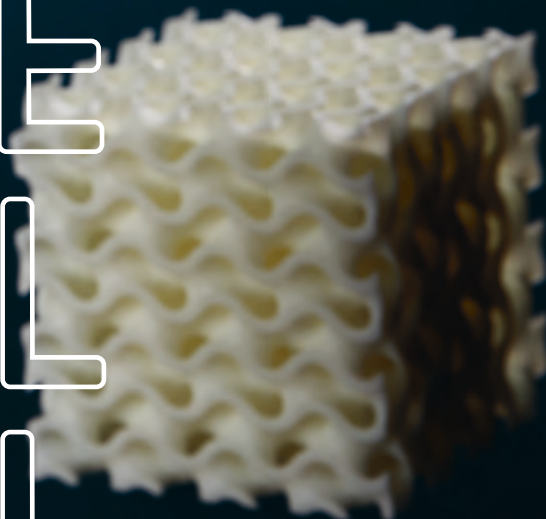
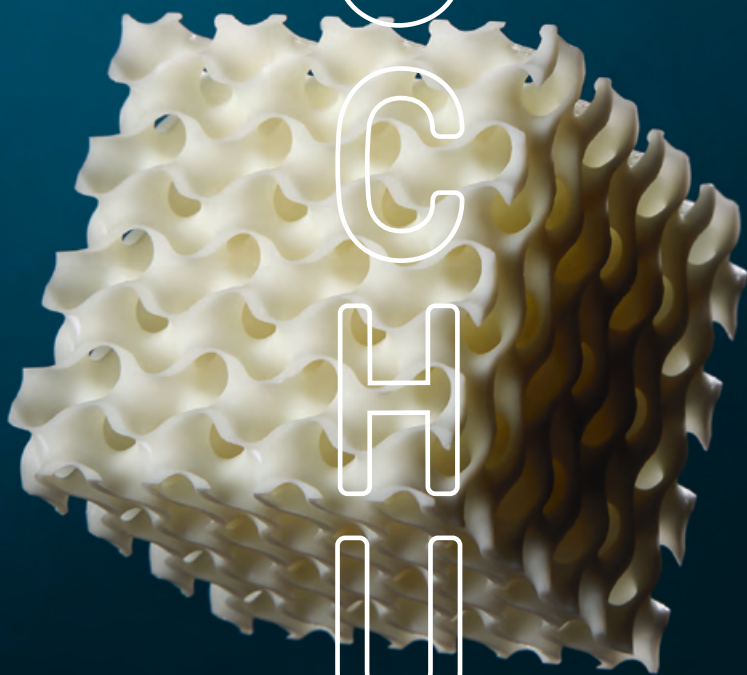


F
O
R
S
C
H
U
N
G

A
K
T
U
E
L
L

H
K
A



2025

Liebe Leserinnen und Leser,

Innovative Materialien, nachhaltige Mobilität, gesellschaftliche Teilhabe und künstliche Intelligenz – die Themen dieser Ausgabe von „Forschung aktuell“ zeigen eindrucksvoll, wie breit die Forschung an der Hochschule Karlsruhe aufgestellt ist. Unsere Wissenschaftler arbeiten an Lösungen, die nicht nur in Fachkreisen relevant sind, sondern auch darauf ausgerichtet sind das Leben der Menschen zu verbessern. So verbinden wir exzellente Forschung mit gesellschaftlicher Verantwortung und leisten einen Beitrag zur Bewältigung zentraler Zukunftsfragen.

Technologisch ist die Forschung der HKA an vorderster Front. Davon zeugen die Beiträge dieser Ausgabe, in der unter anderem die Professoren, wissenschaftlichen Mitarbeiter und Studierende von neuartigen Sensorarrays, die präzise Einblicke in Prozesse ermöglichen, über digitale Materialzwillinge, die mithilfe generativer KI neue Werkstoffe erschließen oder von der Kalibrierung von Lichtfeldkameras zur Erschließung neuer Einsatzfelder berichten.

Auch die gesellschaftlichen Herausforderungen unserer Zeit werden nicht ausgeblendet. So untersuchen unsere Forscher, wie faire Mobilität gelingen kann, welche Chancen KI-gestützte Leichte Sprache für mehr Inklusion bietet oder wie innovative Konzepte Ressourcen schonen und Klimaziele unterstützen. Gerade diese Vielfalt macht die Stärke unserer Hochschule aus.

Als Hochschule für Angewandte Wissenschaften ist uns neben der Forschung auch der Transfer wichtig. Ob in Kooperation mit regionalen Unternehmen, in europäischen Verbundprojekten oder im Austausch mit internationalen Partnern – die Ergebnisse unserer Forschung fließen in Wirtschaft, Politik und Gesellschaft ein. Dadurch stellen wir sicher, dass wissenschaftliche Erkenntnisse nicht im Labor verharren, sondern zu konkreten Verbesserungen im Alltag führen.

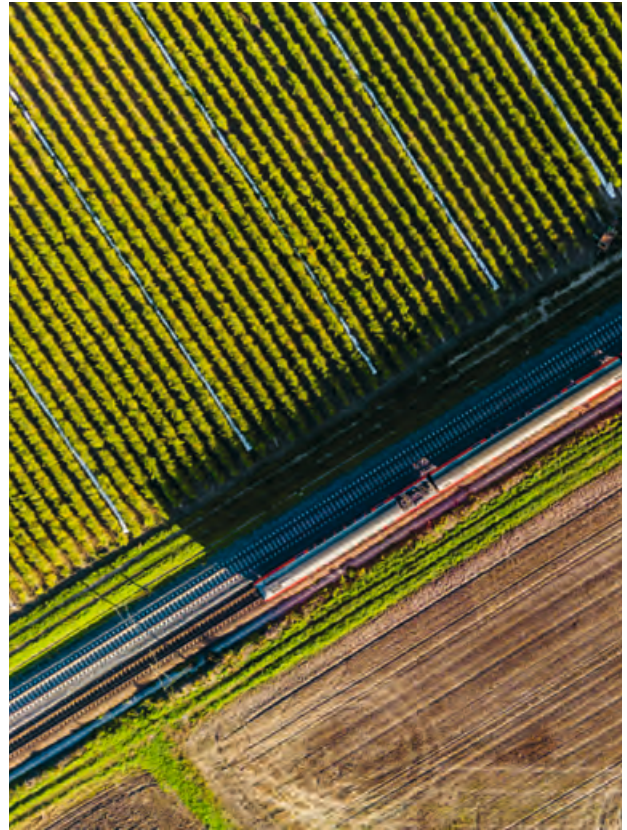
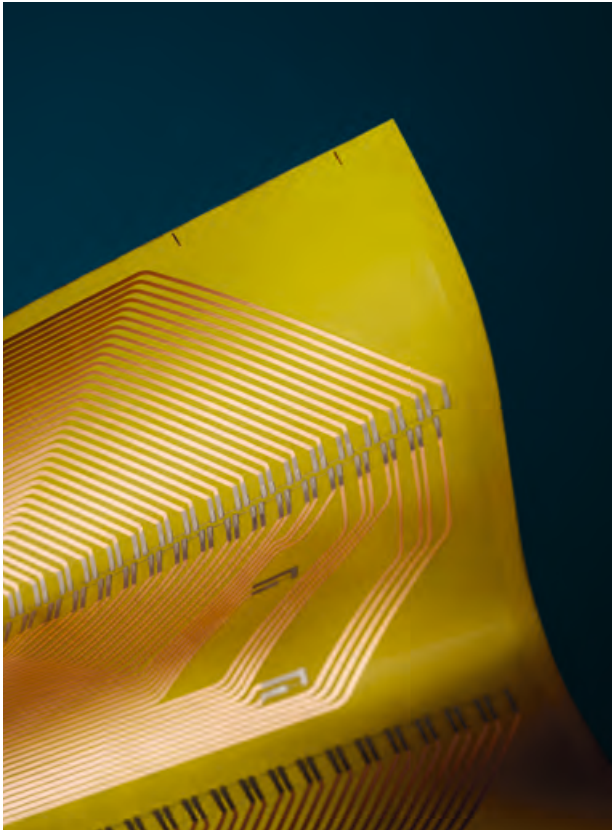
Zugleich sind die vorgestellten Forschungsprojekte eng mit der Lehre verbunden. Studierende arbeiten in Studien- und Abschlussarbeiten an aktuellen Fragestellungen mit und werden so frühzeitig an die Forschung herangeführt. Zahlreiche Promotionsvorhaben verdeutlichen darüber hinaus die Bedeutung des wissenschaftlichen Nachwuchses an unserer Hochschule.



Die „Forschung aktuell 2025“ macht deutlich, wie engagiert und interdisziplinär unsere Wissenschaftler arbeiten, um Antworten auf die drängenden Fragen unserer Zeit zu geben. Ohne den Einsatz und die Leidenschaft unserer Professoren, Mitarbeiter, Studierenden sowie unserer vielen Partner wäre diese Forschungsvielfalt nicht möglich. Ihnen allen gilt mein aufrichtiger Dank.

Ich lade Sie ein, die folgenden Seiten zu erkunden. Entdecken Sie, wie Forschung an der Hochschule Karlsruhe Brücken schlägt – zwischen Disziplinen, zwischen Wissenschaft und Praxis, und nicht zuletzt zwischen Gegenwart und Zukunft.

Prof. Dr.-Ing. Franz Quint
Prorektor für Forschung, Kooperationen
und Qualitätsmanagement



Überblick über die Forschung an der Hochschule Karlsruhe

Franz Quint, Elena Stamm

Materialien im Wandel

- 10 Heißfilm-Sensorarrays für die
hochauflösende Konstant-
Temperatur-Anemometrie (CTA)
Benjamin Sowa, Raphael Lorenz, Matthias Stripf
- 16 Künstliche Materialzwillinge:
Strukturdesign mit generativer KI
Lars Griem, Britta Nestler
- 20 Wie optimierte Zellmuster neue
Eigenschaften schaffen
Leonie Wallat, Frank Pöhler, Britta Nestler

Mobilität und Nachhaltigkeit weiter denken

- 26 **Interview:** Ein langer Weg zur fairen Mobilität
Interview mit Claudia Hille
- 30 Carsharing mit Lücken
Verena Wagner, Jan Riel
- 36 On-Demand Mobility Service: Simulation
in Ottersweier to demonstrate usage of
agent-based models in rural areas
Alireza Salehi Tirabadi, Jan Riel
- 40 CAMA: Reallabore für sicheren
Fuß- und Radverkehr in Afrika
Catharina Lutz, Jochen Eckart
- 44 SuLaMo: Nachhaltiges Land- und
Wassermanagement durch Entsalzung
Edgardo Canas Kurz, Ismail AitLahssaine, Duc Dinh Ngoc,
Ulrich Hellriegel, Jan Hoinkis
- 48 Regionales Fabrik-Sharing
Patrick Fomferra, Kartik Tambe, Sebastian Beiner,
Marco Baumgartner, Steffen Kinkel



Sprache und Teilhabe im digitalen Zeitalter

- 54 Zehn Erfolgskriterien gelungener
Öffentlichkeitsbeteiligung
Ian Brow, Loba Sagnol, Johannes Penka, Markus Stöckner,
Carsten Hahn
- 58 STARK-LS: Mehr Teilhabe in der Arbeitswelt
dank KI-gestützter Leichter Sprache
Elena Kick, Tobias Kopp, Steffen Kinkel
- 62 Aus der Forschung in die Norm
Petra Drewer



Intelligente Systeme der Zukunft

- 68 Mensch? Maschine. Mitdenken!
Marcel Orth, Stefanie Faßbender
- 72 Das DeepFrame-Projekt: Künstliche
Intelligenz für robuste Bildverarbeitung
in der Industrie
Philipp Augenstein, Luisa Pfreundschuh, Till Weber,
Moritz Weisenböhrer, Christian Wurll, Björn Hein
- 76 Lichtfeldkameras im Fokus: Wie eine neue
Kalibrierung 3D-Technologien voranbringt
Aymeric Fleith, Julian Zirbel, Niclas Zeller
- 80 Impressum

VEGA

PRAXISSEMESTER, ABSCHLUSSARBEIT UND BERUFSEINSTIEG? SICHER. MIT VEGA.

UNSERE ANGEBOTE FÜR STUDENTEN:

- Bachelorthesis
- Masterthesis
- Praktikum
- Werkstudententätigkeit

Interessiert? Mehr Infos gibt's
auf vega.com/karriere.



Entdecke auch unseren

INNOVATION-HUB

in Karlsruhe!



**Gestalte mit uns
die Zukunft der
Messtechnik.**

Driving progress together

Endress+Hauser ist ein international führender Anbieter von Messgeräten, Dienstleistungen und Lösungen für die industrielle Verfahrenstechnik. Arbeiten bei uns bedeutet, dass individuelle Eigenschaften, Erwartungen und Ziele optimal im Team aufgehen. Und das bedeutet mehr Erfolg und Zufriedenheit für alle. Willst auch du Teil unseres Teams werden? Dann scanne den QR-Code und bewirb dich für Praktika, Abschlussarbeiten sowie Einstiegsmöglichkeiten in folgenden Fachrichtungen:



- Elektro- und Informationstechnik
- Informatik
- Wirtschaftsingenieurwesen
- Maschinenbau
- Produktions- und Automatisierungstechnik

Endress+Hauser SE+Co. KG
Hauptstraße 1
79689 Maulburg

Endress+Hauser 
People for Process Automation



PRAKTIKA UND
ABSCHLUSSARBEITEN

**MAKE THE
MOVE.**
BE GREEN.
BE COOL.

» GEHE MIT UNS DEN ERSTEN SCHRITT.

Du bist mitten im Studium und willst erste Erfahrungen im Rahmen eines Praktikums sammeln oder deine Abschlussarbeit schreiben? Dann mach deinen ersten Schritt bei einem global tätigen Unternehmen für Kälte-, Klima- und Wärmepumpentechnik. Wir bei BITZER bieten dir Praktika mit herausfordernden Aufgaben, spannenden Themen für deine Abschlussarbeit und Verantwortung von Beginn an. Wo auch immer du gerade stehst: Wir machen dich fit für die Zukunft.



» Mehr Informationen erhältst du unter
bitzer.de/praktika-abschlussarbeiten



Überblick über die Forschung an der Hochschule Karlsruhe



14

**qualitätsgesicherte und zentrale
Forschungsinstitute**

Institut für Angewandte Forschung

Sprecher: N.N.

Institut für Datenzentrierte Softwaresysteme

Sprecher: Prof. Dr. Oliver Waldhorst

Institute of Digital Economy and Venturing

Sprecher: Prof. Dr. Carsten Hahn

Institut für Digitale Materialforschung

Sprecherin: Prof. Dr. Britta Nestler

Institut für Energieeffiziente Mobilität

Sprecher: Prof. Dr. Reiner Kriesten

Institut Intelligent Systems Research Group

Sprecherin: Prof. Dr. Astrid Laubenheimer

Institut für Intelligente Interaktion und Immersive Erfahrung

Sprecher: Prof. Dr. Matthias Wölfel

Institut für Kälte-, Klima- und Umwelttechnik

Sprecher: Prof. Dr. Robin Langebach

Institut für Lernen und Innovation in Netzwerken

Sprecher: Prof. Dr. Steffen Kinkel

Institute of Materials and Processes

Sprecher: Prof. Dr. Martin Kipfmüller

Institut für Robotik und Autonome Systeme

Sprecher: Prof. Dr. Björn Hein

Institut für Robotik und intelligente Produktionssysteme

Sprecher: Prof. Dr. Christian Friedrich

Institut für Thermofluidodynamik

Sprecher: Prof. Dr. Matthias Stripf

Institut für Verkehr und Infrastruktur

Sprecher: Prof. Dr. Jan Riel

Mit praxisnaher und anwendungsreifer Forschung und Entwicklung tragen wir als Hochschule zur Zukunftsfähigkeit unserer Gesellschaft bei. Dabei fokussieren wir uns auf Lösungen der drängenden Bedarfe: Ressourcen, Arbeit, Mobilität und Information. Durch die Praxisnähe unserer Forschung arbeiten wir verstärkt in Kooperation mit Unternehmen der freien Wirtschaft sowie mit Institutionen der öffentlichen Hand oder führen Forschungsaufträge für diese aus. Unsere Forschung und ihre Ergebnisse fließen in die Ausbildung unserer Studierenden ein und bereichern die Lehre an der Hochschule Karlsruhe auf vielfältige Weise, zum Beispiel mit Studienprojekten zu aktuellen Themen. Somit können die potenziellen zukünftigen Arbeitgeber:innen unserer Absolvent:innen indirekt von unseren Forschungsaktivitäten profitieren.

Innovative Mobilitätskonzepte

Im Fokus dieses Forschungsschwerpunkts steht die Erforschung und Gestaltung zukünftiger Mobilität und Mobilitätssysteme: Technische Neu- und Weiterentwicklung von Fahrzeugen, Erhaltung, Betrieb und zukunftsfähige Transformation der Infrastruktur, die integrierte Stadt- und Verkehrsplanung sowie das nachhaltige Mobilitätsmanagement.

Ressourcen und Klima

Die Forschungsaktivitäten unserer Wissenschaftler:innen in diesem Forschungsschwerpunkt drehen sich um den effizienten Einsatz von Ressourcen. Dies schließt u. a. die modell- und datenbasierte Entwicklung neuer Materialien, energieeffiziente Gestaltung von Wärme- und Kältesystemen sowie die Optimierung des Transports von Fluiden ein.

Intelligente Systeme

Unsere Forscher:innen fokussieren sich in diesem Schwerpunkt auf die Entwicklung und Anwendung von Sensoren, maschinellem Lernen, Kommunikationsnetzen und Informationssystemen zur Automatisierung, zur Verbesserung der Mensch-System-Interaktion und zur Entscheidungsfindung in allen Bereichen von Wirtschaft und Gesellschaft.

Arbeit und Produktion

Der Fokus dieses Forschungsschwerpunkts liegt auf der Transformation der Arbeitswelten hin zu automatisierten Fertigungsverfahren, zur Vernetzung und Einbindung von KI in Industrieprozesse. Unsere Forscher:innen beachten dabei auch die neue Rolle des Menschen in den Produktionsprozessen.


108

laufende
Promotionsvorhaben

Unsere Professor:innen betreuten Ende 2024 insgesamt 108 Doktorand:innen. Ein Teil davon promoviert im Promotionsverband der HAWen Baden-Württemberg, ein Teil kooperativ mit Partneruniversitäten und weitere in unseren zwei kooperativen Promotionskollegs 1) Accessibility through AI-based Assistive Technology (KATE) mit dem KIT und 2) Wissensmedien in Kooperation mit der PH Karlsruhe. Wir gratulieren unseren 14 Doktorand:innen, die ihre Promotion 2024 erfolgreich abgeschlossen haben.


426

Forscher:innen

Ohne das Engagement der Ende 2024 67 Professor:innen und ihren insgesamt 359 Mitarbeiter:innen in unseren Forschungsinstituten wäre unsere Forschung nicht möglich. Bei ihnen und unseren Kooperationspartnern möchten wir uns herzlich bedanken.



€ 15,0 Mio.

Drittmiteleinahmen

Unsere Forscher:innen haben im Jahr 2024 in insgesamt 214 Projekten ca. 15,0 Mio. Euro forschungsbezogene Drittmittel eingenommen. Damit setzen wir die Entwicklung und Ausweitung unserer Forschungsaktivitäten weiter fort (Abb. 1). Der Bund und das Land Baden-Württemberg sind dabei in den letzten drei Jahren unsere größten Mittelgeber gewesen (Abb. 2). Bei all unseren Mittelgebern bedanken wir uns für deren Förderung und das damit entgegengebrachte Vertrauen in unsere Forschungsleistungen.

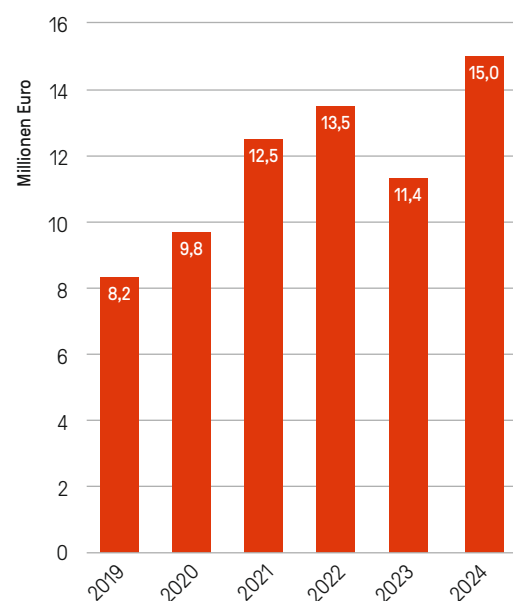
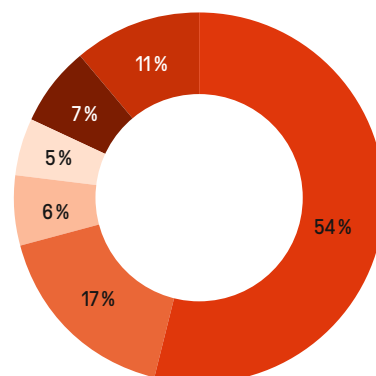
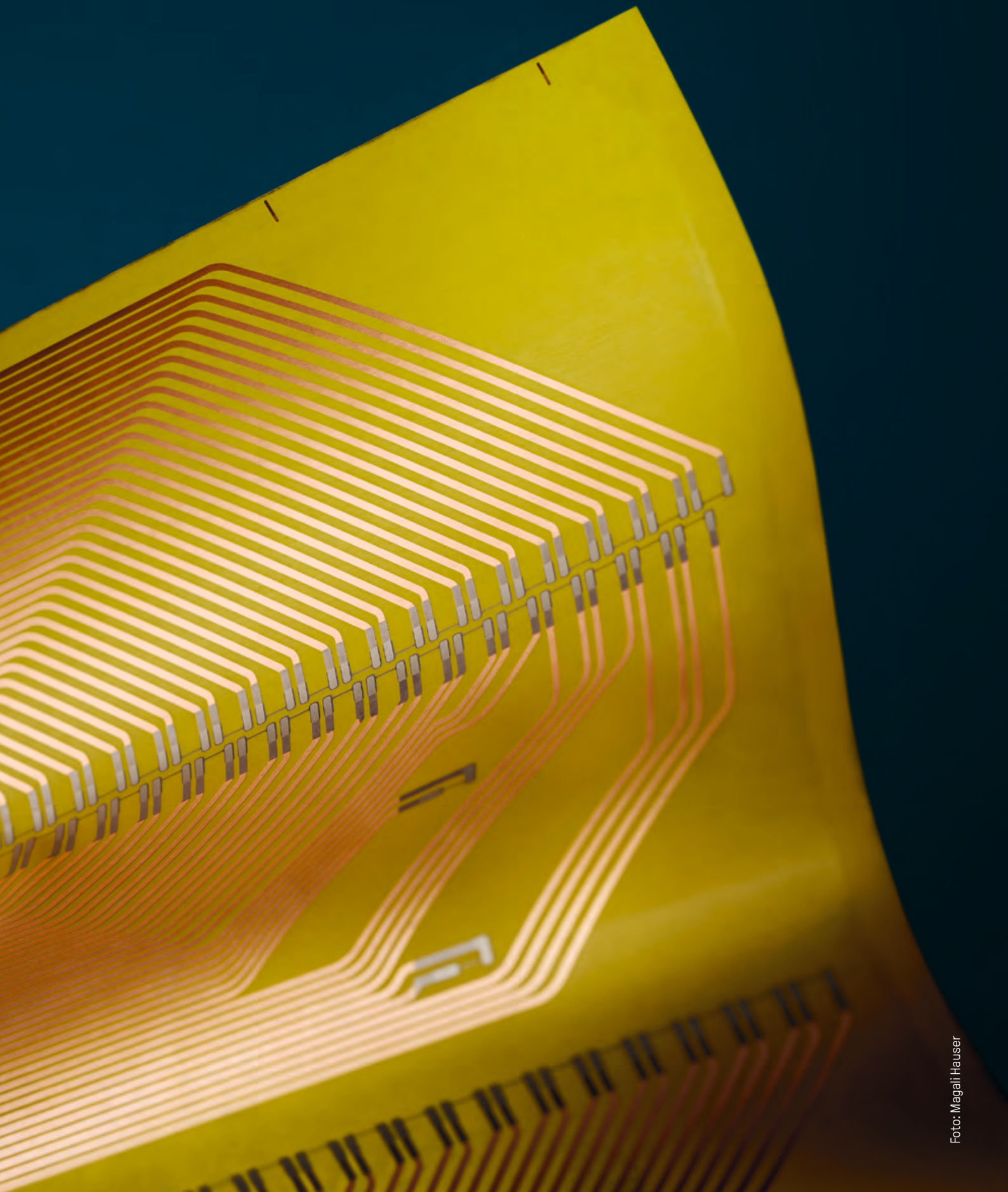


Abb. 1: Umsatzentwicklung Forschung 2019 bis 2024



● Bund
● Land
● EU
● DFG
● Industrie, private Dritte
● Sonstiges

Abb. 2: Mittelgeberkategorie nach Höhe der Drittmiteleinahmen in den Jahren 2022 bis 2024



Materialien im Wandel

Heißfilm-Sensorarrays für die hochauflösende Konstant-Temperatur-Anemometrie (CTA)

Benjamin Sowa, Raphael Lorenz, Matthias Stripf

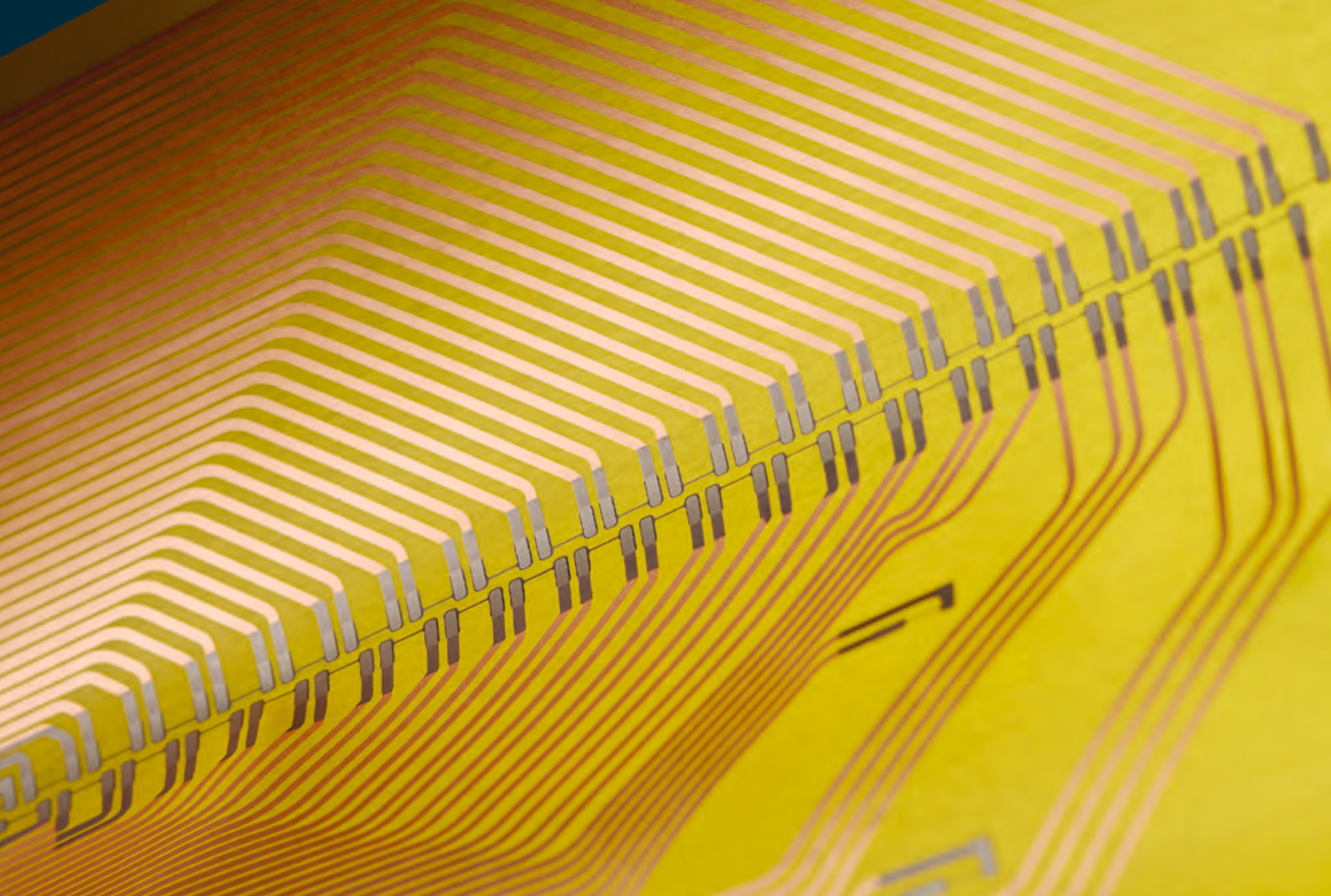
DE Am Institut für Thermofluidodynamik wurde ein Sensorarray zur hochauflösenden Bestimmung der Wandschubspannung entwickelt. Es basiert auf 64 Heißfilmen, die auf einer flexiblen Polyimidfolie angeordnet sind. Die Sensoren werden durch eine laserstrukturierte Edelstahlmaske in einem PVD-Prozess abgeschieden und anschließend individuell mittels IR-Thermografie kalibriert. Der Frequenzgang der Sensoren wurde mit einem modulierten Laser experimentell bestimmt und zeigt eine Eckfrequenz von etwa 1 kHz. Eingesetzt werden die Sensorarrays zur Untersuchung instationärer Phänomene in Strömungsgrenzschichten, insbesondere zur Analyse des laminar-turbulenten Übergangs.

EN A sensor array for high-resolution wall shear stress measurements was developed at the Institute of Thermofluid Dynamics. It consists of 64 hot-film sensors placed on a flexible polyimide foil. The sensors are deposited through a laser-cut stainless-steel mask in a PVD process and individually calibrated using IR thermography. The frequency response was determined experimentally using a modulated laser, yielding a cutoff frequency of approximately 1 kHz. The array is used to study unsteady boundary-layer phenomena, particularly the laminar-turbulent transition.

Die präzise Erfassung von wandnahen Strukturen in Strömungsgrenzschichten ist in vielen Bereichen der Strömungsmechanik von zentraler Bedeutung. Dazu zählen beispielsweise die Untersuchung des laminar-turbulenten Übergangs, die Analyse von Strömungsablösungen oder die Quantifizierung von Oberflächeneinflüssen bei gekrümmten Bauteilen. Ein gemeinsames Merkmal vieler dieser Phänomene ist die lokal und zeitlich stark veränderliche Wandschubspannung – also jener mechanischen Spannung, die durch die Reibungskräfte des strömenden Fluids auf die Wandoberfläche wirkt.

Am Institut für Thermofluidodynamik (ITFD) ist der Übergang von laminarer zu turbulenter Strömung seit vielen Jahren Gegenstand der Forschung (z. B. ^[1]). Dieser Prozess erfolgt nicht abrupt, sondern über längere Distanzen entlang der Oberfläche und ist stark stochastisch geprägt. Innerhalb der laminaren Grenzschicht entstehen dabei sogenannte Turbulenzfleckchen – lokal begrenzte instationäre Strukturen, die stromab wandern und dabei in allen Raumrichtungen anwachsen. Die Position, an der diese Flecken entstehen, die Häufigkeit ihres Auftretens sowie ihre Ausbreitungsgeschwindigkeit variieren räumlich und zeitlich. Die detaillierte Untersuchung dieser Prozesse liefert wichtige Erkenntnisse für das Verständnis und die gezielte Beeinflussung technischer Strömungen, die unter anderem an den Schaufeln von Turbomaschinen oder bei der Umströmung von Tragflügeln und Rotorblättern eine große Rolle spielen.

Um diese Phänomene messtechnisch erfassen zu können, bedarf es Sensorik mit hoher räumlicher Auflösung und schneller Reaktionszeit. Hierfür wurde am ITFD ein Sensorarray mit insgesamt 64 Heißfilmsensoren auf einer flexiblen Polyimidfolie realisiert, welches zeitgleich die Wandschubspannung an allen Positionen erfasst und präzise misst. Die Sensoren sind auf einer Gesamtfläche von $35 \times 70 \text{ mm}^2$ angeordnet. Die zugrunde liegende Technologie ist skalierbar – durch angepasste Maskenlayouts und mehrlagige Substratstrukturen lassen sich ohne Zusatzaufwand weit über hundert Sensorelemente auf der Fläche integrieren. Durch die verwendete Bedampfungsanlage ist die Gesamtfläche auf etwa $100 \times 100 \text{ mm}^2$ begrenzt.



Nahaufnahme des Sensorarrays auf einer 50 µm dünnen, einseitig kupferbeschichteten Polyimid-Folie mit feinen, fotochemisch geätzten Leiterbahnen (Foto: Magali Hauser)

Herstellung der Sensorarrays auf flexiblen Substraten

Die Sensorarrays basieren auf einer 50 µm dünnen, einseitig kupferbeschichteten Polyimid-Folie. Durch fotochemisches Ätzen werden auf der Kupferschicht feine Leiterbahnen strukturiert, welche die Sensorelemente mit der Auswerteelektronik verbinden. Anschließend wird die strukturierte Kupferlage stromlos vernickelt. Die dabei entstehende Nickelschicht verbessert nicht nur die Anbindung der anschließend aufgedampften Sensorelemente, sondern schützt auch die Kupferleiter vor Oxidation (vgl. Abb. 1).

Die Sensoren selbst bestehen ebenfalls aus Nickel, das für diese Anwendung hervorragend geeignet ist: Es weist einen hohen Temperaturkoeffizienten des elektrischen Widerstands auf, sodass sich Temperaturänderungen präzise detektieren lassen. Gleichzeitig ist Nickel korrosionsbeständig und lässt sich in dünnen Schichten gut prozessieren.

Die Nickelstrukturen werden in einem thermischen PVD-Prozess aufgedampft – durch eine 80 µm dicke Edelstahlmaske, in der die Sensorgeometrie per Laser ausgeschnitten wurde. Dadurch entfällt eine aufwendige fotolithografische Nachstrukturierung. Die fertigen Heißfilme

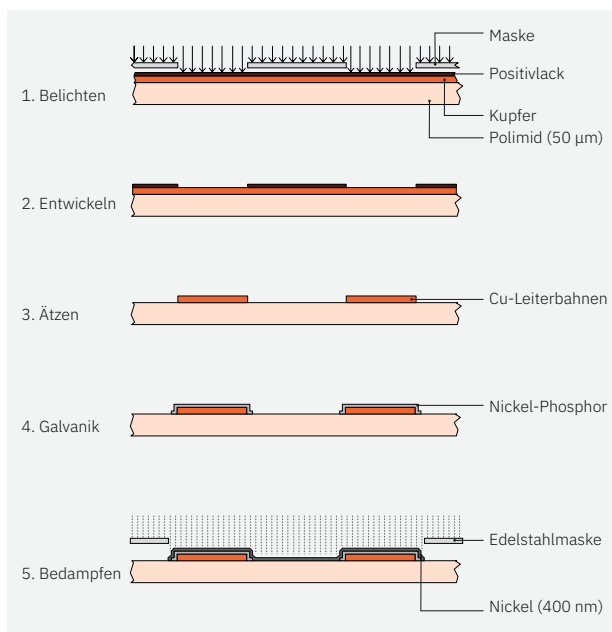


Abb. 1: Schematische Darstellung des Herstellprozesses

sind 100 µm breit, 1,8 mm lang und weisen eine Schichtdicke von etwa 400 nm auf.

Alle Herstellungsschritte – vom Ätzen der Kupferstruktur über die stromlose Vernickelung bis hin zur PVD-Beschichtung – erfolgen im Reinraum der Fakultät für Maschinenbau und Mechatronik der Hochschule Karlsruhe. Die Infrastruktur erlaubt eine reproduzierbare und kostengünstige Fertigung auf Labormaßstab.

Funktionsweise der Konstant-Temperatur-Anemometrie

Bei der Konstant-Temperatur-Anemometrie (CTA) wird die Temperatur eines elektrisch beheizten Sensorelements durch eine Regelung konstant gehalten. Die Messmethode beruht auf der temperaturabhängigen Änderung des elektrischen Widerstands: Eine Erhöhung des Wärmeübergangs durch das überströmende Fluid führt zu einer verstärkten Abkühlung des Sensors. Um die vorgegebene Sensortemperatur aufrechtzuerhalten, wird der Heizstrom innerhalb einer Brückenschaltung kontinuierlich angepasst. Die dafür benötigte elektrische Leistung steht in direktem Zusammenhang mit dem lokalen konvektiven Wärmeübergang. Über eine geeignete Kalibrierung lässt sich daraus die Wandschubspannung bestimmen.

Für den gleichzeitigen Betrieb aller 64 Sensoren wurde eine kompakte, kostengünstige, mehrkanalige CTA-Elektronik entwickelt. Abbildung 2 zeigt das vereinfachte Prinzipschaltbild für einen CTA-Kanal. Die Elektronik basiert auf einer rückgekoppelten Verstärkerschaltung, in der der Sensor Bestandteil einer Brückenschaltung ist. Ein Feedback-Verstärker vergleicht die Brückenspannung mit einer Referenz und regelt über einen Transistor den

Heizstrom, sodass die Sensortemperatur konstant bleibt. Das Messsignal wird anschließend durch einen Ausgangsverstärker und einen Anti-Aliasing-Filter aufbereitet, um hochfrequente Störungen zu unterdrücken und eine geeignete Signalform für die nachfolgende Digitalisierung bereitzustellen.

Kalibrierung und Charakterisierung der Sensoren

Zur Bestimmung des Temperaturkoeffizienten wurden Widerstandsmessungen bei definierten Temperaturen durchgeführt. Hierzu wurde eine geometrisch angepasste Heizfolie verwendet, mit der ausschließlich die Sensorelemente erwärmt wurden. Durch schrittweise Variation der Temperatur bis 100 °C und gleichzeitige Messung des elektrischen Widerstands, konnte der Temperaturkoeffizient der aufgedampften Nickelschicht ermittelt werden. Er beträgt 0,43 %/K und liegt damit im Bereich bekannter Literaturwerte für dünne Nickelschichten.

Zur weiteren elektrischen Charakterisierung wurden zunächst die Kaltwiderstände aller Sensoren bei einer Temperatur von 20 °C gemessen. Es ergeben sich Widerstände um die 8 Ω bei einer Streuung von $\pm 2 \Omega$. Diese ist

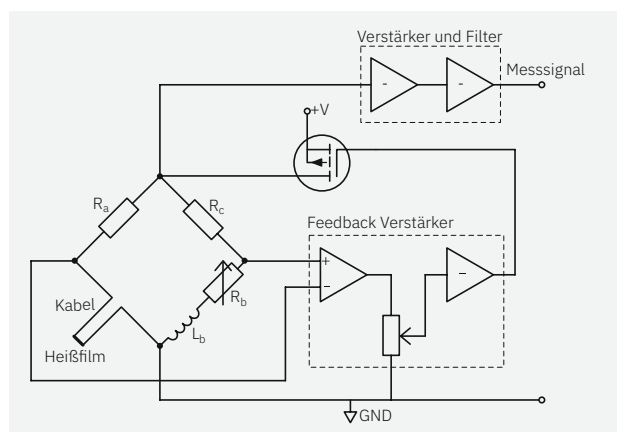


Abb. 2: Prinzipschaltbild der CTA-Schaltung

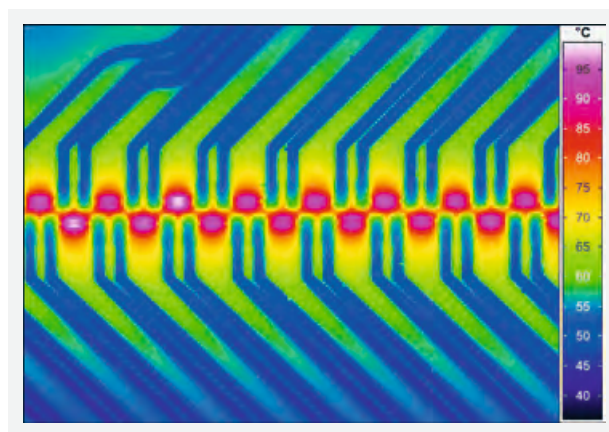
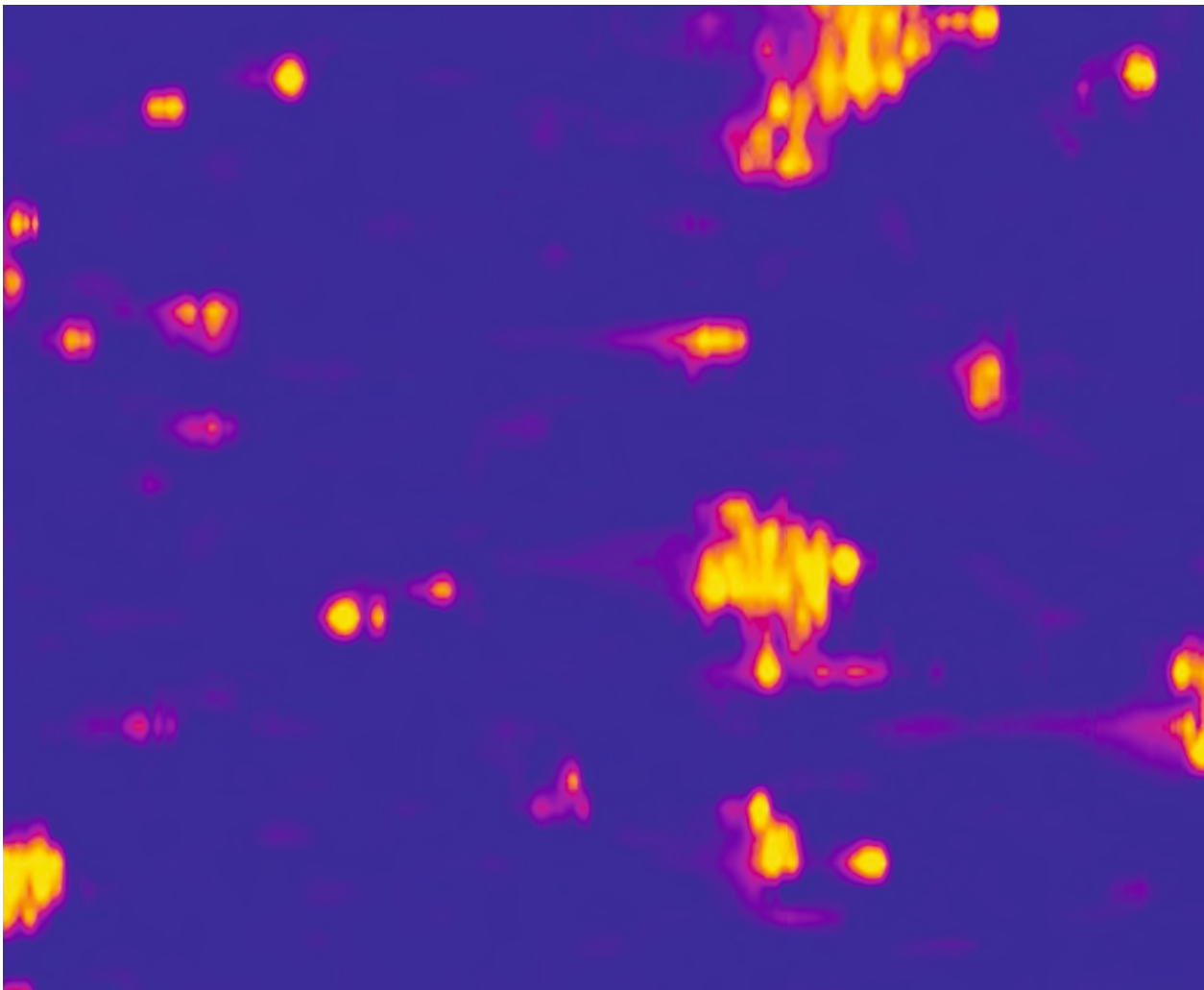


Abb. 3: Kalibrierung der Sensorelemente mit IR-Kamera



Konturen der mit dem neuen Sensorarray gemessenen Quasi-Wandschubspannungen in einer transitionalen Grenzschicht. Erkennbar sind Turbulenzflecken (gelb) in der sonst noch laminaren Grenzschicht (blau).

vor allem auf Unterschiede in der Dicke der aufgedampften Nickelschicht, aber auch auf Unterschiede in der Anbindung an die Kupferleiterbahnen zurückzuführen. Da das Substrat im aktuellen Prozess nicht bewegt wird und die Gesamtfläche relativ groß ist, kommt es zu leichten Inhomogenitäten in der Abscheiderate innerhalb der PVD-Kammer. Dies führt zu variierenden Schichtdicken und damit zu unterschiedlichen Sensorwiderständen. Um sicherzustellen, dass alle Sensoren im Betrieb auf identische Temperaturen geregelt werden, erfolgt eine individuelle Kalibrierung mit hochauflösender Infrarot-Thermografie. Die eingesetzte Kamera mit Mikroskop-Optik erlaubt eine Auflösung von $37 \times 37 \mu\text{m}^2$ pro Pixel, sodass jedes Sensorelement im Detail erfasst werden kann. Durch gezielte Anpassung des Brückenwiderstands werden alle Sensoren auf die gleiche Betriebstemperatur von 100°C eingestellt.

Ein wichtiger Parameter für die Einsatzfähigkeit der Sensoren ist deren Frequenzgang – also die frequenzabhängige Antwort des Sensors auf eine Änderung der Schubspannung. Aus dem Verlauf von Amplitude und Phase lässt sich ermitteln, bis zu welcher Frequenz die Sensoren Strömungsänderungen noch mit hinreichender Genauigkeit abbilden können. Mithilfe eines modulierbaren Lasers (635 nm, 200 mW) wurde ein zeitabhängiger Leistungsein-

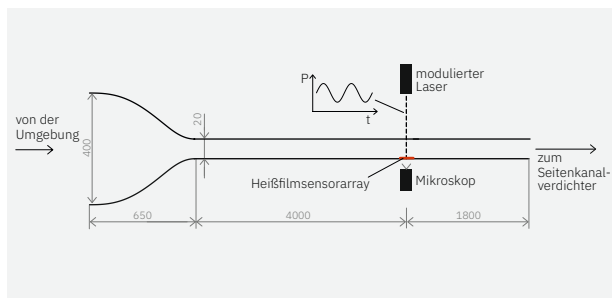


Abb. 4: Versuchsaufbau zur Frequenzgangmessung im Windkanal (nicht maßstabsgerecht)

trag in die Sensorfläche realisiert. Der Laserstrahl wurde dazu über eine spezielle Optik zu einem $100 \mu\text{m}$ breiten und 3 mm langen Streifen geformt und anschließend über eine Blende auf die Länge des Sensorelements reduziert.

Das Sensorarray wurde für die Messung in den Saugwindkanal des ITFD eingebaut (vgl. Abb. 4). Über ein von unten angebrachtes Mikroskop konnte durch die transparente Polyimidfolie die genaue Position des Lasers auf dem Sensorarray bestimmt und mithilfe einer XY-Traverse präzise auf ein Sensorfeld gerichtet werden. Bei sinusförmiger Modulation der Laserleistung im Bereich von 0.1 Hz bis 100 kHz wurde die dynamische Antwort des Sensorelements erfasst. Die Messungen zeigen, dass die Eckfrequenz mit steigender Sensortemperatur zunimmt. Sie liegt bei einer Sensortemperatur von 120°C bei etwa 1 kHz.

Ein großer Vorteil der eingesetzten Substrate ist ihre Flexibilität.

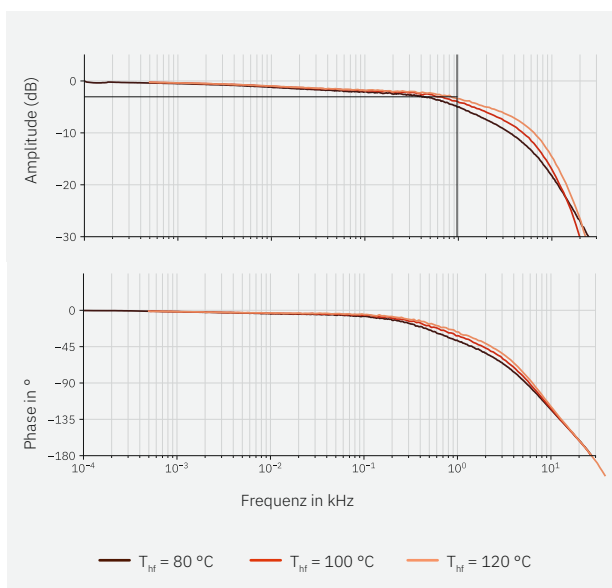


Abb. 5: Frequenzgänge bei verschiedenen Sensortemperaturen

Aktuell kommen die Arrays bereits in Forschungsprojekten zum Einsatz, um die Entstehung und das Anwachsen von Turbulenzflecken unter verschiedenen Randbedingungen – wie erhöhter Freistromturbulenz, variabler Druckgradienten oder Oberflächenrauheit – systematisch zu untersuchen. Die dabei gewonnenen Daten tragen maßgeblich zum Verständnis der komplexen Kinetik des laminar-turbulenten Übergangs bei und liefern eine fundierte Grundlage für Entwicklung und Validierung numerischer Simulationen.

Mittelfristig eröffnen sich mit dieser Technologie zudem Perspektiven für aktive Maßnahmen: So könnte die hochaufgelöste Erfassung von Turbulenzstrukturen künftig mit lokalen Aktuatoren kombiniert werden, um Grenzschichten gezielt zu beeinflussen, aerodynamische Verluste zu reduzieren und die Betriebssicherheit fluiddynamischer Systeme zu erhöhen. Damit leistet die entwickelte Sensorik nicht nur einen Beitrag zur Grundlagenforschung, sondern auch zur Entwicklung innovativer Konzepte in der anwendungsnahen Technologieentwicklung. ✗

Ausblick – neue Perspektiven für die Untersuchung von Strömungsgrenzschichten

Die entwickelte Messtechnik erlaubt detaillierte Einblicke in Prozesse innerhalb von Strömungsgrenzschichten, insbesondere im Zusammenhang mit der Transition von laminarer zu turbulenter Strömung. Auch Phänomene wie lokale Strömungsablösungen, Sekundärströmungen oder der Einfluss von strukturellen Vibrationen auf die Grenzschicht lassen sich mit dieser Methode untersuchen.

Ein großer Vorteil der eingesetzten Substrate ist ihre Flexibilität: Die Sensorarrays lassen sich direkt auf gekrümmte oder bewegte Oberflächen applizieren, etwa auf Rotorblätter, Tragflächen oder Turbomaschinenkomponenten. Darüber hinaus eröffnen mehrlagige Substratdesigns – mit Leiterbahnen in unterschiedlichen Ebenen – die Möglichkeit, eine noch höhere Sensorintegration und Packungsdichte zu realisieren.

Autoren

Benjamin Sowa M.Sc.

Akademischer Mitarbeiter am Institut für Thermofluidynamik der HKA.

Raphael Lorenz M.Sc.

Akademischer Mitarbeiter am Institut für Thermofluidynamik der HKA.

Prof. Dr.-Ing. Matthias Stripf

Sprecher des Instituts für Thermofluidynamik an der HKA

Kontakt

Prof. Dr.-Ing. Matthias Stripf
HKA – Hochschule Karlsruhe
Fakultät für Maschinenbau und Mechatronik
Institut für Thermofluidynamik (ITFD)
Moltkestraße 30
76133 Karlsruhe
E-Mail: matthias.stripf@h-ka.de



Starte jetzt deine Karriere bei doubleSlash

Bewirb dich jetzt:
karriere@doubleslash.de

PRAKTIKAMÖGLICHKEITEN

- > Java Development
- > Prozessmodellierung
- > Projektmanagement
- > Produktmanagement
- > Sales
- > Online Marketing
- > Human Resources

Mehr erfahren



doubleSlash Net-Business GmbH // Friedrichshafen // München // Stuttgart // doubleslash.de/karriere // karriere@doubleslash.de

STEINBEIS



TRANSFERPARTNER DER HOCHSCHULE KARLSRUHE

Die HOCHSCHULE KARLSRUHE und STEINBEIS verbindet eine jahrelange sehr erfolgreiche Zusammenarbeit im unternehmerischen Wissens- und Technologietransfer, die 2008 zum Kooperationsunternehmen Steinbeis Transferzentren GmbH an der Hochschule Karlsruhe geführt hat: Verlässlich und unbürokratisch finden hier vor allem kleine und mittlere Unternehmen **ANSPRECHPARTNER** für **FORSCHUNG, ENTWICKLUNG UND BERATUNGSPROJEKTE**.

Von diesem Modell profitieren **WIRTSCHAFT** und **HOCHSCHULE** gleichermaßen: Die **PRAXISNÄHE** sichert die Aktualität der Lehre, der wissenschaftliche Fortschritt der Hochschule fördert direkt den **MARKTVORSPRUNG** der Unternehmen. Mit diesem Ansatz hat sich Steinbeis zu einer **START-UP-PLATTFORM** entwickelt für Gründer aus der Wirtschaft wie auch für Hochschulangehörige, die neben der eigentlichen Lehre ihre Expertise gemeinsam mit Partnern in die Anwendung bringen wollen.

[instagram.com/
steinbeisverbund](https://www.instagram.com/steinbeisverbund)

[linkedin.com/
company/steinbeis](https://www.linkedin.com/company/steinbeis)

[facebook.com
/Steinbeisverbund](https://www.facebook.com/Steinbeisverbund)

136678-2025-09-01



Ihre **STEINBEIS-EXPERTEN**
in der **REGION KARLSRUHE**



So **GRÜNDEN** Sie Ihr
UNTERNEHMEN mit **STEINBEIS**

Künstliche Materialzwillinge: Strukturdesign mit generativer KI

Lars Griem, Britta Nestler

DE Ob Leichtbau, Energiespeicher oder Filtermaterialien, wer neue Werkstoffe entwickelt, braucht möglichst realitätsnahe digitale Abbilder, um Strukturen schon am Computer zu optimieren. Bisher war das nur mit aufwendigen CT-Rekonstruktionen oder vereinfachten geometrischen Modellen möglich. Das Institut für Digitale Materialforschung (IDM) der HKA forscht gemeinsam mit der Forschungsgruppe Microstructure Data Science am IAM-MMS und dem INT-MSS des KIT an der Entwicklung neuer Modelle und Algorithmen, um mit generativer KI den hohen Realismus von CT-Daten mit der Einstellbarkeit geometrischer Modelle zu vereinen. So lassen sich neue Materialien schneller, präziser und flexibler am Rechner entwerfen.

EN Whether for lightweight structures, energy storage, or filtration materials, anyone developing new materials needs highly realistic digital replicas to optimize structures virtually. Until now, this was only possible through time-consuming CT reconstructions or simplified geometric models. The Institute of Digital Materials Science (IDM) at HKA, together with the Microstructure Data Science group at IAM-MMS and the INT-MSS of KIT, is developing new models and algorithms to use generative AI to combine the high realism of CT data with the tunability of geometric models. This enables new materials to be designed more quickly, accurately, and flexibly on the computer.

Künstliche Intelligenz hat längst unseren Alltag erobert – von der Generierung täuschend echter Bilder bis hin zum Verfassen von Texten. Doch lässt sich generative KI auch gezielt zur Entwicklung neuer Materialien einsetzen? Das IDM der HKA widmet sich in Zusammenarbeit mit der Forschungsgruppe Microstructure Data Science am IAM-MMS und dem INT-MSS des KIT genau dieser Frage und adaptiert hierfür sogenannte Diffusionsmodelle, um digitale Zwillinge poröser Schaumstrukturen zu erzeugen. Diese sind etwa für den Leichtbau im Fahrzeugbau interessant, bei dem hohe Energieaufnahme bei geringem Gewicht entscheidend ist.

Digitale Zwillinge sind computergenerierte Abbilder realer Materialien, welche dieselben strukturellen Eigenschaften wie das Original aufweisen. Solche Zwillinge ermöglichen simulationsgestützte Untersuchungen mechanischer, thermischer oder fluiddynamischer Eigenschaften, ohne aufwendige physische Experimente durchzuführen. Bisher entstanden digitale Zwillinge entweder durch Rekonstruktionen aus CT Scans oder durch geometriebeschreibende Algorithmen. Erstere liefern realitätsnahe Modelle, sind jedoch zeit- und kostenintensiv; letztere erlauben schnelle Parameterstudien, bilden jedoch nicht alle strukturellen Feinheiten ab.

Mit Denoising Diffusion GANs (DD GANs) schlagen wir eine Brücke zwischen detailgetreuer Rekonstruktion und parametrischer Generierung. Diese Modelle lernen aus repräsentativen Ausschnitten realer CT Daten und erzeugen digitale Zwillinge, die sowohl strukturell realitätsnah als auch gezielt parametrisierbar sind.

Dieser Beitrag zeigt, wie unser DD-GAN realistische digitale Zwillinge poröser Schaumstrukturen erzeugt und so die digitale Materialentwicklung entscheidend beschleunigt.

Bisherige Generierungsverfahren

CT-basierte Rekonstruktion

Die Rekonstruktion digitaler Zwillinge aus CT-Daten liefert besonders realitätsnahe Strukturen (Abbildung 1). Diese Methode ist jedoch teuer, zeitaufwendig und daher nicht für umfangreiche Parameterstudien geeignet. Außerdem lassen sich nur existierende Strukturen rekonstruieren. Neue Strukturen können damit nicht erzeugt werden.

[1] August, Anastasia, et al.
„Prediction of heat conduction in open-cell foams via the diffuse interface representation of the phase-field method.“ International Journal of Heat and Mass Transfer 84 (2015): 800-808.

[2] Xiao, Zhisheng, Karsten Kreis, and Arash Vahdat. „Tackling the generative learning trilemma with denoising diffusion GANs.“ arXiv preprint arXiv:2112.07804 (2021).

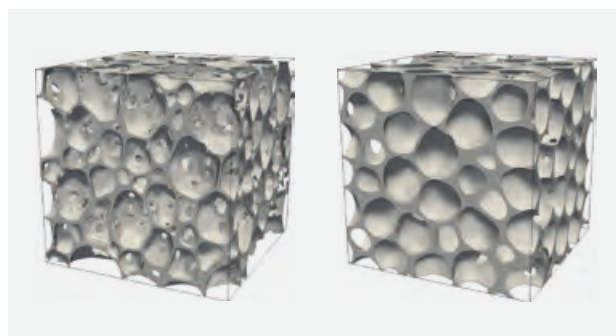
Geometriebeschreibende Algorithmen

Mikrostrukturen lassen sich auch über geometriebeschreibende Algorithmen erzeugen (Abbildung 2). Eine häufig genutzte Methode für Schaumstrukturen basiert auf dem Füllen eines Volumens mit Kugeln, deren Zwischenräume anschließend mit Struktur gefüllt werden, während die Kugeln als Poren dienen und entfernt werden. [1] Durch Variation der Größe und Anzahl der eingefüllten Kugeln können wesentliche Mikrostruktureigenschaften gezielt eingestellt werden. Obwohl dies schnelle Variationen ermöglicht, fehlen diesen Strukturen oft realitätsnahe Details.

Verwendetes Modell

Zur Generierung nutzen wir ein DD-GAN, das Diffusionsmodelle mit GAN-Architekturen kombiniert. [2] Nachfolgend erläutern wir die Funktionsweise beider Komponenten.

Abb. 1: links: Rekonstruierte CT-Daten einer Schaumstruktur;
Abb. 2: rechts: Algorithmisch erzeugte Schaumstruktur.
(Schaubild Lars Griem KIT)



Diffusionsmodelle

Diffusionsmodelle sind eine Klasse generativer KI-Methoden, die auf schrittweisem Entrauschen basieren (Abbildung 3). Man stelle sich ein stark verrauschtes Bild vor. Das Modell lernt schrittweise kleine Anteile des Rauschens zu entfernen, bis am Ende ein klar definiertes Bild entsteht. Für das Training eines Diffusionsmodell wird dieses Rauschen zunächst künstlich in N Schritten auf klare Bilder aufgebracht. Dadurch ergeben sich unterschiedlich stark verrauschte Versionen desselben Bildes.

- + Training: Das Netzwerk erhält zwei Bilder: eine stark verrauschte Version (t_n) und eine etwas weniger verrauschte Version (t_{n-1}) desselben Bilds. Es lernt, das Rauschen zu schätzen, das entfernt werden muss, um von der stärker zur schwächer verrauschten Version zu gelangen.
- + Generierung: Beginnend mit reinem Rauschen wendet das Modell in N Schritten die gelernten Entrauschungsoperationen an. Schritt für Schritt formt sich daraus ein realistisches Bild.

Dieser Prozess gewährleistet eine hohe Bildqualität und feine Detailtreue, ist aber durch die vielen Einzelschritte für dreidimensionale Strukturen rechnerisch zu aufwendig.

Generative Adversarial Network (GAN)

Ein GAN besteht aus zwei konkurrierenden Netzwerken: dem Generator (Fälscher) und dem Diskriminator (Detektiv). Während der Generator stetig versucht, seine Fälschungen so echt wie möglich aussehen zu lassen, verbessert der Diskriminator seine Fähigkeiten, echte von gefälschten Bildern zu unterscheiden.

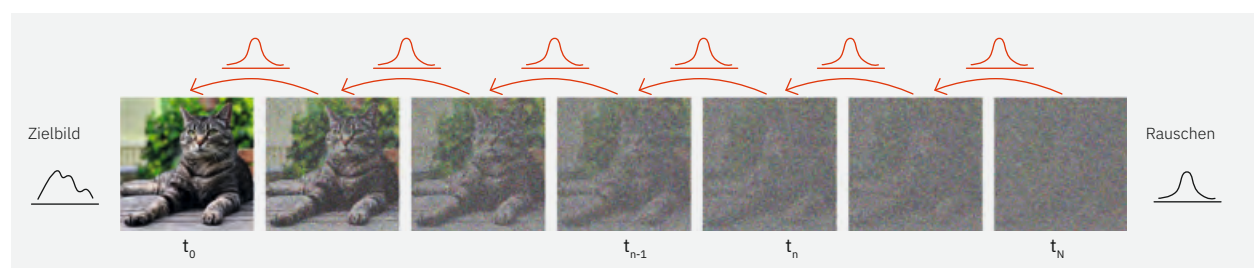


Abb. 3: Schematische Darstellung der Funktionsweise eines Diffusionsmodells. Durch iteratives Entfernen von Rauschen entsteht aus reinem Rauschen ein klares Bild. (Schaubild: Lars Griem KIT)

»Der Generator lernt, realistische Strukturen zu erzeugen, und der Diskriminator verfeinert seine Fähigkeit, echte von künstlichen Strukturen zu unterscheiden.«

Lars Griem

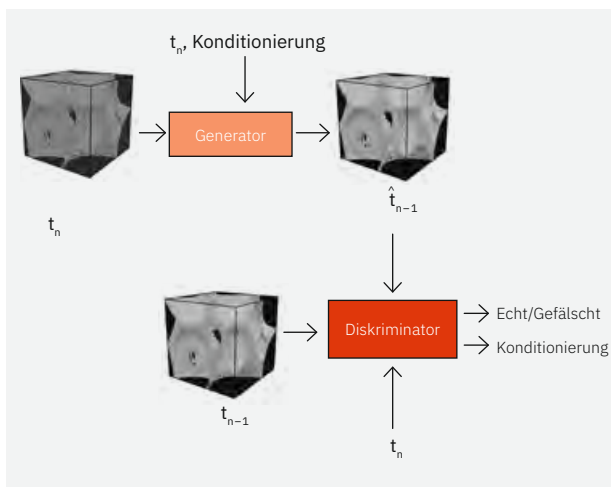


Abb. 4: Architektur des verwendeten DD-GANs. Der Generator lernt unter Beachtung von Konditionen Strukturen zu erzeugen. Der Diskriminator bewertet den Realismus der Struktur und sagt die Konditionierung voraus. (Schaubild: Lars Griem KIT)

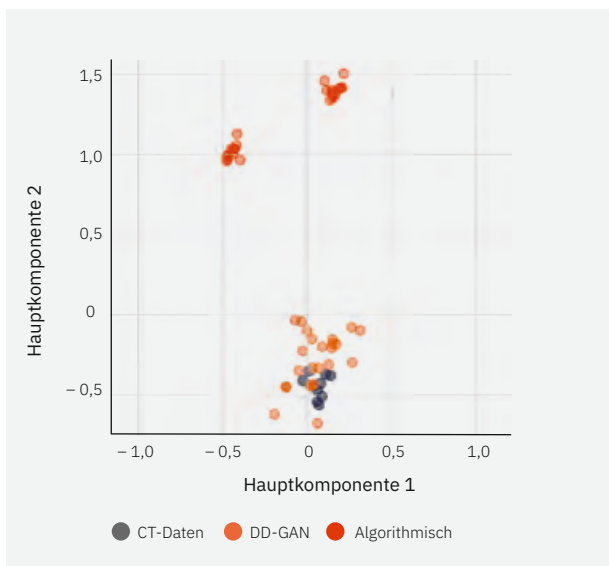


Abb. 5: Vergleich der Strukturen mittels Hauptkomponentenanalyse. (Schaubild: Lars Griem KIT)

Im Trainingsprozess treten beide in einen Wettstreit:

- + Der Generator erzeugt ein Bild, das den Diskriminator täuschen soll.
- + Der Diskriminator erhält echte und gefälschte Bilder und versucht sie zu unterscheiden.

Durch diesen wechselseitigen Wettbewerb werden beide immer besser. Der Generator lernt, realistische Bilder zu erzeugen, und der Diskriminator verfeinert seine Fähigkeit, echte von künstlichen Bildern zu unterscheiden.

DD-GAN-Architektur und Konditionierung

Ein DD-GAN kombiniert beide Architekturen. Ein Diffusionsmodell dient als Generator, ein Diskriminator bewertet die generierten Strukturen. Diese Kombination erlaubt es dem Generator vereinfacht gesagt, mehr Rauschen auf einmal zu entfernen, wodurch sich die Anzahl der nötigen Entrauschungsschritte deutlich reduziert und dreidimensionale Strukturen effizient generiert werden können.

Durch eine zusätzliche Konditionierung des Generators mit gewünschten Materialeigenschaften wie Porosität, Porenradius oder Wanddicke kann die Generierung zudem gesteuert werden.

Trainingsablauf:

1. Ein rekonstruiertes CT-Subvolumen wird verrauscht.
2. Der Generator entrauscht es schrittweise unter Vorgabe einer Konditionierung.
3. Der Diskriminator bewertet den Realismus und sagt die Konditionierung voraus.
4. Abweichungen zwischen vorhergesagten und vorgegebenen Konditionierungen sowie die Bewertungen des Realismus werden zurückgeführt, um damit den Generator zu verbessern.

Abbildung 4 veranschaulicht den Trainingsprozess des DD-GANs. Das Training erzeugt zwei unabhängige Netzwerke: einen Generator zur Erzeugung realistischer Schaumstrukturen und einen Diskriminator zur Bewertung des Realismus und zur Messung der Konditionierung. In unserem Fall sind das: Porosität, Porenradius und Wanddicke.

Ergebnisse

Zur Bewertung unseres Modells erzeugten wir digitale Zwillinge, deren Eigenschaften denen realer CT-Daten möglichst ähneln sollten. Anschließend wurden die generierten Strukturen mit realen CT-Daten und algorithmisch generierten Strukturen verglichen.

Quantitative Struktur-Eigenschaften

Tabelle 1 zeigt den quantitativen Vergleich der Struktureigenschaften realer CT-Daten und generierter digitaler Zwillinge. Es ist erkennbar, dass die gemessenen Struktureigenschaften aller Strukturen sehr ähnlich sind.

Methode	Porosität [%]	Porenradius [μm]	Wanddicke [μm]
CT-Daten	$77,3 \pm 3,3$	$15,7 \pm 0,89$	$2,94 \pm 0,09$
Algorithmisch	$77,8 \pm 3,1$	$16,2 \pm 0,83$	$2,91 \pm 0,09$
DD-GAN	$76,5 \pm 1,3$	$13,3 \pm 2,2$	$2,73 \pm 0,23$

Tabelle 1: Eigenschaften der unterschiedlichen Schaumstrukturen.

Punkt-Korrelation und PCA

Um die Ähnlichkeit zwischen generierten und realen Strukturen zu bewerten, verwenden wir eine Hauptkomponentenanalyse (PCA). Diese Methode reduziert komplexe Datensätze auf wenige zentrale Merkmale. In Abbildung 5 stellt jeder Punkt eine Mikrostruktur dar. Punkte nahe bei-

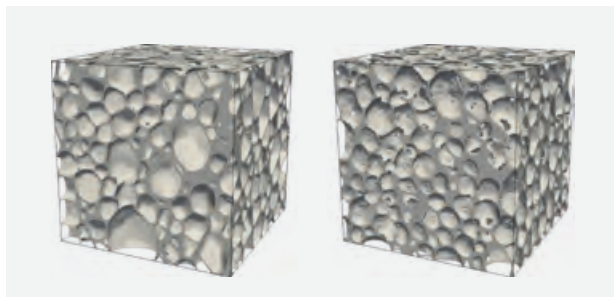


Abb. 6: Direkter Vergleich zwischen CT-Daten (links) und Strukturen des DD-GANs (rechts). (Schaubild: Lars Griem KIT)

einander repräsentieren ähnliche Strukturen, während entfernte Punkte auf Unterschiede hinweisen.

Die Abbildung 5 verdeutlicht, dass die DD-GAN-generierten Strukturen (hellrot) den realen CT-Daten (grau) deutlich ähnlicher sind als die algorithmisch generierten Strukturen (rot), die eine separate Gruppe bilden. Dies bestätigt, dass unser Modell hoch realistische Mikrostrukturen erzeugt. Ein direkter Vergleich der CT-Daten mit den DD-GAN Strukturen ist in Abbildung 6 gezeigt.

Fazit und Ausblick

Wir haben gezeigt, dass unser DD-GAN, trainiert auf realen CT-Daten und konditioniert auf spezifische Mikrostrukturmerkmale realistische digitale Zwillinge erzeugen kann. Im Gegensatz zu rein geometrischen Methoden erzielen die generierten Strukturen eine deutlich höhere Ähnlichkeit mit realen Materialien. Unser Ansatz ermöglicht somit schnelle und flexible Strukturdesigns für vielfältige Anwendungen. Durch Anpassung der Trainingsdaten lässt sich das vorgestellte Modell leicht auf neue Anwendungsfälle übertragen, beispielsweise für Batterieelektroden, Leichtbaukomponenten oder Filtrationsmembranen. ✖

Autor:innen

Lars Griem M.Sc.

Doktorand am Institut für Angewandte Materialien (IAM-MMS) und akademischer Mitarbeiter am INT-MSS des KIT. Assoziiertes Mitglied des Instituts für Digitale Materialforschung (IDM) der HKA.

Prof. Dr. rer. nat. Britta Nestler

Institutsleitung des IDMs der HKA.

Kontakt

Prof. Dr. rer. nat. Britta Nestler

HKA – Hochschule Karlsruhe

Fakultät für Informatik und Wirtschaftsinformatik

Institut für Digitale Materialforschung (IDM)

Moltkestraße 30

76133 Karlsruhe

E-Mail: Britta.Nestler@h-ka.de

Wie optimierte Zellmuster neue Eigenschaften schaffen

Leonie Wallat, Frank Pöhler, Britta Nestler

DE Belastungsspezifische Formoptimierung ermöglicht die gezielte Anpassung von Strukturen an spezifische Lastfälle. Die Phasenfeldmethode stellt dabei einen innovativen Ansatz zur simulationsgestützten Formoptimierung dar. Anhand einer dreifach periodischen Minimalfläche wird eine neuartige Optimierungsstrategie vorgestellt und anschließend experimentell validiert.

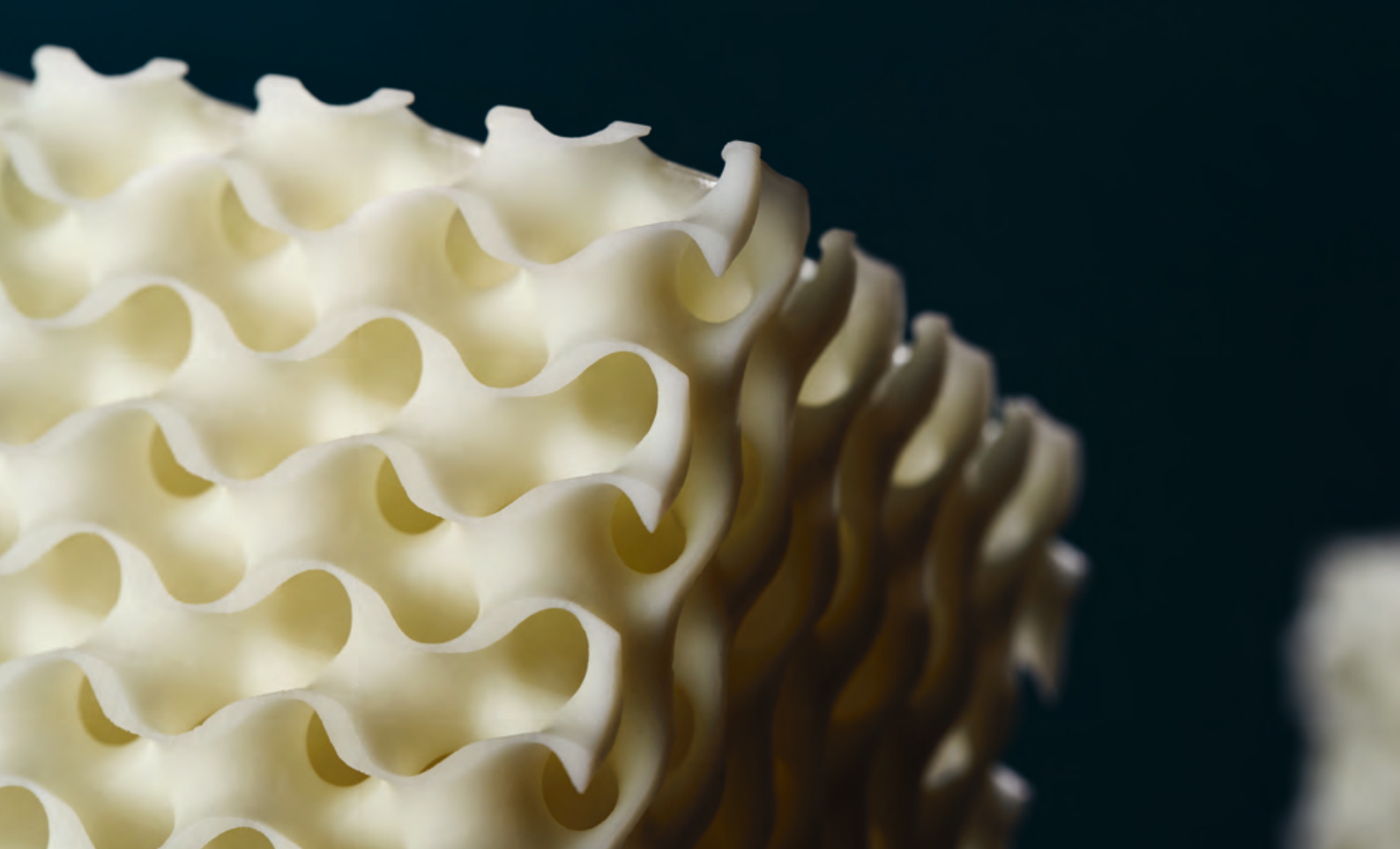
EN Load-specific shape optimization enables the targeted adaptation of structures to specific loading scenarios. The phase-field method represents an innovative approach to simulation driven shape optimization. Using a triply periodic minimal surface, a novel optimization strategy is presented and subsequently validated experimentally.

Naturinspirierte Strukturen werden seit Jahrzehnten eingesetzt, um neue Materialien und Designs mit verbesserten Eigenschaften zu entwickeln. ^[1, 2] Ein klassisches Beispiel ist die Wabenstruktur, deren Ursprung in der Bienenwabe liegt. Sie findet in verschiedensten Bereichen – von der Architektur bis zum Maschinenbau – Anwendung. ^[3] Moderne additive Fertigungstechnologien wie der Filamentdruck oder die Stereolithographie ^[4] ermöglichen heute die Herstellung komplexer Geometrien und damit die Umsetzung solcher naturinspirierten Designs. Besonders im Leichtbau eröffnen sich dadurch neue Potenziale, da die Strukturen durch ihr geringes Gewicht bei gleichzeitig guten mechanischen Eigenschaften überzeugen.

Nach Ashby ^[5] werden die mechanischen Eigenschaften zellulärer Strukturen maßgeblich durch das verwendete Material, die relative Dichte sowie die Topologie bestimmt. Ein prominentes Beispiel komplexer, naturinspirierter Geometrien sind die triply periodic minimal surfaces (TPMS), also dreifach periodische Minimalflächen. Die Gyroid-Struktur (siehe Abbildung 1), eine bekannte TPMS-Form, wurde bereits in der Ausgabe Forschung Aktuell 2022 vorgestellt.

Dort wurde unter anderem auf das hohe Oberflächen-zu-Volumen-Verhältnis sowie auf das charakteristische Zwei-Kammer-System hingewiesen, welches die Struktur für vielfältige Anwendungen – etwa in Wärmetauschern – besonders interessant macht. Weitere Studien belegen zudem das Potenzial von TPMS-Strukturen als Knochengerüste. ^[7] Die Vielzahl möglicher Einsatzgebiete legt jedoch nahe, dass TPMS-Strukturen in ihrer Standardform mechanisch nicht optimal an die jeweils spezifischen Anforderungen und Belastungsfälle angepasst sind. Um die charakteristische Topologie der Strukturen beizubehalten, gleichzeitig jedoch eine mechanische Anpassung an unterschiedliche Belastungsszenarien zu ermöglichen, wurde an einer Formoptimierung mittels der Phasenfeldmethode geforscht.

Das Institut für Digitale Materialforschung (IDM) der Hochschule Karlsruhe ist auf phasenfeldbasierte Simulationen spezialisiert. Durch gezielte Verschiebung der Phasengrenzen lässt sich ein energetisch günstigerer



Nahaufnahme der formoptimierten Gyroidstruktur (Foto: Magali Hauser)

Zustand der Struktur erzielen, der auf die jeweilige mechanische Belastung hin optimiert ist. In Zusammenarbeit mit dem Institut für Materialien und Prozesse (IMP) fand eine anschließende experimentelle Validierung der simulationserstellten Strukturen statt.

Optimierung der Zellstruktur

Ziel der belastungsspezifischen Formoptimierung ist es, charakteristische Merkmale der Zellstruktur – insbesondere deren Periodizität und Topologie – beizubehalten. Um eine bessere Vergleichbarkeit zwischen der ursprünglichen und der optimierten Struktur zu ermöglichen, wurde das Gesamtvolumen während der Simulation konstant gehalten. Für die simulationsbasierte Optimierung wurde eine gyroidale Einheitszelle mit jeweils unterschiedlichen Volumenanteilen (Verhältnis von Feststoff zu Luft) unidirektional belastet. Im weiteren Verlauf wird zur besseren Veranschaulichung der Fokus auf die Einheitszelle mit einem Volumenanteil von 25 % gelegt. Die optimierte Struktur ist in Abbildung 2 dargestellt. Der markierte Bereich zeigt exemplarisch eine durch die Formoptimierung hervorgerufene Wanddickenveränderung.

Die resultierende Volumenumverteilung über die gesamte Struktur ist im Diagramm 3 visualisiert. Dieses zeigt, wie sich das Material infolge der Verschiebung von Grenzflächen umverteilt hat: Der blaue Bereich markiert die Volumenreduktion (geringere Wandstärke) im Vergleich zur Ursprungsstruktur, während der grüne Bereiche den Zugewinn an Material kennzeichnen.

Aus dem Diagramm geht hervor, dass für den unidirektionalen Lastfall die Querstreben reduziert und die Säulen

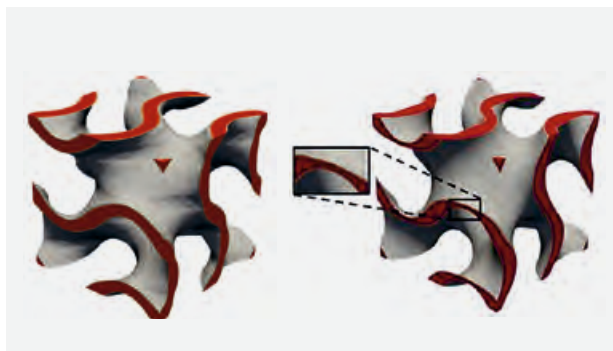


Abb. 1: links: Gyroid-Struktur mit einem Volumenanteil von 75 % (nach: [6]); Abb. 2: rechts: formoptimierte Gyroidstruktur mit einem Volumenanteil von 25 % (nach: [6])

verstärkt wurden, um die gyroidale Einheitszelle bei konstantem Volumen lastfallspezifisch zu optimieren.

Experimentelle Validierung - Zusammenarbeit IMP & IDM

Die experimentelle Validierung erfolgte im Rahmen einer Kooperation zwischen dem Institut für Digitale Materialforschung (IDM) und dem Institut für Materialien und Prozesse (IMP) der Hochschule Karlsruhe. Da die Periodizität der Einheitszellen während des Formoptimierungsprozesses beibehalten wurde, erfolgte für die experimentelle Validierung eine vierfache Duplizierung der optimierten gyroidalen Einheitszellen in alle Raumrichtungen. Anschließend wurden die resultierenden Strukturen mittels Stereolithographie gefertigt.

Die ursprünglichen und optimierten Strukturen sind in Abbildung 4 und 5 dargestellt. In den markierten Bereichen

Ein Ziel besteht darin, das Verhältnis von Festigkeit zu Gewicht zu optimieren.

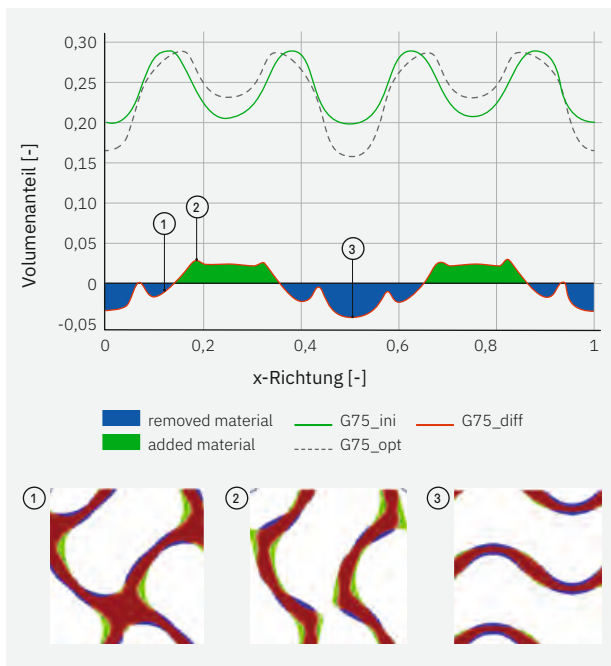


Abb. 3: Volumenumverteilung durch die belastungsspezifische Formoptimierung. Blau kennzeichnet das reduzierte Volumen, grün das hinzugefügte Volumen (nach: [6])

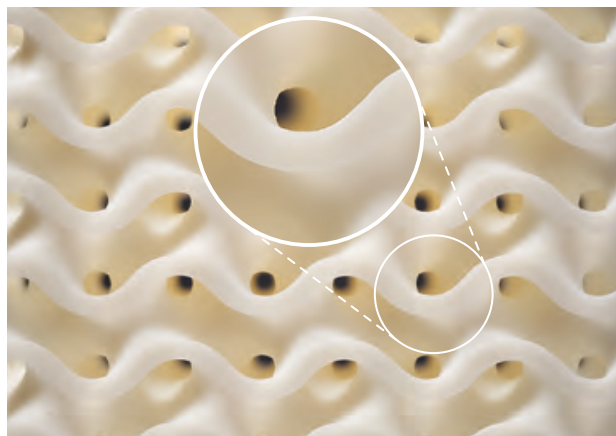


Abb. 4: Initiale Gyroid-Struktur: 4-fach in jede Raumrichtung dupliziert (nach [6]) (Foto: Magali Hauser)

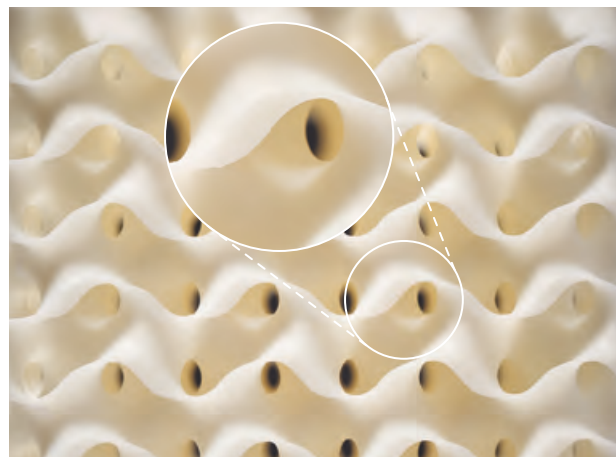


Abb. 5: Optimierte Gyroid-Struktur: 4-fach in jede Raumrichtung dupliziert mit gekennzeichnetem Bereich (nach [6]) (Foto: Magali Hauser)

lässt sich ein deutlicher Unterschied erkennen, der auf die gezielte belastungsgerechte Umverteilung des Materials zurückzuführen ist.

Zur mechanischen Validierung der entwickelten Strukturen wurde das Prüfverfahren gemäß der ASTM-Norm D1621 herangezogen, welches die Bestimmung der Druckeigenschaften starrer zellulärer Kunststoffe beschreibt. Für jede Strukturvariante wurden fünf Prüfkörper hergestellt und in Druckversuchen getestet. In Diagramm 6 ist der Mittelwert der Spannungs-Dehnungskurven sowohl der initialen Struktur (I: gestrichelte Linie) als auch der optimierten Struktur (O: durchgezogene Linie) dargestellt. Zusätzlich sind die jeweiligen Standardabweichungen visualisiert, um die Reproduzierbarkeit der Messergebnisse zu verdeutlichen.

Aus dem Vergleich der Kurven geht hervor, dass die optimierte Struktur im linear-elastischen Bereich eine deutlich steilere Steigung aufweist – ein Indikator für eine höhere Steifigkeit. Darüber hinaus zeigt die optimierte Struktur eine signifikant höhere durchschnittliche maximale Druckfestigkeit im Vergleich zur ursprünglichen Variante.

[1] Ingrole, Aniket et al.: Bioinspired energy absorbing material designs using additive manufacturing. In: Journal of the Mechanical Behavior of Biomedical Materials 119 (2021) 104518. doi:https://doi.org/10.1016/j.jmbbm.2021.104518. URL https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1751616121002034

[2] Vincent, Julian et al.: Biomimetics: Its practice and theory. In: Journal of the Royal Society, Interface / the Royal Society 3 (2006) 471–82. doi:10.1098/rsif.2006.0127

[3] Zhang, Qiancheng et al.: Bioinspired engineering of honeycomb structure – using nature to inspire human innovation. In: Progress in Materials Science 74 (2015) 332–400. doi:https://doi.org/10.1016/j.pmatsci.2015.05.001. URL https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0079642515000377

[4] Cooke, Malcolm et al.: Use of stereolithography to manufacture critical-sized 3d biodegradable scaffolds for bone ingrowth. In: Journal of Biomedical Materials

Research Part B: Applied Biomaterials 64B (2) (2003) 65–69. arXiv:https://onlinelibrary.wiley.com/doi/pdf/10.1002/jbm.b.10485, doi:https://doi.org/10.1002/jbm.b.10485. URL https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/jbm.b.10485

[5] Ashby, M.: The properties of foams and lattices. In: Philosophical transactions. Series A, Mathematical, physical, and engineering sciences 364 (2005) 15–30. doi:10.1098/rsta.2005.1678

[6] Wallat, L.: Phase-field Based Load-specific Structural Optimization and Experimental Validation of Porous Structures. Dissertation. DOI: 10.5445/IR/1000180517

[7] Yoo, Dong-Jin: Advanced porous scaffold design using multi-void triply periodic minimal surface models with high surface area to volume ratios. In: International Journal of Precision Engineering and Manufacturing 15 (2014) 1657–1666. doi:10.1007/s12541-014-0516-5.

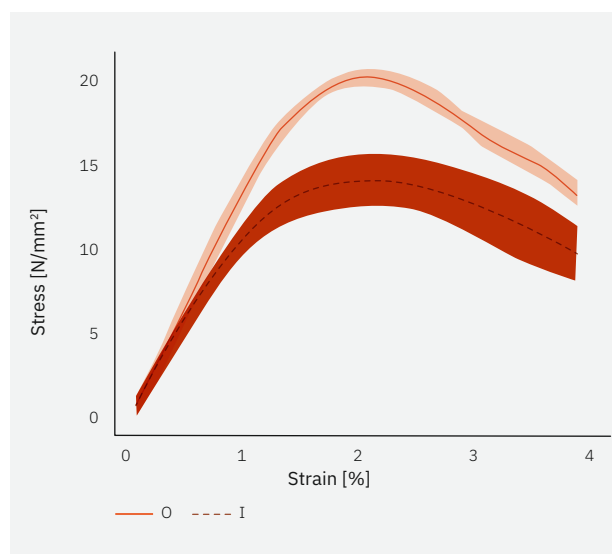


Abb. 6: Durchschnittliche Spannungs-/Dehnungskurve der initialen (I) und optimierten (O) Gyroidstruktur mit einem Volumenanteil von 25 %

Zusammenfassung

Die experimentellen Ergebnisse belegen, dass die phasenfeldbasierte Formoptimierung ein vielversprechender Ansatz zur gezielten Verbesserung komplexer poröser Strukturen unter mechanischer Belastung ist. Durch die numerisch gesteuerte Umverteilung des Materials konnte sowohl die Steifigkeit als auch die maximale Tragfähigkeit signifikant gesteigert werden. Dies kann besonders interessant für den Leichtbaubereich sein, da hier ein zentrales Ziel darin besteht, das Verhältnis von Festigkeit zu Gewicht zu optimieren. Die Möglichkeit, Material gezielt nur dort einzusetzen, wo es mechanisch erforderlich ist, würde das Potenzial bieten, hochleistungsfähige und gleichzeitig materialeffiziente Strukturen zu realisieren. Mögliche Anwendungen könnten sich in Bereichen wie der Luft- und Raumfahrt, der Automobilindustrie oder dem Maschinenbau ergeben, in denen Gewichtseinsparungen einen direkten Einfluss auf Energieverbrauch und Ressourceneffizienz hätten. Darüber hinaus ließe sich auch

im medizintechnischen Bereich ein Nutzen ableiten – etwa bei der Entwicklung von Knochenimplantaten. Hier könnte die gezielte Anpassung poröser Strukturen nicht nur die mechanischen Eigenschaften verbessern, sondern auch biologische Vorteile bieten, beispielsweise durch die Förderung der Knochenintegration und eine potenziell verbesserte Langzeitstabilität.

Eine ausführliche Darstellung der Methodik, der Simulationsparameter sowie der experimentellen Validierung findet sich in der Publikation. ^[6]

Danksagung

Die Autoren danken für die finanzielle Unterstützung durch die vom Bundesministerium für Wirtschaft und Energie geförderten ZIM-Projekte KK5134113SK1 und KK5446701SK1. Zudem richtet sich ein Dank für die Weiterfinanzierung ans Programm „Mittelbau“ vom Ministerium für Wissenschaft, Forschung und Kunst Baden-Württemberg. ✕

Autor:innen

Dr. Ing. Leonie Wallat
Akademische Mitarbeiterin am Institut für
Digitale Materialforschung (IDM) der HKA.

Prof. Dr. Ing. Frank Pöhler
Stellvertretender Institutsleiter von IMP der HKA.

Prof. Dr. rer. nat. Britta Nestler
Institutsleitung des IDMs der HKA.

Kontakt

Prof. Dr. rer. nat. Britta Nestler
HKA – Hochschule Karlsruhe
Fakultät für Informatik und Wirtschaftsinformatik
Institut für Digitale Materialforschung (IDM)
Moltkestraße 30
76133 Karlsruhe
E-Mail: Britta.Nestler@h-ka.de



**Mobilität und
Nachhaltigkeit
weiter denken**

Ein langer Weg zur fairen Mobilität

Interview mit Claudia Hille



Prof. Claudia Hille gibt im Gespräch mit Jan Holthaus spannende Einblicke in ihre Arbeit und Forschung an der HKA. Dabei spricht sie über zentrale Problemfelder der Mobilitätsgerechtigkeit und erklärt, welche gesellschaftlichen und strukturellen Herausforderungen mit einer fairen Gestaltung von Mobilität verbunden sind.

(Alle Fotos: Magali Hauser)

Claudia Hille

ist Soziologin und Mobilitätsforscherin.

Sie lehrt seit 2024 an der Hochschule Karlsruhe im Bachelorstudiengang Verkehrssystemmanagement und im Masterstudiengang Mobilitätsmanagement. In Ihrer Forschungstätigkeit untersucht sie unter anderem, wie Mobilität unsere Gesellschaft beeinflusst und welche Maßnahmen ergriffen werden müssen, um den Verkehr ökologischer aber gleichzeitig auch gerechter zu gestalten. Jan Holthaus hat mit ihr gesprochen.



Das komplette Gespräch kann man hier anhören:
www.h-ka.de/podcast

Auf unserer Website steht, Sie sind Professorin für Radverkehr. Welchen Themenbereichen widmen Sie sich?

CLAUDIA HILLE: Zum Radverkehr gehört einerseits die Radverkehrsplanung, aber auch alles rund um die Radverkehrsförderung, also die Frage, wie wir mehr Menschen auf das Fahrrad bekommen. Dabei schaue ich mir tatsächlich eher den Menschen an und nicht so sehr das Fahrrad selber. Es geht mir darum, zu erfahren, wer sitzt auf dem Fahrrad und vor allem aber wer sitzt noch nicht darauf? Und: Was hält Menschen davon ab, aufs Fahrrad zu steigen und stattdessen das Auto zu nutzen?

Weshalb sollten Menschen denn aufs Fahrrad steigen, welche Vorteile hat es?

Fahrradfahren ist total umweltfreundlich und es ist gesund. Wir wissen, dass fahrradfahrende Pendlerinnen und Pendler im Schnitt weniger Krankheitstage haben. Also es ist auch aus einer Wirtschaftsperspektive gut für die Gesellschaft. Und wir wissen auch, dass Fahrradfahren positive Effekte auf die mentale Gesundheit hat. Eine Studie in Neuseeland sagt zum Beispiel, Fahrradfahrerinnen und Fahrradfahrer sind die glücklichsten Pendler. Außerdem darf man nicht vergessen: Das Fahrrad ist innerhalb von Städten das schnellste Verkehrsmittel auf Wegen bis zu fünf Kilometern.

In Deutschland gibt es etwa 88 Millionen Fahrräder. Das heißt, statistisch gesehen hat jeder Mensch in Deutschland ein Fahrrad. Sind wir da nicht auf einem guten Weg, was die Verkehrswende betrifft?

Das Problem ist, dass viele Fahrräder in Kellern stehen und nicht genutzt werden.

Woran liegt das?

Wir sind ein Autoland und wir sind auch in der Kultur sehr autodominiert. Ich mache das immer an einem ganz simplen Beispiel fest: Schauen wir uns Sonntagabend den Tatort an, dann gibt es von diesen ganzen Tatort-Kommissaren nur einen einzigen, der mit dem Fahrrad fährt. Wir sehen das auch bei Kinderbüchern, es gibt sehr viele, in denen es um Autos geht, große Feuerwehrautos, Traktoren. Kinder lernen das Wort „Auto“ normalerweise vor dem Wort „Fahrrad“.



Allein in der Popkultur gibt es wahnsinnig viel, was uns mit dem Auto verbindet. Hinzu kommt: Unsere Städte die sind sehr, sehr autozentriert und autodominant, auch so gebaut und geplant worden nach dem Zweiten Weltkrieg, denn das deutsche Wirtschaftswunder fußt ja auch ein Stück weit auf der Autoindustrie. Und natürlich spielt das alles eine ganz große Rolle bei der Wahrnehmung des Fahrrades.

Das heißt, der erste Schritt wäre, die Infrastruktur in den Städten für das Fahrrad anzupassen?

Ja, und ich würde auch sagen, eine gute Infrastruktur fürs Rad ändert auch langfristig etwas an der kulturellen Prägung, weil dem Rad dadurch Raum eingeräumt wird. Das ist auch das, worum es bei der Infrastruktur geht, dass Platz geschaffen wird für das Rad, dass es eben nicht an den Rand gedrängt wird, sondern als ernsthaftes Verkehrsmittel anerkannt wird. Dabei geht es vor allem um Sicherheit. Viele Menschen fühlen sich auf dem Fahrrad nicht sicher, wenn sie Autos um sich herum haben. „Subjektive Sicherheit“ nennen wir das in der Mobilitätsforschung, da besteht bei bestimmten Bevölkerungsgruppen ein ganz großes Hemmnis, sich auf das Rad zu setzen. Beispielsweise gibt es Eltern, die Angst um ihre Kinder haben und denen im Zweifel nicht erlauben, Fahrrad zu fahren. Aber das betrifft auch ältere Menschen, die nicht mehr ganz so fit sind. Und wenn wir uns dann die Radinfrastruktur anschauen und sehen, wie das Fahrrad im Zweifel in den Seitenraum gedrängt wird oder wie sich das Fahrrad den Platz mit Fußgängern teilen muss, liegt es auf der Hand, dass das zu Konflikten führt.

Das heißt also, sinnvoll wäre eine klare Trennung zwischen Fußgängerwegen, Radwegen und Autostraßen?

Das wird nicht überall gehen, da muss man realistisch bleiben. Aber da, wo es möglich ist, wäre ich sehr dafür, den Radverkehr separat zu führen. Und dort, wo es nicht geht, könnte man Geschwindigkeiten reduzieren oder das Fahrrad

bevorzugen. Wir haben beispielsweise in Karlsruhe allein 18 sogenannte Fahrradstraßen, also Straßen, auf denen Fahrräder Vorrang haben, das ist im Bundesvergleich extrem gut. Solche Maßnahmen können dazu führen, das Fahrrad attraktiver zu machen.

Sie forschen auch im Bereich der sozialen Teilhabe und nehmen die Mobilitätsgerechtigkeit in den Fokus. Wie hängen diese beiden Begriffe zusammen?

Soziale Teilhabe bedeutet, dass jeder die Möglichkeit hat, am sozialen Leben teilzunehmen. Im Grunde hat jede Aktivität, die ich außerhalb meiner Wohnung ausübe, immer

zur Folge, dass ich mobil bin, dass ich unterwegs bin. Und Mobilität ist in aller Regel, wenn ich nicht zu Fuß gehe, mit Kosten verbunden. Das heißt also, ein Auto kostet Geld, ein Fahrrad kostet Geld, das Busticket kostet Geld. Und da sind wir beim Thema Mobilitätsgerechtigkeit, weil, wenn ich mir eine Busfahrkarte nicht leisten kann, kann ich auch bestimmte Aktivitäten nicht ausführen. Das ist im Zweifel nicht gerecht, weil Teilhabe ja auch immer etwas mit Chancen zu tun hat, gerade auch im Bereich der Daseinsvorsorge.

Beispielsweise kann ich Bildungsangebote nur wahrnehmen, wenn ich mir auch den Weg dahin leisten kann. Aber es betrifft ebenso den Zugang zu einem günstigen Supermarkt oder zu medizinischer Grundversorgung.

Ist jemand, der arm ist, grundsätzlich weniger mobil als jemand, der beispielsweise ein Durchschnittseinkommen hat oder gibt es auch andere Faktoren, die hier eine Rolle spielen?

Bin ich automatisch von Mobilität ausgeschlossen, wenn ich wenig Geld habe? Da würde ich sagen nein, wenn ich in einer Wohnlage lebe, die gut angebunden ist, die recht zentral ist, wo ich viel in meiner fußläufigen Umgebung habe. Wenn ich auf dem Land wohne und gar kein Bus fährt ...

**„Leute sparen
im Zweifel
beim Essen,
um sich Mobi-
lität leisten zu
können.“**



... dann bringt auch eine teure Bahncard 100 nichts.

Genau. Dann ist das eben auch eine Frage von Mobilitätsgerechtigkeit. Und dann gibt es noch eine Dimension, die etwas abstrakter ist, nämlich die Folgen unseres Verkehrssystems, also etwa Unfälle, aber auch Lärm und Abgase. Und wenn wir uns zum Beispiel anschauen, wer an den großen Ausfallstraßen wohnt, wo viele Autos unterwegs sind, also Orte, an denen es sehr laut ist und sich die Abgase stauen, dann sind es meist auch Wohnlagen, die sehr günstig sind. Das hängt dann auch wieder mit dem Geld zusammen, denn die guten, auch verkehrlich gut angebundenen Innenstadtlagen, das sind die teuren Wohnlagen. Eigentlich wäre es super, wenn Leute, die nicht so viel Geld haben, in diesen Innenstadtlagen wohnen würden, weil dann könnten sie fußläufig und damit sehr günstig die Ziele erreichen, die sie erreichen wollen. Aber die Realität sieht anders aus. Menschen mit weniger Geld werden tendenziell an den Rand gedrängt aber da brauchen sie dann wieder mehr finanzielle Ausstattung um mobil sein zu können.

Sie haben diesbezüglich das 9-Euro-Ticket unter die Lupe genommen, was ist dabei herausgekommen?

Das war im Jahr 2022 und da haben wir Menschen in Erfurt, in Stadtteilen, die gut mit der Straßenbahn angebunden sind, befragt. Wir haben Leute, die armutsgefährdet sind und niedrige Einkommen haben, gefragt: „Was macht das 9 € Ticket mit Ihnen?“ Dabei ist herausgekommen, dass sich ihre soziale Teilhabe verbessert hat. Beispielsweise gab es da einen Stadtteil mit nur einem relativ teuren Supermarkt. Und dann kam als Antwort: „Das 9-€-Ticket ermöglicht mir die Fahrt zum Discounter, damit spare ich beim Lebensmitteleinkauf, weshalb ich mir einen Besuch im Schwimmbad leisten kann.“ Wir sehen also, wie vielschichtig und dann doch recht komplex dieses System ist und wie groß auch diese Frage der Mobilitätsgerechtigkeit ist. Also ich zitiere gerne aus dieser Studie, weil wir da so Antworten bekommen haben, wie: „Das 9-€-Ticket hat mir geholfen, mich nicht mehr so allein zu fühlen, nicht mehr so einsam zu sein. Das 9-€-Ticket hat mir ermöglicht, mal wieder zum Zahnarzt zu gehen. Das 9-€-Ticket hat den kleinen Urlaub in Thüringen ermöglicht und nicht nur Urlaub auf Balkonien“. Und da sieht man, wie viel Mobilität ei-

gentlich ausmacht für das Leben. Wir betrachten Mobilität oft als Selbstverständlichkeit, aber selbstverständlich ist das am Ende nur solange, bis wir es uns nicht mehr leisten können, mobil zu sein und es dann unser ganzes Leben einschränkt.

Inzwischen gibt es den Nachfolger des 9-€-Tickets, das Deutschlandticket, das rund 60 € kostet. Auch hier untersuchen Sie zurzeit, wie sich das Deutschlandticket auf die soziale Teilhabe von Menschen mit geringen Einkommen auswirkt. Wie gehen Sie da vor?

Wir haben 11.000 Fragebögen verteilt und zwar in Erfurt und in Karlsruhe. Wir haben deutlich mehr als 1000 Fragebögen zurückbekommen und können so beide Städte vergleichen. Beide haben eine ganz gute und vergleichbare Verkehrsinfrastruktur im Öffentlichen Nahverkehr. Für unsere Befragungen haben wir gezielt Stadtteile ausgesucht, in denen tendenziell mehr Menschen mit niedrigen Einkommen und Personen mit Bürgergeldbezug wohnen.

Der monatliche Bürgergeld-Satz liegt derzeit bei einer alleinstehenden Person bei rund 560 €, wovon rund 50 € für die Mobilität vorgesehen sind.

Das heißt also, dieses Geld reicht ja schon rechnerisch nicht, um das Deutschlandticket zu finanzieren. Was wir aber fragen ist, hat das Deutschlandticket trotzdem positive Effekte auf die soziale Teilhabe. Und da können wir jetzt sagen: Ja, hat es, wenn sich die Menschen die Anschaffung leisten. Das heißt aber, dass sie natürlich an anderen Stellen sparen. Also sehen wir ganz klar, das Deutschlandticket wirkt sich positiv auf die soziale Teilhabe aus. Es gibt außerdem die Möglichkeit von Sozialtickets, die aber nur auf kommunaler Ebene angeboten werden. Das bedeutet, es gibt einen Zuschuss zum Deutschlandticket. Aber da sehen wir aus den Umfragen, dass ungefähr 75 % der Befragten die Möglichkeit von Sozialtickets gar nicht kennen. Und das ist natürlich gerade bei so einer Gruppe, für die das ja hoch relevant sein könnte, tatsächlich dramatisch. Es könnte eine Entlastung sein, aber sie ist nicht bekannt und wird deshalb nicht wahrgenommen. Und dann ist es z. B. in Erfurt so: Ich kaufe mir das Deutschlandticket zum vollen Preis, fahre damit einen Monat lang und am Ende des Monats kann ich auf Antrag eine Rückerstattung bekommen.



Das bedeutet, ich muss das Geld vorstrecken und wenn ich jeden Monat einfach super knapp bei Kasse bin, dann habe ich dieses Geld nicht, um das vorzustrecken. Wir wissen auch: Leute sparen im Zweifel beim Essen, um sich Mobilität leisten zu können. Das halte ich für einen gesellschaftlichen Missstand. Das ist die Realität für einen gar nicht mal so kleinen Anteil in der Bevölkerung, nämlich rund 10 Millionen Menschen, die in Deutschland als armutsgefährdet gelten. Hinzu kommt: Viele Kommunen bieten kein Sozialticket an. Ich glaube aber, wenn wir ein bundesweit einheitliches Sozialticket hätten, dann wäre es auch nicht so eine Wohnortlotterie, bei der man Glück haben muss, in einer Kommune zu leben, in der ein Sozialticket angeboten wird.

Das Ticket gibt's nur im Abo und nur Digital, könnte man das nicht – auch im Sinne einer Barrierefreiheit – besser machen?

Also ich finde es völlig in Ordnung, dass es das als digitales Abo-Modell gibt. Also für Pendlerinnen und Pendler, die das jeden Monat kontinuierlich nutzen, ist das eine super Sache. Aber gerade für Leute, die nicht so technikaffin sind, kann das problematisch sein. Wenn ich an meine eigene Oma denke, die war in ihrem ganzen Leben nicht im Internet. Die wird sich kein digitales Deutschlandticket kaufen. Wie denn? Da wäre mein Wunsch, dass es die Möglichkeit gäbe, das Ticket am Fahrkartenautomaten zu kaufen, wie es auch beim 9€-Ticket war. Natürlich geht es aus Sicht der ÖPNV-Betriebe auch ganz klar um Kundenbindung durch das Abonnement. Ich verstehe das auch, aber für Menschen, die zum Beispiel nicht so viel Geld haben, ist dieses Abo ein ganz, ganz großes Thema, weil die sich nicht verpflichten wollen, für ein Abo, das sie am Monatsanfang bezahlen müssen.

Wo würden Sie das Deutschlandticket preislich ansiedeln?

Also wenn ich zu entscheiden hätte, dann würde ich mich an dem orientieren, was wir erforscht haben. Wir haben damals beim 9€-Ticket nach der Zahlungsbereitschaft gefragt und die lag im Mittel bei 29 € und das halte ich für einen gu-

ten Wert. Natürlich kann man fragen, warum es ein einheitlicher Preis sein muss. Warum ist er nicht sozial gestaffelt? Aber da würde ich sagen, 29 € hat vielleicht doch auch das Potenzial, dass auch mehr Menschen das Ticket kaufen, die es gar nicht so oft brauchen, also Gelegenheitsnutzer, die dann am Wochenende mal einen Ausflug in den Schwarzwald machen. Ein solcher Preis muss aber quersubventioniert werden und man muss sich auch als Bundesregierung dafür entscheiden, das fördern zu wollen. Das heißt aber

auch, Mittel in den Ausbau zu stecken, weil es ist eben auch nicht gerecht, wenn man in urbanen Regionen ein super Angebot hat und im ländlichen Raum nicht. Unter dem Aspekt der Mobilitätsgerechtigkeit muss ÖPNV bezahlbar, aber auch nutzbar sein.

Sie haben das Deutschlandticket und den Ausbau des ÖPNV benannt. Was gehört sonst noch zu einer mobilitätsgerechten Verkehrsinfrastruktur?

Natürlich der Ausbau der Radinfrastruktur. Und auch da sollte nicht nur der urbane Raum, sondern auch die Verbindung zwischen Dorf A und Dorf B berücksichtigt werden, denn auch im ländlichen Raum gibt es für den Radverkehr Potenziale. Und es gehört auch dazu, dass wir den Fußverkehr stärken, in dem wir öffentliche Räume lebenswert gestalten, sodass auch irgendwo mal eine Bank und ein Baum stehen und man sich in unseren immer heißer werdenden Städten und Gemeinden auch einfach mal hinsetzen und es genießen kann. Für mich gehört auch dazu, dass Innenstädte möglichst autoarm sind. Ich sage bewusst nicht autofrei, denn das Auto hat durchaus seine Berechtigung, insbesondere wenn man sich Autos teilt, durch Carsharing-Angebote o.ä.. Aber der Gedanke, jeder müsse ein Auto haben oder auch zwei oder drei, ist mit all seinen Folgen weit entfernt von einem gerechten Mobilitätssystem.

Vielen Dank für das Gespräch! ✕

Carsharing mit Lücken

Warum Planung im ländlichen Raum schwierig bleibt

Verena Wagner, Jan Riel

DE Carsharing gilt in urbanen Räumen als etabliertes Mobilitätsmodell mit nachweisbaren ökologischen und sozialen Vorteilen. Im ländlichen Raum hingegen bestehen strukturelle und infrastrukturelle Hürden, die eine flächendeckende Umsetzung erschweren. Im Projekt move.mORE untersucht die Hochschule Karlsruhe gemeinsam mit Partner:innen Potenziale und Herausforderungen des Carsharings in ländlichen Gemeinden. Ergebnisse aus Befragungen und Buchungsdaten zeigen geringe Nutzung sowie hohe Erfordernisse hinsichtlich Verfügbarkeit und Entfernung zu Stationen. Dennoch kann Carsharing – insbesondere in multimodalen Konzepten – zur nachhaltigen Mobilität und Daseinsvorsorge beitragen, sofern ein ausreichendes Angebot, eine gute Integration und lokales Engagement gewährleistet sind.

EN Car-sharing is well-established in urban areas, offering proven ecological and social benefits. In rural regions, however, structural and infrastructural challenges hinder widespread implementation. The move.mORE project, conducted by Karlsruhe University of Applied Sciences and partners, explores the potential and barriers of rural car sharing. Results from surveys and booking data indicate both low usage and high demand regarding vehicle availability and proximity to stations. Nevertheless, Car-sharing—especially as part of multimodal mobility concepts—can contribute to sustainable transport and public service provision in rural areas, provided that adequate supply, integration, and local engagement are ensured.

Carsharing ist in den meisten Städten inzwischen ein Erfolgsmodell unter den zahlreichen Möglichkeiten des Mobilitätsmanagements. Urbane Gebiete profitieren häufig von vielfältigen Carsharing-Angeboten, was sich in hohen Nutzungszahlen widerspiegelt. Je nach Umfeld kann ein Carsharing-Fahrzeug weit über fünf private Pkw ersetzen.^[1] Um jedoch Carsharing im ländlichen Raum zu verstehen und zu fördern, bedarf es noch deutlichen Forschungs- und Experimentieraufwandes.

Im Rahmen des Projektes move.mORE wird derzeit am Institut für Verkehr und Infrastruktur der Hochschule Karlsruhe zu Potenzialen und Hindernissen des Carsharings im ländlichen Raum Deutschlands geforscht.

Besondere Anforderungen außerhalb der Städte

Der ländliche Raum ist – anders als urbane Gebiete – geprägt von geringeren Bevölkerungsdichten, geringeren Bebauungsdichten, längeren Wegstrecken und einer überschaubareren Infrastruktur, insbesondere im ÖPNV und im Radverkehr. Der Autobesitz oder die Autoverfügbarkeit in den meisten Haushalten ist daher entsprechend höher als in Städten und der Bedarf, auf ein „fremdes“ Fahrzeug zuzugreifen, entsprechend gering. Diese Faktoren erschweren die wirtschaftliche Rentabilität von Carsharing-Modellen, da deren Nutzungshäufigkeit oft niedriger ist als in Städten.

Dennoch kann Carsharing im ländlichen Raum Vorteile bieten: Es kann die Mobilitätslücke für Menschen ohne eigenes Fahrzeug schließen, z. B. für finanziell eingeschränkte Personen, und somit als Beitrag zur Daseinsvorsorge wirken. Auch für Geschäfts- oder Urlaubsreisende, die mit den öffentlichen Verkehrsmitteln unterwegs sind, kann ein Carsharing-Angebot vor Ort die Mobilitätsoptionen erhöhen. Carsharing-Kund:innen nutzen Autos im Durchschnitt seltener als Menschen, die ein Auto besitzen. Fahrrad und ÖPNV spielen in ihrem Modal Split eine größere Rolle. Die veränderte Verkehrsmittelwahl senkt den MIV-Anteil am fließenden Verkehr. Dieser Effekt stellt sich vor allem bei Carsharing-Nutzenden ein, die private Pkw abschaffen.^[1]



Carsharing-Fahrzeug unterwegs im Schwarzwald – Teil des Mobilitätsmanagements im move.mORe-Projekt in ländlichen Gemeinden
(Foto: Hochschwarzwald Tourismus GmbH)

Vom Prinzip her könnte Carsharing also im ländlichen Raum ein vielversprechender Baustein im multimodalen Angebot zur Verbesserung der Mobilität sein. Die damit verbundenen Ziele sind jedoch realistisch einzuschätzen: Aufgrund der oft fehlenden oder nicht ausreichenden alternativen Mobilitätsformen (insbesondere des ÖV) sind in einem mehrköpfigen Haushalt i. d. R. auch mehrere Pkw vorhanden, die auch parallel genutzt werden. Carsharing wird also kaum eine nennenswerte Anzahl autofreier Haushalte generieren können, sondern eher dazu beitragen, das Zweit- oder Drittauto in einem ländlichen Haushalt überflüssig zu machen. ^[3]

Neben einer Verringerung des Autobesitzes (in den Städten werden durch Autos große Flächenanteile des öffentlichen Raums belegt) ist ein weiteres Ziel des Carsharing die Reduzierung der Autonutzung. Treiber für eine verstärkte Nutzung von Carsharing können dabei finanzielle Ersparnisse sowie ggf. ein Mangel an Abstellplätzen sein.

Move.mORe fördert nachhaltige Mobilität am Oberrhein

Das Projekt „move.mORe – Nachhaltige Mobilität in der Oberrheinregion“ ist ein Verbundprojekt der Hochschule Karlsruhe (HKA) und der Hochschule Offenburg (HSO), gefördert von der Bund-Länder-Initiative „Innovative Hoch-

schule“. Es setzt sich zum Ziel, die Hochschulen stärker mit ihrem regionalen Umfeld zu vernetzen und gemeinsam mit regionalen Partnern und Partnerinnen aus Wirtschaft, Kultur und Gesellschaft die nachhaltige Mobilität von Menschen und Waren in den ländlichen Räumen der Oberrheinregion zu fördern und zu stärken.

Zum Thema Mobilitätsmanagement und Carsharing entstand im move.mORe-Teilprojekt „Mobilitätsmanagement“ eine Zusammenarbeit mit den ländlichen Gemeinden St. Blasien und Hinterzarten, koordiniert durch die Hochschwarzwald-Tourismus GmbH (HTG).

Um herauszufinden, wie die Nutzung von Carsharing in ländlichen Räumen charakterisiert ist und wie man diese verstärken kann, wurden im Rahmen von move.mORe Haushaltsbefragungen in St. Blasien und in Hinterzarten zum Mobilitätsverhalten durchgeführt. Zusätzlich wurden in einer sogenannten „Panel-Erhebung“ bundesweit 1.000 Personen in einer Online-Befragung befragt. Außerdem wurden Buchungsdaten der Carsharing-Betreiber von 2022, 2023 und 2024 im Hochschwarzwaldgebiet ausgewertet.

Wenig Nachfrage, wenig Angebot

Es wurden Fragen zur persönlichen Situation, zu Gründen der Nutzung oder Nicht-Nutzung von Carsharing sowie zu Wünschen und Anforderungen an Ausstattung und Standorte gestellt.

[1] BCS Bundesverband Carsharing e.V. (2024). Verkehrsentlastung durch Carsharing. https://carsharing.de/sites/default/files/download/2024-09/240529_Factsheet_Verkehrsentlastung_final.pdf

[2] BCS, Bundesverband Carsharing e.V. (2024). Carsharing in Deutschland. Fact Sheet. https://carsharing.de/sites/default/files/download/2024-09/240319_Carsharing_Statistik_digital.pdf

[3] Ministerium für Verkehr Baden-Württemberg, team red, Gutachten „Carsharing in Baden-Württemberg“, 2025

In den Umfragen zeigte sich, dass generell wenig Interesse oder Bedarf an Carsharing besteht. Dies spiegelt sich auch in den Buchungszahlen wider: Während der drei Auswertungszeiträume liegt die Nutzung bei allen Nutzergruppen auf konstant niedrigem Niveau, s. Abb. 1.

Diejenigen Befragten, die Carsharing nutzen (zwischen 2 % und 5 % der Antwortenden), haben eine hohe intrinsische Motivation: Ökologische Gründe wurden am häufigsten genannt, wohingegen der Mangel an privatem Stellplatz oder privater Garage oder die Parkplatzsuche (anders als im urbanen Raum) am wenigsten genannt wurden.

Vergleicht man die carsharingnutzenden Haushalte im ländlichen Raum mit denen, die kein Carsharing nutzen, zeigt sich, dass in Carsharing-Haushalten mehr Kinder, aber weniger private Pkw vorhanden sind. Sie liegen außerdem im Durchschnitt näher zur nächsten Haltestelle des ÖPNV, als die der Nicht-Nutzenden, was auf ein stärker multimodales Verhalten der Carsharing-Nutzenden hindeuten könnte.

Sowohl die im Panel befragten Personen als auch die Bewohner:innen von St. Blasien und Hinterzarten lassen zwei klare Tendenzen erkennen:

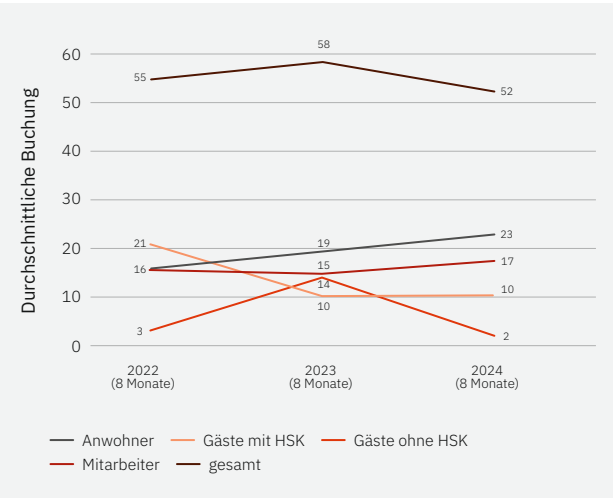


Abb 1: Buchungszahlen beim Carsharing in verschiedenen Gemeinden im Hochschwarzwald 2022-2024

- + **Nutzungssicherheit:** Bei den Befragten (Carsharing-Nutzende als auch Nichtnutzende) besteht vor allem die Befürchtung, dass dann kein Fahrzeug vorhanden sein könnte, wenn man eines braucht. Derzeit ist jedoch an den meisten Carsharing-Stationen nur ein Fahrzeug vorhanden.
- + **Distanz zur Station:** Die Carsharing-Fahrzeuge sollen nicht zu weit weg von der eigenen Wohnung und den Einrichtungen des öffentlichen Verkehrs stehen.

Beide Wünsche stehen im Widerspruch zur Realität der Carsharing-Angebote im ländlichen Raum, welche aus wirtschaftlichen Gründen auf kleine und wenige Stationen beschränkt ist.

Auf die Frage nach der gewünschten Anzahl an Fahrzeugen für die erhoffte Nutzungssicherheit wurden von den Carsharing-Nutzenden am häufigsten zwei oder drei Fahrzeuge genannt, s. Abb. 2.

	Hinterzarten	St. Blasien	D Land
1 FZ	7 %	15 %	10 %
2 FZ	47 %	31 %	40 %
3 FZ	27 %	38 %	30 %
4 FZ	7 %	8 %	20 %
5 FZ	7 %	8 %	0 %
mehr als 5 FZ	7 %	0 %	0 %

Abb 2: Befragungsergebnisse zur Frage „Ab welcher Anzahl von Fahrzeugen an einer Station sind Sie sich sicher, dass immer eines für Sie verfügbar sein wird?“

Auswertung der Carsharing-Fahrten

Die Auswertung der Buchungsdaten erfolgte getrennt nach Stationen und Nutzergruppen (Bewohner:innen und Tourist:innen) und zeigt, dass die meisten Fahrten aller Nutzergruppen im Nahbereich erfolgen. Die durchschnittliche Dauer der Fahrten lag in den Jahren 2023 und 2024 bei allen Nutzergruppen bei ca. 20 Minuten.

»Carsharing ist nicht nur in Großstädten verfügbar. Rund zwei Drittel der Carsharing-Orte in Deutschland haben weniger als 20.000 Einwohner:innen.«

Bundesverband Carsharing e.V.^[2]

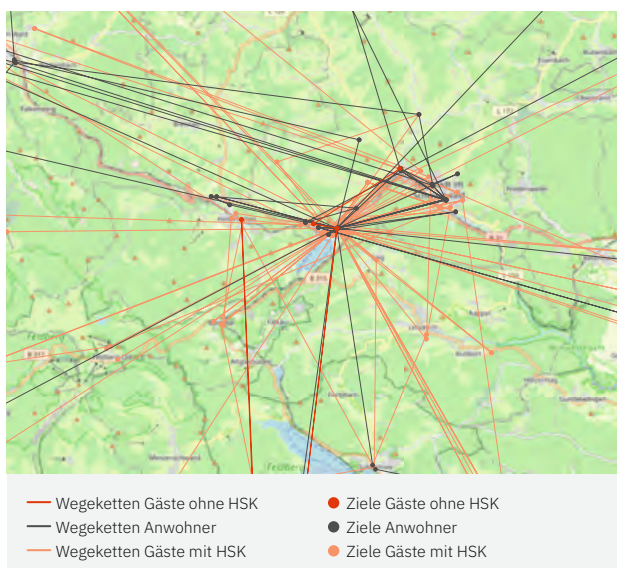
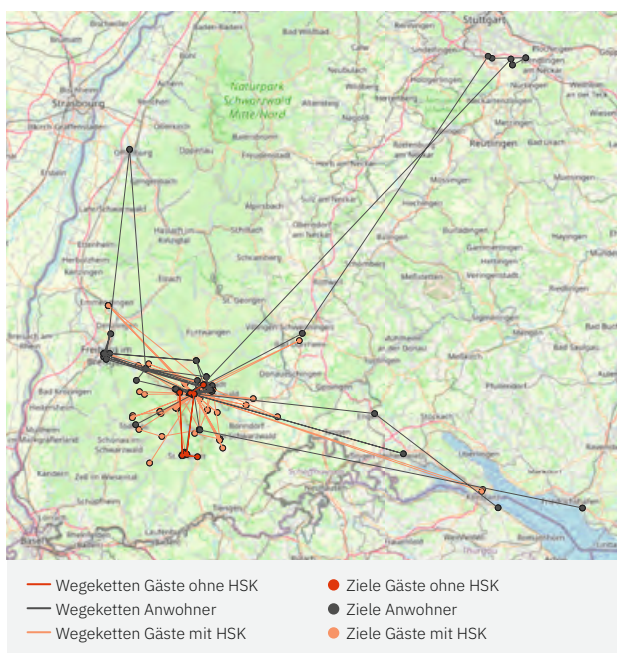


Abb. 3 und Abb. 4: Grafische Auswertung der Ziele der Carsharing-Nutzenden am Beispiel Titisee, 2024

Die Nutzergruppe Tourist:innen mit der regionalen Vorteilskarte „HochSchwarzwaldCard“ (HSWCard) konnte das Carsharing-Angebot täglich drei Stunden lang kostenlos ausprobieren. Dies wurde auch rege genutzt: Gäste mit HSWCard haben das Carsharing-Angebot generell häufiger genutzt als Gäste ohne HSWCard. Die Karte zu benutzen erfordert eine gewisse Eigeninitiative der Gäste: Man muss sich aktiv anmelden und einen digitalen Code erwerben. Erst dann lassen sich die Vorteile entsprechend nutzen, jedoch nicht bei jeder Unterkunft und erst ab zwei Nächten Aufenthalt. Das lässt darauf schließen, dass Gäste mit der Karte informierter sind als andere, und zeigt, dass das Angebot durch Marketinginstrumente bekannter und angenommen wird. Ein finanzieller Anreiz begünstigt die Nutzung grundsätzlich. Gäste ohne Smartphone waren jedoch bei dem Angebot benachteiligt.

Was kann die Nutzung verbessern?

Generell kann festgestellt werden: Die Integration des Carsharing mit öffentlichen Verkehrsmitteln hat sich in den Städten als ein wesentlicher Faktor für eine funktionierende Mobilität ohne eigenes Auto erwiesen. Dies scheint grundsätzlich auch für den ländlichen Raum zu gelten, wenn auch weniger stark ausgeprägt. Ebenfalls ist es sinnvoll, Zugangsmöglichkeiten für Menschen ohne Smartphone schaffen.

Zahlreiche Befragte haben ökologische Gründe als Motivation zur Carsharing-Nutzung angegeben. Der Einsatz von E-Fahrzeugen könnte diesen Anspruch unterstützen und sollte daher von den Betreiber:innen priorisiert werden.

Carsharing kann für Bewohner:innen als Beitrag zur Daseinsvorsorge wirken. Insbesondere die Kombination mit dem öffentlichen Verkehr spielt für multimodales Verhalten eine große Rolle und ist ein entscheidender Faktor für den Erfolg von Maßnahmen des Mobilitätsmanagements. Es ist erforderlich, ein ausreichend großes Angebot zu schaffen. Wenn die Menschen nicht sicher sein können, ein Fahrzeug zu bekommen, wenn sie es brauchen, wird das System abgelehnt. Eine große Herausforderung in der Umsetzung besteht darin, den geäußerten und verständlichen

»Die Autos stehen bereit, die Ladesäulen auch – jetzt braucht es nur noch den gemeinsamen Willen, die letzten Meter gemeinsam zu gehen.«

Fabian Wiesler, HTG

Wunsch nach wohnortnahen Fahrzeugen zu erfüllen, wenn der ländliche Raum dispers und dünn besiedelt ist. Denn damit sind automatisch hohe Betriebskosten verbunden. Die Finanzierung der Angebote erfordert oft öffentliche Fördermittel oder Partnerschaften mit Unternehmen. Lokale Akteure wie Gemeinden oder Vereine können durch Kooperationen oder als Ankermieter die Akzeptanz steigern und die Infrastruktur sowie die Kostenbilanz verbessern.

Derzeit entsteht im Hochschwarzwald ein neues Carsharing-Angebot mit einem anderen Anbieter. Die o. g. Erkenntnisse aus Befragung und Buchungsauswertung liefern Ansatzpunkte für Verbesserungen des Systems gegenüber dem bisherigen Angebot.

Für den Tourismus hat sich klar herausgestellt, dass attraktive Angebote genutzt werden. Ein zielgruppenorientiertes Marketing kann dafür sorgen, dass das Angebot gesehen wird.

Häufig wird der Erfolg eines Carsharing-Angebots nicht nur durch die Geografie und die Einwohnerdichte beeinflusst, sondern auch durch das lokale Engagement von Beteiligten. ^[3] Engagierte Bürgermeister:innen, Initiativen oder Tourismusverbände wie die HTG, die Zeit und Geld in ein gut durchdachtes System investieren, werden ortsbezogene überzeugende Lösungen liefern können.

Im Rahmen von move.mORe berät das Institut für Verkehr und Infrastruktur auch über die o. g. Beispiele hinaus ländliche Gemeinden mit dem Ziel, im Rahmen von Reallaboren, innovative Ansätze zu testen und zu evaluieren. Dennoch bleibt es schwierig, die lokalen Akteure von den Vorteilen zu überzeugen. Carsharing im ländlichen Raum ist noch kein Selbstläufer. Das Thema ist es wert, bei der Forschung einen langen Atem zu haben und für jede Region und unterschiedliche Nutzende den richtigen Ansatz zu finden. Ein Reallabor in einer ländlichen Gemeinde mit einem gut durchdachten Carsharing-Standort, welcher drei Fahrzeuge aufweist in Kombination mit einem starken Marketingkonzept könnte hier weitere wichtige Erkenntnisse liefern.

Das diesem Bericht zugrunde liegende Vorhaben wurde mit Mitteln des Bundesministeriums für Bildung und

Forschung unter dem Förderkennzeichen 13IHS233A gefördert. Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt bei den Autoren. ✕

Autor:innen

Dipl.-Ing. Verena Wagner

Akademische Mitarbeiterin am Institut für Verkehr und Infrastruktur (IVI) der HKA, Projekt move.mORe.

Prof. Dr.-Ing. Jan Riel

Projektleiter Teilvorhaben 5 (TV5) des Projekts regio.MOVE. Institutsleiter Institut für Verkehr und Infrastruktur (IVI) an der HKA und Professor für Verkehrsplanung und Verkehrstechnik an der Fakultät Architektur und Bauwesen.

Kontakt

Prof. Dr.-Ing. Jan Riel
HKA – Hochschule Karlsruhe
Fakultät Architektur und Bauwesen
Institut für Verkehr und Infrastruktur
Moltkestraße 30
76133 Karlsruhe
E-Mail: jan.riel@h-ka.de



Starte mit uns in Deine Zukunft!

Als international agierendes Familienunternehmen entwickeln und produzieren wir Produkte in den Bereichen Aderendhülsen, Kabelverarbeitung und der 2D / 3D Lasermesstechnik und sind als weltweiter Ansprechpartner für innovative Lösungen im Schaltschrankbau tätig.

Zoller + Fröhlich bildet in folgenden Bereichen aus:

- + Bachelor of Engineering (DH) (m | w | d)
Elektrotechnik / Maschinenbau
- + Bachelor of Arts (DH) (m | w | d)
Industrie / International Business
- + Werkstudent und studentischer
Mitarbeiter (m | w | d)
- + Promotion



Interesse geweckt?
Dann sende Deine
Bewerbung an uns:

jobs@zofre.de

Zoller + Fröhlich GmbH | Simoniusstraße 22 | 88239 Wangen im Allgäu | www.zofre.de

#SWARCOcareer

DU WILLST MEHR PRAXIS? HABEN WIR!

DUALES STUDIUM: INFORMATIK

Verbinde dein wissenschaftliches Hochschulstudium mit praktischer unternehmerischer Erfahrung durch ein duales Studium bei uns. Im Dreimonatsrhythmus wechselst du zwischen der Hochschule und unserem Unternehmen. Während deiner Zeit bei uns erhältst du Projekte und Problemstellungen, die du eigenständig behandelst und mit unserer Unterstützung löst.

Verknüpfe Theorie und Praxis optimal miteinander und lege den Grundstein für eine erfolgreiche Karriere. Bewirb dich jetzt!



Grow with SWARCO.

Kontakt:

Online Bewerbung bei SWARCO
<https://www.swarco.com/de/karriere/>



On-Demand Mobility Service: Simulation in Ottersweier to demonstrate usage of agent-based models in rural areas

Alireza Salehi Tirabadi, Jan Riel

DE Die Abbildung individueller Reaktionen auf reale Faktoren wie Kosten, Komfort und Nutzen ist in der Verkehrsplanung schwierig. Traditionelle Modelle erfassen detailliertes Verhalten kaum, agentenbasierte Werkzeuge wie MATSim (TU Berlin, ETH Zürich) ermöglichen jedoch nutzenbasierte Simulationen. Im Projekt move.more entstand ein Regionalmodell, beginnend in Ottersweier. Dort wurden 350 Bewohner:innen zu täglichen Wegen, Aktivitäten, Zeiten, Dauer und soziodemografischen Daten befragt. Das Modell umfasst Auto, ÖPNV, Fahrrad, Pedelec und Zufußgehen. Der Beitrag zeigt Ansätze zur ÖPNV-Verbesserung (On-Demand) und zur E-Bike-Förderung (Infrastruktur) in Zusammenarbeit mit Kommunen.

EN Capturing individual responses to factors like cost, comfort, and utility is challenging in transportation planning. Traditional models lack the ability to represent detailed behavior, but agent-based tools like MATSim (developed by TU Berlin and ETH Zurich) enable utility-based travel simulations. In the move.more project, a regional model was created, starting in Ottersweier where a survey gathered 350 responses of inhabitants covering daily trip details, activity types, timing, duration, and socio-demographic data. The model includes travel modes private car, public transport, bicycle, pedelec, and walking. This article discusses strategies to improve public transport via on-demand services and promoting e-bike use with better cycling infrastructure, highlighting knowledge transfer and collaboration between universities and local authorities.

The database for this simulation was derived from a comprehensive mobility survey conducted in the municipality of Ottersweier. The survey, carried out as part of a Bachelor's thesis, is part of the move.mORE project. It was developed during a collaboration between Hochschule Karlsruhe and the municipality of Ottersweier. The primary objective was to gain detailed insights into the mobility behavior of local residents, including transport frequency, mode preferences, existing obstacles, and satisfaction with current mobility options.

To ensure broad participation and accessibility, the survey was offered in both digital and paper-based formats and was open from November to December 2024. Key data collected included demographic and sociodemographic characteristics, transport mode choices and usage frequency, influencing factors for mode selection, identified barriers, as well as a mobility diary (Wegetagebuch) documenting trip patterns, transport modes, distances, durations, and reasons for travel. Participants provided feedback on their level of satisfaction and expressed their willingness to adopt more sustainable mobility behavior.

The study received 348 responses from a target population of 5,718 residents aged 12 and above, which is a rate of 6.1%. The results highlight the dominance of private car use, the underutilization of public transport due to limited timetables and inflexibility, and low participation in carsharing, often attributed to perceived disinterest or insufficient availability. These insights underscore the potential value of on-demand mobility services as a viable solution for Ottersweier.

Simulation Software Overview

MATSim (Multi-Agent Transport Simulation) is an open-source, activity-based framework developed primarily by ETH Zurich and the Technical University of Berlin. It is designed for large-scale transport planning and urban mobility scenarios. Unlike traditional transport models, which are often aggregate and zonal-based, MATSim employs a microscopic, activity-based approach. Travel behavior is modeled based on the full sequence of daily activities that drive travel demand.

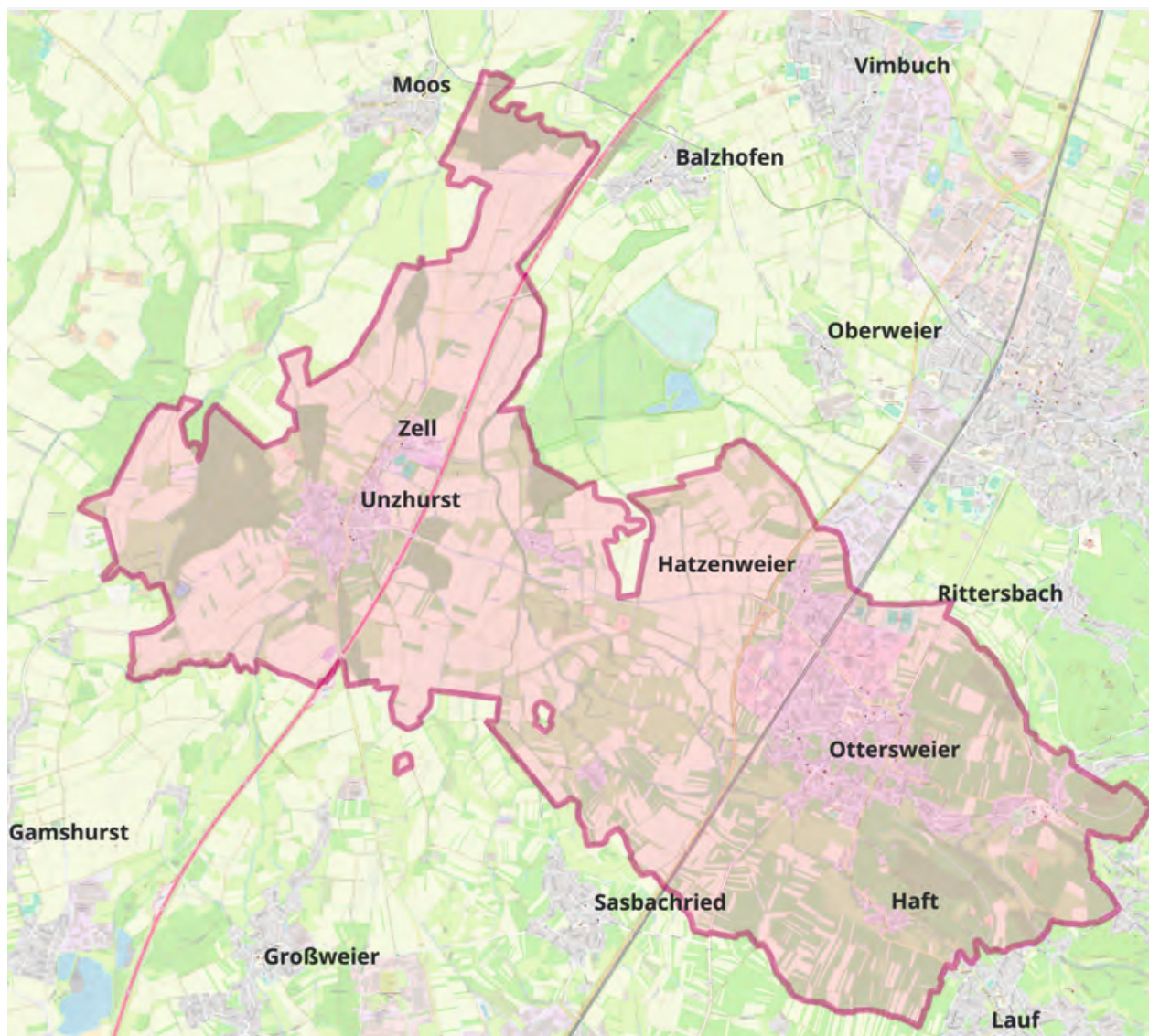


Figure 1. On-demand service area in Ottersweier.

Instead of viewing travel as isolated trips between origin and destination zones, MATSim considers travel as a consequence of the need to perform activities that cannot be done in the current location. This activity-based perspective allows MATSim to represent individual travelers (agents) in great detail. Each agent has a daily schedule and makes decisions about when, where, and how to travel, adapting gradually based on experience.

MATSim operates through an iterative simulation loop, often described as a non-cooperative game. The cycle begins with initial demand, defined by predefined activity plans for all agents. These plans can be derived from mobility surveys, validated or supplemented by census data or mobile phone records. The plans include activity locations, timing, and transportation modes. They are executed in the Mobility Simulation (Mobsim) module, which uses a queue-based simulation to represent traffic dynamics.

After execution, each plan is scored, considering factors such as travel time, waiting time, and activity performance. Agents then enter a replanning phase, modifying their choices—such as routes, departure times, or transport modes—to improve outcomes in subsequent iterations. This loop continues until the system reaches a stochastic user equilibrium, where no agent can significantly improve its

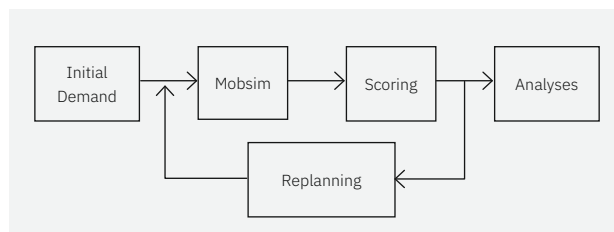


Figure 2 MATsim loop, also called MATsim cycle.

score by making individual changes.^[1] Results are captured via a comprehensive event-based system that facilitates in-depth analysis of traffic patterns, policy impacts, and infrastructure changes. This loop is illustrated in Figure 2.

Implementation of On-Demand Transport in Ottersweier

To explore a new sustainable transport option in Ottersweier, a special feature of the MATSim simulation framework—called the Demand Responsive Transport (DRT) module—was used to simulate an on-demand mobility service. This service was modeled within the area shown in Figure 1, using map data sourced from OpenStreetMap.^[2]

For this study, only individuals who reported making daily trips within the service area were considered, resulting in a

[1] Horni, Andreas / Nagel, Kai / Axhausen, Kay W. (eds.): Multi-Agent Transport Simulation MATSim. Ubiquity Press, London 2016. URL: <https://www.ubiquitypress.com/books/e/10.5334/baw> (last accessed: July 14, 2025)

[2] OpenStreetMap contributors: OpenStreetMap – Map data. Available at: <https://www.openstreetmap.org> (last accessed: July 14, 2025)

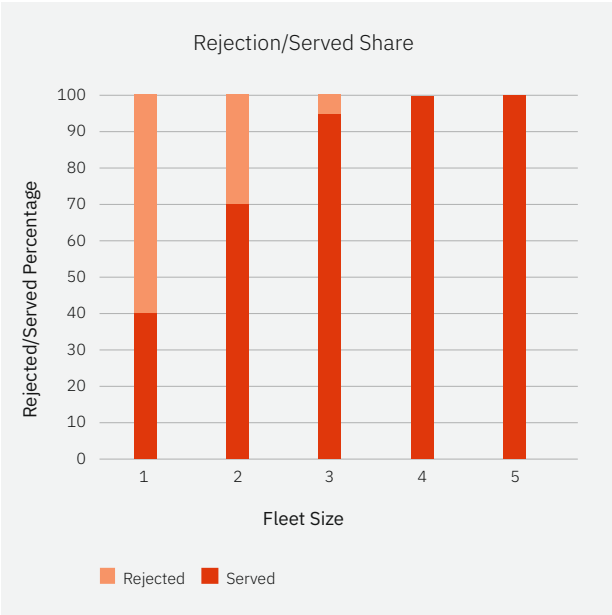


Figure 3. Rejection rate for different fleet sizes.

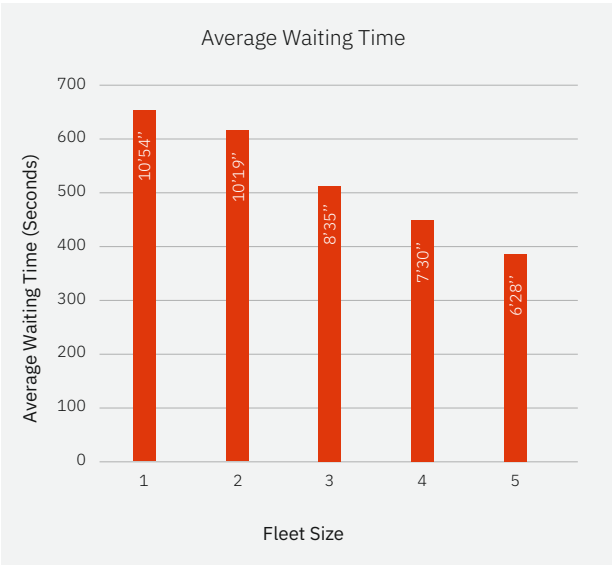


Figure 4. Average waiting time for different fleet sizes.

total of 93 individuals who performed 271 trips on a single day. Initially it was assumed that all individuals would use the on-demand service exclusively for their travel needs.

To enhance the service’s attractiveness, a door-to-door model was implemented. Passengers are picked up and dropped off at the nearest street to their origin and destination points, eliminating the need for additional walking. Each vehicle accommodates up to six passengers, with a one-minute stop duration for boarding and alighting. The system operates throughout the day, with a maximum passenger waiting time of 20 minutes. Requests exceeding this threshold are rejected. However, average waiting times are typically shorter, as detailed below. Additionally, a departure time flexibility of up to 15 minutes was introduced, allowing passengers to adjust their plans as needed.

To determine the optimal fleet size, simulations were run using between 1 and 5 vehicles.

First results

Figure 3 shows the rejection rate and service ratio for each fleet size, while Figure 4 illustrates average waiting times. As expected, larger fleets reduce rejection rates and waiting times. With four vehicles, almost all requests can be met efficiently.

The simulation results, based on real survey data, indicate that replacing private car usage with a fleet of just four on-demand vehicles in the area could substitute for 93 private cars while still meeting all trip demands.

This significant reduction in vehicle numbers is achieved without compromising service quality, as the majority of users experience waiting times of about 7 minutes, which is much less than the frequency of the existing bus service. Further, as the density of bus stops in the area is relatively low, residents face long access routes to their bus stops. Therefore, the door-to-door service of the on-demand-system provides a better service than the existing bus service.

Need for further development

The approach shown assumes that the on-demand offer replaces all routes documented in the survey. The approach neglects the fact that only 6% of the resident population

was represented in the survey, and that residents can choose between modes of transportation. Therefore, it is not yet possible to estimate whether 6% of journeys would definitely be made using an on-demand service.

In a second step, the on-demand offer should be integrated into the model parallel with the other modes of transport, thus enabling an initial estimate of the choice of transport mode. If the results are plausible, a pilot traffic trial can be considered.

The findings indicate that data-driven, flexible transport systems have a lot of potential to address the limitations of conventional mobility models in rural areas and to support more sustainable and efficient transport planning in the future. ✕

Authors

Alireza Salehi Tirabadi, M.Sc.

Research associate at the Institute of Transport and Infrastructure, Karlsruhe University of Applied Sciences.

Prof. Dr.-Ing. Jan Riel

Professor of Transportation Planning and Traffic Engineering at the Faculty of Architecture and Civil Engineering at Karlsruhe University of Applied Sciences, and spokesperson for the Institute of Transport and Infrastructure.

Contact

Prof. Dr.-Ing. Jan Riel
Faculty of Architecture and Civil Engineering
Moltkestraße 30
76133 Karlsruhe
Room B-308
E-Mail: jan.riel@h-ka.de

Anzeigen

Hochschule Karlsruhe
University of
Applied Sciences



13. Juni und
18. November
2026

Der Campustag an der HKA

Einblick Studium – Ausblick Beruf

Infos und Programm unter
www.h-ka.de/campustag →



CAMA: Reallabore für sicheren Fuß- und Radverkehr in Afrika

Catharina Lutz, Jochen Eckart

DE Das Forschungsprojekt CAMA – Collaboration for Active Mobility in Africa (2021–2025) verfolgte das Ziel, aktive Mobilität in Städten Subsahara-Afrikas gezielt zu fördern. In gemeinsamer Zusammenarbeit entwickelten die Hochschule Karlsruhe und Universität Kassel sowie die Partnerhochschulen in Nairobi, Kampala und Mekelle datenbasierte und partizipative Maßnahmen zur Verbesserung der Sicherheit und sozialen Gerechtigkeit im Fuß- und Radverkehr. Zentrale Bestandteile waren die Umsetzung verkehrsberuhigender Maßnahmen im Rahmen von Living Labs, der Einsatz digitaler Werkzeuge wie Crowd Mapping und videobasierter Verkehrskonfliktanalysen sowie die Entwicklung des ersten nationalen Fahrradtrainingshandbuchs für Kenia. CAMA verdeutlicht, wie durch kooperative Forschung, Co-Creation und Bildungsansätze praxisnahe und nachhaltige Mobilitätslösungen im afrikanischen Kontext entstehen können.

EN The research project CAMA – Collaboration for Active Mobility in Africa (2021–2025) aimed to strengthen active mobility in Sub-Saharan African cities. In close collaboration, Karlsruhe University of Applied Sciences and partner universities in Nairobi, Kampala, and Mekelle developed data-driven and participatory measures to improve safety and social equity in walking and cycling. Key components included the implementation of traffic-calming interventions within Living Labs, the use of digital tools such as crowd mapping and video-based traffic conflict analysis, as well as the development of Kenya's first national cycling training manual. CAMA demonstrates how cooperative research, co-creation, and educational approaches can contribute to practical and sustainable mobility solutions in the African urban context.

In vielen Städten in Subsahara Afrika werden die meisten Wege zu Fuß zurückgelegt, die Verkehrsinfrastruktur jedoch ist für den Kfz-Verkehr gestaltet. Mit dem Projekt CAMA – Collaboration for Active Mobility in Africa entwickelte die Hochschule Karlsruhe gemeinsam mit Partnerinstitutionen und Akteuren aus der Planungspraxis und der Zivilgesellschaft aus Kenia, Uganda und Äthiopien konkrete Strategien zur Förderung des Zufußgehens und Radfahrens in Städten des globalen Südens.

Im Mittelpunkt stand die Frage: Wie lässt sich aktive Mobilität sicherer, inklusiver und sozial gerechter gestalten – unter aktiver Einbindung der Menschen vor Ort? Das Projekt lief von Januar 2021 bis Mai 2025 und wurde durch das Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) und den Deutschen Akademischen Austauschdienst (DAAD) gefördert.

Von Daten zur Maßnahme zum Lernen: Das Prinzip Living Lab

Kern des Projekts waren sogenannte Living Labs – Reallabore, in denen gemeinsam mit Bürger:innen, lokalen Behörden, Wissenschaft und zivilgesellschaftlichen Gruppen Lösungen für mehr Sicherheit und Zugänglichkeit für Fuß- und Radverkehr entwickelt, temporär getestet und gemeinsam aus den Ergebnissen gelernt wurden. Ziel war es, aktive Mobilität nicht nur technisch, sondern sozial gerecht und menschenorientiert zu gestalten.

Datengestützte Analyse: Crowd Mapping und Videobeobachtung

Viele Städte in Subsahara-Afrika zeichnen sich durch fehlende Daten zum Fuß- und Radverkehr aus, die für eine fundierte Planung von Strategien fehlen. Um schnell und zuverlässig Daten zu gewinnen, kamen zwei innovative Methoden zum Einsatz:

- + Ein Crowdmappingtool, mit dem Bürger:innen über eine Web-App Gefahrenstellen, fehlende Infrastruktur oder Verbesserungsvorschläge für den Fuß- und Radverkehr direkt auf einer Karte markieren konnten.



Abb. 1: Living Labs in Mekelle: Neugestaltung eines Straßenzugs nahe eines Marktplatzes zur Verbesserung der Verkehrssicherheit und Aufenthaltsqualität. (Foto: CAMA / Hochschule Karlsruhe)

+ Sowie eine videobasierte Verkehrskonfliktanalyse, bei der Videoaufnahmen, von den durch Bürger:innen gemeldeten Standorten, nach Verkehrskonflikten als Indikator für die Verkehrssicherheit ausgewertet wurden.

In Kampala zeigte die Analyse an der Sir Apollo Kaggwa Road eine hohe Dichte an gefährlichen Querungen – insbesondere zwischen Universität und Studierendenwohnheim. Als besonders risikobehaftet erwies sich das Verhalten von Motorradtaxi (Boda Bodas), die häufig Verkehrsregeln missachten und in der Folge querende Fußgänger:innen gefährden. Auf dieser Basis wurden Lösungen für „selbstregulierende“ Querungsstellen entwickelt, die mit vorgezogenen Seitenräumen, Mittelinseln, Geschwindigkeitsschwellen etc. die Querung für die Fußgänger:innen, unabhängig von der Regelbefolgung der Kfz, sicherer machen. Die Lösungen sind damit abgestimmt auf das tatsächliche Verhalten und die Bedürfnisse der Nutzenden.

Auch in Nairobi wurde Handlungsbedarf deutlich: Entlang des stark befahrenen, achtspurigen University Way existiert zwar eine Fußgängerbrücke, doch deren Lage ist für viele Nutzenden unpraktisch. Die Folge sind zahlreiche zu Fuß Gehende, welche die achtspurige Straße ungesichert queren. Die gemeinsam mit den Akteuren entwickelte Lösung ist eine niveaugleiche, direkte Querung mit Mittelinsel, Z-förmigem Layout zur besseren Sichtbeziehung und flankierenden Maßnahmen zur Temporeduktion.

In Mekelle liegen die Herausforderungen vor allem an belebten Marktplätzen: Dort fahren und parken motorisierte Dreiräder (TukTuks) oft rücksichtslos und blockieren Sichtachsen für Fußgänger:innen. Zusätzlich beeinträch-



Abb. 2: Workshops in Mekelle: Gemeinsames Arbeiten an einem Verständnis für die Bedeutung aktiver Mobilität im öffentlichen Straßenraum mit Vertreter:innen aus Verwaltung, Zivilgesellschaft und Wissenschaft. Quelle: CAMA / Hochschule Karlsruhe



Abb. 3: Bauarbeiten im Rahmen des Living Labs in Kampala: Markierungsarbeiten und bauliche Maßnahmen zur Erhöhung der Verkehrssicherheit für Fußgänger:innen an der Sir Apollo Kaggwa Road. Quelle: CAMA / Hochschule Karlsruhe



Abb. 4: Einweihung des Living Labs in Mekelle: Neugestaltung eines Straßenzugs nahe eines Marktplatzes zur Verbesserung der Verkehrssicherheit und Aufenthaltsqualität. (Foto: CAMA / Hochschule Karlsruhe)

tigt die Luftqualität die Aufenthaltsqualität im öffentlichen Raum, während Gehwege häufig zugunsten von Parkflächen oder Verkaufsständen weichen müssen. Mithilfe von Drohnenkameras wurden hier Bewegungsanalysen durchgeführt, die Aufschluss über Nutzungsmuster gaben und halfen, gezielt konfliktträchtige Stellen für Interventionen auszuwählen.

Umsetzung der Living Labs: drei Städte, drei Wege

Wie unterschiedlich die Rahmenbedingungen vor Ort sind, zeigt sich besonders in der praktischen Umsetzung der Living Labs – und damit auch im Variantenreichtum der Lösungsansätze.

In Kampala wurde im Rahmen eines Living Labs eine Querungsstelle umgestaltet: Bauliche Verengungen, Mittelinseln und neue Markierungen reduzieren dort heute die Geschwindigkeit von Pkw und Boda Bodas. Zusätzlich soll die Ampelschaltung verbessert werden, da bisher lange Wartezeiten dazu führten, dass viele Passant:innen die Signale ignorierten. Eine angepasste Steuerung soll künftig dafür sorgen, dass Fahrzeuge zuverlässig anhalten, wenn Personen queren.

In Nairobi war eine bauliche Umsetzung eines Living Labs – trotz intensiver Gespräche mit der Kenya National Highways Authority (KeNHA) – nicht möglich. Zusammen mit den Akteuren wurde jedoch ein Fahrradtrainingshandbuch als Comic entwickelt, welches Kenntnisse zum sicheren Radfahren in Nairobi vermittelt und so Radfahrende fördert – bis die Infrastruktur eines Tages nachzieht.

In Mekelle wurde in einem Living Lab ein ganzer Straßenzug nahe eines Marktplatzes neu strukturiert. Der Kfz-Verkehr wird einspurig geführt, klar markierte Parkzonen regeln den ruhenden Verkehr, und gezielte Straßenbegrünung sorgt dafür, dass TukTuks nicht wahllos abgestellt werden. Die im Living Lab getesteten Lösungen wurden erfolgreich evaluiert und ausgewählte Maßnahmen dauerhaft umgesetzt.

Wirkung und Ausblick

CAMA hat gezeigt: Verbesserungen für aktive Mobilität entstehen dort, wo lokales Wissen, Forschung, Partizipation und gemeinsames Lernen zusammenwirken. Besonders in den Städten Subsahara-Afrikas, die durch mangelnde Daten, begrenzte Budgets, zahlreichen zu Fuß Gehenden und einer autoorientierten Infrastruktur geprägt sind, braucht es evidenzbasierte, kreative und zugleich menschenorientierte Lösungen.

Das Projekt liefert wichtige Grundlagen für zukünftige Maßnahmen, etwa die Verstetigung der Living Labs oder den Transfer des Crowdmappingtools in neue Kontexte. Auch die entwickelten Bildungsangebote – wie das Fahrradtrainingshandbuch – können langfristig Wirkung entfalten. ✕

Autor:innen

Catharina Lutz M.Sc

Akademische Mitarbeiterin am Institut für Verkehr und Infrastruktur

Prof. Dr. Jochen Eckart

Projektleiter des Projekts CAMA – Collaboration for Active Mobility in Sub-Saharan Africa und stellvertretender Institutsleiter des Instituts für Verkehr und Infrastruktur

Kontakt

Prof. Dr. Jochen Eckart
HKA – Hochschule Karlsruhe
Fakultät für Informationsmanagement und Medien
Institut für Aktuelle Forschung (AF)
Moltkestraße 30
76133 Karlsruhe
E-Mail: jochen.eckart@h-ka.de

Die Fraunhofer-Gesellschaft ist die weltweit führende Organisation für angewandte Forschung.

Veränderung
startet mit uns

 **Fraunhofer**

In Karlsruhe sind wir gleich mit drei Instituten (**ICT**, **IOSB**, **ISI**) vertreten und bieten euch vielfältige Einstiegsmöglichkeiten, egal ob Studierende*r, Absolvent*in oder Berufserfahrene*r:

- Tätigkeiten als studentische Hilfskraft
- Praktika und Abschlussarbeiten
- Direkteinstieg als Wissenschaftler*in
- Möglichkeit zur Promotion

So vielfältig wie deine Karrieremöglichkeiten mit Fraunhofer, sind auch unsere Forschungsfelder:

- Chemische Prozesse
- Kunststofftechnologie
- Energie und Antriebe
- Explosivstofftechnik und Sicherheit
- Künstliche Intelligenz und Maschinelles Lernen, KI-Engineering

- Semantische Bild- und Videoanalyse
- Mobile autonome Systeme
- Gesellschaft und Politik
- Innovationen und Nachhaltigkeit
- Erneuerbare Energien und neue Technologien
- u.v.m!

Werde Teil des Teams!



KARRIERE
bei den
Stadtwerken
Heidelberg

**SO WILL
ICH
ARBEITEN.DE**



  
[sowillicharbeiten.de](https://www.sowillicharbeiten.de)

**stadtwerke
heidelberg** 

SuLaMo: Nachhaltiges Land- und Wassermanagement durch Entsalzung

Edgardo Canas Kurz, Ismail AitLahssaine, Duc Dinh Ngoc, Ulrich Hellriegel, Jan Hoinkis

DE In ariden Regionen wie der marokkanischen Rheris-Oase verschärfen Klimawandel und eine nicht nachhaltige Landwirtschaft die Wasserknappheit. Deshalb ist es wichtig, zukünftig nicht konventionelle Wasserquellen, wie etwa salines Grundwasser zu entsalzen und für die Bewässerung zu nutzen. Im Projekt SuLaMo wurde ein nachhaltiges Konzept zur Brackwasserentsalzung mittels solarbetriebener Membran-Kapazitiver Entionisierung (MCDI) erprobt. In Pilotversuchen unter realen Bedingungen konnte mit einem spezifischen Energiebedarf von 3,5 kWh/m³ eine Entsalzungsrate von 50 % und eine Wasserausbeute von 60 % erzielt werden. Die Integration in ein sensorgestütztes Bewässerungssystem ermöglichte eine effiziente Wassernutzung.

EN In arid regions like the Moroccan Rheris Oasis, climate change and unsustainable agricultural practices are worsening water scarcity. Therefore, it is important to desalinate unconventional water sources, such as saline groundwater, for future irrigation. The SuLaMo project tested a sustainable concept for desalinating brackish water using solar-powered membrane capacitive deionization (MCDI). Pilot tests achieved a desalination rate of 50% and a water recovery of 60% with a specific energy consumption of 3.5 kWh/m³. Integration into a sensor-supported system enabled efficient water use.

In vielen ariden und semi-ariden Regionen stellt die unzureichenden Wasserverfügbarkeit sowie die fortschreitende Verschlechterung der Wasserqualität eine zunehmende Herausforderung dar. Um den steigenden Wasserbedarf in diesen Gebieten, wie beispielsweise in der Rheris-Oase, im Südosten Marokkos zu decken, sehen sich Landwirtinnen und Landwirte mit erheblichen Schwierigkeiten konfrontiert. Diese Problematik wird durch den Klimawandel und nicht nachhaltige Landwirtschaftspraktiken zusätzlich verschärft. Mit diesen Herausforderungen befasste sich das SuLaMo-Forschungsprojekt (www.sulamo.de) durch die Integration eines nachhaltigen Konzepts zur intelligenten Bewässerung sowie die Entwicklung und Optimierung eines solarbetriebenen, membrankapazitiven Entsalzungssystems (membrane capacitive deionisation, MCDI).

Weltweit werden vor allem Entsalzungstechnologien wie die Umkehrosmose (RO) und die Multi-Stage-Flash (MSF) eingesetzt, aber je nach Anwendungsgebiet können auch unterschiedliche Hybridsysteme zum Einsatz kommen. ^[1] Eine relativ neue Entsalzungstechnik ist die sogenannte Membranbasierte Kapazitive Entionisierung. Sie basiert auf der Elektrosorption von Salzen mithilfe poröser Kohlenstoffelektroden bei Anlegung einer geringen Spannung (< 2 V). ^[2] Der Prozess wird nach Elektrodensättigung – nach etwa wenigen Minuten – umgepolt, um die Elektroden in einem alternierenden Prozess zu regenerieren. Der wesentliche Vorteil der MCDI liegt in ihrer überlegenen Entsalzungseffizienz, ihrer hohen Wasserrückgewinnungsrate (WR) sowie ihrem energiesparenden Betrieb bzw. ihrem geringen spezifischen Energieverbrauch (engl. Specific Energy Consumption, SEC).

Trotz Fortschritten bestehen weiterhin Optimierungspotenziale bei der Skalierung, Elektrodenlebensdauer, Wartung und dem Salzzückhalt. Die MCDI ist derzeit nur für Brackwasser mit niedrigem bis mittleren Salzgehalt (1–5 g/L) geeignet. Höhere Salzkonzentrationen erfordern sehr hohe Stromstärken (bis zu 200 A) und führen zu schnellerer Elektrodensättigung. Die IKKU-Forschungsgruppe Wassertechnologie an der HKA treibt seit mehreren Jahren die MCDI-Anwendungsforschung voran. Im Rahmen des Projekts SuLaMo wurden diese Problematiken in Pilotversuchen adressiert.



Versuchsfelder mit Luzerne (Alfalfa) zur Untersuchung der Auswirkungen von Bewässerung mit entsalztem und nicht entsalztem Wasser im Rahmen eines landwirtschaftlichen Forschungsprojekts in Goulmima, einer Oase südlich des Atlasgebirges. (Foto: Edgardo Kurz)

Pilotierung

Das SuLaMo-Konzept setzt auf einen technologiegetriebenen Ansatz zur Förderung einer resilienten Landwirtschaft in ariden und semi-ariden Regionen, exemplarisch umgesetzt in Marokko. Im Fokus stehen innovative Technologien zur Effizienzsteigerung in der landwirtschaftlichen Produktion: Dazu zählen fortschrittliche, wassersparende Boden- und Bewässerungssysteme, wie unterirdische Tropfbewässerung und gezieltes Mulchen, der Einsatz erneuerbarer Energietechnologien zur autonomen Energieversorgung sowie die Anwendung kapazitiver Entionisierung als neuartiger, energieeffizienter Technologie zur Entsalzung von brackischem Grundwasser.

Die MCDI wurde in der Region von Goulmima-Errachidia, Marokko (Abbildung 1) zur Behandlung von brackischem Grundwasser (3,8 g/L bzw. 6300 $\mu\text{S/cm}$) pilotiert, um unterschiedliche jährlichen Feldfrüchten und Kulturen (z. B. Mais, Alfalfa, Weizen) zu bewässern. Salines Grundwasser wurde zunächst in einen Vorratstank gepumpt und anschließend mithilfe der solarbetriebenen MCDI auf unterschiedliche Entsalzungsstufen (z. B. 3 – 2 g/L) aufbereitet. Danach wurde das aufbereitete Wasser zur Bewässerung der Felder mittels sensorunterstützter unterirdischer Tropfbewässerung verwendet (Abbildung 2).

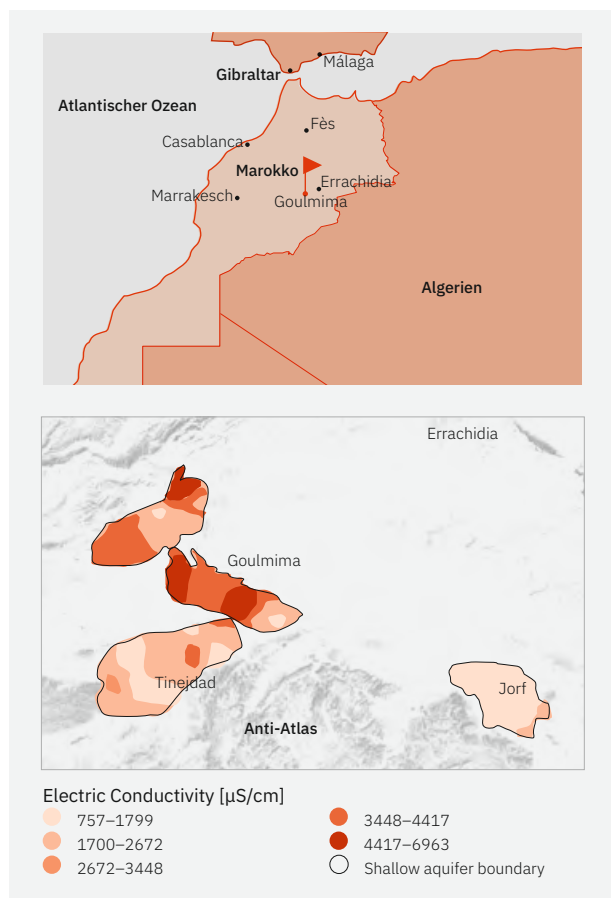


Abb. 1: SuLaMo Pilotstandort Goulmima-Errachidia, Marokko und Aquifersalinität (Ismail AitLahsaine et al. ^[3] ^[4])

Das vielleicht größte Umweltproblem mit Entsalzungsprozessen ist die Produktion und Behandlung des hypersalinen Konzentrats.

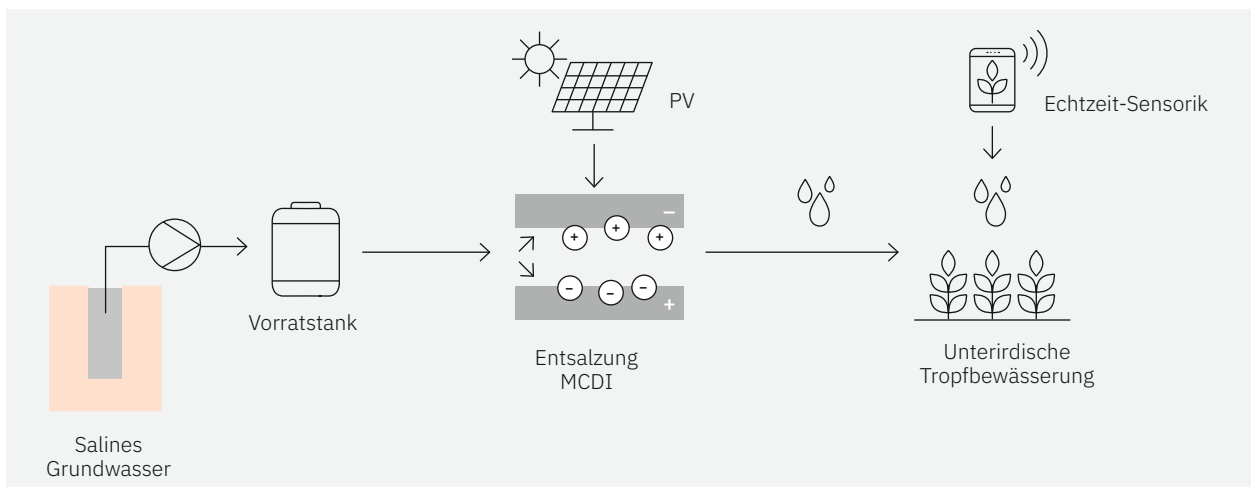


Abb. 2: SuLaMo-Konzeptschema zur Brackwasserentsalzung und Bewässerung inkl. PV-betriebene MCDI-Entsalzung und sensorgestützte unterirdische-Tropfbewässerung (SDI) (Schaubild: Jan Hoinkis).

Ergebnisse

Im Laufe der zweijährigen Pilotphase wurden verschiedene Tests durchgeführt, um die optimalen Betriebsparsparameter der MCDI zu ermitteln, die Wasserausbeute zu maximieren und den Energieverbrauch zu minimieren.

Die Auswahl der optimalen Einstellungen für einen effizienten Langzeitbetrieb basiert auf einer umfassenden Auswertung der Leistungsdaten. In dieser Studie wurde die Entsalzungsleistung im Bezug auf der Durchflussrate optimiert sowie die Einstellung der Phasenzeiten (Entladung, Ladung, Vorladung, usw.), um die Systemeffizienz im Bezug auf Wasserrückgewinnung WR (engl. Water Recovery, WR), spezifischer Energiebedarf SEC und Entsalzungsrate RR (engl. Rejection Rate, RR) zu verbessern. Die MCDI wurde insgesamt 19 Monate lang betrieben mit einer Effizienz der Ionenentfernung von mindestens $RR = 50\%$ bei einer Wasserrückgewinnung von $WR = 60\%$ und einem spezifischen Energiebedarf von $SEC = 3,5 \text{ kWh/m}^3$. Die MCDI ermöglicht somit eine effiziente, kontinuierliche Entsalzung mit stabiler Wasserausbeute und geringem Energieverbrauch.

Eine besondere Herausforderung am Pilotstandort war der hohe Gehalt an Carbonathärte durch Magnesium und Calcium. Durch die hohe Wasserhärte war eine häufige Reinigung der Anlage mit Zitronensäure erforderlich.

Das vielleicht größte Umweltproblem im Zusammenhang mit Entsalzungsprozessen ist die Produktion und Behandlung des hypersalinen Konzentrats (auch Sole genannt) als Abfallstrom, der in die Umwelt gelangt. Die Salzsoleproduktion ist Teil des Betriebsprozesses jeder Entsalzungsanlage. Um negative Auswirkungen auf Boden und Grundwasser zu vermeiden, wurde die Sole in einem 200 m^2 großen Verdunstungsteich nahe der Pilotanlage aufgefangen. Dieses Vorgehen ist jedoch nur bei geeigneten Wetterbedingungen und ausreichendem Platz wirtschaftlich umsetzbar.

Entscheidend für die Umweltbilanz ist das Verhältnis zwischen behandeltem Wasser und anfallender Sole. Eine alternative Strategie ist die Nutzung der Sole zur Bewässerung salztoleranter Pflanzen (z. B. Halophyten) in Kombination mit Geomembranen, um Salzurückstände im Boden zu verhindern.

[1] AlMallahi, M. N. et al. Case Studies in Chemical and Environmental Engineering, vol. 10, 2024.
[2] Tauk, Myriam Clean Water: Next Generation Technologies, S. 25–40. In: Springer Publishing, 2024.

[3] Ait Lahssaine, I. et al. Euro-Mediterranean Journal for Environmental Integration 9 2024. S. 2109–2122.
[4] Ait Lahssaine, I. et al. Scientific African, Volume 26 e02396, 2024.

[5] Jones, E. et al. Science of the Total Environment, vol. 657, 2019. S. 1343–1356,



Abb. 3: PV Anlage zur Energieversorgung am Standort Goulmima
(Foto: Edgardo Kurz)

Ausblick

Die MCDI-Pilotanlage zeigte gute Ergebnisse bei der langfristigen Entsalzung von Brackwasser mit niedriger Salzkonzentration. Die Soleentsorgung bleibt trotz hoher Wasserrückgewinnung eine Herausforderung und erfordert weitere Forschung.

Zum Projektabschluss fand im Mai 2025 eine internationale Konferenz in Meknès (Marokko) mit über 60 Beiträgen statt. Dort wurden die Ergebnisse vorgestellt und zukünftige Ansätze für eine nachhaltige Land- und Wasserwirtschaft mit internationalen Partnern diskutiert. Auch die Fortsetzung der Zusammenarbeit über das Projektende hinaus wurde thematisiert. ✕

Autoren

Dr.-Ing. Edgardo Cañas Kurz

Duc Dinh Ngoc M.Sc.

Dr. Ulrich Hellriegel Peixeiro

Wissenschaftliche Mitarbeiter am Institut für Klima-, Kälte-, und Umwelttechnik an der Hochschule Karlsruhe

Ismail AitLahssaine

Wissenschaftlicher Mitarbeiter an der Fakultät für Wissenschaft und Technik Errachidia, Moulay Ismail University, Marokko

Prof. Dr.-Ing. Jan Hoinkis

Projektleiter des Projekts SuLaMo

Kontakt

Prof. Dr.-Ing. Jan Hoinkis

HKA – Hochschule Karlsruhe

Fakultät für Elektro- und Informationstechnik

Moltkestraße 30

76133 Karlsruhe

E-Mail: jan.hoinkis@h-ka.de

Regionales Fabrik-Sharing

Der Schlüssel zu resilienten und nachhaltigen Wertschöpfungsnetzwerken für KMU

Patrick Fomferra, Kartik Tambe, Sebastian Beiner, Marco Baumgartner, Steffen Kinkel

DE Globale Krisen und geopolitische Spannungen haben die Verwundbarkeit globalisierter Wertschöpfungsnetzwerke offengelegt und erhöhen den Druck auf produzierende Unternehmen – insbesondere auf KMU. Aufgrund begrenzter Ressourcen fehlen diesen jedoch häufig die Voraussetzungen, um resilient aufgestellt zu sein. Zentrale Resilienzfähigkeiten wie Flexibilität, Transparenz, Redundanz und Zusammenarbeit sind oft nur unzureichend ausgeprägt. Das Konzept des Fabrik-Sharings bietet neue Gestaltungsoptionen, um regionale Fertigungskapazitäten effizient zu nutzen und Wertschöpfungsnetzwerke widerstandsfähiger zu machen. Diesen Ansatz verfolgt das Forschungsprojekt RegioFab gezielt.

EN Global crises and geopolitical tensions have exposed the vulnerability of globalised value creation networks, putting increased pressure on manufacturing companies, particularly SMEs. However, due to limited resources, they often lack the prerequisites for resilience. Key resilience capabilities such as flexibility, transparency, redundancy and collaboration are often underdeveloped. The concept of shared factories offers new ways to efficiently utilise regional production capacities and make value creation networks more resilient. The RegioFab research project specifically pursues this approach.

Aufgrund von hohem Kostendruck wurden Lieferketten und Produktionssysteme in den vergangenen Jahrzehnten häufig so kosteneffizient wie möglich gestaltet, sodass deutsche Unternehmen ihre Produktionsaktivitäten weitgehend globalisiert haben. Verschiedene unerwartete Ereignisse stellten globale Wertschöpfungsnetzwerke zuletzt wiederholt auf die Probe und offenbarten eine gestiegene Fragilität.^[1] Gestiegene und schwankende Rohmaterial- und Energiepreise, Versorgungsengpässe sowie unsichere Lieferketten haben sich nicht nur deutlich während der Covid-19-Pandemie gezeigt, sondern sind auch das Resultat wiederkehrender und andauernder geopolitischer Konflikte und protektionistischer Maßnahmen. Dies setzt produzierende Unternehmen im internationalen Wettbewerb erheblich unter Druck, da sie immer häufiger und in immer kürzerer Zeit auf unerwartete Ereignisse reagieren müssen. Das bekommen insbesondere kleine und mittlere Unternehmen (KMU) zu spüren, da sie selten über ausreichende Marktmacht verfügen, um diesem Druck zu entgegnen. Daher überdenken immer mehr Unternehmen ihre Strategien und versuchen einen verstärkten Fokus auf die Resilienz ihrer Lieferketten und Produktionssysteme zu legen. Unter Resilienz wird in diesem Kontext die Fähigkeit verstanden, im Angesicht von Veränderungen zu bestehen, sich anzupassen oder zu transformieren.^[2]

Auch wenn das Bewusstsein für die eigene Störanfälligkeit bei KMU bereits sehr ausgeprägt ist, fehlt es ihnen meist an Voraussetzungen, um sich resilient aufstellen zu können. Dies verdeutlicht sich an verschiedenen zentralen Resilienzfähigkeiten:

Flexibilität beschreibt die Fähigkeit, sich nach dem Eintreten einer Störung schnellstmöglich und mit möglichst geringem Aufwand so anzupassen, dass alle Kundenerwartungen weiterhin erfüllt werden können.^[3]

Transparenz und Sichtbarkeit beschreiben die Fähigkeit, relevante Informationen im Unternehmen und entlang der Lieferkette zu erfassen und akteurübergreifend zu teilen^[4]. Mit digitalen Technologien können Prozesse in KMU Transparenz und Effizienz steigern und darüber hinaus die Integration von Wertschöpfungspartnern ermöglichen.

- [1] Lund, S.; Manyika, J.; Woetzel, J.; Barribal, E.; Krishnan, M.; Alicke, K.; Birshan, M.; George, K.; Smit, S.; Swan, D.; Hutzler, K.: Risk, resilience, and rebalancing in global value chains, 2020.
- [2] Wieland, A.; Wallenburg, C.M.: The influence of relational competencies on supply chain resilience: a relational view. In: International Journal of Physical Distribution & Logistics Management 43(2013) 4, pp. 300–320.
- [3] Erol, O.; Sauser, B.J.; Mansouri, M.: A framework for investigation into extended enterprise resilience. In: Enterprise Information Systems 4(2010) 2, pp. 111–136.
- [4] Liu, Y.; Du, J.; Kang, T.; Kang, M.: Establishing supply chain transparency and its impact on supply chain risk management and resilience. In: Operations Management Research 17(2024) 3, pp.1157–1171.
- [5] Sheffi, Y.; Rice J.B.: A Supply Chain View of the Resilient Enterprise. In: MIT Sloan Management Review 47(2005) 1, pp. 41–48.
- [6] Scholten, K.; Schilder, S.: The role of collaboration in supply chain resilience. In: Supply Chain Management: An International Journal 20(2015) 4, pp. 471–484
- [7] Liepold, C.; Arslan, O.; Laporte, G.; Schiffer, M.: The Impact of Partial Production Capacity Sharing via Production as a Service. In: Computers & Operations Research 165(2024), 106587
- [8] Jiang, P.; Li, P.: Shared factory: A new production node for social manufacturing in the context of sharing economy. In: Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part B: Journal of Engineering Manufacture Vol. 234(2020), No. 1–2, pp. 285–294.
- [9] Küpper, D.; Kuhlmann, K.; Corey, A.; Saunders, M.; Huchzermeier, A.; Hypko, P.; Nordemann, J.: Boosting Resilience with Production as a Service, 2022

Redundanz beschreibt die Fähigkeit, negative Auswirkungen von unerwarteten Ereignissen durch Überkapazitäten in Form von Sicherheitsbeständen, Kapazitätspuffern oder mehrgleisigen Lieferketten abzufedern. ^[5] Solche Redundanzen sind jedoch mit einem finanziellen Investment und gebundenem Kapital verbunden.

Die *Zusammenarbeit* innerhalb eines Wertschöpfungsnetzwerkes beschreibt die Fähigkeit, durch gemeinsame Anstrengungen der verschiedenen Akteure Risiken zu minimieren, Störungen durch koordinierte Maßnahmen zu überwinden und Risiken über die Netzwerkpartner hinweg zu verteilen. ^[6] Einer solchen Kollaboration stehen häufig jedoch Vorbehalte entgegen.

Fabrik-Sharing als Gestaltungsoption

Die Entwicklung, Implementierung und Nutzung von regionalem Fabrik-Sharing kann als Katalysator für die Bewältigung dieser Hindernisse dienen und es KMU ermöglichen, Fertigungskapazitäten mit regionalen Unternehmen zu teilen. Erste Forschungsergebnisse unterstützen diese These. Es wurde unter anderem bereits gezeigt, dass verschiedene Fabrik-Sharing Ausgestaltungen die eigene Kapazitätsauslastung verbessern, ^[7] die Stillstandzeiten reduzieren ^[8] und Möglichkeiten zur Diversifizierung des Anlagenrisikos bieten. ^[9] Somit birgt das Konzept Fabrik-Sharing das Potenzial, die eigene Widerstandskraft und Wettbewerbsfähigkeit zu erhöhen. Aber was genau wird unter Fabrik-Sharing verstanden?

Der Begriff Fabrik-Sharing wird übergreifend für verschiedene Konzepte benutzt. Nachfolgend sind drei der bekanntesten Ausprägungen aufgeführt:

Order-Sharing: Bei dieser Ausprägung lagern Unternehmen ihre meist nicht zum Kerngeschäft gehörenden Produktionsaufträge an andere Unternehmen aus, die Teil eines Fabrik-Sharing Netzwerkes sind. Dadurch können unter anderem überschüssige oder margenschwache Produktionsaufträge bei guter Auslastung extern vergeben werden. Ein Elektronikfertiger kann, beispielsweise bei zu hoher Auftragslage, Aufträge für wenig komplexe Kleinserien



Abb. 1: Digitales, nachhaltiges und resilientes Fabrik-Sharing im Forschungsprojekt RegioFab. (Foto: Tobias Schwerdt)

auslagern, anstatt in die Erweiterung der eigenen Produktionslinie zu investieren. ^[8]

Ressource-Sharing: Bei dieser Ausprägung werden hochwertige Fertigungsressourcen gemeinsam genutzt. Zentralisierte Ressourcenzentren bieten anderen Unternehmen Zugang zu modernsten Anlagen auf Pay-per-Use- oder Mietbasis. Da keine Anschaffungskosten, Werksgebühren oder lange Einrichtungszeiten anfallen, senkt dieses Modell die Eintrittsbarrieren für kleine Hersteller. So können beispielsweise Start-ups Maschinen von etablierten Unternehmen nutzen, deren Anschaffung sie sich selbst nicht leisten können. Damit können kleine Unternehmen wachsen, während der Betreiber Einnahmen aus ungenutzten Ressourcen erzielt. ^[9]

Capability-Sharing: Bei dieser Ausprägung werden spezialisierte Fertigungsdienstleistungen von Unternehmen innerhalb des Netzwerkes angeboten, sodass andere Unternehmen, zumeist KMU, Zugang zu Nischenkompetenzen wie

Fabrik-Sharing birgt das Potenzial, die eigene Widerstandskraft und Wettbewerbsfähigkeit zu erhöhen.

Lackieren, Polieren, Strahlen usw. erhalten. Dieses Modell der gemeinsamen Nutzung von Kapazitäten verbessert die Prozessspezialisierung, fördert die Zusammenarbeit zwischen KMU und unterstützt eine umweltfreundliche, serviceorientierte Fertigungseffizienz.^[8]

Das Forschungsprojekt RegioFab

Um genauer zu untersuchen, wie Wertschöpfungsnetzwerke von KMU durch regionales Fabrik-Sharing resilienter und nachhaltiger gestaltet werden können, hat sich das Institut für Lernen und Innovation in Netzwerken (ILIN) der Hochschule Karlsruhe (HKA) mit dem Institut für Werkzeugmaschinen und Betriebswissenschaften (iwb) der Technischen Universität München (TUM) und fünf Unternehmenspartnern zusammengetan, um das Forschungsprojekt RegioFab (Fabrik-Sharing zur Steigerung von Resilienz und Nachhaltigkeit der Wertschöpfung von KMU) ins Leben zu rufen. Das im Januar 2025 gestartete Projekt hat das Ziel KMU Handlungsoptionen aufzuzeigen, die ihnen Alternativen zu globalen Lieferketten und den damit verbundenen Abhängigkeiten bieten. Dazu werden Ansätze entwickelt, wie produzierende Unternehmen mit überschüssigen Fertigungskapazitäten und Unternehmen mit Kapazitätsengpässen regional zusammengeführt werden können. Perspektivisch können daraus deutschlandweit regionale Fabrik-Sharing-Netzwerke entstehen. In der Projektlaufzeit werden unter Berücksichtigung mehrerer typischer Herausforderungen von KMU die notwendigen Rahmenbedingungen geschaffen. Insbesondere werden anhand dreier Anwendungsfälle Methoden und Tools entwickelt und erprobt. Diese sollen Produktionsprozesse agiler und flexibler gestalten, Planungs- und Auftragsbearbeitungsprozesse digitalisieren und transparenter machen sowie zur Gestaltung widerstandsfähiger und nachhaltiger regionaler Wertschöpfungsnetzwerke beitragen. Dadurch werden KMU resilienter und entwickeln Entscheidungskompetenzen, um die Vor- und Nachteile globaler und lokaler Wertschöpfungsketten gezielt abzuwägen.

Über die Förderung:

Das Forschungs- und Entwicklungsprojekt RegioFab wird durch das Bundesministerium Forschung, Technologie und

Raumfahrt (BMFTR) im Programm „Zukunft der Wertschöpfung – Forschung zu Produktion, Dienstleistung und Arbeit“ in der Fördermaßnahme „Dynamische Wertschöpfungsnetzwerke im turbulenten Umfeld – Aufbau von Resilienz in produzierenden Unternehmen (Resipro)“ (Förderkennzeichen: 02J23C000) gefördert und vom Projektträger Karlsruhe (PTKA) betreut. ✕

Autoren

Patrick Fomferra M.Eng.

Akademischer Mitarbeiter, Institut für Lernen und Innovationen in Netzwerken (ILIN) der HKA

Kartik Tambe M.Sc.

Akademischer Mitarbeiter, Institut für Lernen und Innovationen in Netzwerken (ILIN) der HKA

Sebastian Beiner M.Sc.

Akademischer Mitarbeiter, Institut für Lernen und Innovationen in Netzwerken (ILIN) der HKA

Marco Baumgartner M.Sc.

Akademischer Mitarbeiter, Institut für Lernen und Innovationen in Netzwerken (ILIN) der HKA

Prof. Dr. Steffen Kinkel

Leiter des Instituts für Lernen und Innovation in Netzwerken (ILIN), Studiendekan Internationales IT Business Bachelor, Professor für International Business, vernetzte Wertschöpfung und Innovationsmanagement

Kontakt

Prof. Dr. Steffen Kinkel

HKA – Hochschule Karlsruhe

Fakultät für Informatik und Wirtschaftsinformatik

Moltkestraße 30, 76133 Karlsruhe

E-Mail: steffen.kinkel@h-ka.de

INGBW

Ingenieurkammer Baden-Württemberg
voranbringen – vernetzen – versorgen

Reinhören:

INGcast, der Podcast der INGBW!

Überall da, wo es Podcasts gibt

MITGLIED WERDEN. KARRIERE STARTEN.

Werde Teil der INGBW.

Dein Studium ist der Grundstein.
Wir sind das Netzwerk für deinen Aufstieg.

www.ingbw.de



Gesellschaft für Baugeologie und -meßtechnik mbH Baugrundinstitut

Untersuchung, Planung und Beratung in den Bereichen

- Ingenieur- und Hydrogeologie
- Grundbau, Felsbau, Geomechanik
- Tunnel- und Kavernenbau
- Umwelt, Deponien
- Geotechnische Messungen

76275 Ettlingen

Nobelstr. 20
Tel. 07243 / 76 32 – 0

65549 Limburg

Robert-Bosch-Str. 7
Tel. 06431 / 91 12 – 0

85622 Feldkirchen

Dornacher Str. 3e
Tel. 089 / 36 03 517 – 70

67663 Kaiserslautern

Casimirring 71
Tel. 0631 / 89 24 893 - 0

www.gbm-baugrundinstitut.de



Städtisches Klinikum Karlsruhe

MEDIZIN TRIFFT TECHNIK & WIRTSCHAFT

Gestalte die Zukunft der Medizin mit deinem Talent! Schließe dich uns als Werkstudent*in an oder starte direkt nach deinem Studium in einem unserer vielfältigen Bereiche: Architektur, Ingenieurwesen, Medizintechnik, Informatik, Diagnostik oder Management. Werde Teil eines unserer innovativen Teams im größten Krankenhaus der Region.

www.Klinikum-Karlsruhe.de



Code scannen und deine
Möglichkeiten entdecken!



Sprache und Teilhabe im digitalen Zeitalter

Zehn Erfolgskriterien gelungener Öffentlichkeitsbeteiligung

Ian Brow, Loba Sagnol, Johannes Penka, Markus Stöckner, Carsten Hahn

DE Im Rahmen des Verbundprojekts PART-COM wurden zentrale Erfolgskriterien für gelungene Öffentlichkeitsbeteiligung identifiziert und validiert. Durch Expert:inneninterviews und einer Bürger:innenbefragung konnten zehn wesentliche Faktoren wie „Aufsuchende Formate“, „Feedback und Kommunikationskultur“ oder „Visualisierung“ herausgearbeitet werden. Die Ergebnisse zeigen, dass vielfältige, nutzerorientierte Beteiligungsangebote und ein starker Rückkopplungsprozess entscheidend für Akzeptanz und Wirksamkeit sind. Die Erkenntnisse dienen Städten und Kommunen als Praxisleitfaden zur wirkungsvollen Gestaltung von Beteiligungsprozessen.

EN As part of the joint project PART-COM, key success factors for effective public participation were identified and validated. Through expert interviews and a citizen survey, ten essential factors were identified, including Outreach Formats, Feedback, and Culture or Visualization. The results show that diverse, user-oriented participation offerings and a strong feedback process are crucial for acceptance and effectiveness. The findings provide a practical guide for cities and municipalities to design effective participation processes.

Öffentlichkeitsbeteiligung ermöglicht es Bürger:innen, ihre Meinungen in politische oder planerische Entscheidungen einzubringen. Sie dient der Transparenz und Legitimation von Entscheidungen und fördert die Qualität und Nachhaltigkeit der Ergebnisse. Trotz breiter Anerkennung bestehen allerdings immer noch erhebliche Herausforderungen bei der Umsetzung.

In diesem Zusammenhang war es unter anderem Ziel, zentrale Erfolgskriterien gelungener Öffentlichkeitsbeteiligung zu identifizieren und zu validieren, sowohl aus Perspektive von Expert:innen als auch Bürger:innen.

Die Fragestellung war Bestandteil des Verbundprojekts PART-COM und wurde vom Bundesministerium für Bildung und Forschung gefördert. Hochschuleitig wurde das Projekt vom Institut für Verkehr und Infrastruktur (IVI), dem [x]Lab sowie dem Institute for Digital Economy and Venturing (IDEV) durchgeführt. Projektpartner war der Innovation HUB des KIT. Das PART-COM-Magazin als zentrale Ergebnisveröffentlichung ist über die Website abrufbar unter www.part-com.de. Dort finden sich ausführliche Informationen zu Erfolgskriterien, zur Entwicklung eines Beteiligungsscores sowie zu weiteren Projektergebnissen, wie etwa die Konfliktfelder der Öffentlichkeitsbeteiligung als Abwärtsspirale.

Die Ergebnisse dienen als Leitfaden für Städte und Kommunen zur wirksamen Implementierung von Beteiligungsprozessen.

Zur Zielerreichung wurde eine zweistufige Methodik angewendet:

1. **Expert:inneninterviews:** Gespräche mit Fachleuten aus Stadtverwaltung, Planungsbüros, Wissenschaft, Agenturen und Mediationsbüros und NGOs, um zentrale Kriterien zu erfassen
2. **Befragung von Bürger:innen:** Validierung der Kriterien und Identifikation weiterer relevanter Aspekte aus der Bevölkerungsperspektive

Diese Kombination von qualitativen und quantitativen Befragungen ermöglichte es ein differenziertes Bild der Erfolgskriterien zu zeichnen und somit fundierte Empfehlungen für die Praxis der Öffentlichkeitsbeteiligung abzuleiten.

Interviews mit Expertinnen und Experten

Es wurden 18 qualitative Interviews durchgeführt, ergänzt durch drei Workshops mit Städten mittlerer Größe, darunter vier internationale Gespräche. ^[1] Ein flexibler Interviewleitfaden ermöglichte dynamische, aber dennoch strukturierte Gespräche mit den Expert:innen. Die Verbindung von Interviews und Workshops erlaubte eine umfassende Erfassung von Impact- und Erfolgskriterien.

Die Auswertung erfolgte mithilfe von Mind Maps mit dem Tool miro und der Strukturierung in zentrale Themenfelder:

- + Folgen von Öffentlichkeitsbeteiligung
- + Nutzung von Sprache und Technischer Kommunikation
- + Input-Verwertung und Feedback
- + Digitale Beteiligungslösungen und -Plattformen
- + Erreichen von Bürger:innen
- + Beteiligungsscore
- + Unterschiede National und International
- + Häufigkeit und Zeitpunkt des Dialogs

Für die Analyse wurden die Interview-Transkripte einzeln und systematisch durchgearbeitet. In jedem Schritt stand ein zentrales Thema aus den Mind Maps im Fokus, zu dem relevante Aussagen der Expert:innen extrahiert und miteinander in Bezug gesetzt wurden. Dieses Vorgehen ermöglichte es, Muster, wiederkehrende Aspekte und zentrale Themen zu identifizieren.

So gelingt Beteiligung

Die aus dieser Analyse identifizierten zehn relevanten Impact- und Erfolgskriterien gelungener Öffentlichkeitsbeteiligung sind:

- + **Aufsuchende Formate:** Zielgruppenorientierte Ansprache erhöht die Teilnahmebereitschaft, allgemeine Ansprache hemmt.
- + **Feedback und Kommunikationskultur:** Klare Kommunikation über Möglichkeiten/Grenzen und kontinuierliches Feedback verhindern Scheinpartizipation.
- + **Visualisierung:** Verständliche Visualisierungen erleichtern die Teilnahme und das Verständnis.

- + **Niederschwellige Informations- und Beteiligungsangebote:** Schnelle, direkte Informationsaufnahme und Beteiligung fördern die Teilnahme.
- + **Zeitpunkt der Beteiligung:** Frühzeitige Einbindung aller relevanten Akteure ist essenziell.
- + **Multi-Channel:** Kombination asynchroner digitaler und analoger Formate erhöht die Reichweite.
- + **Digitale Beteiligungslösungen und -Plattformen:** Ergänzen analoge Formate und verbessern die Feedbackkultur.
- + **Diskussionskultur:** Räume für respektvollen Ideenaustausch auf Augenhöhe sind notwendig.
- + **Beteiligung der Jugend:** Fehlende demokratische Bildungs- und Beteiligungsformate sowie Wahlrechte beeinträchtigen die Jugendbeteiligung.
- + **Übergreifende Dialoge:** Fehlende Transformationsdialoge verhindern strategische Zukunftsentwicklung.

Befragung von Bürger:innen

Die Umfrage der Bürger:innen wurde kompakt gehalten, um eine hohe Teilnahmebereitschaft zu erreichen. So wurde bewusst entschieden, soziodemografische auf ein Minimum zu reduzieren und den Fokus auf die inhaltlichen Fragen der Öffentlichkeitsbeteiligung zu konzentrieren. Sie validierte insbesondere Kriterien wie Aufsuchende Formate, Feedback- und Kommunikationskultur, Niederschwellige Informations- und Beteiligungsangebote, Multi-Channel und Digitale Beteiligungslösungen und -Plattformen durch zwölf wesentliche Fragen. Aspekte wie Visualisierung, Beteiligung der Jugend, Diskussionskultur, Übergreifende Dialoge und Zeitpunkt der Beteiligung erfordern vertiefte qualitative Methoden. Insgesamt wurden 213 vollständig ausgefüllte Fragebögen gesammelt. Die Stichprobe ist nicht vollständig repräsentativ, liefert aber wertvolle Einblicke. ^[2]

Validierung der Kriterien

Die Validierung beschränkt sich auf die Kriterien, die mit dem Konzept der Umfrage fundiert durchgeführt werden können. An dieser Stelle ist das exemplarisch das Kriterium „Aufsuchende Formate“ mit den jeweils fünf meistgenannten Optionen.

Die Ergebnisse dienen als Leitfaden für Städte und Kommunen zur wirksamen Implementierung von Beteiligungsprozessen.

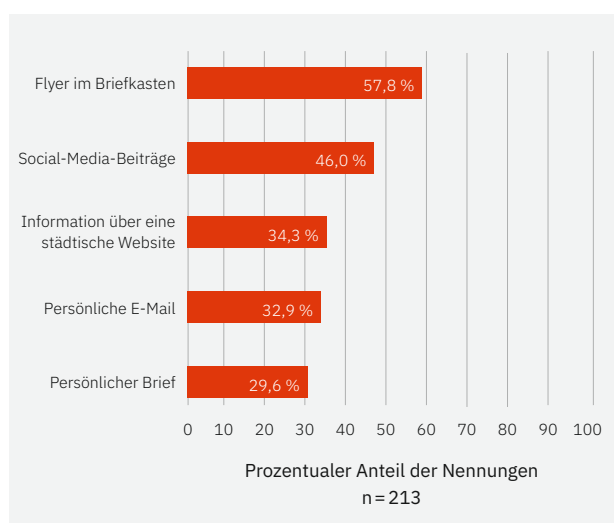


Abb. 1: Antworten auf Frage 1: Deine Stadt oder Kommune möchte deine Meinung einholen. Wie möchtest du darauf aufmerksam gemacht werden?

Frage 1: Deine Stadt oder Kommune möchte deine Meinung einholen. Wie möchtest du darauf aufmerksam gemacht werden?, **Frage 2:** Welche Möglichkeit würde dich jetzt ansprechen, um deine Meinung zu einem Projekt abzugeben?, **Frage 11:** Ich fühle mich aktuell durch Formate der Öffentlichkeitsbeteiligung erreicht.

Die Umfrageergebnisse unterstützen die Expert:innenmeinung, dass zielgerichtete und vielfältige Kommunikationskanäle entscheidend für den Erfolg von Öffentlichkeitsbeteiligung sind. Die hohe Zustimmung zu digitalen und leicht zugänglichen Formaten und die kritische Rückmeldung zur aktuellen Erreichbarkeit der Bürger:innen unterstreichen den Bedarf nach zielgruppenorientierter Ansprache.

Fazit

Erfolgreiche Öffentlichkeitsbeteiligung basiert auf:

- + zielgerichteten, vielfältigen Kommunikationsformaten,
- + einer starken Feedbackkultur,

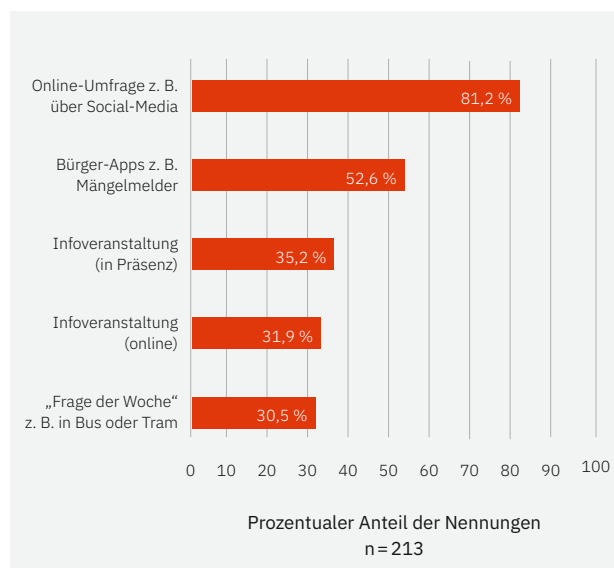


Abb. 2: Antworten auf Frage 2: Welche Möglichkeit würde dich jetzt ansprechen, um deine Meinung zu einem Projekt abzugeben?

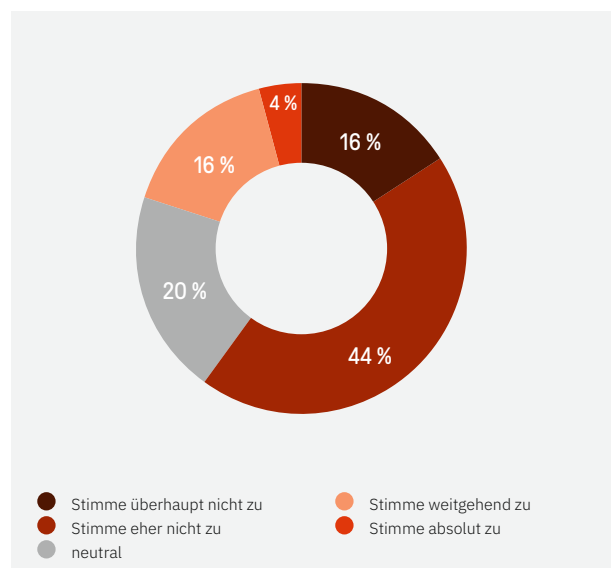


Abb. 3: Antworten auf Frage 11: Ich fühle mich aktuell durch Formate der Öffentlichkeitsbeteiligung erreicht.

- + niederschweligen und leicht zugänglichen Beteiligungsangeboten und
- + der Integration digitaler und analoger Kanäle.

Weitere Kriterien wie Visualisierung, Beteiligung der Jugend, Diskussionskultur, Übergreifende Dialoge und Zeitpunkt der Beteiligung sollten ebenfalls stärker berücksichtigt werden, um nachhaltige Bürgerbeteiligung zu gewährleisten. Die betrachteten Kriterien konnten durch die Bürger:innenumfrage validiert werden. ✗

Autor:innen

Ian Brow M.Sc.

Akademischer Mitarbeiter am Baden-Württemberg Institut für Nachhaltige Mobilität an der HKA.

Dr. Loba Sagnol

Akademische Mitarbeiterin am Baden-Württemberg Institut für Nachhaltige Mobilität an der HKA.

Johannes Penka M.Sc.

Ehemaliger akademischer Mitarbeiter am Baden-Württemberg Institut für Nachhaltige Mobilität an der HKA.

Prof. Dr.-Ing. Markus Stöckner

Projektleiter des Projekts PART-COM und stellvertretender Institutsleiter am Baden-Württemberg Institut für Nachhaltige Mobilität und Professor für Verkehrsanlagen und Logistik an der Fakultät für Architektur und Bauwesen.

Prof. Dr. Carsten Hahn

Akademischer Leiter des [x]Labs, Sprecher des Institute of Digital Economy and Venturing und Professor für ERP, Innovation und Entrepreneurship an der Fakultät für Wirtschaftswissenschaften.

Kontakt

Prof. Dr.-Ing. Markus Stöckner
HKA – Hochschule Karlsruhe
Institut für Verkehr und Infrastruktur
Moltkestraße 30
76133 Karlsruhe
E-Mail: markus.stoeckner@h-ka.de

Anzeigen

Hochschule Karlsruhe
University of
Applied Sciences



Career↔Contacts

Firmenkontaktmesse der HKA

20.–23.10.
Campus
9:30 – 15:30
Uhr



www.h-ka.de/careercontacts

STARK-LS: Mehr Teilhabe in der Arbeitswelt dank KI-gestützter Leichter Sprache

Elena Kick, Tobias Kopp, Steffen Kinkel

DE Der Zugang von Menschen mit Behinderungen zum allgemeinen Arbeitsmarkt wird häufig dadurch erschwert, dass relevante Informationen und Arbeitsprozesse zu schwer verständlich sind. Hier setzt das Projekt STARK-LS an: Mithilfe einer KI-gestützten Übersetzungssoftware sollen Materialien in Leichter Sprache bereitgestellt werden. Im Fokus stehen dabei die Organisation und Begleitung von Praktika sowie die Evaluation des Einsatzes von Leichter Sprache im Arbeitskontext. Der Beitrag stellt die Ziele des Projekts vor und erläutert, wie Künstliche Intelligenz dazu beitragen kann, die Chancen von Menschen mit Behinderungen auf dem allgemeinen Arbeitsmarkt zu verbessern und Arbeitgebende für inklusive Arbeitsprozesse zu sensibilisieren.

EN People with disabilities often find it difficult to access the general labour market because the relevant information and work processes are too complex. This is where the STARK-LS project steps in: With the help of AI-supported translation software materials will be provided in plain language. The project focuses on the organisation and support of internships as well as the evaluation of the use of easy language in the work context. This article outlines the project's objectives and illustrates how artificial intelligence can enhance employment opportunities for disabled people in the general labour market and encourage employers to adopt inclusive work processes.

Wie kann Künstliche Intelligenz (KI) dazu beitragen, Menschen mit kognitiver Beeinträchtigung den Zugang zum allgemeinen Arbeitsmarkt zu erleichtern? Mit dieser Frage beschäftigt sich das interdisziplinäre Projekt STARK-LS (Stärkung der Teilhabe auf dem ersten Arbeitsmarkt durch KI-generierte Leichte Sprache). Das zentrale Ziel besteht darin, die Verfügbarkeit hochwertiger Informationen in Leichter Sprache zu verbessern, den Einsatz von KI-gestützter Übersetzung zu erproben und gleichzeitig die Inklusionsbereitschaft von Unternehmen zu steigern. Das Projekt startete Anfang März 2025 und wird für die kommenden vier Jahre durch das Bundesministerium für Arbeit und Soziales (BMAS) über den Ausgleichsfonds für überregionale Vorhaben zur Teilhabe schwerbehinderter Menschen am Arbeitsleben (AGF) mit rund 1,2 Millionen Euro gefördert. Geleitet wird das Projekt vom Institut für Lernen und Innovation in Netzwerken (ILIN) der Hochschule Karlsruhe (HKA) in enger Zusammenarbeit mit dem Fachbereich Translations-, Sprach- und Kulturwissenschaft der Johannes Gutenberg-Universität Mainz, einer der weltweit renommiertesten Ausbildungsstätten für Übersetzen und Dolmetschen, sowie der Kreisverwaltung Germersheim und dem Münchner Start-up SUMM AI GmbH, das eine KI-basierte Übersetzungssoftware für Leichte Sprache anbietet.

KI-gestützte Leichte Sprache als Schlüssel für mehr Teilhabe

Vor allem in Zeiten des demografischen Wandels und des Arbeitskräftemangels in verschiedenen Branchen ist es von zentraler Bedeutung, das Potenzial von Menschen mit Behinderungen zu nutzen und Inklusion in Unternehmen voranzutreiben. ^[1] Neben der Bereicherung als Arbeitskräfte können Unternehmen zusätzlich von den Kompetenzen von Menschen mit Behinderungen profitieren. Dazu gehören beispielsweise ihre Offenheit, Anpassungsfähigkeit und die Fähigkeit, mit Veränderungen umzugehen, die sich aus den verschiedensten Herausforderungen ergeben, denen sie sich täglich stellen müssen. ^[2] Trotz ihrer vielfältigen Kompetenzen und Potenziale ist die Teilhabe von Menschen mit Behinderungen am allgemeinen Arbeitsmarkt



Abb. 1: Im Projekt STARK-LS forscht die HKA zur besseren Inklusion von Menschen mit Behinderungen am allgemeinen Arbeitsmarkt durch KI-basierte Übersetzungen in Leichte Sprache. (Foto: Marco Baumgartner)

nach wie vor eingeschränkt. Besonders für Menschen mit kognitiven Beeinträchtigungen bestehen zahlreiche Hürden, sodass sie oftmals vom ersten Arbeitsmarkt ausgeschlossen werden. Um eine zentrale Herausforderung für diese Personengruppe zu mindern und eine Teilhabe am Arbeitsleben zu gewährleisten, muss die schriftliche und mündliche Kommunikation vereinfacht werden. Dazu müssen relevante Informationen barrierefrei vorliegen. Ein zentrales Element ist hierbei Leichte Sprache, die vielen Menschen ermöglicht, sich im Alltag und in der Arbeitswelt zu orientieren und an der Kommunikation und dem Informationsaustausch teilzunehmen. ^[3] Damit Leichte Sprache einen Beitrag im Übergang auf den regulären Arbeitsmarkt und im Inklusionsprozess leisten kann, müssen insbesondere Arbeitsanweisungen und Informationen zu Teamprozessen übersetzt werden. ^[4] Da die Erstellung von Texten in Leichter Sprache jedoch sowohl zeit- als auch kostenintensiv ist und hierfür zudem Leichte Sprache-Übersetzer:innen benötigt werden, liegen heutzutage allgemein nur selten Informationen in Leichter Sprache in Unternehmen vor. Dadurch wird nicht nur der Wissenstransfer erschwert, sondern auch die Selbstbestimmung und aktive Teilhabe der Betroffenen und deren Handlungsfähigkeit eingeschränkt. KI-basierte Übersetzungslösungen können dazu beitragen, diese Situation zu verbessern. Bislang sind sie jedoch kaum verbreitet und wenig akzeptiert, unter anderem aufgrund von Vorbehalten gegenüber der Übersetzungsqualität im Vergleich zu manuell übersetzten Texten. Zudem fehlt es potenziellen Arbeitgeber:innen häufig an Wissen über dieses Instrument zur Integration von Menschen mit Behinderungen, obwohl damit auch ein Beitrag zur Bewältigung des Fachkräftemangels geleistet werden könnte. Das Projekt STARK-LS adressiert diese Herausforderungen, indem es den Einsatz von KI-generierter Leichter Sprache im Rahmen betrieblicher Praktika erprobt und wissenschaftlich begleitet.

Inklusive Praktika durch KI-generierte Leichte Sprache

Im Rahmen des Projekts STARK-LS werden reale Arbeitsverhältnisse in Form von Praktika für Menschen mit kognitiver Einschränkung auf dem ersten Arbeitsmarkt angebahnt, geplant, durchgeführt, engmaschig begleitet und evaluiert. Dadurch sollen diese die Möglichkeit erhalten, erste Arbeitserfahrungen zu sammeln. Für eine erfolgreiche Durchführung dieser Praktika werden mithilfe einer KI-gestützten Übersetzungssoftware Materialien in Leichter Sprache erstellt, wie beispielsweise Arbeitsanweisungen. Dadurch wird der Zugang zu relevanten und verständlichen Informationen für die betroffenen Personen verbessert. Diese Materialien werden nach wissenschaftlichen Standards und Methoden auf ihren praktischen Mehrwert, ihre Verständlichkeit und Akzeptanz evaluiert, um somit einen Bestand an praxistauglichen und qualitativ gesicherten Dokumenten zur Begleitung und Beratung solcher Teilhabeprozessen, auch über das Projekt hinaus, bereitzustellen. Die engmaschige Begleitung ermöglicht es, die Erfahrungen und Herausforderungen zu dokumentieren, wissenschaftlich auszuwerten und daraus Vorgehensmodelle und Handlungsempfehlungen abzuleiten. Diese können Unternehmen, Rehabilitationsträger und weitere Akteure dabei unterstützen, Leichte Sprache gezielt für die Inklusion von Menschen mit Behinderungen einzusetzen. Parallel dazu werden Markt- und Bedarfsanalysen durchgeführt, um sowohl das Verbreitungspotenzial als auch bestehende Akzeptanzhürden KI-generierter Leichter Sprache zu identifizieren und Strategien zu deren Überwindung zu entwickeln. Diese Maßnahmen sollen dazu beitragen, dass mehr relevante Informationen in Leichter Sprache in hoher Qualität zur Verfügung stehen und sich die Teilhabemöglichkeiten der Zielgruppe auf dem Arbeitsmarkt verbessern. Das

[1] Aktion Mensch e. V. (2024): Inklusionsbarometer Arbeit. Ein Instrument zur Messung von Fortschritten bei der Inklusion von Menschen mit Behinderung auf dem deutschen Arbeitsmarkt 12. Jahrgang (2024)

[2] Metzler, Christoph; Jansen, Anika; Kurtenacker, Andrea (2020) : Betriebliche Inklusion für Menschen mit Behinderung in Zeiten der Digitalisierung, IW-Report, No. 7/2020, Institut der deutschen Wirtschaft (IW), Köln

[3] Kupke, Charlotte; Schlummer, Werner (2010): Kommunikationsbarrieren und ihre Überwindung. Leichte Sprache und Verständlichkeit in Texten für Menschen mit Lernschwierigkeiten. In: Teilhabe (49), S. 67–73.

[4] Daniel, Bergelt; Anne, Goldbach (2019): Leichte Sprache am Arbeitsplatz. Sozialwissenschaftliche Ergebnisse und Praxisempfehlungen aus dem LeiSA-Projekt: Universität Leipzig.



Abb. 2: Die KI-gestützte Übersetzungssoftware für Leichte Sprache von SUMM AI soll die Bereitstellung von Materialien in Leichter Sprache erleichtern und somit die Teilhabe am allgemeinen Arbeitsmarkt verbessern. (Foto: SUMM AI GmbH)

Projekt setzt dabei auf eine enge Zusammenarbeit mit Unternehmen unterschiedlichster Branchen, um die Ergebnisse direkt in die Praxis zu übertragen.

Vorteile für teilnehmende Unternehmen

Die im Projekt geplanten Praktika bieten Menschen mit Behinderungen nicht nur eine Chance zur Teilhabe am ersten Arbeitsmarkt, sondern ermöglichen den anbietenden Unternehmen auch, die Rahmenbedingungen für inklusive Prozesse am Arbeitsplatz zu verbessern und ihre Belegschaft für das Thema Inklusion zu sensibilisieren. Reale Praxisbeispiele, ergänzende Informationsveranstaltungen und die individuelle Begleitung bei der Einarbeitung von Praktikant:innen schaffen bei Arbeitgebenden ein stärkeres Bewusstsein für die Potenziale, Herausforderungen und Lösungsansätze der Inklusion von Menschen mit Behinderungen. Darüber hinaus verbessern sie das Verständnis für geeignete Tätigkeiten sowie für die vorhandenen Unterstützungsmöglichkeiten durch Leichte Sprache, die neben der Zielgruppe

auch für Arbeitnehmende mit eingeschränktem Verständnis der deutschen Sprache bspw. durch einen Migrationshintergrund relevant sein können. Angesichts des zunehmenden Fachkräftemangels in vielen Branchen lassen sich dadurch neue Impulse setzen, um die Bereitschaft zur Integration von Menschen mit Behinderungen zu fördern, das Recht auf Teilhabe dieser Personengruppe stärker in den Fokus zu rücken sowie Arbeitgebende für inklusive Arbeitsprozesse zu sensibilisieren. Damit kann ein nachhaltiger Beitrag dazu geleistet werden, die Chancen von Menschen mit Behinderungen auf dem allgemeinen Arbeitsmarkt zu verbessern und Arbeitskräftemangel zu verringern.

Das Verbundprojekt wird durch das Bundesministerium für Arbeit und Soziales (BMAS) mit Mitteln des „Ausgleichsfonds für überregionale Vorhaben zur Teilhabe schwerbehinderter Menschen am Arbeitsleben (AGF)“ (Förderkennzeichen: AG-24-0003) gefördert und von der Knappschaft-Bahn-See (KBS) betreut. ✕

Autor:innen

Elena Kick M. Sc.

Akademische Mitarbeiterin am Institut für Lernen und Innovation in Netzwerken (ILIN) der HKA.

Dr. Tobias Kopp

Akademischer Mitarbeiter und Leiter einer Nachwuchsforschungsgruppe zur menschenzentrierten Technikgestaltung und -einführung am Institut für Lernen und Innovation in Netzwerken (ILIN) der HKA.

Prof. Dr. Steffen Kinkel

Professor an der Fakultät für Informatik und Wirtschaftsinformatik, Leiter des Instituts für Lernen und Innovation in Netzwerken (ILIN) der HKA.

Kontakt

Elena Kick (M. Sc.)
Hochschule Karlsruhe
Fakultät für Informatik und Wirtschaftsinformatik
Institut für Lernen und Innovation in Netzwerken
Wilhelm-Schickard-Straße 9, Gebäude F
76131 Karlsruhe
E-Mail: elena.kick@h-ka.de



Anfragen zur kostenfreien Übersendung von
Belegexemplaren oder zwecks redaktioneller Mitarbeit
richten Sie bitte an



Institut für Wissenschaftliche Veröffentlichungen (IWV)

Finkenstraße 10 • D-68623 Lampertheim

www.institut-wv.de

Telefon 06206 939-0 • info@alphapublic.de

Aus der Forschung in die Norm

So gelingt der Transfer wissenschaftlicher Erkenntnisse

Petra Drewer

DE Die Terminologiewissenschaft stellt die theoretischen Grundlagen für die systematische Erfassung und Strukturierung von Fachwissen und Fachsprache bereit. Ihre Anwendung schafft die Basis für präzise, effiziente Fachkommunikation in Unternehmen, Verwaltung und Technik – und sorgt dafür, dass komplexes Wissen verständlich, zugänglich und maschinell nutzbar wird. Mit der neuen DIN 19460 wird die mehrsprachige Terminologearbeit erstmals umfassend normiert. Der folgende Beitrag zeigt, wie Ergebnisse aus der aktuellen terminologiewissenschaftlichen Forschung (bspw. zu Wissensrepräsentationen, terminologischer Datenmodellierung oder Äquivalenzproblematik) direkt in die Normungsarbeit und damit in die praktische Umsetzung einfließen können.

EN Terminology science provides the theoretical foundation for the systematic collection and structuring of specialized knowledge and language. Its application creates the basis for precise and efficient professional communication in business, administration, and technology – ensuring that complex knowledge is understandable, accessible, and usable by both humans and machines. The new DIN 19460 standard is the first comprehensive standardization of multilingual terminology work. The following article shows how results from current terminology research (e. g. on knowledge representation, terminological data modelling or equivalence issues) can be directly incorporated into standardization processes and thus into practical application.

Die Terminologiewissenschaft ist eine „Interdisziplin“, die weit über eine Sprachbetrachtung hinausgeht. Entgegen einer verbreiteten Annahme ist sie kein Teilgebiet der Linguistik. Zwar befasst sie sich auch mit der sprachlichen Dimension fachlicher Kommunikation, ihr zentrales Anliegen ist jedoch die Systematisierung von Fachwissen. Die Terminologiewissenschaft arbeitet an der Schnittstelle von Kognitionswissenschaft, Fachsprachenforschung, Semiotik/Semantik und Logik. Sie greift dabei auf Erkenntnisse und Methoden aus der Erkenntnistheorie, Informationswissenschaft, Computerlinguistik sowie der KI zurück.

Die Terminologearbeit setzt die wissenschaftlichen Grundlagen praktisch um. Sie dient der systematischen Erfassung, Strukturierung und Repräsentation von Fachwissen, etwa in Form von Ontologien oder Wissensgraphen. Die fachlichen Begriffe werden durch Termini sprachlich repräsentiert, die in Terminologiedatenbanken verwaltet werden.

Zur Bedeutung der Terminologearbeit

Terminologearbeit ist weit mehr als das sprachliche Glätten von Texten; ihr Zweck liegt in der Sicherstellung von Klarheit, Eindeutigkeit und Effizienz in der Kommunikation und im Wissenstransfer. In Unternehmen ist Terminologemanagement nicht nur eine kommunikative Maßnahme, sondern ein zentraler Bestandteil der Corporate Identity. Neben einem konsistenten visuellen Auftritt (Corporate Design) braucht es auch eine konsistente Sprache – eine Corporate Language.

Darüber hinaus wird Terminologearbeit zunehmend als Teil eines übergreifenden Wissensmanagements bedeutsam. Terminologiedatenbanken stellen strukturiertes Fachwissen nicht nur inhaltlich, sondern auch sprachlich präzise und i. d. R. multilingual zur Verfügung – nutzbar sowohl für Menschen als auch für maschinelle Anwendungen. Der Übergang zur Normung ist eine logische Konsequenz: Wenn Fachwissen systematisiert, Sprachgebrauch vereinheitlicht und Kommunikation standardisiert werden sollen, bedarf es verbindlicher Regelungen.

»Wer die Standards setzt, gestaltet die Zukunft.«

Deutsches Institut für Normung (DIN)

Terminologie und Normung – ein wechselseitiges Verhältnis

Terminologie und Normung sind eng miteinander verflochten. Ohne terminologische Klarheit ist Normung kaum denkbar. Jede (!) Norm enthält ein eigenes Kapitel – bei DIN- und ISO-Normen ist es Kapitel 3 –, das sich der Begriffsklärung widmet. Diese terminologischen Festlegungen sind Voraussetzung für das korrekte Verständnis und die präzise Anwendung der jeweiligen Norm. Gleichzeitig werden die definierten Termini öffentlich zugänglich gemacht – etwa über die Plattform DIN-TERM, die eine wichtige Referenzquelle für Terminologie aus DIN-Normen und den internationalen Paralleldokumenten darstellt.

Von besonderer Bedeutung sind Metanormen, die sich mit den Grundlagen und Methoden der Terminologearbeit befassen. Bei DIN ist hierfür der Normenausschuss Terminologie (DIN-NAT) zuständig. Er entwickelt Normen, die etwa definieren, mit welchen Methoden Begriffe zu erarbeiten, zu strukturieren und zu dokumentieren sind – also Normen über Normung im Bereich Terminologie.

Dieses komplexe Zusammenspiel zeigt: Terminologearbeit ist sowohl Voraussetzung für als auch Ergebnis von Normung.

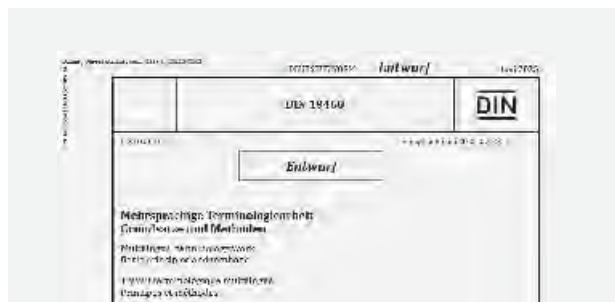


Abb. 1: DIN 19460 – Die Norm wurde im Juni 2025 als Entwurf veröffentlicht und soll 2026 (nach Einarbeitung aller Kommentare und Einsprüche) als Norm erscheinen.

Wissenschaft trifft Normung

Anfang 2026 wird eine neue DIN-Norm veröffentlicht: DIN 19460 „Mehrsprachige Terminologearbeit – Grundsätze und Methoden“. ^[1] Sie „legt Anforderungen für die mehrsprachige Terminologearbeit fest und gibt Empfehlungen zur Lösung konkreter Probleme, z. B. bei der Verwaltung der mehrsprachigen Terminologie und der Weiterverwendung der terminologischen Daten in anderen Systemen.“ (E DIN 19460:2025-06, S. 4)

Wie bei jeder Norm gab es auch hier intensive Abstimmungsprozesse zwischen verschiedenen Interessengruppen. Konkret waren drei Gruppen beteiligt:

- + **Wirtschaft** (u. a. Trumpf Werkzeugmaschinen, Mercedes Benz, Endress+Hauser, ZF Friedrichshafen),
- + **öffentliche Hand** (u. a. Bundessprachenamt, Auswärtiges Amt, Bundeswehr) sowie
- + **Wissenschaft und Forschung** (u. a. Goethe-Universität Frankfurt, TH Köln, Universität Mainz und natürlich die HKA).

Als Leiterin des DIN-Arbeitsausschusses und stellvertretende Vorsitzende des DIN-NAT-Beirats hatte ich die Möglichkeit, das Projekt von Anfang an sowohl inhaltlich als auch strukturell mitzugestalten. Auf diese Weise flossen u. a. folgende Aspekte aus meinen Forschungsprojekten in die Norm ein:

- 1) theoretische Grundlagen, z. B. zum Semiotischen Dreieck als Basis terminologisch-kommunikativer Zusammenhänge, Datenmodellierung für Termdatenbanken, Äquivalenzgrade und -problematiken im Rahmen des Sprachvergleichs, Begriffs- vs. Benennungsorientierung
- 2) Methoden für die praktische Anwendung, z. B. zum Erarbeiten ein- und mehrsprachiger Wissensrepräsentationen, bei der Konzeption von mehrstufigen, wissensbasierten Datenbanken, bei der Bereitstellung von Fachinformationen für automatisierte Prozesse in der digitalen Informationsverarbeitung, bei präskriptiven Terminologieprojekten
- 3) Konkrete Beispiele aus praxisorientierten Forschungs Kooperationen, die Phänomene wie lexikalische Ambiguität, Begriffs- und Benennungslücken oder Teiläquivalenz nachvollziehbar machen und illustrieren

[1] E DIN 19460 (2025-06):

Mehrsprachige Terminologiearbeit –
Grundsätze. Berlin: DIN Media

[2] Drewer, Petra / Schmitz, Klaus-

Dirk (2017): Terminologiemanagement:
Grundlagen – Methoden – Werkzeuge.
Berlin/Heidelberg: Springer
Vieweg (Kommunikation und
Medienmanagement 1)

[3] Drewer, Petra / Mayer, Felix /

Pulitano, Donatella (Hrsg.) (2023):
Terminologie: Tools und Technologien.
Akten des DTT-Symposiums 2023.
München, Karlsruhe, Bern: Deutscher
Terminologie-Tag / SDK

[4] Drewer, Petra / Mayer, Felix /

Pulitano, Donatella (Hrsg.) (2025):
Terminologie in der KI – KI in der
Terminologie. Akten des DTT-
Symposiums 2025. Karlsruhe,
München, Bern: Deutscher
Terminologie-Tag / SDK

Die klassische Form zur Veröffentlichung aktueller Forschungsergebnisse sind Aufsätze, Fachbücher oder Tagungsbände (wie z. B. [2], [3], [4]). Der Schritt in die Normung eröffnet jedoch noch eine weitere Zielgruppe, wie das folgende Zitat eines Industrievertreters zeigt: „Für dicke Fachbücher habe ich meist keine Zeit und wissenschaftliche Paper sind oft zu kompliziert, aber die Normen aus meinem Themengebiet kenne ich alle.“

Es ist daher von großer Bedeutung, dass sich Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler mit ihrer Expertise aktiv in Normungsprozesse einbringen – nicht nur im Bereich der Terminologiearbeit, sondern auf allen normungsrelevanten Feldern. Ihre Beiträge sorgen dafür, dass theoretisch fundiertes Wissen den Weg in die Anwendung findet – zum Nutzen von Praxis, Industrie und Gesellschaft gleichermaßen.

Normung ist für viele zunächst ein abstraktes oder gar trockenes Thema – und genau das macht es umso wichtiger, auch Studierenden ihren konkreten Nutzen, ihre Vielfalt und gesellschaftliche Relevanz näherzubringen. Besonders spannend wird es, wenn Lehrende aus eigener Erfahrung berichten können – etwa aus ihrer Mitarbeit in Normungsgremien – und so anschaulich machen, wie Normen tatsächlich entstehen und wo die Herausforderungen liegen. Doch echte Aha-Effekte entstehen meist erst dann, wenn man Normung hautnah erlebt. Genau das ermöglichte eine Exkursion des Studiengangs Kommunikation und Medienmanagement im Mai 2025 zu DIN in Berlin.

Schnell wurde deutlich, wie alltagsnah und facettenreich Normung ist – von sicherheitsrelevanten Industrieprodukten über Tätowierdienstleistungen bis hin zu Brettspielen. Die rund 40 Studierenden waren erstaunt über die enorme Bandbreite der weit über 30.000 DIN-Normen, die in nahezu allen Lebens- und Wirtschaftsbereichen eine Rolle spielen. Besonders beeindruckend war für viele auch die Erkenntnis, wie Normen überhaupt entstehen: Anstelle von verschrobene Fachleuten im Elfenbeinturm erlebten sie Normungsarbeit als dynamischen, demokratischen Prozess – geprägt von kontroversen Diskussionen, divergierenden Interessen und dem ständigen Ringen um Konsens.

Ein Highlight der Exkursion reichte weit über den Besuch bei DIN hinaus: Ein von den Studierenden produziertes Reel (unser „Treppenvideo“) ging auf dem Instagram-Kanal des Studiengangs viral; mittlerweile steht der Zähler bei über zehn Millionen Views. Diese unerwartete Resonanz überraschte nicht nur die Studierenden, sondern auch die Verantwortlichen bei DIN, die bereits wenige Tage später ihre Social-Media-Kanäle fest mit der HKA bzw. dem Studiengang KMM verbanden – ein tolles Beispiel dafür, wie Normung auch kommunikativ ins Rampenlicht rücken kann. ✕

Autorin

Prof. Dr. Petra Drewer

Professorin und Prodekanin der Fakultät IMM,
Studiendekanin des Studiengangs KMM-B,
Vorsitzende des DIN-AA 01 „Grundlagen der
Terminologiearbeit“, Stellvertretende Vorsitzende
des DIN-NAT-Beirats, Vorstandsvorsitzende des Dt.
Instituts für Terminologie (DIT), Fachbeirätin des
Deutschen Terminologie-Tags (DTT)

Kontakt

Prof. Dr. Petra Drewer
Hochschule Karlsruhe
Fakultät für Informationsmanagement und Medien
Moltkestr. 30
76133 Karlsruhe
E-Mail: petra.drewer@h-ka.de



Abb. 2: Vortrag von Prof. Dr. Petra Drewer auf dem Academic Standards Day 2025 (Foto: Joschka Bornefeld (DIN))



Deutsches Handbuch der **WEITERBILDUNG**

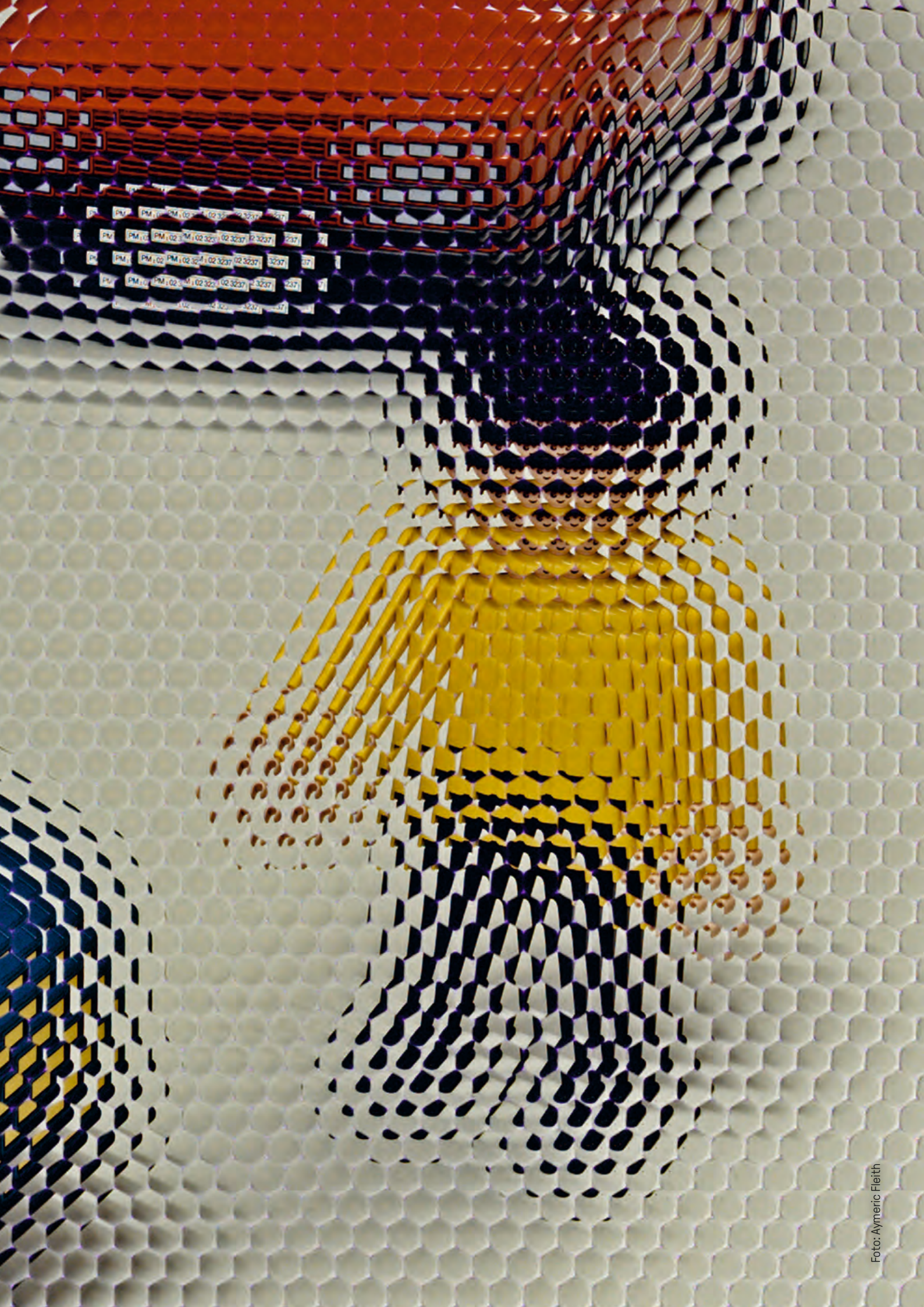


Anfragen zur kostenfreien Übersendung von Belegexemplaren, zwecks redaktioneller Mitarbeit oder zur Schaltung Ihrer Anzeigen richten Sie bitte an

Alpha Informationsgesellschaft mbH

Finkenstraße 10 • D-68623 Lampertheim

magazine@alphapublic.de • www.alphapublic.de



Intelligente Systeme der Zukunft

Mensch? Maschine. Mitdenken!

ChatGPT in der Arbeitswelt

Marcel Orth, Stefanie Faßbender

DE KI-Tools wie ChatGPT verändern die Arbeitswelt grundlegend, bieten jedoch auch neue Herausforderungen in den Bereichen Datenschutz und Datensicherheit. Dieser Beitrag untersucht, wie die Arbeitswelt mit den Risiken von ChatGPT umgeht und welche Maßnahmen Unternehmen zur Sensibilisierung und Sicherheit ergreifen können. Die Studienergebnisse zeigen, dass zwar ein grundsätzliches Sicherheitsbewusstsein bei den Angestellten vorhanden ist, jedoch teilweise noch große Wissenslücken und Unsicherheiten im Hinblick auf die sichere Anwendung von ChatGPT bestehen. In darauf aufbauenden offenen Interviews mit Experten konnten fünf zentrale Handlungsfelder identifiziert werden, die Unternehmen zu befähigen, ChatGPT verantwortungsvoll und sicher zu integrieren.

EN The increasing adoption of AI tools, such as ChatGPT, is fundamentally changing the world of work. Still, it also presents new challenges in the areas of data protection and data security. This article examines how the world of work addresses the risks associated with ChatGPT and outlines measures companies can take to raise awareness and ensure security. The study results indicate that, although employees possess a basic level of security awareness, significant knowledge gaps and uncertainties remain regarding the secure use of ChatGPT. Based on open interviews with experts, five key areas of action were identified to enable companies to integrate ChatGPT responsibly and securely.

Künstliche Intelligenz (KI) mischt die Jobwelt auf. Mit nur einem Prompt, also einer kurzen Eingabe in ein KI-Tool, können in Windeseile Texte generiert, Excel- oder PDF-Dateien analysiert, Kundenmails verfasst oder Präsentationsfolien erstellt werden.

Die rapide Weiterentwicklung der künstlichen Intelligenz hat in den letzten Jahren tiefgreifende Veränderungen verursacht, die auch die Arbeitswelt betreffen. So werden KI-Tools wie ChatGPT genutzt, um Daten zu analysieren, Prozesse zu optimieren, den Kundenservice zu verbessern oder beim Programmieren zu unterstützen. Obwohl solche Tools zahlreiche Vorteile bieten, gehen sie auch mit einer Reihe von Herausforderungen einher, insbesondere im Bereich der Cybersicherheit.

Für Unternehmen, die mit sensiblen Daten arbeiten, ist die Auseinandersetzung mit den Sicherheitsrisiken, die mit der Nutzung von ChatGPT einhergehen, von besonderer Bedeutung. Der unautorisierte Zugriff oder die unbeabsichtigte Offenlegung dieser Daten kann gravierende Folgen haben. Unternehmen müssen daher sicherstellen, dass ihre Mitarbeitenden KI-Tools sicher und verantwortungsbewusst verwenden. Diese Thematik gewinnt zunehmend an Bedeutung, da Sicherheitsverletzungen und ethische Bedenken im Zusammenhang mit KI-Anwendungen immer häufiger in den Fokus der öffentlichen Aufmerksamkeit geraten.

Arbeitsalltag mit KI

Dieser Artikel zielt daher darauf ab, einerseits die Wissenslücken bei den Nutzern von ChatGPT in Bezug auf Datenschutz und Datensicherheit aufzudecken und andererseits ein umsetzbares Konzept zu entwickeln, das Unternehmen befähigt, auf diese Herausforderungen entsprechend zu reagieren. Um diesen Fragen nachzugehen, wurde ein Mixed-Methods-Ansatz gewählt. Dabei werden sowohl qualitative Forschungsmethoden (z. B. Interviews, die auf Tiefe und Verständnis abzielen) als auch quantitative Methoden (z. B. Umfragen, Statistiken) genutzt. Verbindet man die Erkenntnisse beider Methodenarten, so ergibt sich ein umfassenderes Bild als bei der Fokussierung auf eine Forschungsmethode.

»Wer ChatGPT blind im Unternehmen einsetzt, lädt den Datenklau direkt zur Kaffeepause ein.«

Zitat wurde von ChatGPT generiert

Im ersten Schritt wurde eine quantitative Teilstudie durchgeführt. Mithilfe eines standardisierten Fragebogens wurden knapp 200 Personen befragt, die ChatGPT im beruflichen Kontext nutzen. Ziel dieser Befragung war es, ein erstes Bild vom aktuellen Sicherheitsbewusstsein der User zu gewinnen und zu analysieren, wie gut sie über mögliche Gefahren und Risiken im Umgang mit ChatGPT informiert sind. Die Befragten waren schwerpunktmäßig in der Altersgruppe 18-34 Jahre zuzuordnen, was sicher auch damit zusammenhängt, dass die Erfahrung in der Nutzung mit ChatGPT eine Voraussetzung für die Teilnahme an der Umfrage war.

Ergänzend dazu folgte eine qualitative Teilstudie: In persönlichen Experteninterviews mit fünf Unternehmensvertretern wurden Erkenntnisse über die konkreten Maßnahmen gewonnen, die Unternehmen ergreifen können, um das Sicherheitsbewusstsein ihrer Mitarbeitenden zu stärken. Die offenen Gespräche mit den Experten ermöglichten es, genauere Einblicke und unterschiedliche Meinungen zu sammeln, die für die Entwicklung konkreter Handlungsempfehlungen und eines Aufklärungskonzeptes für Unternehmen unerlässlich waren.

Ergebnisse aus Umfragen und Experteninterviews

Die Umfrageergebnisse zeigen ein differenziertes Bild der Nutzung von ChatGPT in beruflichen Kontexten. Sie offenbaren ein grundsätzliches Bewusstsein und eine positive Einstellung gegenüber den Möglichkeiten, die das KI-Tool bietet. Gleichzeitig machen die Ergebnisse aber auch deutlich, dass es noch große Herausforderungen beim Datenschutz und der Sicherheit gibt.

Die häufigste Nutzung von ChatGPT liegt in der Textgenerierung und -bearbeitung für Berichte und geschäftliche Dokumente (88 %), gefolgt vom Schreiben von E-Mails (78 %) und der Ideenfindung (72 %). Auch Übersetzungen (56 %) und Programmierhilfe (55 %) werden immerhin von ca. der Hälfte der Probanden verwendet. Knapp ein Drittel der Befragten nutzt ChatGPT für Kundenanfragen (30,9 %) oder Datenanalysen (29,8 %).

Auf die Frage nach der Prüfung und Kontrolle der KI-generierten Ergebnisse zeigt sich ein differenziertes Bild: Nur ein Drittel der Befragten kontrolliert alles sorgfältig, knapp die Hälfte kontrolliert zumindest den Großteil, während 20 Prozent nur stichprobenartig prüfen oder direkt ganz auf eine Kontrolle verzichten. Immerhin sehen 80 Prozent der Probanden die Hauptverantwortung für die Datensicherheit gleichermaßen bei sich und dem Unternehmen selbst.

Auf die Frage nach der meistgenannten Maßnahme zur besseren Nutzung von ChatGPT nannten fast 80 Prozent der Befragten „regelmäßige Schulungen“. Zwei Drittel (66,7 %) wünschen sich außerdem klare Kommunikationswege bei Problemen. Beliebt sind auch kurze Schulungsvideos (62,1 %), ein Expertenteam für Sicherheitsfragen (58,2 %) und interaktive Simulationen zu dem Thema (57,1 %).

In der zweiten Teilstudie wurden Experten in persönlichen Interviews zur Unternehmenssicht offen befragt. Die Experten waren sich dabei einig, dass die Nutzung von ChatGPT wichtige Fragen bzgl. Datenschutz und Sicherheit im Betrieb aufwirft. Ein zentrales Problem stellt dabei die potenzielle Preisgabe sensibler Informationen dar. Hinzu kommt die Unklarheit über die Datenverarbeitung und -nutzung, dies betrifft v. a. die Speicherung auf Servern außerhalb der Europäischen Union und deren mögliche Verwendung für das Training der KI-Software.

Basierend auf der Analyse der Experteninterviews konnten fünf Schlüsselemente identifiziert werden, um als Unternehmen effektiv auf die Herausforderungen und Risiken im Umgang mit ChatGPT zu reagieren:

- + **Schaffung von Bewusstsein (Awareness):** Regelmäßige, praxisnahe Schulungen und Informationskampagnen, die auf die unterschiedlichen Wissensstände der Beschäftigten abgestimmt sind, stärken das Bewusstsein für den sicheren Umgang mit sensiblen Daten und die Risiken bei der Nutzung von ChatGPT. Dabei sollten Unternehmen einen fortlaufenden Bildungsprozess fördern, der sowohl konkrete Beispiele als auch praktische Tipps vermittelt und die Bedeutung von Vorsicht und gesundem Menschenverstand im Umgang mit Daten betont.

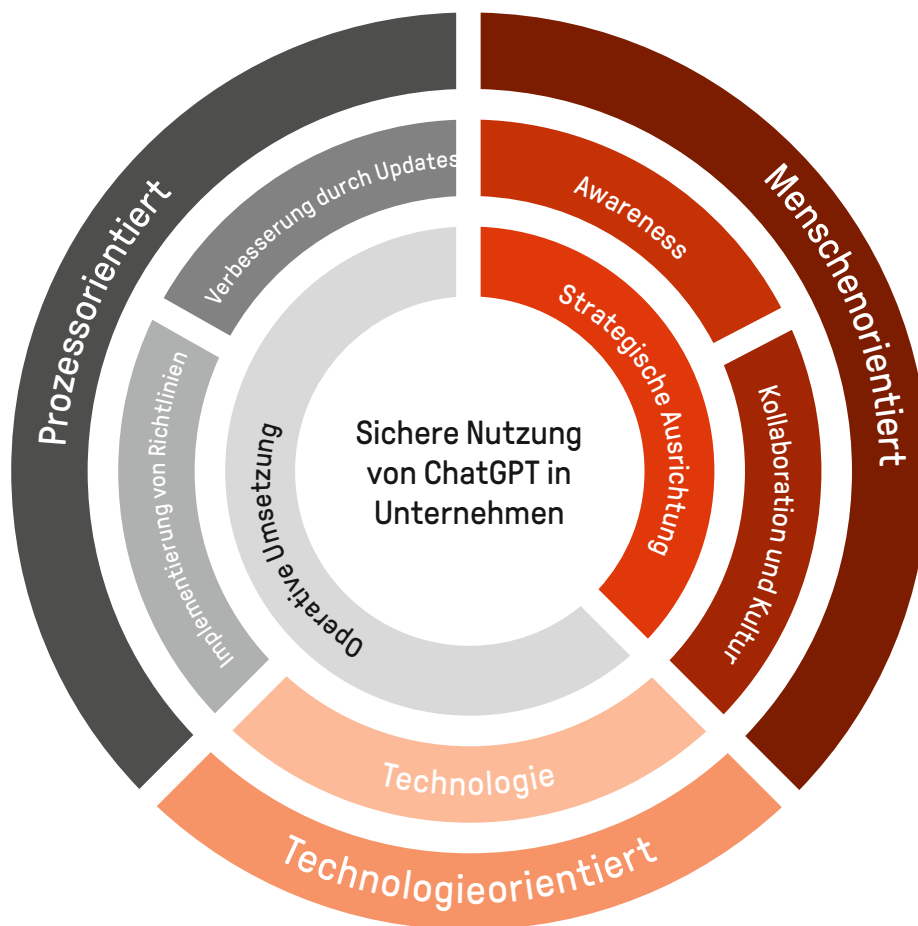


Abb. 1: Framework zur sicheren Nutzung von ChatGPT im Unternehmen

- + **Förderung von Kollaboration und einer positiven Unternehmenskultur:** Formate, in denen Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter ihre Erfahrungen und bewährten Methoden im sicheren Umgang mit ChatGPT austauschen können, stärken das Sicherheitsbewusstsein. Die Beschäftigten sollten ermutigt werden, ihre Bedenken und Fragen offen zu kommunizieren. Zusätzlich können Mentorship-Programme helfen, indem Wissen durch erfahrene User weitergegeben wird.
- + **Einsatz geeigneter Technologien:** Unternehmen sollten ein striktes Berechtigungsmanagement mit rollenbasierten Zugriffskontrollen einführen, um sicherzustellen, dass nur autorisierte Nutzer Zugang zu sensiblen Daten haben. Zusätzlich können eigene, auf GPT-Technologien basierende Chatbots sowie automatische Tools zur Erkennung und Anonymisierung sensibler Daten die Sicherheit weiter erhöhen, während Warnhinweise die Nutzer dauerhaft für den sorgsamen Umgang mit sensiblen Informationen sensibilisieren.
- + **Implementierung von Richtlinien:** Unternehmen sollten klare Richtlinien zur Nutzung von ChatGPT im Berufsalltag festlegen. Diese sollten den Umgang mit KI-generierten Daten regeln.
- + **Kontinuierliche Verbesserung:** Die oben genannten, bereits implementierten Prozesse werden regelmäßig überprüft und aktualisiert, um Effizienz, Relevanz und Zielerreichung sicherzustellen.

In einer Welt, die sich ständig weiterentwickelt und disruptive Technologien wie ChatGPT das Potenzial haben, bisherige Arbeitsweisen grundlegend zu verändern, ist es umso wichtiger, diesen Innovationen offen zu begegnen. Statt sie aus Unsicherheit abzulehnen, sollte der Fokus darauf liegen, ihren sicheren und effektiven Einsatz zu erlernen – nur so lässt sich ihr volles Potenzial verantwortungsvoll nutzen. ✗

Autor:innen

Marcel Orth M.Sc.

Inhouse Consultant genAI bei dmTECH GmbH

Prof. Dr. Stefanie Faßbender

Professorin an der Fakultät für Informatik und Wirtschaftsinformatik der HKA

Kontakt

Marcel Orth

E-Mail: mo.marcelorth@gmail.com

Prof. Dr. Stefanie Faßbender

HKA – Hochschule Karlsruhe

Fakultät für Informatik und Wirtschaftsinformatik

Moltkestraße 30

76133 Karlsruhe

E-Mail: stefanie.fassbender@h-ka.de



Foto: Robert Fuge

Informationsveranstaltung | Donnerstag, 22. Januar 2026 | 17:00-19:00 Uhr | HKA Campus

Die Professur an der HKA – eine Karriere mit Wirkung!

Selbstbestimmt forschen und lehren sowie junge Menschen in beruflicher und persönlicher Entwicklung fördern: Das bietet die Professur an einer Hochschule für Angewandte Wissenschaften (HAW).

Exklusiver Einblick und Austausch mit unseren Professor*innen:

- + Was macht das Berufsbild so attraktiv?
- + Was sind die Voraussetzungen?
- + Wie sieht der Arbeitsalltag aus?
- + Welche Unterstützungsmöglichkeiten gibt es?
- + Wie läuft die Bewerbung ab?
- + u.v.m.

Weitere Informationen & Anmeldung:
www.h-ka.de/alpaka/karriereziel-haw-professur



Das DeepFrame-Projekt: Künstliche Intelligenz für robuste Bildverarbeitung in der Industrie

Philipp Augenstein, Luisa Pfreundschuh, Till Weber, Moritz Weisenböhrer, Christian Wurll, Björn Hein

DE Im Rahmen des Forschungsprojekts „DeepFrame“ werden robuste Bildverarbeitungssysteme auf Basis künstlicher Intelligenz speziell für kleine und mittlere Unternehmen (KMU) entwickelt. Das Ziel besteht darin, neuronale Netze widerstandsfähiger gegenüber realen Störungen wie beispielsweise schwankendem Licht oder Sensorausfällen zu machen. Mithilfe von synthetischer Datensatzgenerierung und multimodaler Sensorfusion wird die Zuverlässigkeit der Systeme deutlich verbessert. DeepFrame verbindet anwendungsnahe Forschung mit industrienaher Umsetzung und schafft so neue Möglichkeiten für den praxisgerechten KI-Einsatz im Mittelstand.

EN The DeepFrame research project is developing robust, AI-based computer vision systems that are tailored to the needs of small and medium-sized enterprises (SMEs). The project's goal is to make neural networks more resilient to real-world disturbances, such as lighting changes or sensor failures. Combining synthetic dataset generation with multimodal sensor fusion significantly enhances system reliability. DeepFrame bridges the gap between applied research and industrial implementation, facilitating the adoption of practical and trustworthy AI solutions across various sectors.

Künstliche Intelligenz (KI) hält zunehmend Einzug in industrielle Produktionsprozesse. Insbesondere tiefe neuronale Netze (Deep Neural Networks, DNNs) bieten ein hohes Automatisierungspotenzial für Aufgaben wie Qualitätskontrolle und Prozessüberwachung. Durch die Verarbeitung von Sensordaten eröffnen sie neue Möglichkeiten zur gezielten Prozessoptimierung.

Während große Unternehmen eigene KI-Abteilungen aufbauen, fehlt es kleinen und mittleren Unternehmen (KMU) oft an Fachpersonal und technischer Infrastruktur. Der Einsatz von Deep Learning bleibt daher bislang die Ausnahme. Ein zentrales Hindernis ist, dass neuronale Netze, die unter kontrollierten Laborbedingungen zuverlässig funktionieren, im realen Betrieb empfindlich auf Abweichungen wie etwa wechselndes Licht, defekte Kamerasensoren oder Störobjekte im Bild reagieren. Solche Einflüsse verursachen Bildanomalien, die zu Fehlinterpretationen und damit zu Leistungsabfällen führen können. Das schwächt das Vertrauen in die Technologie.

Wie also lassen sich neuronale Netze robuster machen und damit fit für die industrielle Realität?

Mit dieser Frage beschäftigt sich das Forschungsprojekt DeepFrame. Es geht darum, Deep Learning-basierte Bildverarbeitungssysteme robuster und damit praxistauglicher zu machen – insbesondere für die dynamischen und variablen Produktionsumgebungen in KMU. Im Zentrum steht dabei die Frage, wie sich neuronale Netze so gestalten lassen, dass sie auch unter realen Störbedingungen zuverlässig arbeiten. Unterstützt wird das Projekt durch Partner aus Industrie und Forschung – darunter die VisionTools Bildanalyse Systeme GmbH, die DE software & control GmbH sowie die ELMA Electronic GmbH.

Störungen verstehen – Systeme widerstandsfähiger machen

Im ersten Schritt untersuchte das DeepFrame-Team, welche Bildanomalien in industriellen Szenarien tatsächlich auftreten. Dazu wurden Interviews mit Fachleuten aus KMU, Industrie und Forschung geführt. Diese Gespräche zeigen, dass Bildanomalien zu fast gleichen Teilen durch

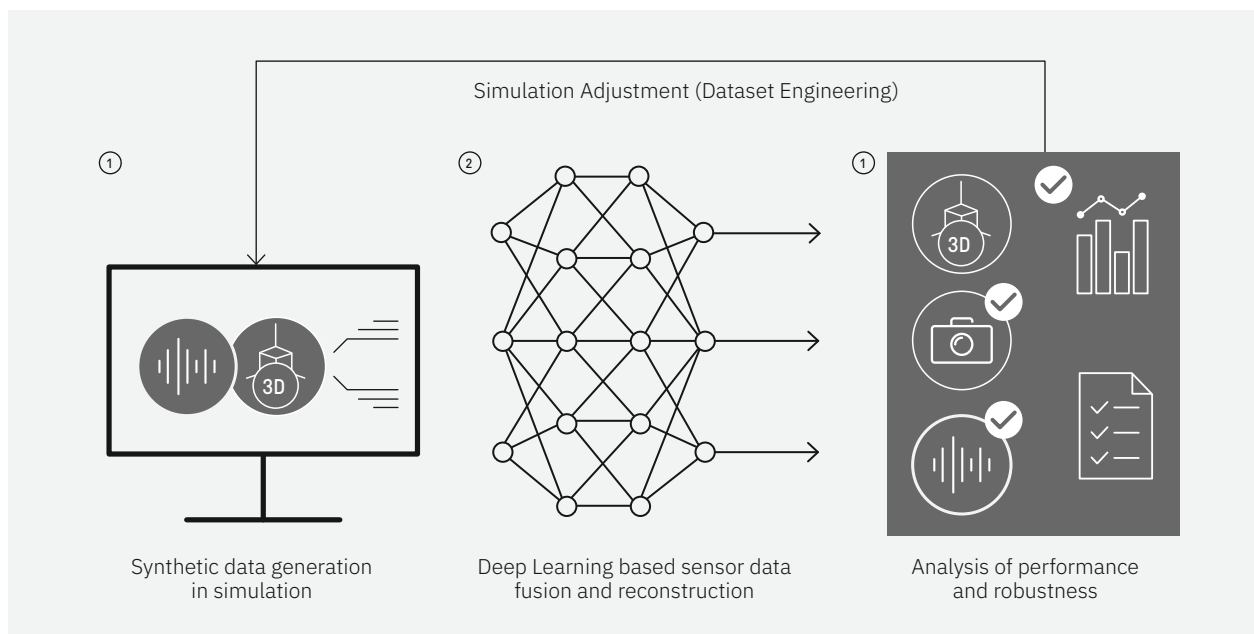


Abb. 2: Übersicht über den DeepFrame-Ansatz. Das Framework besteht aus zwei Hauptkomponenten: (1) Generierung synthetischer Daten in der Simulation und Analyse von Modelleistung und Robustheit; (2) Deep Learning-basierte Sensordatenfusion und -rekonstruktion unter Verwendung einer multimodalen neuronalen Darstellung.

äußere Einflüsse (z. B. Lichtverhältnisse), szenenbezogene Faktoren (z. B. Oberflächenstruktur von Objekten) und technische Probleme im Bildaufnahmesystem (z. B. Pixelfehler) entstehen. Da sich diese Störungen kaum vollständig ausschließen lassen, lautet die Schlussfolgerung: Die neuronalen Netze selbst müssen robuster werden.

Zwei Wege zur robusteren KI: Datensätze und Sensorfusion

Doch wie geht das genau? DeepFrame verfolgt zwei sich ergänzende Strategien, um Bildverarbeitungssysteme praxistauglicher zu machen:

- + **Dataset-Engineering:** Künstlich erzeugte Trainingsdaten werden gezielt so gestaltet, dass sie typische Störungen abbilden und so die Anpassungsfähigkeit der Modelle verbessern. Eine Rückkopplungsschleife gewährleistet eine kontinuierliche Verbesserung der Datensatzentwicklung und Modelleistung.
- + **Multimodale neuronale Netze:** Durch die Kombination mehrerer Sensoren (z. B. Bild, Tiefe oder Temperatur) können Schwächen einzelner Datenquellen besser kompensiert und ein vollständigeres Bild der Realität erzeugt werden.

Eine Aufgabe ist es, Bildverarbeitungssysteme zu entwickeln, die sich flexibel an unterschiedliche Umgebungen anpassen und zuverlässige Ergebnisse liefern – auch ohne teure Spezialhardware oder aufwendige Vorverarbeitung.

Ein Beispiel aus der Praxis

In einem industriellen Anwendungsfall erfasst eine Kamera regelmäßig Kunststoffteile in einer Montagelinie. In der Produktion kommt es jedoch immer wieder zu chargenbedingter Produktvarianz und schwankenden Lichtverhältnissen, beispielsweise durch Maschinenbewegungen oder

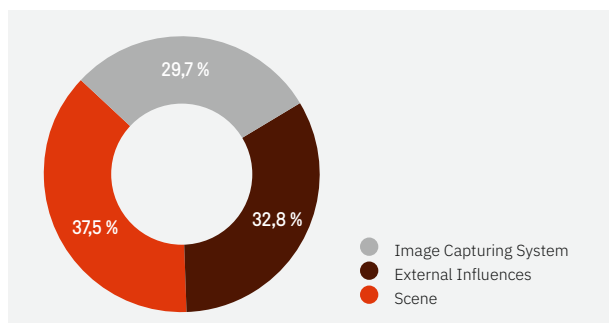


Abb 1: Die Grafik veranschaulicht den Anteil von externen Einflüssen, szenenbezogenen Störquellen und Problemen im Bildaufnahmesystem, die in den Experteninterviews identifiziert wurden.

den Einfall von Tageslicht. DeepFrame simuliert auf Basis der real gemessenen Prozessstabilität gezielt Störungen. Die synthetischen Trainingsdaten werden automatisch angepasst und beispielsweise mit wechselnden Licht- und Objektvarianten angereichert. Zusätzlich werden Tiefensensoren eingebunden, die unempfindlich auf Oberflächenreflexionen reagieren. Durch die Kombination dieser beiden Maßnahmen – realitätsnahe Daten und sensorische Redundanz – soll die Robustheit des neuronalen Netzes deutlich gesteigert werden.

Bessere Daten für bessere Netze: Dataset-Engineering

Trainingsdaten bilden immer das Fundament von Deep Learning. In industriellen Anwendungen mangelt es jedoch häufig an ausreichend großen und vielfältigen Datensätzen, da seltene Störfälle in der Realität kaum auftreten oder nicht dokumentiert werden. Deshalb setzt DeepFrame auf die Erzeugung synthetischer Bilddaten durch Simulation, wodurch gezielt Varianten mit veränderten Lichtverhältnissen, Störungen oder Objektpositionen generiert werden können. Gleichzeitig können die Daten automatisch und präzise annotiert werden – also mit exakten Beschriftungen versehen werden. Das ermöglicht dem Modell zuverlässig relevante Merkmale zu lernen.



Abb 3: Eine synthetisch generierte Szene eines realen Anwendungsfalls für den Griff in die Kiste mit einem Roboter.

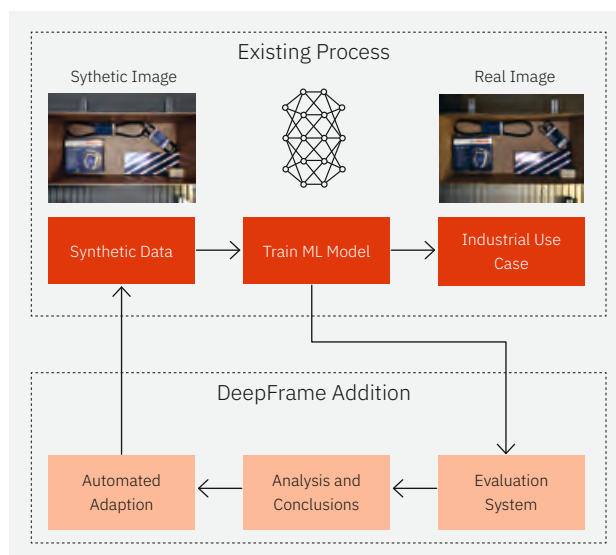


Abb 4: DeepFrame-Dataset-Engineering-Ansatz. Die dunkelroten Blöcke stellen den bestehenden Prozess dar. Mithilfe einer Simulation werden synthetische Trainingsdaten für reale Anwendungen generiert. Die hellroten Blöcke werden im Rahmen des Projekts entwickelt. Die Robustheit wird anhand eines Bewertungssystems evaluiert, anschließend werden die Daten analysiert und angepasst.

Darüber hinaus entwickelt das Projekt neue Bewertungsmetriken, die sich stärker an der realen Systemleistung orientieren. Mit ihnen wird es möglich sein, einen Bewertungsrahmen zu entwickeln, der eine gezielte Auswahl von Trainingsdaten im Hinblick auf Resilienz ermöglicht und zur robusteren Optimierung von Modellen beiträgt. Klassische Metriken wie die Mean Average Precision (mAP) sind zwar weit verbreitet, spiegeln die Robustheit in Störsituationen jedoch oft nur unzureichend wider.

Mehr sehen, besser verstehen: Sensorfusion mit KI

Multimodale neuronale Netze, die Informationen aus mehreren Quellen zusammenführen, sind ein wachsendes Forschungsfeld. Während viele Anwendungen auf

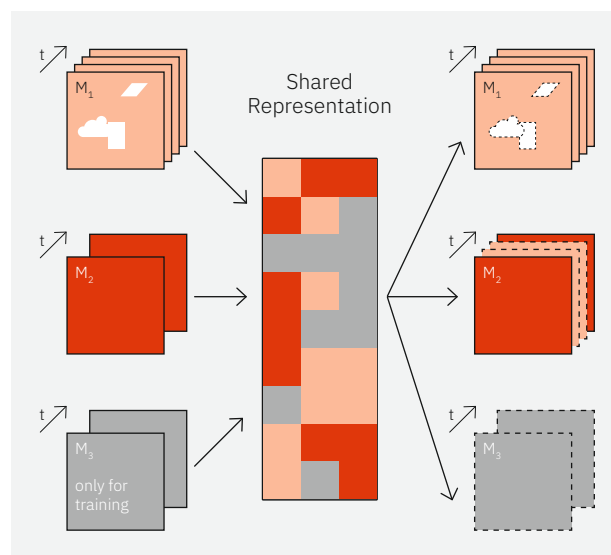


Abb 5: Das System erhält Eingaben aus drei verschiedenen Modalitäten, die mit M_n bezeichnet werden. Die weißen Stellen in M_1 symbolisieren fehlende Informationen, die auf starke Reflexion oder Verdeckung zurückzuführen sein können. Gestrichelte Linien markieren geschätzte Informationen, die während der Inferenz nicht vorhanden sind.

Text-Bild-Kombinationen setzen, beispielsweise in der generativen KI, ist die gleichzeitige Nutzung industrieller Sensorsignale bislang wenig verbreitet. DeepFrame entwickelt eine Netzarchitektur, die verschiedene Quellen wie RGB-Bilder, Tiefeninformation und Wärmebilddaten integriert. Das Ziel besteht darin, eine gemeinsame Repräsentation zu schaffen, also eine zusammengeführte Datenbasis, die Informationen aus verschiedenen Sensoren kombiniert, um ein vollständigeres Bild der Realität zu erzeugen. Auf dieser Grundlage können auch unvollständige oder fehlerhafte Sensordaten gezielt rekonstruiert werden.

Beispielhafte Rekonstruktionsmethoden:

- + **Räumliche Rekonstruktion:** Wird eine Kamera kurzzeitig durch ein Objekt verdeckt, ermöglichen andere Perspektiven oder Sensoren die Wiederherstellung der Szene.

DeepFrame entwickelt eine Netzarchitektur, die verschiedene Quellen integriert.

- + **Zeitliche Interpolation:** Bei asynchronen Sensoren (z. B. RGB-Kamera mit hoher Abtastrate und langsamere Temperatur- oder Tiefensensor) kann das System fehlende Zwischenwerte realistisch abschätzen.
- + **Modalitätsergänzung:** Daten eines teuren, hochauflösenden Sensors können im realen Betrieb durch einfachere Sensoren teilweise ersetzt werden, basierend auf zuvor gelernten Zusammenhängen.

Diese Methoden werden mithilfe von synthetischen und realen Daten in kontrollierten Testszenarien evaluiert. Dabei wird bewertet, wie zuverlässig Anomalien wie Verdeckungen oder Datenlücken erkannt und kompensiert werden können. Dies erfolgt anhand spezieller Metriken zur Vorhersage- und Rekonstruktionsqualität.

Perspektiven für den KI-Einsatz im Mittelstand

DeepFrame eröffnet neue Wege, wie KI in unterschiedlichsten Industriebereichen eingesetzt werden kann. Beispielsweise in der Medizintechnik zur Tumorerkennung, in der Wartung von Infrastrukturen durch automatische Zustandsanalyse oder in der Landwirtschaft zur Erkennung von Schädlingen.

Neben konkreten Anwendungen trägt das Projekt auch zur Weiterentwicklung bestehender Systeme bei. So können auch ältere Sensoren durch softwarebasierte Verfahren wie Superresolution, intelligente Abtaststrategien oder Datenfusion deutlich leistungsfähiger werden. Ein besonderes Augenmerk liegt auf der Interpretierbarkeit, denn nur wenn KI-Systeme nachvollziehbar arbeiten, lassen sie sich dauerhaft in der Praxis etablieren.

Langfristig verfolgt DeepFrame das Ziel, KI aus der Nische zu führen und als verlässliches Werkzeug für den Mittelstand zu etablieren. KI soll robust, transparent und anpassungsfähig werden, damit auch kleinere Unternehmen vom technologischen Fortschritt profitieren können.

Das Projekt DeepFrame der Hochschule Karlsruhe wird gefördert vom Bundesministerium für Forschung, Technologie und Raumfahrt. ✕

Autor:innen

Philipp Augenstein M.Sc.

Akademischer Mitarbeiter am Institut für Robotik und Autonome Systeme (IRAS) der HKA.

Luisa Pfreundschuh M.Sc.

Akademischer Mitarbeiter am Institut für Robotik und Autonome Systeme (IRAS) der HKA.

Till Weber M.Sc.

Akademischer Mitarbeiter am Institut für Robotik und Autonome Systeme (IRAS) der HKA.

Moritz Weisenböhrer M.Sc.

Akademischer Mitarbeiter am Institut für Robotik und Autonome Systeme (IRAS) der HKA.

Prof. Dr.-Ing. Christian Wurll

Stellv. Sprecher des Instituts für Robotik und Autonome Systeme (IRAS) der HKA

Prof. Dr.-Ing. habil. Björn Hein

Projektleiter des Projekts DeepFrame, Sprecher des Instituts für Robotik und Autonome Systeme (IRAS) der HKA und Professor für Intelligente Produktion und Cloud-Robotik an der Fakultät W.

Kontakt

Prof. Dr.-Ing. habil. Björn Hein

HKA – Hochschule Karlsruhe

Fakultät für Wirtschaftswissenschaften

Institut für Robotik und Autonome Systeme (IRAS)

Moltkestraße 30

76133 Karlsruhe

E-Mail: bjoern.hein@h-ka.de

Lichtfeldkameras im Fokus: Wie eine neue Kalibrierung 3D-Technologien voranbringt

Aymeric Fleith, Julian Zirbel, Niclas Zeller

DE Die Kalibrierung komplexer Lichtfeldkameras (auch plenoptische Kameras genannt) erforderte bisher spezielle Kalibrierkörper und zeitaufwendige Aufnahme-prozesse – bis jetzt. Eine neue, an der HKA entwickelte Methode ermöglicht es, Lichtfeldkameras direkt anhand alltäglicher Szenen zu kalibrieren, ohne dass vordefinierte Muster, Marker oder spezielle Aufbauten notwendig sind. Durch die Optimierung der intrinsischen und extrinsischen Kameraparameter mithilfe aufgenommener Bilder und Methoden zur nichtlinearen Ausgleichsrechnung (bundle adjustment) werden hochpräzise Ergebnisse erzielt, die mit traditionellen Methoden konkurrieren. Dies ermöglicht anschließend eine präzise metrische Tiefenerfassung und 3D-Rekonstruktion selbst in unstrukturierten Umgebungen, sowohl drinnen als auch draußen, und ebnet den Weg für intelligentere AR-, Robotik- und Computer Vision-Systeme.

EN Calibrating complex light field cameras (also called plenoptic cameras) has required so far specialized calibration targets and time-consuming recording processes - until now. A new method, developed at HKA, makes it possible to calibrate light field cameras directly from everyday scenes, eliminating the need for predefined patterns, markers or special setups. By optimizing intrinsic and extrinsic camera parameters using captured images and bundle adjustment techniques, it ensures high-precision results that are on par with traditional calibration methods. This enables accurate 3D reconstruction and metric depth sensing even in unstructured environments, indoors and outdoors, paving the way for smarter AR, robotics, and computer vision systems.

Lichtfeldkameras sind echte Multitalente: Sie erfassen nicht nur ein Bild, sondern gleich die ganze Szene in 3D mit einer nahezu unendlichen Tiefenschärfe. Das macht sie besonders interessant für Zukunftstechnologien wie autonome Fahrzeuge, Augmented Reality oder Robotik.

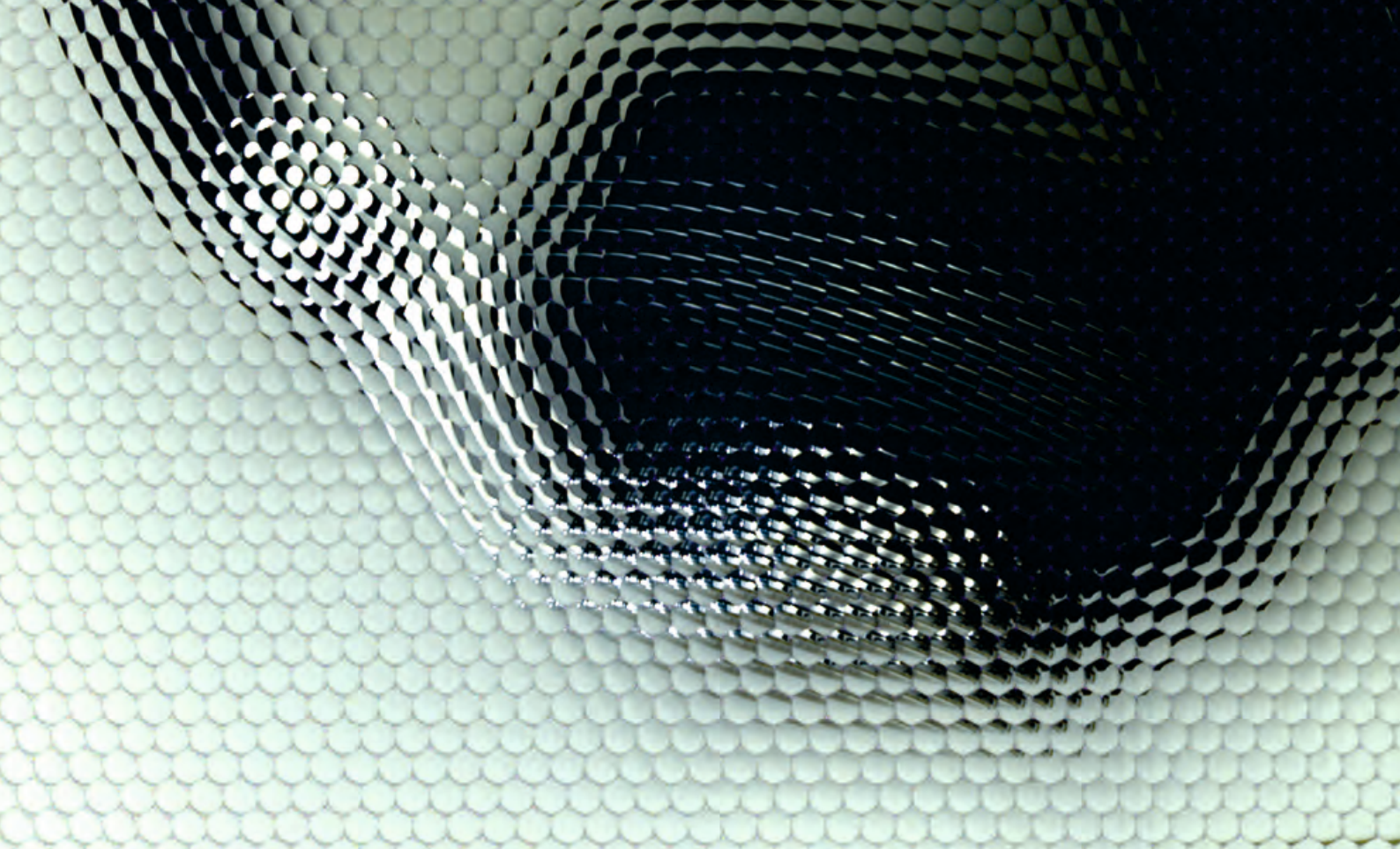
Obwohl solche Technologien bereits faszinierende Fortschritte zeigen, stoßen sie in der Praxis noch oft an ihre Grenzen: Autos fahren noch nicht völlig autonom, medizinische Kamerasysteme sind lediglich Hilfsmittel für die präzise Hand des Spezialisten, und autonome Roboter oder Drohnen operieren bislang nur in kontrollierten Umgebungen. Wie aber lassen sich diese Systeme weiterentwickeln, damit sie verlässlicher, präziser und vielseitiger werden? Hier kommt die Lichtfeldkamera ins Spiel: Durch die zusätzlichen Informationen, die ihr Sensor über eine Szene liefert, eröffnet sie neue Möglichkeiten. Sie könnte der Schlüssel sein, um bestehende Technologien deutlich zuverlässiger und leistungsfähiger zu machen – ein vielversprechender Schritt auf dem Weg in eine intelligente Zukunft.

Im Gegensatz zu herkömmlichen Kameras erfassen Lichtfeldkameras nicht nur die Intensität des Lichts eines Punktes, sondern auch die Lichtrichtung.^[3] Möglich macht das ein Mikrolinsenarray (MLA) zwischen Optik und Sensor. Das MLA besteht aus Tausenden winziger Linsen, die jeweils kleine Teilbilder der Szene erzeugen, ähnlich dem Facettenauge eines Insekts. Diese Vielzahl an leicht versetzten Mikrobildern liefert Informationen über die Tiefe einer Szene – vergleichbar mit dem menschlichen Sehen, bei dem beide Augen die Welt aus leicht unterschiedlichen Perspektiven wahrnehmen. Basierend auf der daraus entstehenden Parallaxe kann die Kamera präzise berechnen, wie weit einzelne Objekte entfernt sind.

All diese Informationen lassen sich mit einer Lichtfeldkamera aus nur einer einzigen Aufnahme gewinnen. Damit lassen sich Tiefenkarten erstellen, aber auch der Fokus einer Aufnahme nachträglich verändern – als hätte man beim Fotografieren jederzeit die Schärfe im Griff. Lichtfeldkameras sind dadurch vielseitig einsetzbar. Bisher galt allerdings: Ohne aufwendige Kalibrierung mit speziellen Kalibriermustern ist keine präzise Tiefenanalyse mit metrischen Abständen möglich.



Ein Video zu diesem
Thema gibt es auf
unserem YouTube-Kanal.



Detailausschnitt aus einem Rohbild der Lichtfeldkamera (Foto: Aymeric Fleith)

Von der Aufnahme zur metrischen 3D-Rekonstruktion

Lichtfeldkameras erfassen mehr Informationen als klassische Kameras, allerdings auf Kosten einer komplexeren Geometrie. Das verwendete Modell der Lichtfeldkamera ist in Abbildung 1 dargestellt: Zwischen Hauptlinse und Sensor befindet sich das MLA, welches das einfallende Licht hinsichtlich seiner Einfallsrichtung aufteilt. Die Modellparameter müssen in einer sogenannten intrinsischen Kalibrierung bestimmt werden, um eine Lichtfeldkamera, beispielsweise zur metrischen Szenenerfassung, verwenden zu können. Im dargestellten Modell entspricht der Parameter f_L der Brennweite der Hauptlinse, B ist der Abstand zwischen dem MLA und dem Sensor, b_{L0} ist der Abstand zwischen der Hauptlinse und dem MLA, b ist der Abstand zwischen dem MLA und dem von der Hauptlinse erzeugten Bild (virtuelles Bild). Der Abstand z_C beschreibt die Distanz zwischen einem realen Objekt und der Hauptlinse.

Unsere Methode LiFCal^[4] erlaubt die intrinsische Kalibrierung einer Lichtfeldkamera, ohne spezielle Muster wie z. B. ein Schachbrett oder Punktegitter. Stattdessen genügt eine einfache Videosequenz einer beliebigen Szene. Aus den aufgenommenen Rohdaten, bestehend aus vielen kleinen Teilbildern (siehe oben), wird ein vollständiges geometrisches Modell der Kamera berechnet. LiFCal bestimmt automatisch die intrinsischen Parameter wie Brennweite, Position des Bildhauptpunkts sowie die Abstände zwischen Hauptlinse, MLA und Sensor. Gleichzeitig werden auch die extrinsischen Parameter, also Position und Orientierung

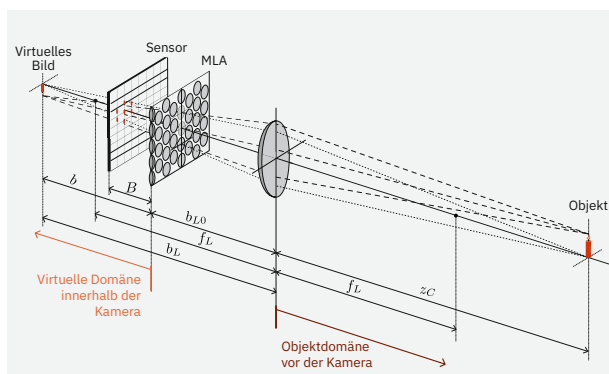


Abb. 1: Modell einer Lichtfeldkamera.

jeder Einzelaufnahme, sowie die 3D-Koordinaten markanter Objektpunkte geschätzt. Die Zwischenschritte der Kalibrierung sind in Abbildung 2 dargestellt. Zur metrischen Bestimmung aller Größen, muss lediglich ein Maß in der Szene bekannt sein. Markante Punkte werden erkannt und zwischen den Bildern abgeglichen. Anschließend entsteht durch Optimierung ein 3D-Modell der Szene.

Das daraus gewonnene Kameramodell beschreibt nicht nur die idealisierte Bildentstehung, sondern auch systematische Abbildungsfehler. Es erlaubt somit die Korrektur von Abbildungsverzerrungen und Justierfehlern innerhalb der Kamera. So können aus einer einzigen Lichtfeldaufnahme sowohl klassisch fokussierte Bilder als auch metrisch präzise Tiefenkarten erzeugt werden (siehe Abbildung 3). Mit einer einzigen Aufnahme können so präzise metrische Abstände im Bild gemessen werden!

Mit der neuen Kalibrierung wird der Einsatz von Lichtfeldkameras zugänglicher.

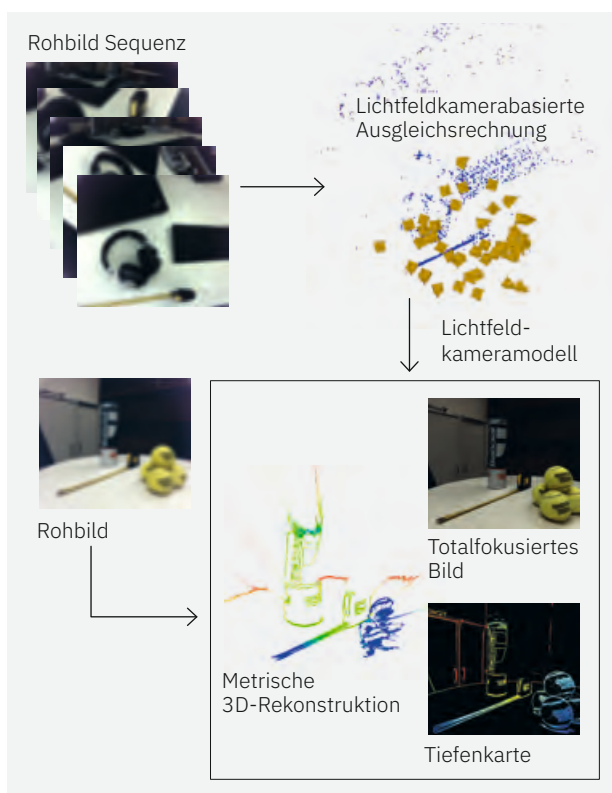


Abb. 2: Prozess zur Abstandsschätzung in der Szene: Rohbilder werden für die Kalibrierung durch Methoden zur nicht linearen Ausgleichsrechnung (Bundle Adjustment) verwendet. Dies führt zu einem metrischen Kameramodell zur Erzeugung totalfokussierter Bilder und Tiefenkarten, die eine genaue metrische Messung in der Umgebung ermöglichen.

Robotik und SLAM: Lichtfeldkameras in Aktion

Die neue Kalibrierung ermöglicht den Einsatz von Lichtfeldkameras in Anwendungen, in denen ein räumliches, metrisch korrektes Verständnis der Umgebung erforderlich ist. Dies ist beispielsweise für autonome Systeme, die sich in unbekannten Umgebungen orientieren müssen, der

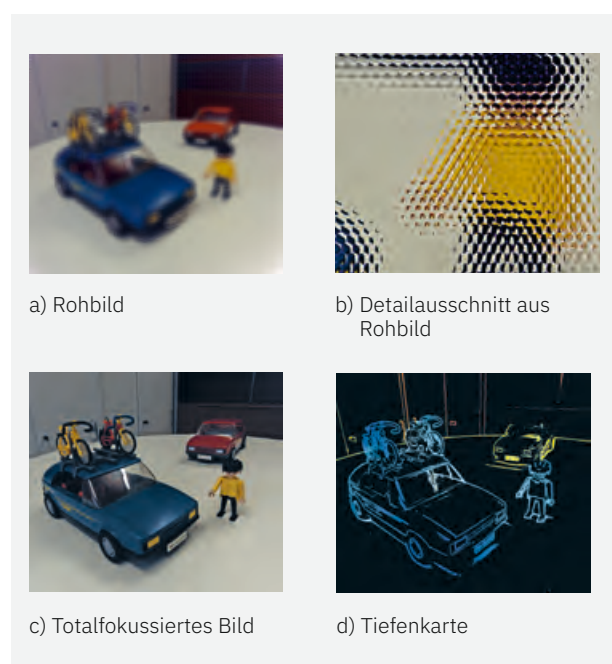


Abb. 3: Aufnahme einer Lichtfeldkamera: a) ein Rohbild der Lichtfeldkamera mit Mikro-Bildern; b) Detailausschnitt aus Rohbild mit sichtbaren Mikro-Bildern, jeweils aus einer Microlinse des MLA; c) das zugehörige totalfokussierte Bild; d) die geschätzte Tiefenkarte

Fall. Hierfür kommen sogenannte Simultaneous Localization and Mapping (SLAM) Algorithmen zum Einsatz. ^[2] Diese ermöglichen beispielsweise einem autonomen System, seine eigene Position zu bestimmen und gleichzeitig eine Karte seiner Umgebung zu erstellen. Lichtfeldkamerabasierte SLAM-Systeme ermöglichen, mit nur einer einzelnen Kamera, die Positionsbestimmung und Kartierung innerhalb eines metrischen Koordinatensystems, wie in Abbildung 4 gezeigt.

Kameras, welche in autonomen Fahrzeugen zum Einsatz kommen, sind besonderen Belastungen ausgesetzt. Durch äußere Einflüsse, wie Vibration, können sich die Abbildungseigenschaften der Kamera über die Zeit verändern. Beispielsweise kann eine kleine Änderung des Fokuspunkts der Kamera zu einem systematischen Fehler in den berech-

[1] Aymeric Fleith, Doaa Ahmed, Daniel Cremers, and Niclas Zeller. LiFCal: Online Light Field Camera Calibration via Bundle Adjustment. In DAGM German Conference on Pattern Recognition (GCPR), pages 120–136. Springer, 2024

[2] Zeller, N., Quint, F., Stilla, U.: Scale-Awareness of Light Field Camera based Visual Odometry. In: European Conference on Computer Vision (ECCV), pp. 732–747. Springer (2018)

[3] Perwass, C., Wietzke, L.: Single Lens 3D-Camera with Extended Depth-of-Field. In: Human Vision and Electronic Imaging (HVEI), vol. 8291, pp. 45–59. SPIE (2012)

[4] Zeller N, Noury CA, Quint F, Teulière C, Stilla U, and Dhôme M (2016a). Metric Calibration of a Focused Plenoptic Camera based on a 3D Calibration Target. ISPRS Annals of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences (Proc. ISPRS Congress 2016), III-3:449–456

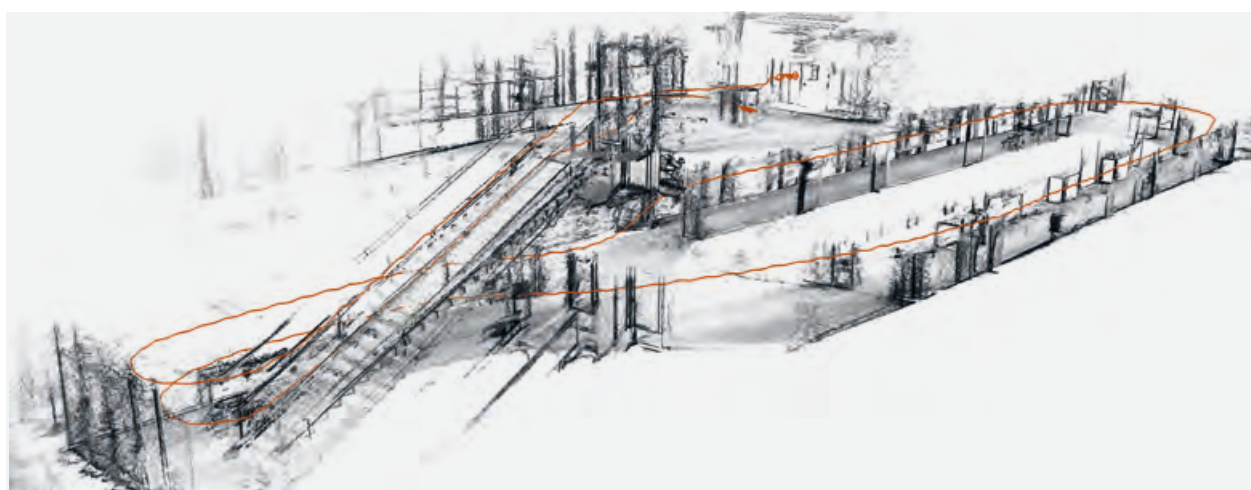


Abb. 4: Punktwolke, die durch einen SLAM-Algorithmus mit einer Lichtfeldkamera erzeugt wurde. Der geschätzte Pfad der Kamera ist in rot dargestellt ^[2].

neten Objektdistanzen führen und eine Neukalibrierung der Kamera erfordern. Hier wiederum bietet LiFCal einen enormen Vorteil, da die Kalibrierung der Kamera auf einer beliebigen Szene möglich ist. So kann LiFCal dazu eingesetzt werden, die bestehende Kalibrierung einer Lichtfeldkamera während des Einsatzes im Feld zu validierend und die Kamera gegebenenfalls neu zu kalibrieren, um stets optimale Ergebnisse zu gewährleisten.

Der Weg zur breiten Anwendung

Lichtfeldkameras galten lange als technisch anspruchsvoll und schwer zu handhaben. Die neue Kalibrierungsmethode senkt diese Hürde deutlich und eröffnet damit neue Einsatzmöglichkeiten für diese Technologie mit enormes Potenzial.

Die Technologie der Lichtfeldkameras, die bislang noch wenig verbreitet ist, könnte mit einer einfachen und zuverlässigen Kalibrierung an Bedeutung gewinnen. Aufgrund ihrer großen Tiefenschärfe, der kompakten Bauweise und der Fähigkeit Tiefeninformation aus nur einer Aufnahme zu bestimmen, sind Lichtfeldkameras besonders interessant für Anwendungen in der Robotik, in autonomen Systemen oder für Augmented Reality. Dies gilt nicht nur für die Forschung,

sondern zunehmend auch für alltägliche Anwendungen intelligenter Systeme. ✕

Autoren

Aymeric Fleith

Akademischer Mitarbeiter und Doktorand an der Fakultät für Elektrotechnik und Informationstechnik

Julian Zirbel

Akademischer Mitarbeiter und Doktorand an der Fakultät für Elektrotechnik und Informationstechnik

Prof. Dr.-Ing. Niclas Zeller

Professor für Signalverarbeitung und mobile Robotik an der Fakultät für Elektrotechnik und Informationstechnik

Kontakt

Prof. Dr.-Ing. Niclas Zeller
HKA – Hochschule Karlsruhe
Fakultät für Elektrotechnik und Informationstechnik
Moltkestraße 30
76133 Karlsruhe
E-Mail: niclas.zeller@h-ka.de

Impressum

Forschung aktuell 2025
Hochschule Karlsruhe – HKA

Herausgeber
Rektorat der Hochschule Karlsruhe

Redaktion und
Wissenschaftslektorat
Sarah Schwarz, Presse und
Kommunikation – HKA

Design
Capitale Wien & Berlin
www.capitale.wien,
www.capitale.berlin

Satz, Artdirection und Grafiken
Swetka Bär; Presse und
Kommunikation – HKA

Redaktionsanschrift
Hochschule Karlsruhe
University of Applied Sciences
Presse und Kommunikation
Moltkestraße 30, 76133 Karlsruhe
E-Mail: forschung-aktuell@h-ka.de
www.h-ka.de/forschung-aktuell

Anzeigen und Verlag
ALPHA Informationsgesellschaft mbH
www.alphapublic.de

Druck
Silberdruck oHG
www.silberdruck.de

Auflage
3.000 Exemplare
Oktober 2025

ISSN 1613-4958

Bildquellen
Titelfoto Magali Hauser;
S. 1 Tobias Schwerdt; S. 2.1 Magali
Hauser; S. 2.2 iStock.com/Achim
Schneider / reisezielinfo.de;
S. 2.3 iStock.com/miniseries;
S. 2.4 Aymeric Fleith;

Inhaltliche Verantwortung
Für den Inhalt der Beiträge sind die
Autoren verantwortlich.

Anzeigen



Hochschule Karlsruhe
University of
Applied Sciences

+HKA

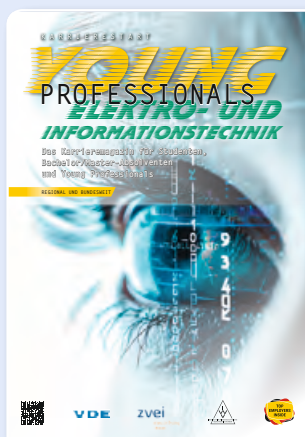
Hören, was läuft – der HKA-Podcast

Topaktuelle Forschung, spannende
Studiengänge und originelle Studieren-
denprojekte: An der HKA gibt es viel zu
erzählen. Wir podcasten, was bei uns
passiert. Jetzt abonnieren bei Apple
Podcasts oder Spotify.

www.h-ka.de/podcast 

WÄHLEN SIE DAS ERFOLGSMAGAZIN FÜR IHRE PERSÖNLICHE KARRIERE



K A R R I E R E P L A N U N G
I H R E C H A N C E N

B E R U F S F E L D E R
I H R E M Ö G L I C H K E I T E N

I N T E R N E T
J O B S U C H E

B E W E R B U N G
S T E L L E N A N G E B O T E



Ja, ich bin interessiert und bitte um Zusendung eines kostenfreien Exemplars

KARRIERESTART YOUNG PROFESSIONALS

☐ Bauingenieurwesen ☐ Elektrotechnik/IT ☐ Informatik oder ☐ Maschinenbau

Name _____

Firma _____

Straße _____

PLZ/Ort _____

Telefon _____

E-Mail _____

ALPHA Informationsgesellschaft mbH

Finkenstraße 10 • 68623 Lampertheim • Telefon 06206 939-0
magazine@alphapublic.de • www.alphapublic.de

Warum wir sagen, dass wir die Welt bewegen?



Klingt interessant?
Praktikum, Werkstudierendentätigkeit,
Abschlussarbeit oder Direkteinstieg.
Jetzt bewerben!
www.sew-eurodrive.de/studenten

**ANTRIEB
BEWEGT
ZUKUNFT**

BEWEG
MIT