materialcharakterisierung am Fraunhofer Institut für Techno- und Wirtschaftsmathematik ITWM. Seine Forschungsschwerpunkte sind die dreidimensionale additive Mikrofertigung, photonische Quantensimulatoren, photonische und magnonische Bose-Einstein-Kondensate, optische Kalibriernormale sowie die Erzeugung, Detektion und Nutzung von Terahertz-Wellen für die zerstörungsfreie Prüfung.

### **Wagner, Max**

---

Max Wagner erhielt seinen Bachelor of Electrical Engineering 2024 von Hochschule Kaiserslautern. Während des Studiums war er dualer Student bei Festo SE & Co KG. Seitdem ist er Mitarbeiter in der Arbeitsgruppe P3E – Power Electronics, Electronics and EMC an der Hochschule Kaiserslautern, wo er derzeit auch seinen Masterabschluss anstrebt. Er ist IEEE Student Member. Seine Interessens- und Forschungsschwerpunkte sind Nachhaltigkeitsbetrachtungen bei schnell schaltenden Transistoren (insbesondere Galliumnitrid), sowie innovative leistungselektronische Schaltungstopologien zum Einsatz dieser.

### **Wahl, Michael**

---

Michael Wahl ist an der Hochschule Trier, Standort Umwelt-Campus Birkenfeld verantwortlich für die Lehr- und Forschungsgebiete Entwicklung, Konstruktion und additive Fertigung. Mit seinem Team hat Prof. Wahl Labore für die additive Fertigung mit Kunststoffen sowie mit Metallen aufgebaut. Weiterhin stehen die entsprechenden Analysemöglichkeiten wie der 3D-Scan zur Verfügung.

Die Labore beschäftigen sich seit mehreren Jahren mit dem Recycling von Kunststoffen und deren Einsatz in der additiven Fertigung.

### **Weinert, Stephan**

---

Prof. Dr. Stephan Weinert ist Professor für Internationales Personalmanagement an der Hochschule für Wirtschaft und Gesellschaft Ludwigshafen und besitzt eine langjährige Beratungserfahrung im Bereich Talent Management, Personalauswahl sowie -entwicklung. Er ist Autor zahlreicher Veröffentlichungen im Bereich Personalmanagement.

### **Zürbes, Arno**

---

Arno Zürbes ist Maschinenbauingenieur und Professor für Konstruktion, Maschinenelemente und Technische Mechanik an der Technischen Hochschule Bingen, wo er auch das Fachgebiet Schwingungstechnik vertritt. Er hat sowohl in der Industrie als auch an der Hochschule auf dem Gebiet der Schwingungstechnik gearbeitet und war an einer Reihe von anwendungsorientierten Forschungsprojekten beteiligt, zu denen auch wissenschaftliche Publikationen veröffentlicht wurden.

## Impressum

---

### Herausgeberschaft

---

Eder, S., Vizepräsident für Forschung & Technologietransfer, Internationales und Rechenzentrum der Technischen Hochschule Bingen

Hermesen, T., Leitung Institut Forschung und Internationales der Katholischen Hochschule Mainz

Kehr, H., Vizepräsident i.R. der Hochschule Worms

Liersch, A., Vizepräsidentin für Forschung der Hochschule Koblenz

Mehler-Bicher, A., Vizepräsidentin für Forschung & Transfer der Hochschule Mainz

Piller, G., Präsident der Hochschule Ludwigshafen

Schäfer, K.-H., Vizepräsident für Forschung & Transfer der Hochschule Kaiserslautern

Te Heesen, H., Vizepräsident der Hochschule Trier

### Redaktion

---

Referat Forschung und Projektkoordination

Hochschule Kaiserslautern

Schoenstr. 11

67659 Kaiserslautern

**Alle Beiträge sind namentlich gekennzeichnet. Die Inhalte der Beiträge liegen in der Verantwortung der Autor\*innen und können von Meinungen der Herausgeber\*innen abweichen.**

Kaiserslautern, Juni 2024