

F  
O  
R  
S  
C  
H  
U  
N  
G

A  
K  
T  
U  
E  
L  
L  
E

HK  
KA  
A



# Liebe Leserinnen und Leser,

ich freue mich, Ihnen die „Forschung aktuell 2023“, den jährlichen Forschungsbericht der Hochschule Karlsruhe (Die HKA) vorzustellen. Intelligente und autonome Systeme, nachhaltige Mobilität, Umwelttechnik und Ressourceneffizienz, neue Formen der menschlichen Arbeit und der automatisierten Produktion, überall bewahrheitet sich die Feststellung des Philosophen Heraklit von Ephesos: „Nichts ist so beständig wie der Wandel.“ Als Hochschule möchten wir diesen Wandel mitgestalten. Das machen wir vor allem, aber nicht nur mit einer soliden Ausbildung unserer Studierenden für zukünftige Herausforderungen, sondern erarbeiten auch ganz konkrete Lösungen in Projekten der angewandten Forschung und Entwicklung. Und das tun wir gemeinsam, wie es unschwer an den Autorinnen und Autoren der Artikel dieser Ausgabe erkennbar ist. Seien Sie neugierig auf die hier präsentierten Forschungsergebnisse, die wir zusammen mit Kooperationspartnern aus Wissenschaft und Wirtschaft, unseren Doktorandinnen und Doktoranden, aber auch unseren Studierenden und in einem Artikel sogar zusammen mit Schülern erarbeitet haben.

Damit illustriert diese Ausgabe erneut die große Bandbreite unserer Forschungsaktivitäten, mit der wir nicht nur unser Studienangebot bereichern, sondern auch Innovationen zur Verbesserung der Zukunftsfähigkeit unserer Gesellschaft und Wirtschaft schaffen. Das Spektrum der Beiträge dieser Ausgabe reicht von Grundbedürfnissen wie Trinkwasser und Mobilität, über technische Innovationen wie Augmented Reality und Künstliche Intelligenz bis hin zu Themen des gesellschaftlichen Zusammenhalts wie Wissensvermittlung und Ehrenamt.

Um Ihnen, liebe Leserinnen und Leser, das Auffinden der Artikel Ihrer bevorzugten Interessen zu erleichtern, sind diese folgenden Rubriken zugeordnet:

- + Energiewende und Klimaschutz
- + Digitalisierung
- + Intelligente Systeme
- + Wissenschaft und Gesellschaft



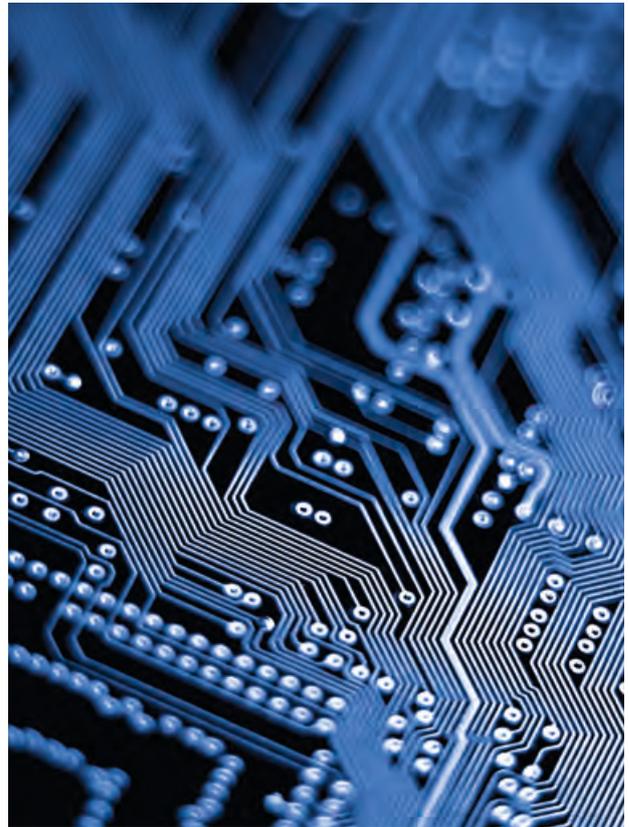
Mit unserem Titelbild zum Thema Wasser möchten wir Sie auf das Interview mit Prof. Dr. Jan Hoinkis sowie auf zwei Beiträge im Heft neugierig machen. Die Aufbereitung von Trinkwasser ist eines der drängendsten Probleme, dem wir uns im Gespräch mit Prof. Hoinkis und in einem Fachbeitrag widmen. Ein weiterer Artikel befasst sich mit der Wissensvermittlung über eine Ausstellung zum Thema Trinkwasser und dessen Verteilung an die Haushalte.

Mein Dank gilt allen Kolleginnen und Kollegen, die Beiträge eingereicht und so eine hohe Qualität dieser Ausgabe ermöglicht haben. Nicht minder bedanken möchte ich mich auch bei allen Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern, die redaktionell, gestalterisch und organisatorisch an der Erstellung der „Forschung aktuell 2023“ mitgewirkt haben.

Ihnen, werte Leserinnen und Leser, wünsche ich bei der Lektüre interessante Einblicke in die Forschungsaktivitäten der HKA. Lassen Sie sich von den Beiträgen inspirieren.

**Prof. Dr.-Ing. Franz Quint**

Prorektor für Forschung, Kooperationen  
und Qualitätsmanagement



## Überblick über die Forschung an der Hochschule Karlsruhe

Franz Quint und Elena Stamm

### Klimaschutz

- 14 Regenerative Trinkwassergewinnung  
Edgardo Cañas Kurz, Marvin Stängle, Herman-Jalli Ng  
und Jan Hoinkis
- 18 **Interview**  
Wird weltweit immer knapper:  
sauberes Trinkwasser  
Jan Hoinkis
- 24 Die Analyse des notwendigen  
Autoverkehrs der Hochschule  
Karlsruhe – Ein Perspektivwechsel  
für klimaneutrale Mobilität  
Benedikt Prinzing, Jochen Eckart, Devin Feng

### Digitalisierung

- 32 Vom Labor in die digitale Welt  
Jana Holland-Cunz, Matthieu Laqua, Nhat Phi Ho, Fynn Wagner,  
Anastasia August und Britta Nestler
- 38 Das Projekt Umwelt Digital 4.0 –  
Stärkung der Umweltbildung  
und -partizipation durch  
Augmented Reality  
Mathias Trefzger
- 44 Digitalisierung im Ehrenamt  
Simone Dogu, Stefanie Regier und Ingo Stengel
- 48 Neugründung des Instituts  
für Intelligente Interaktion und  
Immersive Erfahrung  
Matthias Wölfel



## Intelligente Systeme

- 56** Wertschöpfungsnetzwerke durch KI-basierte Optimierung resilient gestalten  
Dennis Richter, Steffen Kinkel, Patrick Fomferra und Ina Schiedermaier
- 60** ROBDEKON II – Robotersystem für die Dekontamination in menschenfeindlichen Umgebungen  
Dennis Hartmann, Yucheng Tang, Christian Wurll und Björn Hein
- 64** Das Kompetenzzentrum KARL bietet ein wachsendes Angebot rund um Künstliche Intelligenz (KI)  
Dennis Richter, Steffen Kinkel und Jakob Ilg

## Wissenschaft und Gesellschaft

- 70** Die Idee der Zahl  
Thomas Morgenstern
- 76** Über Wissenschaft reden ...  
Anja Grunwald
- 80** Identifizierung von Schlüsselpersonen für eine effiziente Wissenssicherung und -weitergabe in Unternehmen  
Elena Kick, Ina Schiedermaier, Marco Baumgartner, Tobias Kopp und Steffen Kinkel
- 84** Was autonomes Fahren mit unserem Mobilitätsverhalten machen würde  
Jan Riel und Kerstin Gothe
- 90** Impressum



**Unser  
Erfolg  
hat viele  
Gesichter**

### Werde eins davon. Bewirb Dich jetzt!

Mit zukunftsweisenden, individuellen Lösungen zum Verpacken unterschiedlichster Produkte in Blister sind wir marktführender Partner unserer internationalen Kunden und attraktiver Arbeitgeber. Wir gestalten mit über 450 Mitarbeitenden an neun Standorten unseren Erfolg.



**KOCH**  
UHLMANN GROUP

### Bewirb Dich (m/w/d) jetzt, für ein **Duales Studium**

- Bachelor of Engineering – Maschinenbau
- Bachelor of Engineering – Elektrotechnik
- Bachelor of Engineering – Wirtschaftsingenieurwesen
- Bachelor of Science – Wirtschaftsinformatik

Mehr zu Berufsbildern  
und Bewerbung unter  
[koch-pac-systeme.com/  
karriere](http://koch-pac-systeme.com/karriere)



[www.koch-pac-systeme.com](http://www.koch-pac-systeme.com)



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

**Johannes Tröndle, Projektleiter Forschung und Entwicklung**

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



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

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



Du nutzt deine Chancen.  
Du wachst mit dem Team.  
Du bist bei Coperion.

Technologie, die im Maschinen- und Anlagenbau ganz weit vorn ist. Branchen, Produkte und Aufgaben, die vielfältiger nicht sein könnten. Und ein Team, das dich auf deinem Weg optimal begleitet. Es ist dieser besondere Mix, der deine Ausbildung oder Studium bei Coperion einzigartig macht. Gestalte mit uns die Zukunft. [www.coperion.com/ausbildung](http://www.coperion.com/ausbildung)

**Coperion - Gemeinsam. Weiter. Entwickeln.**



# Überblick über die Forschung an der Hochschule Karlsruhe



## 12

qualitätsgesicherte und zentrale  
Forschungsinstitute

### **Institut für Angewandte Forschung**

Sprecher: Prof. Dr. Christian Wurll

### **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. Michael Kauffeld

### **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 Sensor- und Informationssysteme**

Sprecher: Prof. Dr. Christian Karnutsch

### **Institut für Thermofluidynamik**

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. Unsere vier Forschungsschwerpunkte geben Ihnen einen weiteren Einblick. 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 auf vielfältige Weise, z. B. mit Studienprojekten zu aktuellen Themen. Somit können die potenziellen zukünftigen Arbeitgeber unserer Absolvent:innen indirekt von unseren Forschungsaktivitäten profitieren. Über den Promotionsverband der Hochschulen für angewandte Wissenschaften in Baden-Württemberg werden wir künftig den Doktorgrad verleihen können. Zusammen mit weiteren Mitgliedshochschulen haben damit 23 unserer nachweislich forschungsstarken Professor:innen an der HKA im September 2022 ein Promotionsrecht erhalten. Die ersten Doktorand:innen sollen bereits Ende 2023 angenommen werden.

## 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 von Industrieprozessen und zum Einsatz von kollaborativen und autonomen Robotersystemen. Unsere Forscher:innen beachten dabei auch die neue Rolle des Menschen in den Produktionsprozessen.



# 94

laufende kooperative Promotionsvorhaben

Unsere Professor:innen betreuten Ende 2022 insgesamt 94 Doktorand:innen kooperativ. Ein Teil davon promoviert strukturiert 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 12 Doktorand:innen, die ihre Promotion 2022 erfolgreich abgeschlossen haben.



# 408

Forscherinnen und Forscher

Ohne das Engagement der Ende 2022 75 Professor:innen und ihren insgesamt 333 Mitarbeiter:innen in den genannten Forschungsinstituten wäre unsere Forschung nicht möglich. Bei ihnen und unseren Kooperationspartnern möchten wir uns herzlich bedanken.



# € 13,5 Mio.

Drittmittel einnahmen

Unsere Forscher:innen haben im Jahr 2022 in insgesamt 186 Projekten ca. 13,5 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.

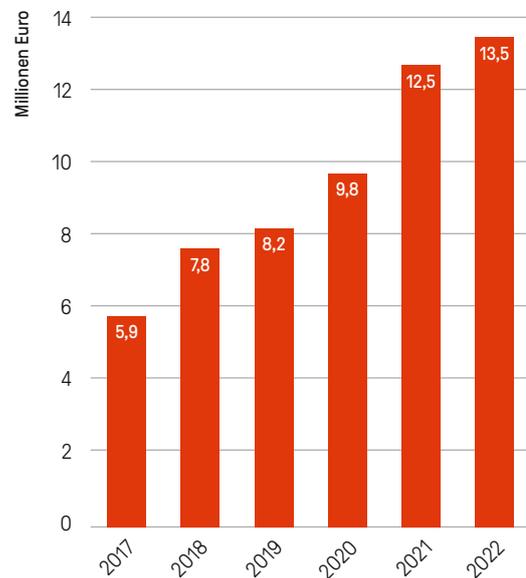


Abb. 1: Umsatzentwicklung Forschung 2017 bis 2022

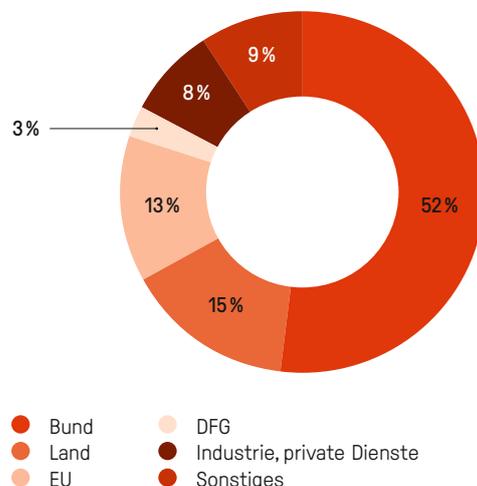


Abb. 2: Mittelgeberkategorie nach Höhe der Drittmittel einnahmen in den Jahren 2020 bis 2022



## Arbeiten beim Automatisierungsweltmeister

Als Global Player bietet FANUC das Beste aus zwei Welten – internationale Karrierechancen in einem familiären Umfeld eines agilen Unternehmens, das den Menschen im Mittelpunkt sieht. Wir packen abwechslungsreiche Projekte an, arbeiten mit Leidenschaft an unseren Produkten und setzen durch unseren kontinuierlichen Weiterentwicklungsprozess weltweite Trends in der Automatisierungsindustrie. Wenn Du als Teil des führenden Anbieters für Automatisierungstechnik etwas bewegen möchtest, dann starte jetzt Deine Karriere bei FANUC!

### FACTS

#### Produkte und Dienstleistungen

Industrieroboter, CNC-Systeme, Drahterodier-, Spritzguss und Bearbeitungsmaschinen

#### Standorte in Deutschland

Neuhausen auf den Fildern, Meinerzhagen, Neutraubling und Seevetal

#### Standorte weltweit

263 FANUC Niederlassungen

#### Mitarbeiter

410 bei FANUC in Deutschland,  
7.000 weltweit

### DEIN START BEI FANUC

- Praktika
- Werkstudententätigkeit
- Technikerarbeiten
- Abschlussarbeiten
- Direkteinstieg

#### in den Bereichen:

- Marketing
- Personalwesen
- Internationales Personalmanagement
- Recruiting
- Prozessoptimierung
- Qualitätsmanagement
- Key Account Management
- Robotics
- Softwareentwicklung
- Mechanische Konstruktion
- Robotics mit Fokus Offline-Programmierung
- Project Robotics
- Technical Engineer Robotics

### BENEFITS



Flexible  
Arbeitszeit



Homeoffice  
Möglichkeit



30 Tage  
Urlaub



Attraktive  
Vergütung



Bezuschusste  
Kantine



Studenten-  
stammtische

Bewirb dich jetzt unter  
[startYOURcareer@fanuc.de](mailto:startYOURcareer@fanuc.de)

#### Ansprechpartner

Herr Adrian Quast  
Bernhäuser Straße 36  
73765 Neuhausen auf den Fildern  
E-Mail: [startYOURcareer@fanuc.de](mailto:startYOURcareer@fanuc.de)



Mehr Infos zu Deiner  
Karriere bei FANUC



We love to make  
transformation happen

**TPK**  
Technologiapark Karlsruhe

Sie machen  
High-Tech,  
wir schaffen die  
Räume dafür.

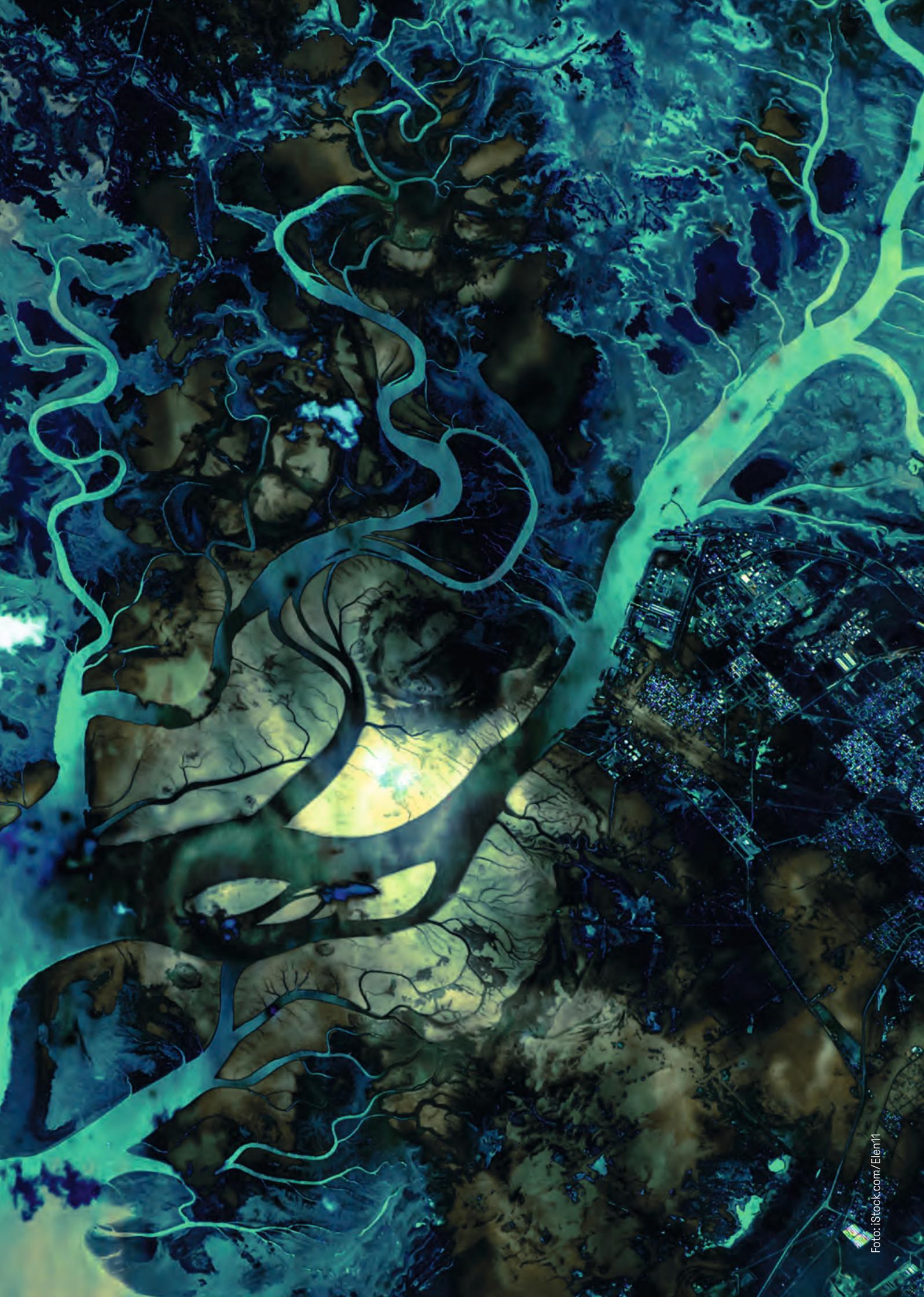


**Technologiapark Karlsruhe GmbH**

Tel. 0721 6105-01

E-Mail [tpk@techpark.de](mailto:tpk@techpark.de)

→ [techpark.de](https://techpark.de)



Klimaschutz

# Regenerative Trinkwassergewinnung

Edgardo Cañas Kurz, Marvin Stängle, Herman-Jalli Ng und Jan Hoinkis

DE Versalztes Grundwasser ist ein häufiges Problem für die Trinkwasserversorgung weltweit. In Argentinien kommt geologisch bedingt zusätzlich das Problem der Arsen-Kontamination hinzu. Um an beide Probleme heranzugehen, entwickelt die Hochschule Karlsruhe zusammen mit deutschen und argentinischen Partnern einen Prozess zur Brackwasserentsalzung mittels solar betriebener kapazitiver Entionisierung (PV-MCDI). Hierbei wurde ein besonderes Netzteil im Niederspannungsbereich entwickelt sowie ein modulares Konzept für die gezielte Arsenentfernung.

EN Saline groundwater is a common problem for the quality of drinking water worldwide. Argentinians have to contend with arsenic contamination in the water as well. To address both of these problems, Karlsruhe University of Applied Sciences is working with German and Argentine partners, to develop a process for brackish water desalination using solar-powered capacitive deionization (PV-MCDI). This includes the development of a special power supply in a low voltage range for the MCDI as well as a modular concept for the targeted removal of arsenic and treatment of the concentrate in order to ensure the sustainable disposal of the toxic arsenic.

Im September 2022 startete das internationale ZIM-Projekt „smART-MCDI“ in Kooperation mit deutschen und argentinischen Partnern unter der Koordination von Prof. Jan Hoinkis und Prof. Herman Jalli Ng, Hochschule Karlsruhe (Die HKA). „SmART-MCDI“ hat sich die Entwicklung einer modularen, energieautonomen Lösung zur Aufbereitung von Grundwasser mittels membran-basierter kapazitiver Entionisierung (MCDI) zum Ziel gesetzt, einem vielversprechenden Entsalzungsprozess, an dem das Team von Prof. Hoinkis seit mehreren Jahren forscht. Der zu entwickelte Prozess soll mithilfe von solarer Energie versorgt und vor allem in ländlichen Regionen betrieben werden. In Argentinien liegt ein Schwerpunkt der Wasseraufbereitung von Grundwasser aktuell in der Salz- und Arsenentfernung; das Konzept der All-in-One-Box soll jedoch modular sein und somit auch den Einsatz in anderen Regionen zur Behandlung anderer Problemstoffe (z. B. Alkalifluoride) ermöglichen.

Grundwasser stellt in Argentinien eine wichtige Frischwasserquelle dar, hauptsächlich für die ländlichen Gebiete. Allerdings sind viele Grundwasserquellen nicht für den Gebrauch als Trinkwasser geeignet, da sie vielfach durch Kontamination, insbesondere durch Arsenite, Arsenate und Fluoride sowie durch erhöhte Salinität verunreinigt sind. Toxisches Arsen im Trinkwasser und in der landwirtschaftlichen Bewässerung ist weltweit ein enormes Problem und gefährdet die Gesundheit von Menschen in 36 Ländern auf allen fünf Kontinenten. Über den Nahrungskreislauf gelangt der Schadstoff von der Umwelt in den menschlichen Organismus. Arsenverbindungen können langfristig das menschliche Gewebe zerstören und Krebserkrankungen wie Lungen-, Blasen-, Nieren- und Prostatakrebs auslösen oder Leberschädigungen und schwerste Hauterkrankungen (z. B. „Blackfoot disease“) verursachen (Litter et al., 2020). Auch Argentinien leidet seit vielen Jahren unter einer hohen Belastung mit toxischem Arsen im Grundwasser. In dieser Region der Erde liegt das Halbmetall im Untergrund überwiegend als Arsenat As(V) vor. Bis zum Jahr 2018 wurden Wasserqualitäten von bis zu 0,05 mg/l Arsen von der argentinischen Regierung als zum Genuss geeignet eingestuft – der Grenzwert der Weltgesundheitsorganisation liegt allerdings



Ein Großteil der Wasservorkommen auf der Erde ist salzhaltig. In Argentinien sind Grundwasservorkommen zudem mit Arsen belastet.

bei 0,01 mg/l. Die Zahl der Betroffenen wird auf etwa 10 % der Bevölkerung beziffert.

Eine Lösung bietet die gezielte, ionenspezifische und energieeffiziente Wasseraufbereitung bzw. Arsenentfernung durch MCDI. Der wesentliche Vorteil der MCDI-Technologie gegenüber anderen Technologien ist der geringe Energiebedarf, insbesondere bei der Brackwasserentsalzung (typischerweise  $< 1 \text{ kWh/m}^3$ , bezogen auf produziertes Frischwasser). Hierbei liegt der Schwerpunkt der Arbeiten seitens der HKA auf der Entwicklung eines modularen Verfahrens zur Behandlung unterschiedlicher Grundwassertypen mittels kapazitiver Entionisierung, insbesondere für versalztes Grundwasser sowie arsen- oder fluoridhaltiges Wasser. Die Forschungsgruppe Wassertechnologie unter der Leitung von Prof. Hoinkis hat bereits langjährige Erfahrung auf diesem Gebiet und verfügt über entsprechende labor-technische Infrastruktur.

Das Innovative des Projekts besteht auch darin, den Betrieb der MCDI-Technologie als Endprodukt direkt mittels PV zu ermöglichen. Dafür ist die Entwicklung eines hocheffizien-

ten und modularen Schaltnetzteils erforderlich, da der Markt kein geeignetes Produkt bietet, das den Anforderungen hierfür entspricht. Das ist der Schwerpunkt von Prof. Ng und seinem Projektmitarbeiter Marvin Stängle, die zusammen mit der Firma EcoPhi die Entwicklung eines neuartigen bidirektionalen Spannungswandlers zur direkten Energieversorgung der MCDI mittels PV adressieren. Der innovative Spannungswandler soll aus den PV-Zellen die für die MCDI notwendigen geringen Spannungen ( $< 1.6 \text{ V}$ ) und hohen Stromstärken (typischerweise 20–80 A) bereitzustellen.

Nach der Integration aller Komponenten in die smARt-MCDI soll das Konzept im ländlichen Argentinien erprobt werden. Vor Ort wird der Partner Aguas & Procesos (A & P) in Zusammenarbeit mit der Universität Rafaela (UNRaf) durch lokale Systemintegration die dortige Produktentwicklung sowie die Vermarktung und Umsetzung des Produkts durchführen. Ein weiterer Schwerpunkt ist die nachhaltige Aufarbeitung der Konzentrationsströme zu nutzbarem Brauchwasser und die Immobilisierung des abgetrennten Arsens. Hierfür wird sich die UNRaf im Rahmen von

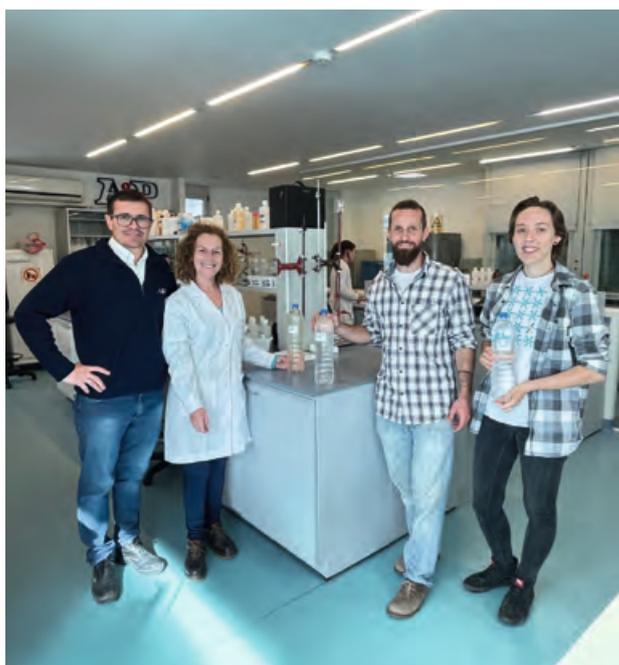
Litter, M. I.; Armienta, M. A.; Villanueva Estrada, R. E.; Villaamil Lepori, E. C.; Olmos, V. (2020): Arsenic in Latin America, Part I. In Arsenic in Drinking Water and Food, Springer Singapore, pp. 71–112.

Laboruntersuchungen (Kolonnenversuche) mit dem Test und der Auswahl geeigneter Adsorptionsmedien zur Konzentrationsbehandlung widmen.

Nach der ersten Hälfte des Projekts wurde die Konzipierung des Gesamtprozesses abgeschlossen und die ersten Tests zur Arsenaufbereitung durchgeführt. Für die Adsorptions-Kolonnenversuche kam Maschinenbaustudentin Lilith Hollich im Rahmen ihrer Bachelorarbeit nach Argentinien und unterstützte die Projektabwicklung vor Ort. Zu den wichtigsten Aufgaben zählten die Standortauswahl durch Beprobung, die Analyse von Grundwasserbrunnen und die Suche nach geeigneten Adsorptionsmaterialien unter lokalen Firmen und Herstellern sowie auch im Bereich anderer regionaler Forschungsgruppen. Getestet wurden u. a. Aktivkohle und Biochar (Fa. CarboClean,

CalgonF200) sowie eisenhaltige Nanomaterialien (Universidad Nacional del Sur, Argentinien). Erste Ergebnisse mit Modellwasser (ca. mit 500 µg/l As) zeigten eine hervorragende Adsorptionsleistung für mit Eisenoxid angereichertes organisches Aktivkohlepulver (org. PAK-EO). Die Vorteile von org. PAK sind seine einfache Herstellung und geringe Beschaffungskosten.

Als weitere Schritte im Projekt werden beide Aufbereitungsprozesse – also die Entsalzung mittels MCDI und die Konzentratbehandlung mittels PAK-EO – weitgehend geprüft. Der Aufbau der Anlage soll Mitte bis Ende 2023 abgeschlossen sein, sodass die Pilotphase in Argentinien starten kann. Unter [www.smart-mcdi.de](http://www.smart-mcdi.de) finden sich Informationen zum Projekt. ✕



Das Team von UNRaf und HKA im Labor von Aguas y Procesos (AyP) v. l. n. r.: Ing. Juan Druetto (AyP), Carina Pelosi, PTA (AyP), Ing. Manuel Schmelzle (UNRaf), Lilith Hollich (HKA). (Foto: Rodrigo Gonzalez)

#### Autoren

**Dr.-Ing. Edgardo Cañas Kurz**

Akademischer Mitarbeiter am Institut für Kälte-, Klima- und Umwelttechnik der HKA

**Marvin Stängle B.Sc.**

Akademischer Mitarbeiter am Institut für Kälte-, Klima- und Umwelttechnik der HKA

**Prof. Dr. Herman-Jalli Ng**

Professor an der Fakultät für Elektro- und Informationstechnik der Hochschule Karlsruhe

**Prof. Dr.-Ing. Jan Hoinkis**

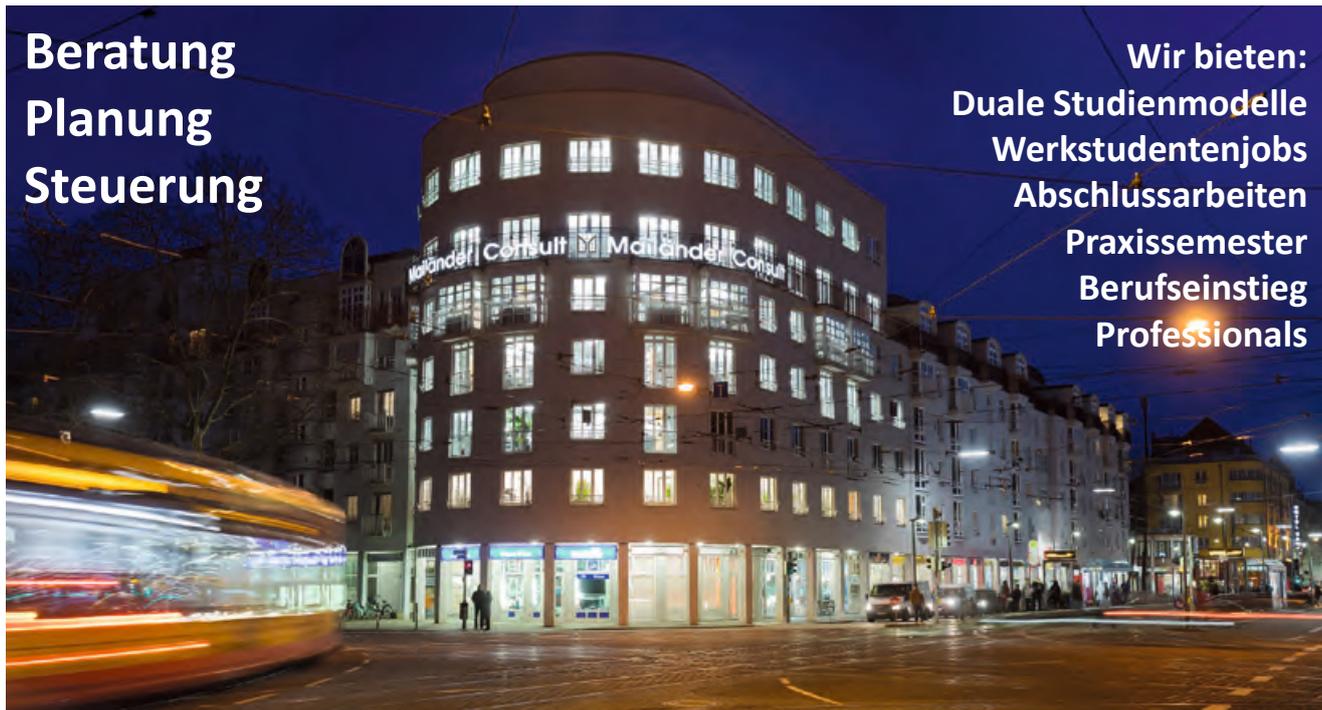
Professor an der Fakultät für Elektro- und Informationstechnik der Hochschule Karlsruhe und Projektleiter „Wassertechnologie“ am Institut für Kälte-, Klima- und Umwelttechnik

#### Kontakt

Prof. Dr.-Ing. Jan Hoinkis  
Projektleitung und Koordinierung  
Institut für Sensor- und Informationssysteme (ISIS)  
Moltkestraße 30  
76137 Karlsruhe  
E-Mail: [jan.hoinkis@h-ka.de](mailto:jan.hoinkis@h-ka.de)  
Tel.: +49 721 925 1372

**Beratung  
Planung  
Steuerung**

**Wir bieten:  
Duale Studienmodelle  
Werkstudentenjobs  
Abschlussarbeiten  
Praxissemester  
Berufseinstieg  
Professionals**



© Mailänder Consult 2023

[www.mic.de](http://www.mic.de)



# KTE

Kerntechnische  
Entsorgung Karlsruhe

**SPANNENDE  
PERSPEKTIVEN  
FÜR FACH- UND  
FÜHRUNGS-  
KRÄFTE**

Vielfältiges Know-how in einzigartigen Aufgabengebieten bildet unsere starke Kompetenz im Rückbau kerntechnischer Anlagen und in der nuklearen Entsorgung.

Bei der KTE kommen Fachleute aus den verschiedensten wissenschaftlichen Disziplinen zusammen. Die KTE bietet langfristige Jobs, die Gutes bewirken für eine nachhaltige Umwelt!

**ZUSAMMEN  
MIT UNS  
DIE ZUKUNFT  
GESTALTEN**

**GEMEINSAM  
MAßSTÄBE  
SETZEN!**

**JOBS, DIE  
EINZIGARTIG  
SIND**

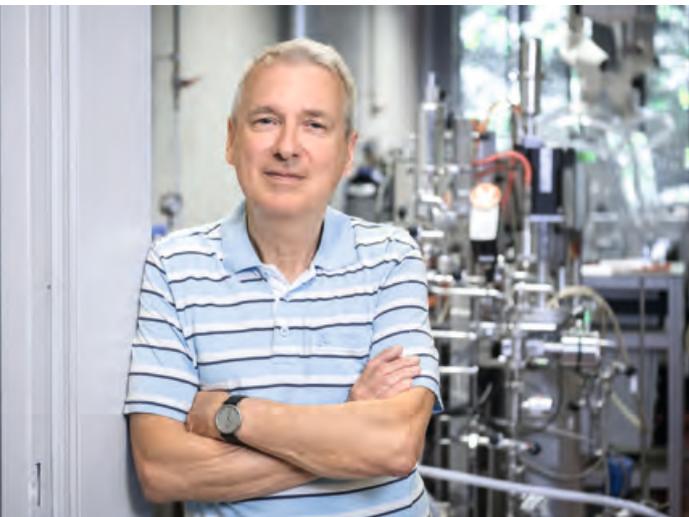
Erfahren Sie mehr über uns und finden Sie Ihren ganz persönlichen Platz bei der KTE! Oder gleich direkt bewerben! [karriere.kte-karlsruhe.de](http://karriere.kte-karlsruhe.de)



**Wir setzen Maßstäbe.  
Mit Sicherheit.**

# Wird weltweit immer knapper: sauberes Trinkwasser

Interview mit Jan Hoinkis



Prof. Hoinkis ist weltweit in ein großes internationales Netzwerk mit renommierten Hochschulen und Forschungsinstituten eingebunden. (Alle Fotos: Tobias Schwerdt)

## Jan Hoinkis

Dr. Jan Hoinkis ist seit 1996 Professor an der HKA und leitet die Forschungsgruppe Wassertechnologie am Institut für Kälte-, Klima- und Umwelttechnik. Mit großem Erfolg hat er zahlreiche nationale und internationale Forschungsprojekte initiiert und federführend durchgeführt (BMBF, EU, ZIM, Bundesstiftung Umwelt etc.) – stets unter Betonung der praxisorientierten und interdisziplinären Ausrichtung. Sein Schwerpunkt liegt auf dem Gebiet der sensorgestützten und energieoptimierten Membranfiltrationstechniken in der Trink- und Abwasserbehandlung sowie Wasserwiederverwendung.

Von 2008 bis 2016 war Prof. Hoinkis Geschäftsführender Direktor des Instituts für Angewandte Forschung der HKA. Seine gesamten Forschungsaktivitäten tragen ganz wesentlich zur Profilbildung der Hochschule bei. In Anerkennung seiner wissenschaftlichen Leistungen wurde Prof. Hoinkis 2017 mit dem Forschungspreis der Hochschule ausgezeichnet.

**Sie sind seit vielen Jahren aktiv und meist federführend an zahlreichen internationalen Projekten beteiligt. Wo liegen die regionalen Schwerpunkte Ihrer Aktivitäten?**

JAN HOINKIS: Vor etwa 20 Jahren haben wir unser erstes größeres internationales und von der EU gefördertes Projekt zur Trinkwasseraufbereitung und Abwasserbehandlung mit Partneereinrichtungen in China und Bangladesch gestartet. Im Bereich Trinkwasser stand die Behandlung von arsenhaltigem Grundwasser im Fokus. Dies war und ist immer noch ein großes Problem vor allem in Bangladesch und Indien. Arsen ist eine giftige Substanz, die dort natürlicherweise vielfach im Grundwasser auftritt und zu großen Gesundheitsproblemen in der Bevölkerung führt (Hautprobleme, Krebserkrankungen). Im Bereich Abwasseraufbereitung wurden insbesondere Abwässer aus der Textilindustrie adressiert. Die Arsenproblematik hatte sich in den folgenden Jahren zu einem Schwerpunkt unserer Forschung entwickelt und wurde weiter innerhalb von Projekten in Indien und Vietnam verfolgt. Mittlerweile haben sich die regionalen Schwerpunkte unserer angewandten Forschung auf Afrika fokussiert. Wir arbeiten hier meist im Rahmen von EU-geförderten Projekten mit Partnern in Marokko und Ostafrika (Kenia, Uganda, Tansania). Hierbei steht die Wasseraufbereitung für den Agrarbereich im Vordergrund. In Marokko entsteht so beispielsweise als Pilotprojekt derzeit ein sogenannte All-in-One Box, die für die Bewässerung modular aus Komponenten zur Wassertrennung aufgebaut und zur Optimierung des Wasserverbrauchs mit entsprechender Sensorik im Boden gekoppelt ist. Die Box wird dabei zu 100 % autonom durch solare Photovoltaiktechnik betrieben. In Ostafrika steht die Koppelung von Fischzucht mit landwirtschaftlichen Aktivitäten im Fokus, wobei hier aufbereitetes Abwasser eingesetzt wird.

**Wasser ist eine immer knapper werdende Ressource. Laut einem UN-Bericht haben 26 % der Menschen auf der Erde keinen Zugang zu sauberem Trinkwasser. Auch dort, wo Wasser heute im Überfluss vorhanden ist, wird es aufgrund der Klimaerwärmung knapper. Welche Verfahren gibt es Trinkwasser zu gewinnen?**



Eigentlich gibt es auf unserem blauen Planeten genügend Wasser, doch leider liegen etwa 97 % als Salzwasser vor und stehen somit nicht als Trinkwasser oder Brauchwasser zur Verfügung. Da die bisherigen Trinkwasserquellen wie Grund- oder Oberflächenwasser zukünftig nicht mehr ausreichen, sind und werden Entsalzungstechnologien zur Trinkwassergewinnung immer wichtiger. Zur Meerwasser- und Brackwasserentsalzung spielt die sogenannte Umkehrosmose eine wichtige Rolle. Hierbei werden durch hohen Druck Salze aus dem Wasser durch Membranen gefiltert und dadurch Trinkwasser gewonnen. Die Probleme bei diesem Verfahren sind zum einen der hohe Energieaufwand zum Betrieb, wobei heute fast ausschließlich fossile Energieträger eingesetzt werden und damit hohe CO<sub>2</sub>-Emissionen verbunden sind. Zum anderen werden die verbleibenden Salzkonzentrate wieder ins Meer zurückgeleitet. Dies ist global betrachtet kein Problem, kann aber bei lokaler Einleitung großer Mengen Probleme für die Meeresflora und -fauna verursachen.

Es gibt neben der Umkehrosmose eine Reihe von anderen Entsalzungsverfahren, z. B. thermische oder elektrochemische Verfahren. Wir forschen seit einigen Jahren an dem Verfahren der sogenannten kapazitiven Entionisierung. Hierbei werden die Salzionen durch Anlegen einer geringen Spannung an porösen Aktivkohle-Elektroden entfernt. Durch Umkehrung der Spannung können die mit Salz gefüllten Elektroden wieder „entleert“ und das Konzentrat entfernt werden. Dieses Verfahren hat gegenüber der Umkehrosmose prinzipiell den Vorteil einer höheren Energieeffizienz. Allerdings kann dieses Verfahren bisher nur bei Brackwasser mit geringem Salzgehalt eingesetzt werden. Für die Aufbereitung von Meerwasser ist es bisher nicht geeignet. Es wird aber derzeit daran geforscht, mit der kapazitiven Entionisierung auch höhere Salzgehalte effizient zu entfernen.

### Welche weiteren Verfahren gibt es prinzipiell, um sauberes Wasser zu gewinnen?

Neben der Wasserentsalzung wird zukünftig auch die Wasserwiederverwendung von aufbereitetem Abwasser eine große Rolle spielen. Hierbei ist natürlich an die Verwendung als Brauchwasser und nicht als Trinkwasser gedacht. Der Trinkwasserbedarf macht ja nur einen kleinen Teil unseres täglichen Wasserverbrauchs aus, die größten Wasserverbraucher sind die Landwirtschaft zur Bewässerung und die Industrie. Bei der Wiederverwendung von aufbereitetem Abwasser muss man sich genau die notwendigen Anforderungen an die Wasserqualität anschauen, um maßgeschneiderte Lösungen zu entwickeln. Die strengen Anforderungen für Trinkwasser spielen hier typischerweise keine Rolle. In der Bewässerung vertragen viele Pflanzen auch höhere Salzkonzentrationen als die in den Trinkwasser-Grenzwerten festgeschriebenen. Eine besondere Beachtung finden heute sogenannte Spurenstoffe wie etwa Arzneimittelrückstände, die sich mit den üblichen Ver-

fahren der Klärwerke nicht entfernen lassen und sich in der Umwelt akkumulieren können. Wir forschen seit vielen Jahren am Verfahren der Membranbioreaktor-Technologie (MBR-Technologie), die eine Kombination aus biologischer Reinigung wie in den Klärwerken und einer Membranfiltration darstellt. Hierbei werden allerdings keine so „dichten“ Membranen wie in der Umkehrosmose eingesetzt, sondern es werden sogenannte Mikro- oder Ultrafiltrationsmembranen verwendet. Diese sind dennoch in der Lage, feinste Partikel sowie Bakterien und Viren zurückzuhalten. Die großen Vorteile dieser Technologie sind ein geringer Platzbedarf sowie die relativ gute Wasserqualität, die in vielen Fällen für beispielsweise Reinigungszwecke ausreichend ist.

## „Wir forschen seit einigen Jahren an dem Verfahren der sogenannten kapazitiven Entionisierung.“

Prof. Jan Hoinkis



**Sie haben erwähnt, dass sich die Schwerpunkte Ihrer Forschungsaktivitäten nun auf Afrika ausgerichtet haben. Welche besonderen Herausforderungen sehen Sie bei der Wasseraufbereitung in Afrika und wie sind Sie diese angegangen?**

Die Wasseraufbereitung in Afrika steht vor verschiedenen Herausforderungen, darunter der mangelnde Zugang zu sauberen Wasserquellen, die fehlende Infrastruktur und unzureichende sanitäre Einrichtungen. Hier sind auch insbesondere die Probleme mit einer kontinuierlichen Energieversorgung zu nennen. In vielen Ländern und insbesondere in der afrikanischen Sub-Sahara kommt es fast täglich mehrfach zu plötzlichen Stromausfällen, was natürlich vor allem für eine Fischzucht problematisch ist, da die Belüftungsanlagen der Tanks dann ausfallen und sich der damit verbundene Wegfall des Sauerstoffs für die Fische lebensbedrohlich auswirkt. Deshalb sehen unsere Konzepte wenn nicht eine komplett dezentrale solare Energieversorgung, doch zumindest eine netzgebundene, teilautonome Versorgung vor, sodass Stromausfälle überbrückt werden können. Für die Wasseraufbereitung selbst müssen die Systeme natürlich sehr robust und preisgünstig ausgelegt sein. Sehr wichtig ist auch eine gute Schulung des technischen Personals, möglichst nach dem Train-the-Trainer-Prinzip, d. h. die Ausbildung von Fachleuten, die dann später selbst ausbilden können.

**Wie arbeiten Sie bei der Umsetzung Ihrer Projekte mit lokalen Gemeinden, Regierungen und Organisationen zusammen?**

Die Zusammenarbeit mit lokalen Gemeinschaften, Regierungen und Nichtregierungsorganisationen ist für eine erfolgreiche Projektumsetzung unerlässlich. Wir engagieren uns als Projektkoordinatoren aktiv für diese Interessengruppen, indem wir partizipatorische Ansätze verfolgen, die Gemeinden konsultieren und Partnerschaften mit lokalen Behörden und Nichtregierungsorganisationen aufbauen. Gerade in den EU-Projekten sind entsprechende Organisationen bereits als Partner in das Konsortium eingebunden. Indem wir diese Gemeinden und Organisationen in die Entscheidungsprozesse einbeziehen, stellen wir sicher, dass die Projekte auf die lokalen Bedürfnisse der Bevölkerung abgestimmt sind

und fördern damit ein Gefühl der Eigenverantwortung und Nachhaltigkeit. Dies ist sehr wichtig, damit die Projekte auch nach ihrem offiziellen Ende weiterlaufen bzw. weiterentwickelt werden. In unserem kürzlich gestarteten EU-Projekt PrAectiCe in Ostafrika steht gerade dieses Thema im Mittelpunkt: Ein Schwerpunkt ist hier die Entwicklung von optimierten Entscheidungsfindungsprozessen für Kleinbauern in der Agroökologie.

**Wo liegt derzeit der Schwerpunkt Ihrer Forschung im Bereich der Wasseraufbereitung?**

Eines der großen Probleme in der Membrantechnik stellt die Verschmutzung der Membranen im Langzeitbetrieb dar, das sogenannte „Fouling“. Hier wird aktuell in vielen Bereichen geforscht. Wir sind über Doktorarbeiten zusammen mit unserem Partner, dem Institute on Membrane Technology in Rende, Italien, dabei, sogenannte „low-fouling“-Membranen für die MBR-Technologie zu entwickeln. Hierbei wird eine dünne Monomerschicht auf kommerzielle Membranen aufgebracht und unter UV-Licht ausgehärtet. Die neu aufgebrachte Beschichtung soll quasi wie beim sogenannten „Lotuseffekt“ eine Verschmutzung der Membranoberfläche vermindern. Des Weiteren forschen wir im Bereich optimierter Verfahrenskombinationen, z. B. der Kombination der Umkehrosmose und der kapazitiven Entionisierung zur Trinkwassergewinnung. Ein wesentlicher Punkt hierbei ist die Optimierung der Verfahren in Richtung eines niedrigen Energieverbrauchs sowie ihr Betrieb durch regenerative Energie wie Photovoltaik und Windkraft. Hierbei muss das gesamte System von Wasseraufbereitung und Energieerzeugung in seiner Gesamtheit betrachtet und optimiert werden, wofür heute allgemein im Englischen der Begriff „Water-Energy-Nexus“ verwendet wird. Bei der Energieversorgung stellt sich stets die Frage, ob es sich um netzgekoppelte oder komplett dezentrale Anlagen handeln soll. Hierbei haben wir verschieden Konzepte für den Globalen Süden entwickelt und auch in Demonstrationsanlagen getestet.

**Sie arbeiten ja im Bereich der angewandten Forschung, was bedeutet das konkret?**

Das ist eine gute Frage. Für unsere Forschung ist es sehr wichtig, bereits zu Beginn eines neuen Projekts den



sogenannten Technologietransfer im Blick zu haben. Dies ist insbesondere in den Ländern des Globalen Südens sehr wichtig. Das heißt, wir versuchen durch entsprechendes Training Leute vor Ort zu schulen, sodass die Technologien und Pilotanlagen weiterbetrieben bzw. weiterentwickelt werden können. So lässt sich vermeiden, dass nach Ende der Projektlaufzeit die Anlagen „stehenbleiben“. Sehr vorteilhaft ist es, wenn studentische Projektmitarbeiter:innen nach ihrem Abschluss eigene Firmen gründen und anschließend die innovativen Technologien vermarkten. Ein von mir betreuter Masterstudent aus unserer vietnamesischen Partnerhochschule konnte beispielsweise nach seiner Rückkehr in sein Heimatland eine Firma u. a. zum Vertrieb kleiner Entsalzungsanlagen für Fischerboote aufbauen. Die Firma ist bereits seit einigen Jahren sehr erfolgreich und hat nun auch andere Systeme zur Wasseraufbereitung in ihrem Portfolio. Ein weiteres Beispiel stammt aus Kenia. Nach Ende unseres ersten EU-geförderten Fischzuchtprojekts in diesem Land schloss sich ein Team junger Ingenieure zusammen, gründete eine Firma zur Installation von Fischzuchtanlagen und vertreibt diese an lokale Kunden.

**Wir wissen, dass in vielen Ländern des Globalen Südens schon seit viele Jahren Wasserknappheit herrscht, wie sind die Aussichten für Deutschland?**

Zum Glück ist die Situation in Deutschland nichts so dramatisch wie in vielen Ländern des Globalen Südens. Aber die zunehmend trockenen Sommer aufgrund des Klimawandels werden auch in Deutschland zu einem Umdenken in Richtung Wassersparen und -wiederverwendung führen. Hierbei werden vor allem wassersparende Technologien in der landwirtschaftlichen Bewässerung eine wichtigere Rolle spielen sowie die Verwendung von aufbereitetem Abwasser, wobei zukünftig eine Trennung des Abwassers in das

sogenannte Grauwasser (gering verschmutztes Abwasser z. B. aus Bädern, Duschen) und Schwarzwasser (aus Toiletten) sinnvoll werden kann. Grauwasser kann relativ leicht aufbereitet und einer Wiederverwendung zugeführt werden. Schwarzwasser enthält viel organische Stoffe und aus ihm kann beispielsweise Biogas zur Energiegewinnung erzeugt werden. Basierend auf diesem Konzept laufen auch in Deutschland bereits einige Pilotprojekte.

## „Die Ausbildung des wissenschaftlichen Nachwuchses liegt mir sehr am Herzen.“

Prof. Jan Hoinkis

**In vielen Ihrer Forschungsprojekte arbeiten Sie mit dem wissenschaftlichen Nachwuchs. Was können die Studierenden aus diesen Projekten mitnehmen bzw. warum ist es wichtig, dass sie im Studium solche Erfahrungen machen können?**

Auch die Ausbildung des wissenschaftlichen Nachwuchses liegt mir sehr am Herzen. In unseren Projekten sollen die Studierenden vor allem ihr theoretisch erworbenes Wissen in die Praxis umsetzen. Da unsere Projekte typischerweise in Ländern

des Globalen Südens stattfinden, werden die Studierenden zusätzlich in interkultureller Kompetenz geschult und lernen, dass sich vor Ort nicht alles perfekt planen lässt und man seine Planungen oft flexibel anpassen muss. Für die Abwicklung unserer Projekte ist es auch sehr vorteilhaft, wenn wir Studierende, die wir im Rahmen von Abschlussarbeiten betreut haben, später als Projektingenieure einsetzen können, denn ohne gut ausgebildetes Personal ist eine erfolgreiche Projektabwicklung für uns nur schwer möglich. In dieser Zeit haben sie dann auch die Möglichkeit zu promovieren und sich so weiterzuqualifizieren. Außerdem fließen die Ergebnisse aus den zahlreichen Projekten in die Lehre ein, sodass der Praxisbezug immer gegeben ist.

**Vielen Dank für das Gespräch!**

Hochschule Karlsruhe  
University of  
Applied Sciences

H  
K  
A

# 20 Jahre Career↔Contacts

Firmenkontaktmesse der HKA

21.-25.10.  
Campus



[www.h-ka.de/careercontacts](http://www.h-ka.de/careercontacts)

Unsere Premiumpartner:

**amiconsult**  
MEHR ALS BERATER

**big**

**BOSCH**  
Technik fürs Leben

**CAS**  
SOFTWARE  
FOR MILES

Endress+Hauser **E+H**  
People for Process Automation

**Herrmann**  
Ultraschall

**SEW**  
EURODRIVE

**SIEMENS**

#heimat  
#Technologieführer



Inspired by  
**temperature**

**huber**

Sie suchen Freiräume für Ihre Ideen und gute Karrierechancen? Dann heißen wir Sie herzlich willkommen in der Tangofabrik in Offenburg – dem kältesten Punkt der Ortenau. Hier ist unsere Heimat und hier entwickeln und produzieren wir seit über 50 Jahren hochgenaue Temperierlösungen für Forschung und Industrie.

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



Wir sind Weltmarktführer in Sachen Regenwassermanagement und spielen eine wichtige Rolle bei Klimaschutz und Nachhaltigkeit.

# WERDE EIN GRAF

Wir recyceln Kunststoffe, setzen auf die weltweit modernsten Maschinen-Technologien und produzieren ressourcenschonend an mehreren Standorten in der Region hochwertige Umweltprodukte. Daher sind wir der richtige Arbeitgeber für einen sicheren Arbeitsplatz in einer absoluten Zukunftsbranche.



Starke Zukunft,  
sicherer Job



Gutes Gehalt,  
wichtige Extras



Mit uns  
die Welt retten

Aktuell suchen wir Verstärkung in nahezu allen Bereichen unserer Standorte Teningen, Herbolzheim und Neuried. In Teilzeit wie in Vollzeit. Quereinsteiger ebenso wie junge Talente, alte Hasen, echte Experten und solche, die es noch werden wollen (m/w/d).

**GRAF Unternehmensgruppe**

Personalbüro  
Carl-Zeiss-Str. 2–6  
79331 Teningen

E-Mail: [bewerbung@graf.info](mailto:bewerbung@graf.info)  
Telefon: 07641 589 7827



[www.graf.info/jobs](http://www.graf.info/jobs)

# Analyse des notwendigen Autoverkehrs der Hochschule Karlsruhe – ein Perspektivwechsel für klimaneutrale Mobilität

Benedikt Prinzing, Jochen Eckart, Devin Feng

DE Die Reduzierung der Treibhausgase im Verkehrssektor trägt einen wichtigen Teil zur Einhaltung der Klimaschutzziele bei. Basierend auf einer empirischen Befragung von Studierenden und Beschäftigten der Hochschule Karlsruhe (Die HKA) wird in diesem Beitrag untersucht, für wie viele Kfz-Fahrten an der HKA bereits heute „annehmbare“ Alternativen durch andere Verkehrsmittel vorliegen. Dazu wird die Theorie des notwendigen Autoverkehrs von Haag (1996) angewendet. Als Ergebnis werden Maßnahmen genannt, wie der nicht-notwendige Autoverkehr an der HKA auf umweltverträglichere Alternativen wie Bus und Bahn oder Fahrrad verlagert werden kann. Damit könnte auch die HKA einen Beitrag zur Reduzierung der Treibhausgase im Verkehr leisten.

EN Reducing greenhouse gases in the transport sector makes an important contribution to meeting climate protection targets. Based on an empirical survey of students and employees at the Karlsruhe University of Applied Sciences (HKA), this paper estimates the number of car trips at HKA for which viable modal alternatives already exist. The theory of necessary car traffic by Haag (1996) is applied to determine the viability of alternative modes in the context of trip samples. Results from this study describe specific measures for shifting unnecessary car traffic at HKA towards more environmentally friendly alternatives, including public transport and cycling. Furthermore, it is an opportunity for HKA to reduce transport-related greenhouse gas emissions.

Um die 2015 in Paris beschlossenen Klimaschutzziele zu erreichen und damit den Klimawandel zu beschränken, sind umfangreiche Klimaschutzmaßnahmen erforderlich. Das Land Baden-Württemberg strebt an, bis zum Jahr 2040 klimaneutral zu werden. [1] Als Landesinstitutionen kommt Hochschulen dabei eine Vorreiterrolle zu. Im Projekt „KATze“ (Hochschule Karlsruhe – Technik und Wirtschaft – Zero Emission!) wurden bereits die Treibhausgas-(THG)-Emissionen des Verkehrs der HKA analysiert. Diese THG-Bilanz der HKA aus dem Jahr 2019 zeigt, dass 87 % der THG-Emissionen durch den Verkehr verursacht werden. 55 % der verkehrlichen Emissionen entfallen auf den motorisierten Individualverkehr (MIV), insbesondere das tägliche Pendeln von Studierenden und Beschäftigten. Um eine neue Perspektive auf den verkehrlichen Klimaschutz zu gewinnen, wird in diesem Beitrag die von Haag (1996) [2] entwickelte Theorie des notwendigen Autoverkehrs betrachtet. Ziel dieser Forschung ist es, die Eignung dieser Theorie als Analyse- und Strategieentwicklungswerkzeug für ein Klimaschutzkonzept der HKA zu untersuchen.

## Theorie des notwendigen Autoverkehrs

Mobilität ist ein Grundbedürfnis des Menschen. Ortsveränderungen, die für die Befriedigung von Aktivitäten notwendig sind, müssen angemessen zurückgelegt werden können. Verkehr hingegen ist lediglich das Instrument zur Umsetzung der Mobilität. [3] Im Hinblick auf eine klimaneutrale Mobilität ergibt sich damit das Ziel die den Bedürfnissen entsprechende Mobilität mit weniger Verkehr zu gewährleisten. [3]

Haag (1996) [2] hat die Notwendigkeit des Autoverkehrs untersucht. Demnach bestimmen vier Aspekte die Unumgänglichkeit einer Autofahrt:

- + Sachzwänge wie Mobilitätsbehinderung oder Gepäcktransport
- + Qualität der Verkehrsmittelalternativen ÖPNV (Öffentlicher Personennahverkehr)
- + Radverkehr und Fußverkehr
- + Zwänge bei der Organisation von Fahrtenketten sowie fehlende Alternativen bei der Wahl des Ziels

[1] Landtag von Baden-Württemberg (2021): Gesetz zur Änderung des Klimaschutzgesetzes Baden-Württemberg, Drucksache 17/943 vom 06.10.2021. [https://www.landtag-bw.de/files/live/sites/LTBW/files/dokumente/WP17/Drucksachen/0000/17\\_0943\\_D.pdf](https://www.landtag-bw.de/files/live/sites/LTBW/files/dokumente/WP17/Drucksachen/0000/17_0943_D.pdf) (Zugriff: 27.03.2022)

[2] Haag, M. (1996): Notwendiger Autoverkehr in der Stadt, Grüne Reihe, 35, zugl. Dissertation, Universität Kaiserslautern, Fachgebiet Verkehrswesen.

[3] Becker, U. (2015): Mobilität vs. Verkehr. Für einen neuen Mobilitätsbegriff. Neue Mobilität – Baden-Württemberg bewegt nachhaltig, Technische Universität Dresden, FGSV-Verlag Stuttgart (24.04.2015). [https://tu-dresden.de/bu/verkehr/ivs/voeko/ressourcen/dateien/vortraege\\_prof\\_becker/NeueMobilitaet\\_BaWue\\_UB\\_final\\_20150424\\_neu.pdf?lang=de](https://tu-dresden.de/bu/verkehr/ivs/voeko/ressourcen/dateien/vortraege_prof_becker/NeueMobilitaet_BaWue_UB_final_20150424_neu.pdf?lang=de) (Zugriff: 22.03.2022)

[4] Levi, S.; Wolf, I.; Flachsland, C.; Koch, N.; Koller, F.; Edmondson, D. (2021): Klimaschutz und Verkehr: Zielerreichung nur mit unbequemen Maßnahmen möglich.

[5] Kagermann, H.; Loogen, F. (2019): Wege zur Erreichung der Klimaziele 2030 im Verkehrs-Sektor, Arbeitsgruppe 1, Klimaschutz im Verkehr, Hg. v. Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur, Nationale Plattform Zukunft der Mobilität. <https://www.plattform-zukunft-mobilitaet.de/wp-content/uploads/2020/03/NPM-AG-1-Wege->

zur-Erreichung-der-Klimaziele-2030-im-Verkehrssektor.pdf (Zugriff: 09.05.2022)

Ariadne-Analyse, Hg. v. Kopernikus-Projekt Ariadne. <https://ariadneprojekt.de/publikation/klimaschutz-und-verkehr-zielereichung-nur-mit-unbequemen-massnahmen-moeglich/> (Zugriff: 09.05.2022)

Im Umkehrschluss zeichnet sich nicht-notwendiger Autoverkehr durch zwei Bedingungen aus: [2] Der Weg wird derzeit mit dem Auto durchgeführt und kann erstens ohne nachteilige Folgen durch kürzere Wege ersetzt oder zweitens mit anderen Verkehrsmitteln durchgeführt werden. Bei einer Untersuchung des Autoverkehrs in der Karlsruher Innenstadt im Jahr 1996 hat Haag (1996) [2] einen Anteil des notwendigen Autoverkehrs von 76 % ermittelt. Daraus folgt, dass für ca. ein Viertel des Autoverkehrs keine Notwendigkeit bestand.

## Mobilitätserhebung HKA

Um den notwendigen Autoverkehr von Studierenden an der HKA zu bestimmen, wurde eine Mobilitätserhebung durchgeführt. Erfasst wurden die Verkehrsmittelwahl der Studierenden an einem Stichtag, die Eigenschaften des Weges sowie mögliche Verkehrsmittelalternativen. Die Befragung fand im Zeitraum vom 14.06.2022 bis 01.07.2022 statt. Insgesamt haben 150 Studierende an der Erhebung teilgenommen. Für die grundsätzliche Überprüfung der Eignung der Theorie des notwendigen Autoverkehrs ist die Stichprobengröße ausreichend.

Als Kernergebnis der Mobilitätserhebung wird die Verkehrsmittelwahl dargestellt (s. Abb. 2). Die Hälfte der Studierenden gab an, den Weg zwischen dem Wohnort und der HKA mit dem Fahrrad zurückgelegt zu haben, 6 % gingen zu Fuß. Öffentliche Verkehrsmittel wurden von 34 % der Studierenden benutzt. Lediglich 10 % der Studierenden nutzten den MIV.

## Nicht-notwendiger Autoverkehr für klimaneutrale Mobilität an der HKA

Auf Basis dieser Mobilitätsbefragung wird der notwendige Autoverkehr der Studierenden an der HKA bestimmt. Im Ergebnis kann abgeleitet werden, für wie viele MIV-Fahrten an der HKA bereits heute „annehmbare“ Alternativen mit anderen Verkehrsmitteln verfügbar sind. Die konkrete Einstufung als notwendiger bzw. nicht-notwendiger Autoverkehr ist von der gesellschaftlichen Bewertung abhängig. Kriterien wie die Fahrtdauer, die Häufigkeit der ÖPNV-Verbindung oder



Abb. 1: Bewertung der Notwendigkeit anhand der Verkehrsmittelalternative nach Haag (1996)

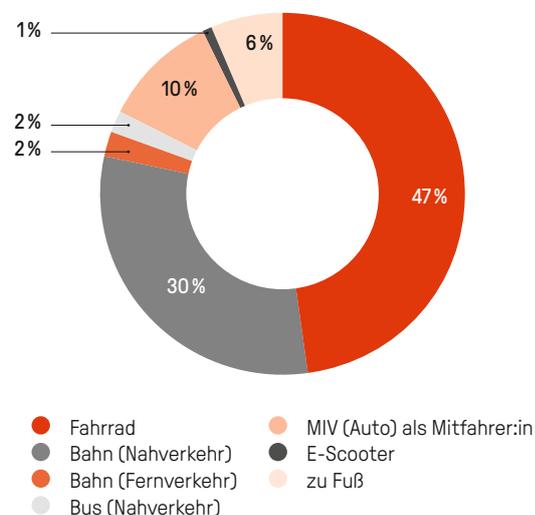


Abb. 2: Modal Split der Studierendenbefragung an der HKA 2022

die maximale Länge eines Fußwegs sind wissenschaftlich nicht vorgegeben und daher stets gesellschaftlich diskutierbar. Die Theorie des notwendigen Verkehrs macht allerdings darauf aufmerksam, dass möglicherweise Alternativen und Ressourcen für nachhaltigere Mobilität vorhanden sind, die nicht genutzt werden.

Die Studien von Levi et al. (2021) [4] und Kagermann/Loogen (2019) [5] haben eine Lücke in Höhe von ca. 30 % der heutigen THG-Emissionen des MIV ermittelt, um klimaneutrale Mobilität zu erreichen. Ein Anteil der THG-Emissionen des MIV-Verkehrs kann durch technische Innovationen (z. B. E-Fuels, E-Mobilität), Lenkungsmaßnahmen (z. B. CO<sub>2</sub>-Bepreisung, streckenabhängige Maut) und Optimierungen (z. B. Vermeidung von Leerfahrten, Verbesserung der Effizienz) kompensiert werden. Darüber hinaus sind Verkehrsverlagerungen notwendig, um die erforderlichen 30 % Reduktion zu erreichen.

Vor dem Ziel der klimaneutralen Mobilität wurde folglich untersucht, wie 30 % der MIV-Fahrten der Studierenden auf andere Verkehrsmittel verlagert werden können. Aufgrund der besseren Durchführbarkeit wurden die THG-Emissionen und die Verkehrsleistung in dieser Arbeit gleichgesetzt. Die Aspekte Mobilitätsbehinderungen und Sachzwänge durch den Transport von Gepäck wurden in den Analysen berücksichtigt, spielen jedoch eine untergeordnete Rolle.

Für die Abgrenzung der aus Sicht des Klimaschutzes nicht-notwendigen Autofahrten wurden unterschiedliche Kriterien erarbeitet. Ein Kriterium beinhaltet, dass die Fahrtdauer je Richtung mit einem alternativen Verkehrsmittel 30 Minuten nicht übersteigen darf, mit dem Auto jedoch darunter liegen darf. Ein weiteres Kriterium besagt, dass das Reisezeitverhältnis zwischen der zeitlich schnellsten Alternative und dem Auto maximal 1,5 betragen sollte. In anderen Worten, ist aus Sicht des Klimaschutzes eine Autofahrt

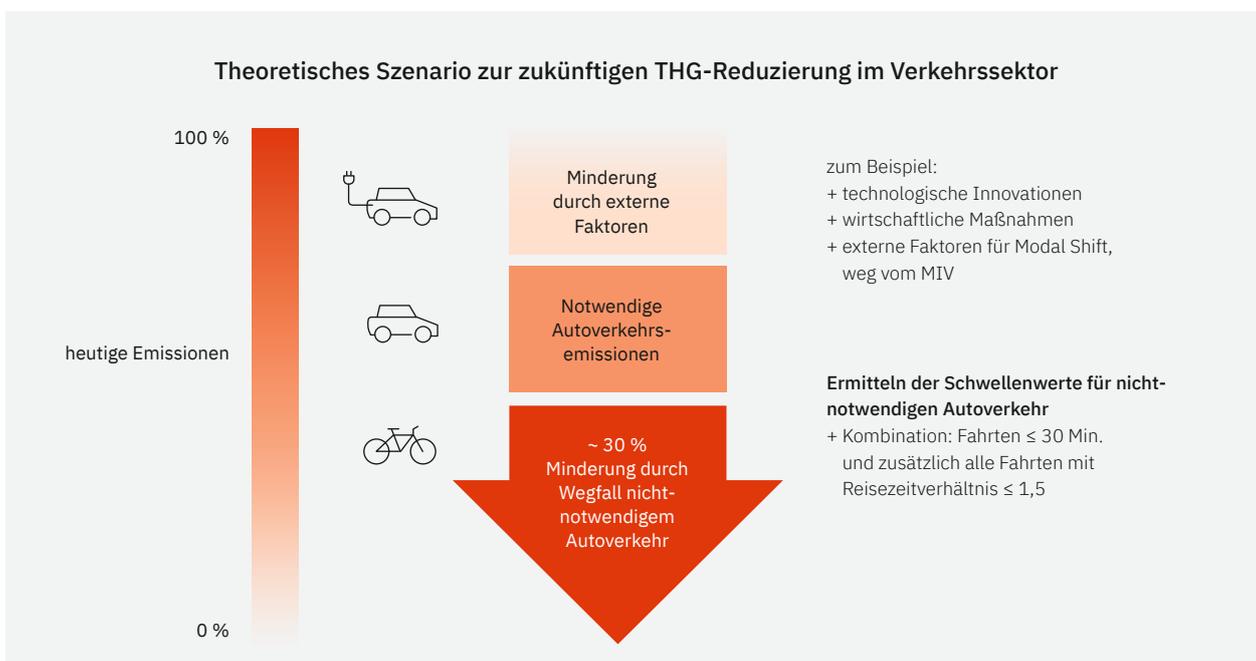


Abb. 3: Theoretisches Szenario zur zukünftigen THG-Reduzierung im Verkehrssektor

nicht notwendig, wenn die Alternative mit dem Fahrrad oder ÖPNV maximal 30 Minuten beträgt und maximal 1,5 mal länger dauert.

Um die als nicht-notwendig identifizierten Autofahrten zu vermeiden und zu verlagern, sind Mobilitätsmanagementstrategien erforderlich. Dabei ist zu beachten, welche Personengruppen sich hinter den nicht-notwendigen Autofahrten verbergen, um zielgruppengerechte Maßnahmen zu entwickeln. Die Mobilitätsmanagementstrategie umfasst eine Attraktivitätssteigerung der Verkehrsmittelalternativen, insbesondere des Fahrradfahrens, eine Verdrängung des ruhenden Autoverkehrs an den Rand des Campus sowie Informationskampagnen.

## Perspektivwechsel für den Klimaschutz

Die Analyse des notwendigen Autoverkehrs bewirkt einen Perspektivwechsel in der Diskussion zum Klimaschutz. Es geht nicht darum, aus dem verkehrlichen Ist-Zustand die Wirkung von Maßnahmen abzuschätzen (Forecasting-Ansatz), sondern vielmehr werden die notwendigen Maßnahmen zum Erreichen der Zielsetzung identifiziert (Backcasting-Ansatz). Der Fokus der Diskussion verschiebt sich damit von dem, was durch Maßnahmen erreicht werden kann, hin zum Ziel das erreicht werden soll und den Maßnahmen, die dafür erforderlich sind.

Um die Klimaschutzziele im Verkehr an der HKA zu erreichen, sollten Fahrten, die bisher mit dem MIV durchgeführt wurden, auf ÖPNV oder Fahrrad verlagert werden. Aus Perspektive des notwendigen Verkehrs sind in diesem Zusammenhang Fahrten, die mit bis zu 30 Minuten Fahrtdauer und maximal 1,5-facher Reisezeitdifferenz bei der Nutzung der besten Alternative gegenüber der Auto-nutzung auf den ÖPNV oder das Fahrrad verlagert werden können, von bisherigen Autofahrern zu akzeptieren. Dieses Beispiel der pendelnden Studierenden der HKA zeigt, welche Einschnitte des bisherigen Komforts für den Klimaschutz im Verkehrssektor erforderlich sind. Die Aufgabe der Gesellschaft ist es, zu diskutieren, ob solche Komfortverluste zum Erreichen der übergeordneten

Klimaschutzziele akzeptabel sind. In Anbetracht der existentiellen Bedeutung des Klimaschutzes wird dies von den Autoren befürwortet. ✘

### Autoren

**Prof. Dr. Jochen Eckart**  
Professor für Verkehrsökologie

**Devin Feng MASc.**  
Wissenschaftlicher Mitarbeiter der Hochschule  
Karlsruhe

**Benedikt Prinzing M.Sc.**  
Masterand Verkehrssystemmanagement

### Kontakt

Prof. Dr. Jochen Eckart  
Hochschule Karlsruhe  
Fakultät für Informationsmanagement und Medien  
Moltkestraße 30  
76133 Karlsruhe  
E-Mail: jochen.eckart@h-ka.de



Bewirb  
dich  
jetzt online

Bewirb dich online unter: [bosch.de/karriere](https://www.bosch.de/karriere)


**BOSCH**

**Buderus**

**IVT**

**Vulcano**

**WORCESTER**

## Sei auch du ein #Klimaheld.

Bei Bosch gestalten wir Zukunft mit hochwertigen Technologien und Dienstleistungen, die Begeisterung wecken und das Leben der Menschen verbessern. Unser Versprechen an unsere Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter steht dabei felsenfest: Wir wachsen gemeinsam, haben Freude an unserer Arbeit und inspirieren uns gegenseitig.

Mit grüner Energie smart die Bude heizen?

Bosch Thermotechnik liefert Lösungen für Heizung, Kühlung und Wohlbefinden – für ein smartes und besseres Leben. Ganz nach dem Motto:  
**Make. Home. Comfort. Green.**

Mit unseren faszinierenden Produkten verbessern wir die Lebensqualität. Dabei setzen wir auf das Know-how von rund 14.400 Mitarbeitern in mehr als 20 Werken. Unser Ziel ist es, einen wesentlichen Beitrag zur Energiewende zu leisten – etwa durch die spürbare Reduzierung von CO<sub>2</sub>-Emissionen. Ein Gesamtumsatz von über 3 Milliarden Euro sowie unsere Marktstärke zeigen: Ohne entscheidende Emissionsreduzierungen im Gebäudebereich, also im 'Zuhause', werden Europa und die Welt ihre ehrgeizigen Klimaziele nicht erreichen.

Werde Teil der Bosch Home Comfort Group und erlebe mit uns einzigartige Bosch Momente.

Wie schaffen wir das? Mit Euch!

Wir bieten vielfältige Eintrittsmöglichkeiten:

- ▶ Duales Studium
- ▶ Traineeprogramme
- ▶ Graduate Specialist Program
- ▶ Junior Manager Program
- ▶ Praktika und Werkstudententätigkeiten
- ▶ Promotion
- ▶ PreMaster
- ▶ Direkteinstiegsmöglichkeiten

**Willkommen bei Bosch.**

Informiere dich unter:

<https://www.bosch.de/karriere/jobs/>

Klimaheld #LikeABosch

Home Comfort Group


**BOSCH**



**Das sind wir:**

An unserem Produktions- und Entwicklungsstandort in Göggingen vereinen wir globale Kompetenz mit typisch schwäbischer Innovationskraft im Bereich der Heiztechnik. Unser Ziel ist es dabei, nachhaltige und effektive Lösungen voranzutreiben und ein gutes Klima für die kommenden Generationen zu schaffen. Und all dies kann nur durch unsere Mitarbeiter erreicht werden. Wir glauben, dass unsere Mitarbeiter das schlagende Herz unseres Unternehmens sind und dass hochqualitative Lösungen von talentierten Personen in einem guten Arbeitsumfeld erarbeitet werden. Infolgedessen leben wir in einer einzigartigen Umgebung, die auf unserem menschenzentrierten Ansatz basiert, in der wir die Besonderheit jeder Person wertschätzen und in der wir wirklich an das unbegrenzte Potenzial der Menschen glauben. Wir glauben: Gutes Klima beginnt beim Menschen.

Unser Standort ist einer von 12 Produktionsstätten der Daikin Europe. Die Entwicklung arbeitet gemeinsam mit Kollegen an 4 unterschiedlichen Standorten an innovativen Lösungen. Die Daikin Europe ist als eine Tochtergesellschaft von Daikin Industries Ltd in Japan der führende Anbieter von Heiz-, Kühl-, Lüftungs-, Luftreinigungs- und Kältetechnik. Das Unternehmen entwickelt, fertigt und vermarktet ein breites Portfolio an Geräten sowie maßgeschneiderte Lösungen für Wohn-, Gewerbe- und Industriezwecke in Europa, dem Nahen Osten und Afrika (EMEA). Bis heute hat Daikin EMEA über 12.000 Mitarbeiter in mehr als 59 konsolidierten Tochtergesellschaften.



Wir suchen Fach- und Führungskräfte sowie Studierende in den unterschiedlichsten Bereichen:

Produktion | Entwicklung | Qualitätssicherung | Einkauf | Verwaltung

Wir freuen uns über Ihre Bewerbung an [bewerbungen@daikin-manufacturing.de](mailto:bewerbungen@daikin-manufacturing.de)



Einblicke in unsere Produktion



Einblicke in unsere Entwicklung



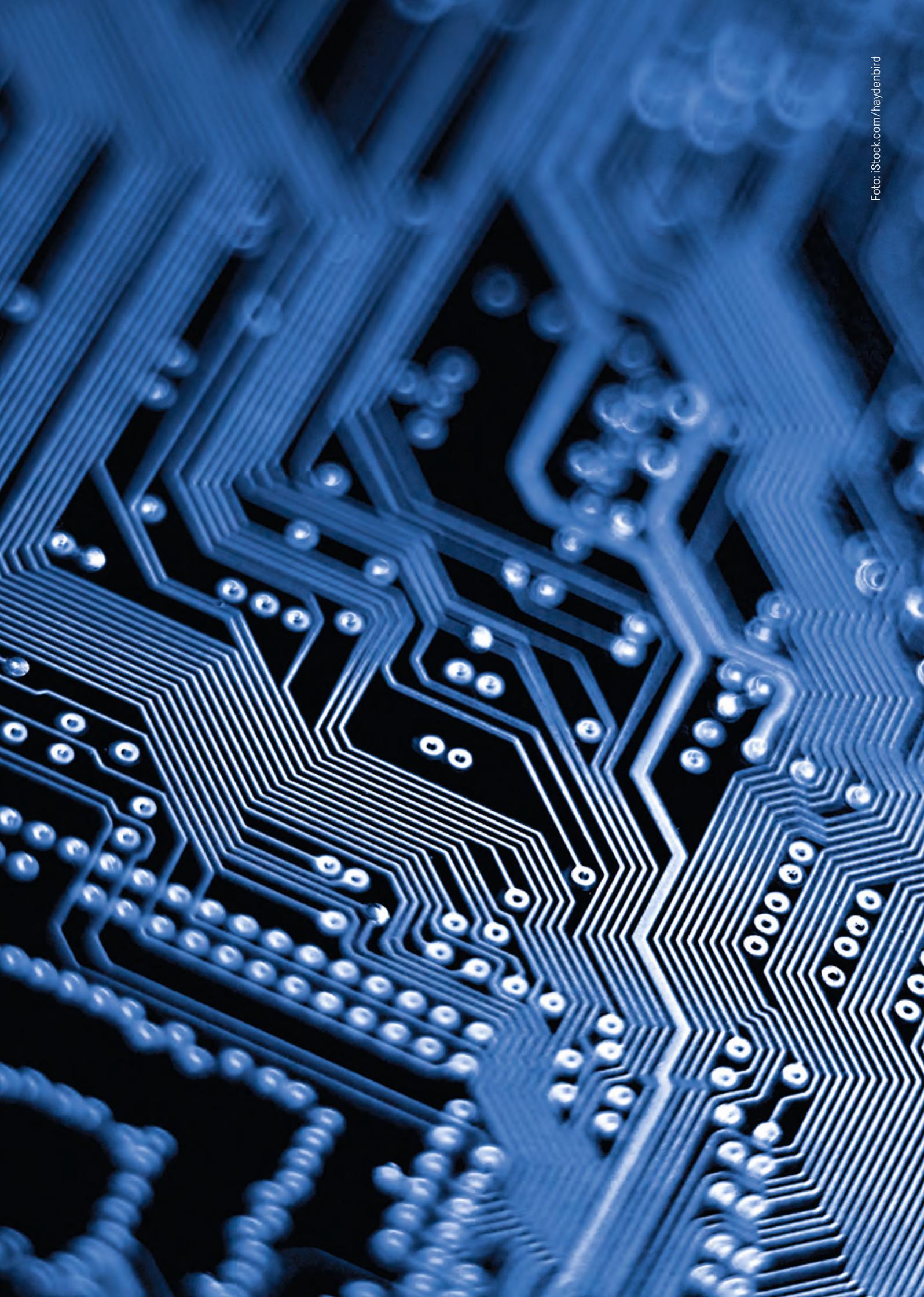
Zu den Stellenanzeigen

**SO WILLICH ARBEITEN.DE**

KARRIERE bei den Stadtwerken Heidelberg

stadtwerke heidelberg

sowillicharbeiten.de



**Digitalisierung**

# Vom Labor in die digitale Welt

Jana Holland-Cunz, Matthieu Laqua, Nhat Phi Ho, Fynn Wagner, Anastasia August und Britta Nestler

DE Im Rahmen eines kooperativen Schulprojekts mit dem Hector-Seminar Karlsruhe wurde ein Programm entwickelt, das experimentell gewonnene Daten von flüssigen Schäumen für simulative Forschung nutzbar macht. Es konvertiert Bilddaten im PNG-Format in das Format des Phasenfeldlösers Pace3D. Das Programm identifiziert flüssige und gasförmige Bereiche im Schaum. Die konvertierten 2D-Datensätze dienen als Anfangsbedingungen für Simulationen zum Schaumzerfall. Außerdem wird die Rekonstruktion digitaler 3D-Schäume aus den 2D-Daten ermöglicht. Dadurch wird ein digitaler Zwilling des Schaums aus dem Experiment generiert. Zusammenfassend stellt die hergeleitete Methode ein einfaches, aber effektives Werkzeug dar, welches das enge Zusammenspiel von experimentellen und numerischen Forschungsansätzen zur Strukturoptimierung ermöglicht.

EN As part of a student project with Hector-Seminar Karlsruhe, a programme has been developed that makes experimental data on liquid foams usable for simulative research. It converts image data in PNG format into the format of the phase-field solver: Pace3D. The programme identifies liquid and gaseous regions in the foam and uses the converted 2D data as the initial condition for foam decay simulations. It also reconstructs digital 3D foams from the 2D data, generating a digital twin of the foam from experiment. In conclusion; this method enables the close interaction of experimental and numerical research approaches to achieve structural optimisation.

Experimentelle und simulative Ansätze zur Erforschung von flüssigen Schäumen sind besonders effektiv, wenn sie Hand in Hand gehen. Im Rahmen der Kooperation des Hector-Seminars Karlsruhe <sup>[1]</sup> mit dem IDM der HKA und dem IAM-MMS des KIT arbeiteten zwei Schüler ein Jahr lang daran, genau diese Schnittstelle zwischen dem Labor und der virtuellen Welt zu optimieren. Das Hector-Seminar fördert hochbegabte Schülerinnen und Schüler und ermöglicht ihnen, noch vor dem Schulabschluss erste Einblicke in die Forschungslandschaft zu erlangen. Mit Unterstützung durch die Mitarbeitenden der Forschungsinstitute gelang es ein Programm zu entwickeln, das experimentell gewonnene Daten von flüssigen Schäumen für weitergehende simulative Forschung nutzbar macht. In den vergangenen Jahren legten Forschungstätigkeiten auf dem Gebiet den Fokus entweder nur auf experimentelle Ansätze oder nur auf numerische Verfahren, je nach Spezialisierung der jeweiligen Forschungsgruppe. Bei den bisherigen Forschungsarbeiten stand die Verknüpfung der jeweiligen Ergebnisse noch nicht im Mittelpunkt. Etwaige Synergieeffekte konnten so nicht optimal ausgenutzt werden. Es stellt sich die Frage, wie die Schaumwelt aus dem Labor und die virtuelle aus dem Computer so miteinander verknüpft werden können, dass beide Seiten optimal von der Verbindung profitieren. In Experimenten werden Bilddaten aufgenommen und stehen zur Verfügung. Auf der anderen Seite gibt es eine etablierte Methode, um Simulationen von Schäumen am Computer durchzuführen. Wie bringt man nun diese beiden, sehr unterschiedlichen Arbeitswelten zusammen? Die Brücke schlägt ein Computerprogramm, dessen Entwicklung und Implementierung innerhalb des Projekts der Hector-Schüler im Fokus steht. Dieser Ansatz ermöglicht einen effektiven Daten- und Informationsfluss zwischen den Forschungsgruppen. Dazu konvertiert das neu entwickelte Programm Bilddaten im PNG-Format zu Daten im Format des Phasenfeldlösers Pace3D. <sup>[2]</sup>

## ... und ab in den Computer

Das Programm wendet eine Routine an, die im Schaum flüssige und gasförmige Bereiche identifiziert. Der zu

[1] [www.hector-seminar.de](http://www.hector-seminar.de)  
[2] Hötzer, J.; Reiter, A.; Hierl, H.; Steinmetz P.; Selzer, M.; Nestler, B.: The parallel multi-physics phase-field framework. *Pace3D, Journal of Computational Science* (2018), pp. 1–12.  
[www.iam.kit.edu/mms/5317.php](http://www.iam.kit.edu/mms/5317.php)

[3] Holland-Cunz, J.; August, A.; Reder, M.; Nestler, B. (2022): Materialwissenschaft um Luftlöcher, *Forschung aktuell* 2022, pp. 16–19.

untersuchende Schaum liegt als 2D-Bild im PNG-Format (im Folgenden Eingabebild genannt) vor, siehe Abb. 1a). Zunächst muss dieses Eingabebild vorbereitet werden, damit das Programm es weiterverarbeiten kann. Hierfür müssen zusammenhängende Bereiche, also zum Beispiel eine Blase des Schaums, genau eine Farbe haben. Sollte es in einer Blase verschiedene Farben geben, wird die Blase nicht korrekt als ein zusammenhängender Bereich erkannt. Auf Bildern von flüssigen Schäumen sind genau zwei optisch klar unterscheidbare Bereiche dargestellt: Gas innerhalb der Blasen und Flüssigkeit dazwischen. In diesem Fall bietet sich zur Vorverarbeitung eine Binarisierung an. Das bedeutet, dass alle Pixel im Eingabebild, deren Farbwert einen definierten Schwellwert unterschreiten, schwarz eingefärbt und alle anderen weiß eingefärbt werden, wie in Abb. 1b) zu sehen ist. Sind die Eingabebilder vorbereitet, können anschließend die verschiedenen Bereiche im Bild maschinell identifiziert werden. Da der Computer das Eingabebild nicht wie ein Mensch mit einem Blick erfassen kann, benötigt er eine genau definierte Reihe an Anweisungen, die er ausführen und verstehen kann – einen sogenannten Algorithmus. Dieser muss dem Computer mit der begrenzten Sichtweite ermöglichen, dass er die Aufgabe zuverlässig lösen kann. Der in der Kooperationsphase entwickelte Algorithmus untersucht jedes einzelne Pixel des Eingabebilds und ordnet alle Pixel schrittweise den verschiedenen Bereichen zu. Findet der Algorithmus ein nicht zugeordnetes Pixel (im Folgenden Startpixel genannt), so definiert er einen neuen Bereich und sucht anschließend alle Pixel, die mit diesem zusammenhängen. Dazu untersucht er die Nachbarn des Startpixels, also die Pixel, die einander berühren. Alle Nachbarn des Startpixels, die denselben Farbwert wie das Startpixel haben, werden ebenfalls dem neuen Bereich zugeordnet. Anschließend werden wiederum deren Nachbarn überprüft. Damit arbeitet sich der Algorithmus nach und nach durch alle dem Bereich zugehörigen Pixel. Sind alle Nachbarn des Startpixels bekannt, sucht er das nächste nicht zugeordnete Pixel und führt den Prozess erneut durch, bis alle im Bild vorhandenen Pixel einem Bereich zugeordnet sind.

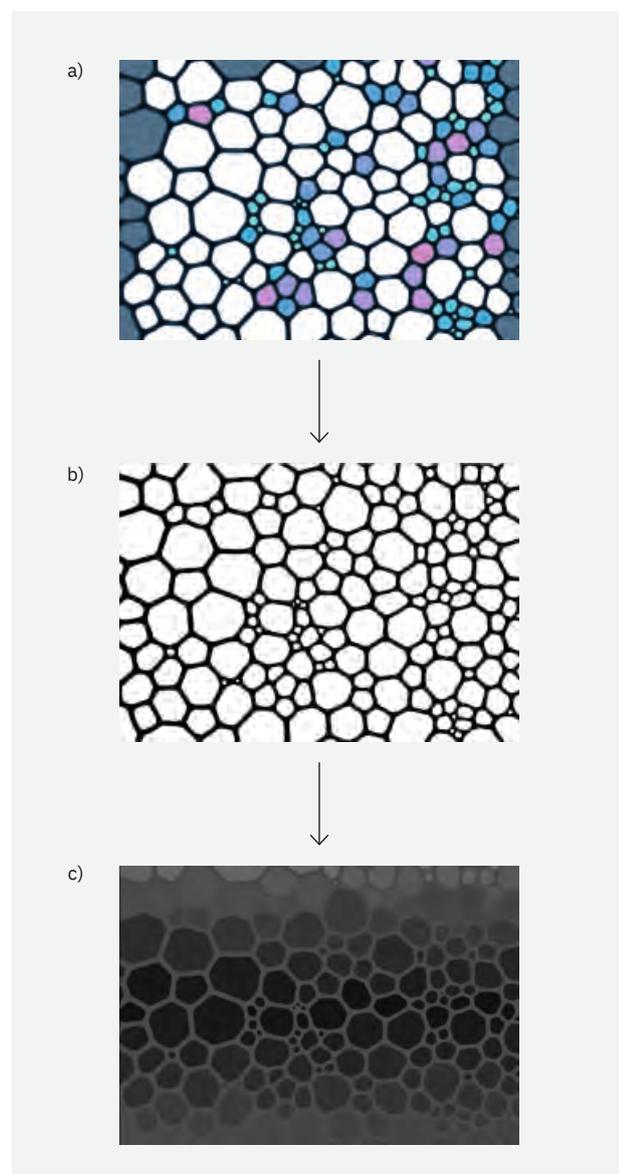


Abb. 1: Konvertierung von experimentellen Daten zu Simulationsdaten: Abb. 1a) zeigt das experimentelle Eingabebild, Abb. 1b) das binarisierte Bild und Abb. 1c) einen Simulationsdatensatz (Grafik: Jana Holland-Cunz)

# Ein Ziel des Forschungsansatzes ist es, einen digitalen Zwilling des Schaums aus dem Experiment zu generieren.

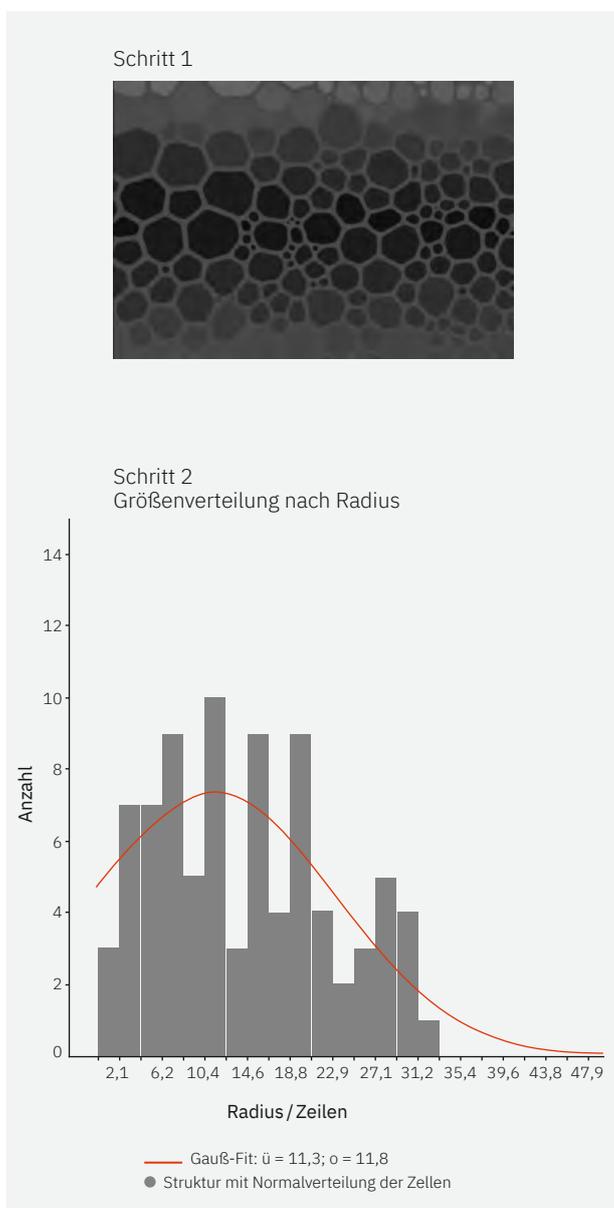


Abb. 2: Eine 2D-Aufnahme aus dem Labor wird analysiert (Schritt 1) und die extrahierten Charakteristiken zur algorithmischen Generierung der 3D-Struktur genutzt (Schritt 2)

Als Resultat hat der Algorithmus Bilder in Datensätze konvertiert, anhand derer auch der Computer die verschiedenen Bereiche identifiziert. Abb. 1c) visualisiert einen solchen Datensatz.

## Schäume im digitalen Labor

Die konvertierten 2D-Datensätze ermöglichen es, weiterführende Simulationen zum Schaumzerfall durchzuführen. Der experimentelle Datensatz zeigt eine Momentaufnahme, also ein statisches Bild. Wie erhält man daraus Informationen über die Schaumstabilität, also eine dynamische Eigenschaft, die sich nur im zeitlichen Verlauf einer Beobachtung zeigt? Numerische Simulationen mit dem Phasenfeldlöser Pace3D stellen hier ein etabliertes Verfahren dar. Bei diesem dient der vorliegende Datensatz als Startpunkt für die Vorhersage, wie sich der Schaum entwickelt. Ergebnis der Simulation ist die zeitaufgelöste Strukturentwicklung des Schaums. Die erhaltenen Simulationsergebnisse werden in Zusammenhang mit den experimentellen Daten gesetzt. So werden sie zum einen genutzt, die Methode selbst zu validieren. Durch geschickt gewählte Simulationsparameter kann genau derjenige Verlauf des Schaumzerfalls nachgebildet werden, der auf den Aufnahmen aus dem Labor zu sehen ist. Zum anderen kann in weiterführenden Simulationsstudien getestet werden, wie sich anders zusammengesetzte Schäume zeitlich entwickeln würden. Dabei werden die Parameter weit über den experimentellen Raum hinaus variiert. Damit ist es möglich, die Entwicklung sehr unterschiedlicher Schäume vorherzusagen und dabei bestimmte Flüssigkeitszusammensetzungen und Prozessbedingungen zu berücksichtigen. Die gewonnenen Erkenntnisse können in darauffolgende Experimente einfließen und ermöglichen damit ein präzises und zielgerichtetes Versuchsdesign. Ein Ziel des Forschungsansatzes ist es, einen digitalen Zwilling des Schaums aus dem Experiment zu generieren. Um die digitale Struktur zu erstellen, werden zunächst aus den 2D-Daten die Kenngrößen extrahiert, die den Schaum charakterisieren. Diese umfassen strukturelle Parameter, wie beispielsweise die mittlere Porengröße, die Porengrößenverteilung und die

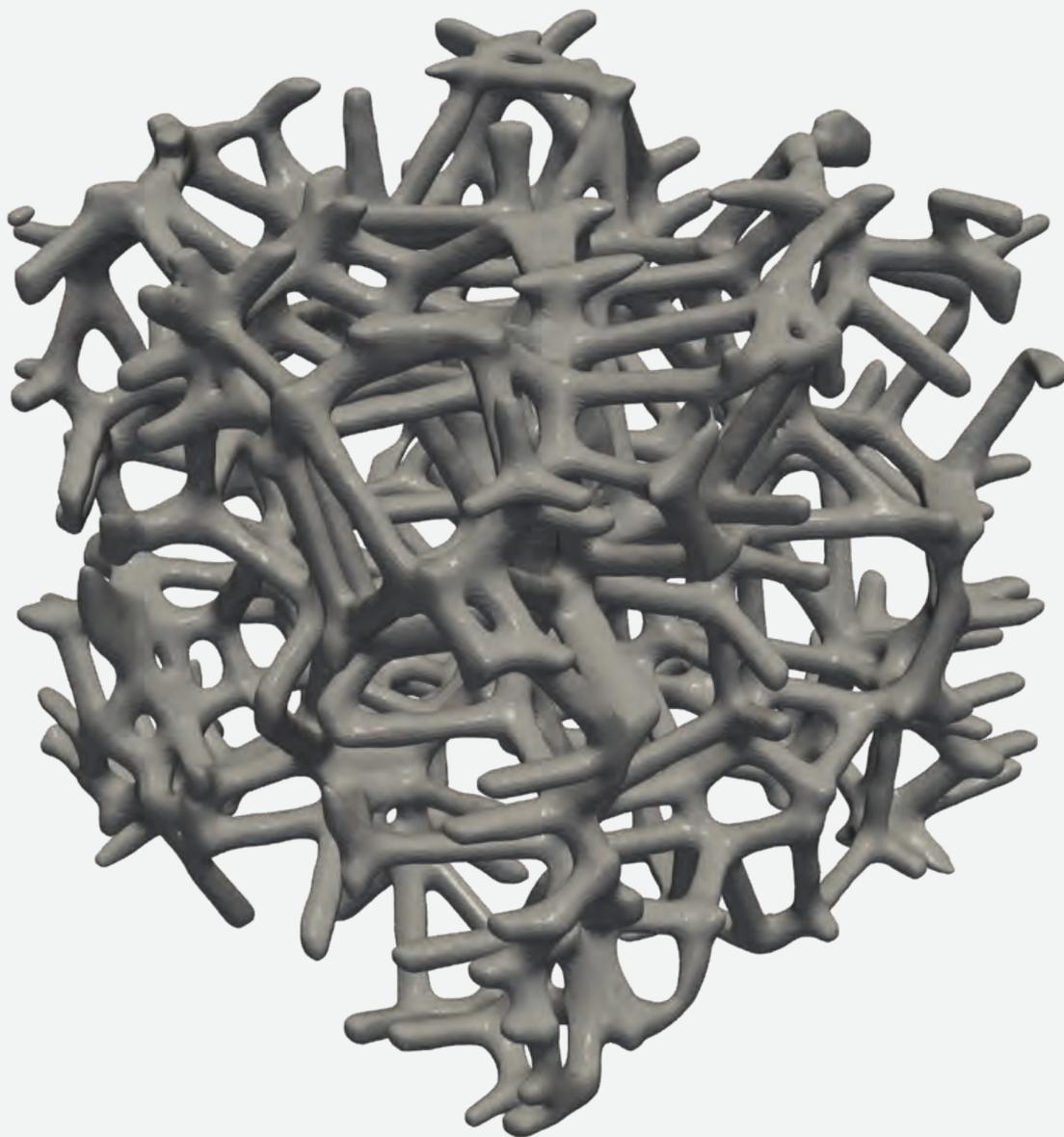


Abb. 3: Digitaler Zwilling: Eine detaillierte 3D-Rekonstruktion der Schaumstruktur aus Abb. 2 (Rendering: Jana Holland-Cunz)

Stegbreite. Sie werden weiter genutzt, indem mit ihnen die digitale Struktur der 3D-Schäume rekonstruiert wird. Dazu gehen ebendiese Größen in die algorithmische Generierung ein und definieren die Hauptcharakteristika. Als Resultat der Methode liegt nun ein digitales Modell einer dreidimensionalen Schaumstruktur vor. Abb. 2 veranschaulicht das methodische Vorgehen und Abb. 3 dessen Resultat. Ein großer Vorteil dieser Art der Rekonstruktion ist, dass sie ohne den Einsatz aufwendiger Methoden auskommt wie beispielsweise kostspieliger oder zeitintensiver 3D-bildgebender-Verfahren. Die digitalisierten Laborproben und die resultierenden Modelle können in weiterführende Simulationen zur Vorhersage physikalischer Eigenschaften eingehen, zum Beispiel in virtuelle Zug- und Druckversuche. Über diese Möglichkeiten berichteten wir ausführlich in *Forschung aktuell 2022*.<sup>[9]</sup> Durch simulative Verfahren, die der Strukturoptimierung dienen, können die Schäume auf bestimmte Anforderungen und Einsatzgebiete genau angepasst werden. Aus den Simulationen gewonnene Erkenntnisse können wiederum an experimentell arbeitende Teams zurückgespielt werden.

## Ein enges Zusammenspiel der Forschungsansätze

Ziel des Projekts der Hector-Schüler war es, experimentelle Schaumbilder für die computergestützte Materialforschung bereitzustellen. Dazu wurde eine Brücke vom Labor, in dem die Bilder entstehen, zum virtuellen Labor, in dem Schaumeigenschaften simuliert werden, geschlagen. Das in der Kooperation mit den Schülern des Hector-Seminars entstandene Konvertierungsprogramm bringt also die Bilder der realen Schäume als digitale Zwillinge in den Computer. Durch den neu implementierten Algorithmus wird eine enge Verknüpfung von experimentellen und simulativen Forschungsansätzen möglich. Unsere Ergebnisse zeigen deutlich, wie Bilder von Schäumen in Simulationen effektiv für weiterführende Studien genutzt werden können. Die Methode, um Bilddaten aus dem Labor zu Simulationsdaten zu konvertieren, schafft die Voraussetzung für einen verbesserten Daten- und Informationsfluss. Auf Basis der konvertierten Daten können numerische Simulationen den Schaumzerfall für unterschiedliche Bedingungen voraussagen. Darüber hinaus bildet ein

# Ein Algorithmus, der Brücken schlägt: Experiment und Simulation gehen Hand in Hand.

digitaler Zwilling den Schaum in Form eines 3D-Modells ab und ermöglicht weiterführende Studien zu Kenngrößen. Zusammenfassend stellt die hergeleitete Methode ein einfaches, aber effektives Werkzeug dar, welches das enge Zusammenspiel von experimentellen und numerischen Forschungsansätzen zur Strukturoptimierung ermöglicht. Über die Anwendung auf Schäume hinaus steht ein Einsatz des neuen Konvertierungs-Tools für viele weitere Materialsysteme offen. Die Routine ist bestens dazu geeignet, den Austausch zwischen Experiment und Simulation sicherzustellen und so klassische Labortätigkeiten zu vereinfachen und zu beschleunigen. Des Weiteren bereiten die strukturierten Daten den Weg zu weiterführenden Analysen durch Algorithmen des Maschinellen Lernens. Eine beschleunigte Materialentwicklung wird so durch Künstliche Intelligenz möglich.

## Danksagung

Unser Dank gilt der Hector-Stiftung und dem Stifterehepaar Josephine und Hans-Werner Hector für die Ermöglichung der Förderung. Wir danken dem MWK-BW für die leistungsorientierte Förderung des akademischen Mittelbaus für Forschungsgruppen an HAWen. Das vorliegende Projekt wurde durch das Helmholtz-Gemeinschaft POF IV Programm MSE innerhalb des KIT finanziell unterstützt, Förderkennzeichen: 43.31.01, des Weiteren durch das BMBF innerhalb des Projekts AQuaBP, Förderkennzeichen: 03XP0315B. ✕

### Autorinnen und Autoren

#### **Jana Holland-Cunz M.Sc.**

Akademische Mitarbeiterin am Institut für Digitale Materialforschung (IDM) der HKA und am Institut für Angewandte Materialien – Mikrostruktur-Modellierung und Simulation (IAM-MMS) des KIT

#### **Matthieu Laqua M.Sc.**

Akademischer Mitarbeiter am Institut für Angewandte Materialien – Mikrostruktur-Modellierung und Simulation (IAM-MMS) des KIT

#### **Nhat Phi Ho**

Fichte-Gymnasium Karlsruhe  
Schüler des Hector-Seminars, Kurs KA 16

#### **Fynn Wagner**

Thomas-Mann-Gymnasium Stutensee  
Schüler des Hector-Seminars, Kurs KA 16

#### **Dr. rer. nat. Anastasia August**

Projektleiterin zweier Teilprojekte der Forschungsinitiative InSel  
Akademische Mitarbeiterin am Institut für Digitale Materialforschung (IDM) der HKA und Gruppenleiterin am IAM-MMS des KIT

#### **Prof. Dr. rer. nat. Britta Nestler**

Sprecherin des Instituts für Digitale Materialforschung (IDM) und Professorin an der Fakultät für Informatik und Wirtschaftsinformatik der HKA sowie Professorin am Lehrstuhl für Mikrostruktursimulation in der Werkstofftechnik und Direktorin des Instituts für Angewandte Materialien – Mikrostruktur-Modellierung und Simulation (IAM-MMS) des Karlsruher Instituts für Technologie (KIT)

### Kontakt

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



# STARK IM SERVICE. SERVISCOPE!

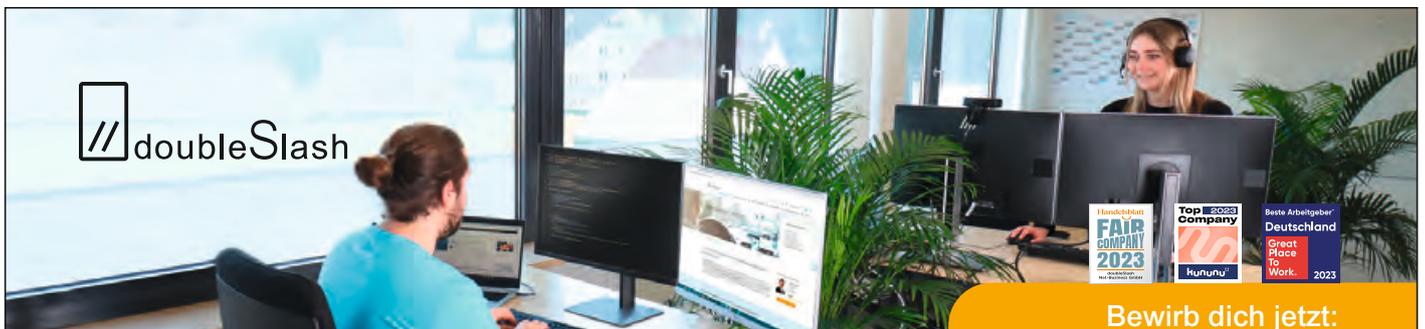
Wir sind die Kraft dahinter für Banken in ganz Deutschland. Und Du bist die Kraft hinter **SERVISCOPE**. Gemeinsam machen wir Services für Banken. Flexible Arbeitszeiten, ein nettes Team und viel Spaß erwarten dich!



**STUDENTENJOBS  
AUSBILDUNG  
KARRIERESTART**



[www.serviscope.de/karriere](http://www.serviscope.de/karriere)



 doubleSlash

**Bewirb dich jetzt:**  
[karriere@doubleslash.de](mailto:karriere@doubleslash.de)

## Finde deinen Job

### JAVA DEVELOPMENT

- // Praktikum
- // Abschlussarbeit
- // Festanstellung

### CONSULTING

- // Praktikum
- // Abschlussarbeit
- // Festanstellung

Mehr erfahren



Wir entwickeln im Team digitale Produkte, bei denen der Nutzen für den Menschen im Fokus steht.

- // gemeinsam Großes erreichen
- // verantwortungsbewusstes Handeln, das eine außergewöhnliche Qualität liefert
- // wertschätzendes Miteinander
- // moderner Arbeitsort zum Wohlfühlen
- // Firmenfeiern, Sport- und Teamevents
- // Gleitzeitmodell, Mittagessenzuschuss uvm.

# Das Projekt Umwelt Digital 4.0 – Stärkung der Umweltbildung und -partizipation durch Augmented Reality

Mathias Trefzger

DE Moderne Technologien wie „Augmented Reality“ (AR – Erweiterte Realität) eröffnen die Möglichkeit, Informationen über Flora, Fauna, Geologie und weitere Umweltdaten orts- und kontextbezogen anzuzeigen sowie verborgene Dinge sichtbar zu machen. Mithilfe von AR-Anwendungen kann z. B. das digitale Modell eines scheuen Spechts über das Kamerabild in seinen typischen Lebensräumen eingeblendet, mit Geräuschen unterlegt und weiteren Informationen angereichert werden. Gerade diese neue Technologie bietet in Kombination mit spielerischen Ansätzen die Chance, Menschen für Zusammenhänge in der Umwelt zu begeistern. Der aktuelle Stand einer mobilen AR-App wird im Folgenden vorgestellt.

EN Modern technologies such as augmented reality (AR) open up new ways of displaying information about flora, fauna, geology and other environmental data in a location- and context-related manner, as well as making hidden elements visible. For example; with the help of AR applications, a digital model of a shy woodpecker can be blended over the camera images of its typical habitats, underlain with sounds and any further information provided. This new technology, in combination with gamification elements, is a way to get people excited about the interrelationships in the environment. The current development state of a mobile AR app is presented in the article below.

Im Rahmen des Projekts „Umwelt Digital 4.0“ wird eine Augmented-Reality-App entwickelt, mit der Informationen stets einen Bezug zur unmittelbaren Umgebung der Nutzerin und des Nutzers besitzen.

Ein konkreter Anwendungsfall für diese neuen Technologien ist der Auenerlebnispfad im Naturschutzzentrum Karlsruhe-Rappenwört (NAZKA). Mit AR sollen den Besucherinnen und Besuchern Zusammenhänge in der Natur sichtbar gemacht werden, die ansonsten verborgen bleiben. Der spielerische und interaktive Ansatz der App, kombiniert mit wissenswerten Fakten, soll dabei sowohl bei Familien mit Kindern als auch bei Jugendlichen und jungen Erwachsenen Interesse und Neugierde für Umweltthemen wecken.

Die zentralen Ziele des Projekts sind daher:

- + Erprobung der technischen Möglichkeiten von Augmented Reality in der Natur
- + Entwicklung neuer innovativer Konzepte für den Wissenstransfer
- + Entwicklung neuer interaktiver Gamification-Elemente
- + Analyse, wie Teilanwendungen von verschiedenen Zielgruppen angenommen werden

## Entwicklungsprozess und App-Konzept

Die App wird anhand des User-Centered-Design-Prozesses entwickelt. Das heißt, es werden regelmäßig Ideen und Feedback von definierten Zielgruppen eingeholt, um deren Wünsche und Anforderungen an eine solche App möglichst gut erfüllen zu können.

Die Entwicklung der App erfolgt in drei Zyklen. Der in diesem Beitrag vorgestellte Prototyp ist das Ergebnis des ersten Zyklus. Zu Beginn des Projekts wurde der Nutzungskontext spezifiziert. Dazu wurden die Themen rund um das NAZKA einschließlich des neuen analogen Lehrpfads mit seinen Schautafeln analysiert. Zunächst wurden in einem projektinternen Workshop Ideen für einzelne Spiele gesammelt. Anschließend wurden zwei weitere Workshops mit unterschiedlichen Anwendungsgruppen durchgeführt – mit einer Schülergruppe der 8. Klasse (13–15 Jahre)



Der erste Prototyp der App wird im Auenwald um das Naturschutzzentrum Karlsruhe-Rappenwört im Rahmen des Girlsday 2023 getestet.  
(Foto: Jessica Fröbel, LUBW)

und mit einer Gruppe eines Freiwilligen Ökologischen Jahres (FÖJ; 18–21 Jahre). In der Folge wurde das Gesamtkonzept sowie Ideen für AR-Teilanwendungen entwickelt, die in das Gesamtkonzept eingebettet wurden.

Das Naturschutzzentrum mit seinem umliegenden Auenwald bietet eine Vielfalt an Themen zu Flora, Fauna und Geografie. Um diese abdecken zu können und dabei verschiedene Interaktions- und Gamification-Elemente ausprobieren zu können, wurden Teilanwendungen in Form von Stationen entwickelt, ähnlich wie bei analogen Schautafeln. Für die Umsetzung der mobilen App wird die Spieleentwicklungsumgebung Unity verwendet.

## Die App besitzt folgenden Grundaufbau

Beim Start der App wird eine Karte des Naturschutzzentrums und des Naturerlebnispfads gezeigt. Die App ist für die Nutzung vor Ort im Auenwald ausgelegt. Die Position der Nutzer wird über GPS ermittelt und in Form eines Avatars visualisiert. Auf der Karte sind Stationen platziert, über die einzelne Spiele gestartet werden können.

Die Nutzer bewegen sich entlang des Naturerlebnispfads und haben dabei die Aufgabe, platzierte Marker zu finden. Diese Marker müssen eingescannt werden, um die jeweiligen Stationen bzw. Spiele freizuschalten. Die App mit ihren Spielen verfolgt das Ziel, viele verschiedene Anwendungsmöglichkeiten von AR zu testen und Feedback der unterschiedlichen Nutzergruppen einzuholen. Folgende Ideen wurden im ersten Prototypen bereits umgesetzt:

**Wettbewerbe gegen Tiere:** Es gilt gegen verschiedene einheimische Tiere in unterschiedlichen Disziplinen anzutreten. Ein Wettbewerb besteht bspw. darin, einen fliegenden Specht auf einem Baumstamm landen zu lassen und anschließend häufiger auf das Touchscreen zu tippen, als ein Specht klopfen kann. Die Anzahl der Anschläge wird nach Ablauf eines Timers ausgegeben und in Relation zu einem echten Specht gesetzt (20 Anschläge pro Sekunde).

**Visuelle Wahrnehmung von Tieren:** Die Welt mit anderen Augen sehen – mit Kamerafiltern wird die Umgebung so angezeigt, wie sie das Tier wahrnimmt. Die Sicht verschiedener Tiere kann eingenommen und direkt verglichen werden. Bislang wurden Filter für Libellen und Bienen erstellt. Diese werden nach Rücksprache mit Entomologen optimiert. Das Angebot an Tierarten wird erweitert.

**Visualisierung von Wasserständen:** Da sich der Naturerlebnispfad in einem Auenwald befindet, können bei Hochwasserereignissen große Flächen überflutet werden. Die meiste Zeit des Jahres sind die Wege jedoch trocken. Dennoch ist es spannend mit AR zu visualisieren, wie hoch das Wasser an verschiedenen Stellen des Weges steigen kann.

**Libelle fliegen:** Eine Besonderheit von Libellen ist, dass sie vier Flügel haben, die sie völlig unabhängig voneinander bewegen können. Dadurch können sie auf der Stelle und in jede Richtung fliegen. Diese Fähigkeit wird durch ein Spiel veranschaulicht, bei dem ein Libellenmodell gesteuert wird und Fliegen gefangen werden können.

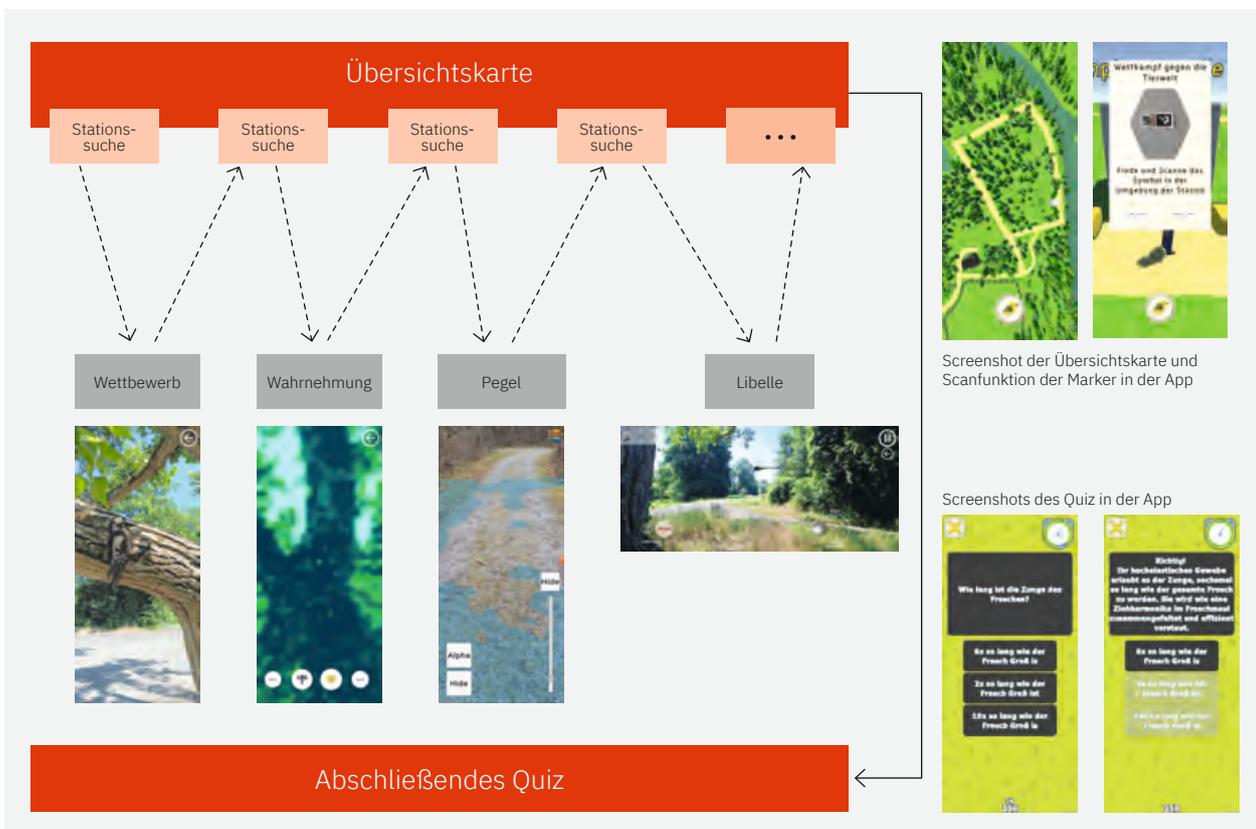


Abb. 1: Gesamtkonzept der Umwelt Digital 4.0 App (Fotos/Screenshots: Mathias Trefzger)

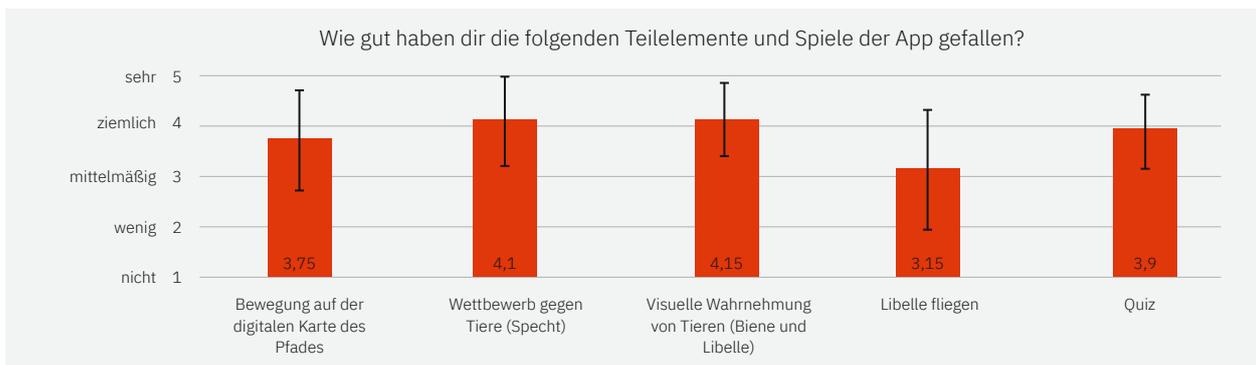


Abb. 2: Bewertung der App-Elemente

# Zusammenhänge in der Natur, die ansonsten verborgen bleiben, werden sichtbar gemacht.

**Quiz:** Die letzte Station des Pfades ist ein Quiz, bei dem die Benutzerinnen und Benutzer Fragen zu den Informationen aus den vorherigen Stationen beantworten können.

## Evaluation des ersten Prototyps

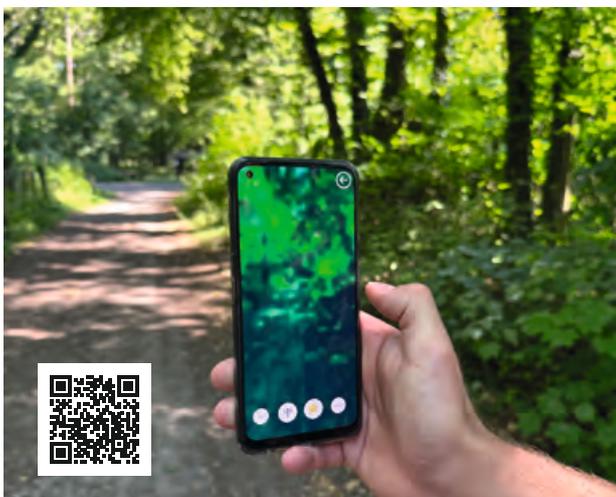
Ende März wurde der erste Prototyp mit Schülerinnen und Schülern einer 8. Klasse sowie FÖJlern getestet und evaluiert. Die Fragebögen von 20 Personen (11 weiblich, 9 männlich; Alter:  $\bar{x} = 14,5$  Jahre  $\pm 2,24$ ) waren schlussendlich vollständig und konnten für die Auswertung herangezogen werden. Die durchschnittliche erfasste Technikaffinität (erfasst mit dem TA-EG Fragebogen) ist  $3,65 \pm 0,48$ , wobei „1“ die minimale und „5“ die maximale Technikaffinität widerspiegeln.

Die Personen durften die App inklusive der einzelnen Spiele testen und anschließend einen Fragebogen dazu ausfüllen. Die Frage, wie gut die folgenden Teilelemente und Spiele gefallen haben (siehe Abb. 2), zeigt ein überwiegend positives Bild, bei der vier der fünf abgefragten Elemente im Bereich von 3,75 und 4,15 lagen – der Wert „4“ bedeutet hierbei, dass das Element „ziemlich gut“ gefallen hat. Im

Vergleich abgefallen ist das Fliegen der Libelle. Die Drohnensteuerung in alle drei Richtungen auf einem zweidimensionalen Bildschirm stellte sich als zu komplex heraus, weshalb die Steuerung mittlerweile vereinfacht wurde.

Weiterhin wurde die subjektive Einschätzung der Probandinnen und Probanden zu unterschiedlichen Fragestellungen eruiert. Die Versuchspersonen stimmten eher zu, durch die App etwas Neues gelernt zu haben ( $3,55 \pm 1,02$ ). Der Frage, ob sich die Testpersonen auch vorstellen könnten, dass ihre Eltern Spaß an der App haben könnten, wurde mitelmäßig zugestimmt ( $2,95 \pm 1,02$ ). Der Frage, ob die App von der Umgebung abgelenkt habe, wurde eher weniger zugestimmt ( $2,65 \pm 1,15$ ). Die Befragten fanden Augmented Reality ziemlich sinnvoll in die App integriert ( $4,00 \pm 0,89$ ). Inwieweit sich diese Selbsteinschätzungen als korrekt erweisen, wird in weiteren Evaluationen ermittelt.

Das Projekt läuft noch bis Ende Oktober 2024. Bei Interesse an einem Hiwi-Job im Bereich Spieleentwicklung mit Unity und /oder Gestaltung von 3D-Objekten gerne Mathias Trefzger anschreiben. ✕



Ein Kamerafilter visualisiert, wie Bienen ihre Umgebung wahrnehmen. (Foto: Christian Rickert); Über den QR-Code ist ein kurzer Film abrufbar, der die Funktionsweise der App erläutert.

### Autor

**Mathias Trefzger M.Sc.**  
Akademischer Mitarbeiter am  
Institut für Verkehr und Infrastruktur  
E-Mail: [mathias.trefzger@h-ka.de](mailto:mathias.trefzger@h-ka.de)

### Kontakt

Prof. Dr. Jochen Eckart  
Hochschule Karlsruhe  
Fakultät für Informationsmanagement und Medien  
Moltkestraße 30  
76133 Karlsruhe  
E-Mail: [jochen.eckart@h-ka.de](mailto:jochen.eckart@h-ka.de)

# Vordenker statt Nachmacher

Innovation spielt nicht nur an der Uni eine wichtige Rolle, sondern auch im Job. Als führendes Technologieunternehmen in der Region wissen wir, wie man junge Talente fördert, damit sie ihr volles Potenzial entfalten – ob als Unterstützer lokaler Bildungsprojekte oder als Arbeitgeber.

**Starte jetzt deine Zukunft bei einem Weltmarktführer.**



# Bits & Bytes zum Anbeißen!

Jobs mit Yummie-Effekt gibt es bei dmTECH viele. Und das für jeden Geschmack: App- und Software-Entwickler, Data Engineers, KI-Experten, IT-Architekten, Systemadministratoren ... Wir alle kriegen von Bits & Bytes einfach nicht genug.

Du bekommst Lust auf mehr? Wir bieten Einstiegschancen in vielen Bereichen – schau doch mal vorbei: [dmTECH.de](https://dmTECH.de)

# Digitalisierung im Ehrenamt

Simone Dogu, Stefanie Regier und Ingo Stengel

DE Digitale Informations- und Kommunikationstechnologien gewinnen in nahezu allen Lebensbereichen an Bedeutung. Auch im Bereich des freiwilligen Engagements werden zunehmend Möglichkeiten der Digitalisierung eingesetzt. Ob und wie Engagierte digitale Anwendungen für ihre freiwillige Tätigkeit nutzen können, hängt unter anderem davon ab, ob sie Zugang zum Internet haben und ihnen entsprechende Infrastruktur zur Verfügung steht. Neben den technischen Voraussetzungen spielt aber auch der Wille, IT im Ehrenamt zu nutzen, eine wesentliche Rolle. Dieses Forschungsprojekt soll einen Beitrag dazu leisten, mehr über mögliche Akzeptanzkriterien bei der Nutzung digitaler Anwendungen im Ehrenamt zu erfahren.

EN Digital information and communication technologies are increasingly important in almost all areas of life. Opportunities for digitization are also being used more in the area of volunteering. Whether and how volunteers can use digital applications for their voluntary work depends, among other things, on whether they have access to the Internet and the corresponding infrastructure. In addition to the technical prerequisites, the willingness to use IT in volunteer work also plays an essential role. This research project is intended to contribute to learning more about possible acceptance criteria for the use of digital tools in volunteer work.

Sie geben Essen an Bedürftige aus, trainieren den Fußballnachwuchs oder helfen Senioren bei Behördengängen – und das alles in ihrer Freizeit. Etwa 40 % der Menschen in Deutschland engagieren sich im Ehrenamt, das ist fast jeder Zweite. <sup>[1]</sup> Freiwilliges Ehrenamt ist inzwischen zu einer wichtigen Säule unserer modernen Gesellschaft geworden. In manchen Bereichen geht nichts mehr ohne die Ehrenamtlichen, beispielsweise bei der Feuerwehr. Während die Feuerwehr in den meisten Ländern aus rein hauptberuflichen Angestellten besteht, oft sogar dem Militär zugeordnet ist, sind es hierzulande überwiegend ehrenamtliche Einsatzkräfte, die Brände löschen, Bäume von der Straße holen oder Rettungskräfte bei Unfällen unterstützen.

## Hintergrund und Motivation

Wie das Beispiel Ehrenamt bei der Feuerwehr exemplarisch zeigt: Ohne den Freiwilligendienst würde vieles nicht funktionieren. Genau wie unsere Gesellschaft unterliegt auch das Ehrenamt aktuell einem Wandel. Die Digitalisierung schreitet voran und eröffnet auch ehrenamtlichen Helferinnen und Helfern Unterstützung und Chancen. Als in der Coronazeit die Kontakte beschränkt wurden und das öffentliche Leben zum Stillstand kam, standen auch die Ehrenamtlichen vor der Herausforderung, wie sie ihre Arbeit digital fortsetzen konnten. Es entstanden neue Formen der Kommunikation und der Zusammenarbeit: Das Online-Volunteering, ein ehrenamtliches Engagement, bei dem ein wesentlicher Teil der Freiwilligenarbeit via Internet am heimischen Computer stattfindet oder von unterwegs ausgeübt wird.

Vor dem Hintergrund dieser Entwicklung stellt sich die Frage, inwieweit die Digitalisierung auch weiterhin die ehrenamtliche Arbeit unterstützen kann und – nicht weniger wichtig – wie die Akzeptanz digitaler Anwendungen im Ehrenamt erhöht werden kann.

Die einschlägige wissenschaftliche Literatur fokussiert sich in diesem Kontext vor allem auf soziodemografische Daten wie Alter, Geschlecht und Bildung sowie Motive der ehrenamtlichen Arbeit in Deutschland. Hinsichtlich möglicher Akzeptanzkriterien gibt es zwar erste Studien, jedoch fehlt es derzeit noch an umfassender fundierter Forschung. Vor diesem Hintergrund sollen im Rahmen

[1] Bundesministerium für Familie, Senioren, Frauen und Jugend (2021): Zahlen, Daten, Fakten zur Entwicklung des freiwilligen Engagements in Deutschland, Pressemitteilung vom 18.3.2021. <https://www.bmfsfj.de/bmfsfj/aktuelles/presse/pressemitteilungen/zahlendaten-fakten-zur-entwicklung-des-freiwilligen-engagements-in-deutschland--176840> (Zugriff: 08.06.2023)

[2] Mayring, P.: Qualitative Content Analysis: Theoretical Background and Procedures, in: Approaches to Qualitative Research in Mathematics Education, Springer, 2015.

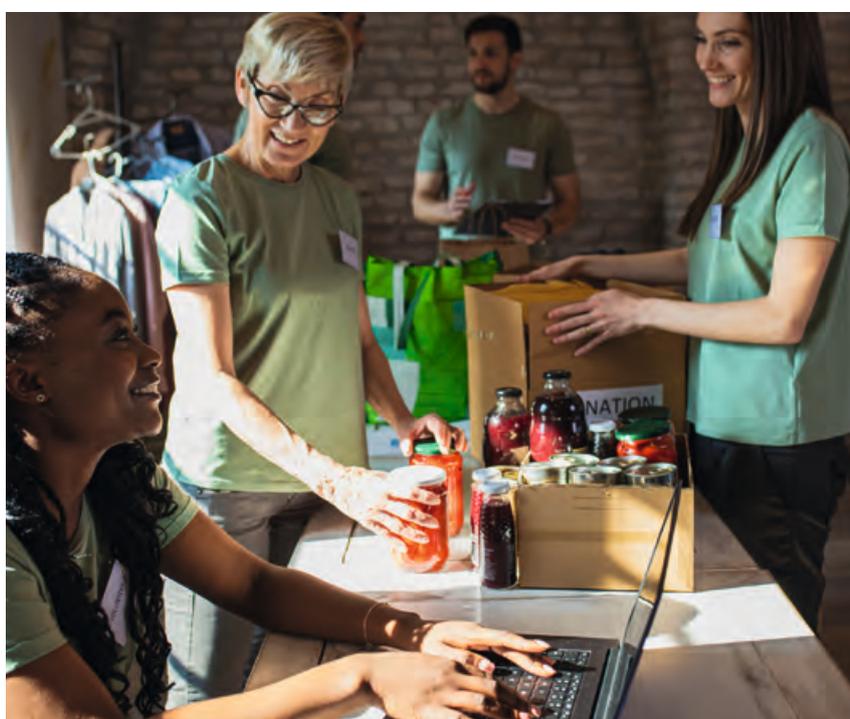
eines Promotionsprojekts an der Hochschule Karlsruhe in Kooperation mit der Plymouth University Akzeptanzfaktoren digitaler Technologien im Ehrenamt erforscht werden.

## Untersuchungsdesign und Methode

Um mehr über die Einstellungs- und Verhaltensdimensionen zu den Akzeptanzkriterien von Ehrenamtlichen bei Nutzung digitaler Anwendungen zu erfahren, wurde für das Gesamtprojekt ein Mixed-Methods-Ansatz gewählt, der üblicherweise mehrere Methoden aus qualitativer und quantitativer Forschung kombiniert. Im vorliegenden Projekt bildet die qualitative Untersuchung die Basis für die darauffolgende quantitative Studie. Im Folgenden soll der qualitative Teil des Projekts vorgestellt werden, der mithilfe von Experteninterviews durchgeführt wurde.

Die Expertengespräche hatten zum Ziel, die subjektiven Überzeugungen und Wahrnehmungen der Ehrenamtlichen im Hinblick auf Digitalisierung in der Freiwilligenarbeit zu untersuchen, um eine fundierte Grundlage für die Entwicklung eines Kausalmodells zu schaffen. Für die Auswahl der Experten war es wichtig, eine möglichst große Diversität zu erreichen. Daher wurden gezielt Experten aus unterschiedlichen ehrenamtlichen Bereichen mit unterschiedlichen persönlichen Erfahrungen, auch im Hinblick auf Digitalisierung, ausgewählt. Die Interviewpartner waren direkt in verschiedene ehrenamtliche Tätigkeiten involviert und verfügten über mehrjährige Erfahrungen im Freiwilligendienst. Das Stichprobenverfahren wurde darüber hinaus nicht durch weitere Auswahlkriterien wie Geschlecht, Alter oder sozialer Status gesteuert. Insgesamt wurden sechs Interviews durchgeführt, die jeweils durchschnittlich 45 Minuten dauerten.

In Anlehnung an den von Mayring [2] beschriebenen induktiven Prozess der Kategorienbildung begann die Datenanalyse mit einer Reduktion der transkribierten Versionen der Aufnahmen und Gesprächsnotizen, indem zunächst die Informationen, die sich nicht direkt auf die Fragestellung des Projekts bezogen, aussortiert wurden. Danach begann der Prozess der Dateninterpretation. Anschließend wurden aus jeder sinnvollen Analyseeinheit eigene Codes konstruiert. Danach wurden diese Codes schrittweise zu Konzepten höherer Ordnung abstrahiert. Das Verfahren der Code-



Digitale Tools helfen Ehrenamtlichen bei ihrer Arbeit (Foto: iStock/ Zoran Zeremski)

clustering wurde so lange durchgeführt, bis alle konstruierten Codes einer übergeordneten Kategorie zugeordnet werden konnten, die ein bestimmtes theoretisches Konstrukt widerspiegelt. Insgesamt ergaben sich dadurch in der qualitativen Forschungsphase die sechs theoretischen Konstrukte „Offenheit für Neues“, „Datenschutzbedenken“, „Eignung der Software“, „Unterstützung/ Hilfe bei der Anwendung“, „Ängste gegenüber Neuerungen und Innovationen“, sowie „Alter“.

## Ergebnisse

Alle Experten benannten die Offenheit für Neuerungen und Innovationen als wesentlichen Faktor für die Akzeptanz von IT im Ehrenamt. Fast alle Befragten gingen auf das Thema Datenschutz ein, wobei durchaus Bedenken

# „One of the deep secrets of life is that all that is really worth the doing is what we do for others.“

Lewis Carroll

diesbezüglich geäußert wurden, einige Experten gaben zudem an, auf diesem Feld recht „unbedarft“ zu sein. Themen wie „Systemzuverlässigkeit“, „Rechtssicherheit“ und „Jugendschutz“ wurden hingegen nur vereinzelt erwähnt, unterstreichen jedoch erneut die Wichtigkeit des Sicherheitsaspekts bei der Nutzung von digitalen Tools im Ehrenamt im Allgemeinen. Wie relevant die Themen Nutzerfreundlichkeit und Barrierefreiheit für die ehrenamtliche Nutzung sind, zeigen Aussagen wie „Mangelnde Bedienbarkeit ist für mich ein Grund für die Nichtnutzung“ oder „Barrierefreiheit sehe ich auch als wichtig an“. Fast alle Experten gingen auf diese Themen im Rahmen der Interviews ein, was darauf hindeutet, dass dieser Aspekt auch für ein Akzeptanzmodell von Bedeutung ist. Auch das Thema Support/Unterstützung erweist sich als relevant, einige Experten erwähnten explizit, dass sie eher digitale Anwendungen im Rahmen ihrer ehrenamtlichen Tätigkeit nutzen würden, wenn entsprechende Unterstützungsangebote vorhanden wären.

Insgesamt hat die explorative Studie wertvolle Hinweise geliefert, welche Kriterien – zusätzlich zur einschlägigen Forschung – die Akzeptanz digitaler Anwendungen steigern oder hemmen. Auf Basis dieser Erkenntnisse konnte nun ein Modell aufgestellt werden, welches die potenziellen Einflussfaktoren auf die IT-Akzeptanz im Ehrenamt abbildet. Die Basis hierfür bildet das UTAUT (Unified Theory of Acceptance and Use of Technology), ein Ansatz, der die Akzeptanz von Innovationen misst und um die Erkenntnisse aus den qualitativen Interviews angereichert wurde. Ziel dieses neuen Modells ist dann eine ganzheitliche Abbildung relevanter Einflussfaktoren für die Nutzung digitaler Anwendungen im Ehrenamt. So wurden Konstrukte, wie z. B. die persönliche Innovationsbereitschaft in der IT, die die Kategorie „Offenheit für Neues“ abbildet, oder Datenschutzbedenken in das neue Modell eingebunden.

Als Zielkonstrukt im Modell fungiert das Nutzungsverhalten in der Freiwilligenarbeit, das beschreibt, inwieweit Ehrenamtliche digitale Anwendungen auch tatsächlich nutzen. Folgt man den bisherigen Studien und den bislang untersuchten Modellen, wird das Nutzungsverhalten durch die Nutzungsabsicht sowie die Einstellung zur Nutzung di-

rekt beeinflusst. Die in den Expertengesprächen herausgearbeiteten Konstrukte wie z. B. die Innovationsbereitschaft oder Datenschutzbedenken wiederum wirken vermutlich direkt oder indirekt auf diese drei Größen. Inwieweit diese vermuteten Einflüsse tatsächlich bestehen und wie hoch sie sind, soll im zweiten Teil des Promotionsvorhabens analysiert werden.

Im nächsten Schritt soll das Akzeptanzmodell nun im Rahmen einer umfassenden, quantitativen Studie untersucht werden, um die relevanten Akzeptanzfaktoren von Digitalisierung im Ehrenamt zu ermitteln sowie ihren Einfluss auf die Akzeptanz zu erforschen. ✘

## Autorinnen und Autor

### Simone Dogu

Doktorandin an der Fakultät für Informatik und Wirtschaftsinformatik der HKA in Kooperation mit der Plymouth University

### Prof. Dr. Stefanie Regier

Professorin für Marketing an der Fakultät für Informatik und Wirtschaftsinformatik der HKA

### Prof. Dr. Ingo Stengel

Professor für eBusiness an der Fakultät für Informatik und Wirtschaftsinformatik der HKA

## Kontakt

Prof. Dr. Stefanie Regier  
Hochschule Karlsruhe  
Fakultät für Informatik und Wirtschaftsinformatik  
Moltkestraße 30  
76133 Karlsruhe  
E-Mail: stefanie.regier@h-ka.de

A man in a blue sweater is using a long-handled tool to work on a large green industrial compressor. A woman with glasses and a dark shirt stands next to him, looking at a clipboard. The background shows a workshop with blue tool racks.

PRAKTIKA UND  
ABSCHLUSSARBEITEN

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

## » BEREIT FÜR DEN ERSTEN SCHRITT? WIR MACHEN DICH FIT!

Du bist Student und willst erste Erfahrungen als Praktikant sammeln, deine Abschlussarbeit beim Marktführer schreiben oder nach dem Studium richtig durchstarten? Du lässt dich von spannenden Aufgaben fesseln und möchtest schnell Verantwortung übernehmen? Dann hilf uns, mit unseren Produkten für die richtige Betriebstemperatur zu sorgen! In Kälte- und Klimaanlageanlagen auf der ganzen Welt leisten BITZER Verdichter einen entscheidenden Beitrag, zum Beispiel für die Sicherheit von Produkten. Als zukunftsorientiertes Unternehmen mit viel Herz bieten wir dir nicht nur beste Einstiegsmöglichkeiten, sondern auch viele Aufstiegschancen.

» Mehr Informationen erhältst du unter [bitzer.de/praktika-abschlussarbeiten](https://bitzer.de/praktika-abschlussarbeiten)



# Neugründung des Instituts für Intelligente Interaktion und Immersive Erfahrung

Matthias Wölfel

DE Das Institut für Intelligente Interaktion und Immersive Erfahrung beschäftigt sich mit wahrnehmungsfähigen und interaktiven Systemen, um die Mensch-Computer-Interaktion sowie die Mensch-Computer-Mensch-Interaktion, z. B. in virtuellen Umgebungen, natürlich und intuitiv zu gestalten. Neben technologischen Entwicklungen in der Signalverarbeitung, Mustererkennung und dem maschinellen Lernen werden auch psychologische, kognitive und soziale Einflussfaktoren angewendet und untersucht. Die Entwicklungen des Instituts werden in der Lehre eingesetzt (z. B. VR-Classroom und Pedagogical Conversational Agent), im öffentlichen Raum gezeigt (z. B. VR-Ballonfahrt Super Nubibus 1834) und auf internationalen Konferenzen präsentiert.

EN The Institute for Intelligent Interaction and Immersive Experience focuses on perceptive and interactive systems to make human-computer interaction as well as human-computer-human interaction, e.g., in virtual environments, natural and intuitive. In addition to technological developments in signal processing, pattern recognition, and machine learning, psychological, cognitive, and social influencing factors are also applied and investigated. The institute's developments are used in teaching (e.g., VR Classroom and Pedagogical Conversational Agent), shown in public spaces (e.g., VR Balloon Ride Super Nubibus 1834), and presented at international conferences.

Die Neugründung des Instituts für Intelligente Interaktion und Immersive Erfahrung möchten wir zum Anlass nehmen, das Institut und seine Aufgaben kurz vorzustellen.

Die Vision des Instituts ist es auszuloten, was morgen möglich ist, um die Interaktion zwischen Mensch und Technik zu verbessern. Eine gute Mensch-Maschine-Interaktion stellen wir uns als unaufdringlichen, anpassungsfähigen und unterstützenden Teil unseres Alltags vor, der kontextsensitives Feedback und Verständnis für menschliche Bedürfnisse bietet.

Unsere Mission ist es, die Schnittstelle zwischen Menschen, die über Computer miteinander interagieren und kommunizieren, sowie zwischen Mensch und Maschine zu optimieren, indem wir die Forschung und Entwicklung von intelligenten, nutzerzentrierten Anwendungen vorantreiben. Dazu arbeitet das Institut in Kooperation mit anderen Forschungseinrichtungen, der Industrie und kulturellen Institutionen an Methoden und Werkzeugen, die zur Weiterentwicklung der Disziplin beitragen und gleichzeitig ethische und soziale Implikationen berücksichtigen. Neben den eigenen Forschungsaktivitäten ist es uns ein Anliegen, die nächste Generation von Fachleuten auf dem Gebiet der Mensch-Maschine-Interaktion auszubilden und sie mit den Fähigkeiten, dem Wissen und der Einstellung auszustatten, die sie benötigen, um zu einer besseren Zusammenarbeit zwischen Menschen und Maschinen beizutragen.

Das Institut dient als Anlaufstelle für wissenschaftliche Kooperationen, industrieorientierte Anwendungsentwicklung und kulturellen Austausch über aktuelle Trends und den kreativen Einsatz digitaler Technologien. Ein besonderer Fokus liegt auf der Entwicklung technisch anspruchsvoller Lösungen in den Disziplinen Signalverarbeitung, Mustererkennung, maschinellem Lernen und der Umsetzung von Web-, Mobile- und 3D-Anwendungen sowie der Berücksichtigung und Analyse psychischer, kognitiver und sozialer Einflussfaktoren. Anwendungsfelder sind intelligente Technologien für Kommunikation, Bildung, Gesundheit und Unterhaltung unter Nutzung immersiver Medien (virtuelle und erweiterte Realität) und ihrer Inszenierung im (semi-)öffentlichen Raum, Sprachverarbeitung



Abb. 1: Interaktion mit einem lebensgroßen verkörperten Agenten auf einer 180°-Leinwand (Foto: Christian Felix Purps)

(Spracherkennung, große Sprachmodelle, Dialogsysteme) und Erkennung von 3D-Gesten sowie Emotionen mittels künstlicher Intelligenz unter der Berücksichtigung von ergonomischen Aspekten.

Die Umsetzung unserer Visionen erfordert den Einsatz sensorbasierter Echtzeiterfassung multimodaler Daten über die interagierende Person und die Umgebung einschließlich ihrer automatischen Auswertung. Dazu setzen wir verschiedene Sensoren wie Tiefenkameras (Kinect & RealSense), IMU-Tracker und Mikrofonarrays ein. Damit können menschliche verbale und nonverbale Signale erkannt und ausgewertet werden. Diese Daten können dann zur automatischen Generierung von Avataren oder deren Echtzeitanimation verwendet werden (siehe Abb. 2).

3D-Gesten- und Sprachschnittstellen haben ein breiteres Anwendungsspektrum als herkömmliche zweidimensionale Benutzungsschnittstellen, die über Tastatur und Maus oder durch Berührung gesteuert werden. Sie befreien die Benutzerin bzw. den Benutzer von der Interaktion mit einem Controller und ermöglichen somit auch eine implizite Interaktion (ohne absichtliches Handeln der Person). Dadurch kann die Effizienz an der Mensch-Maschine-Schnittstelle erhöht werden, wovon auch Menschen mit körperlichen oder kognitiven Einschränkungen profitieren können.

Die implizite Interaktion ermöglicht auch die Entwicklung von situationsabhängigen und unaufdringlichen Systemen, die z. B. als verkörperter Agent in Form einer virtu-

ellen Pflanze die Sitzhaltung des Nutzers wiedergeben und so als unaufdringliches Feedbacksystem wirken, um einer falschen Körperhaltung beim Sitzen entgegenzuwirken.

Verkörperte Agenten als animierte interaktive Charaktere mit autonomem und eigendynamischem Verhalten oder Avatare, die von anderen Personen gesteuert werden, können in virtuellen Umgebungen, die über VR-Headsets oder Großbildprojektionen dargestellt werden, Erlebnisse schaffen, die der Interaktion mit anderen Menschen in der realen Welt ähneln (siehe Abb. 1). Besonders natürlich wirkt die Interaktion mit dem Agenten, wenn dieser nicht nur auf verbale Äußerungen reagiert, sondern sich mittels



Abb. 2: Rekonstruktion des von der VR-Brille verdeckten Gesichts des Anwenders als Avatar und Animation der Gesichtsmerkmale (Quelle: Matthias Wölfel)



Abb. 3: 3D-Modell der Hindenburg (Rendering: Simon Janzer)

3D-Gestenerkennung auch auf das nonverbale Verhalten des Gesprächsgegners einstellt.

Die Grenzen zwischen physischer und virtueller Realität verschwimmen immer mehr und werden in Zukunft untrennbar miteinander verbunden sein. Diese Entwicklung hat nicht nur Einfluss darauf, womit wir kommunizieren, sondern auch wo und wie wir kommunizieren. Damit eröffnen sich auch völlig neue Möglichkeiten der Wissensvermittlung. So können sich Studierende und Lehrende in dem von uns entwickelten VR-Classroom, für den uns 60 VR-Brillen zur Verfügung stehen, treffen, um sich anhand interaktiver Modelle auszutauschen. Oder immaterielles Kulturerbe kann digital „auferstehen“, so wird z. B. die Größe des Zeppelins Hindenburg im digitalen Raum erfahrbar (siehe Abb. 3).

Ob ein interaktives System die Benutzerin bzw. den Benutzer überzeugen kann, hängt nicht nur von der technischen Umsetzung ab, auch menschliche Faktoren müssen berücksichtigt werden. Um den Zustand des Benutzers hinsichtlich kognitiver oder emotionaler Beanspruchung zu erfassen, werden am Institut neben Fragebögen auch Sensordaten z. B. mittels Elektroenzephalographie (EEG), Eye-tracking oder Hautleitwert erfasst und ausgewertet. Hierfür wurde eigens das Virtual Reality Scientific Toolkit (VRSTK)

entwickelt, das in zahlreichen Studien zum Einsatz kommt und als Open Source auch anderen Forschungsgruppen zur Nutzung angeboten wird.

Da sich das Institut verpflichtet fühlt, die vielfältigen und sensiblen Daten der Nutzerinnen und Nutzer bestmöglich zu schützen, werden die erfassten Sensordaten ausschließlich auf eigener Hardware verarbeitet und gespeichert. Denn eine positive Benutzererfahrung umfasst nicht nur die Benutzungsschnittstelle, sondern auch Aspekte des Vertrauens, des Datenschutzes und der Privatsphäre.

Weiterführende Informationen auf der Institutswebseite unter [www.h-ka.de/iiiix/](http://www.h-ka.de/iiiix/) ✕

#### Autor

**Prof. Dr. Matthias Wölfel**

Professor für Intuitive und Perzeptive Benutzungsschnittstelle

Sprecher des Instituts für intelligente Interaktion und immersive Erfahrungen

#### Kontakt

Prof. Dr. Matthias Wölfel

Fakultät für Informatik und Wirtschaftsinformatik

Moltkestraße 30, 76133 Karlsruhe

E-Mail: [matthias.woelfel@h-ka.de](mailto:matthias.woelfel@h-ka.de)

# Zukunft gestalten



bei **LEONHARD WEISS**

LEONHARD WEISS, gegründet 1900, ist eines der leistungsstärksten und erfolgreichsten Bauunternehmen Deutschlands. Unser Leistungsspektrum erstreckt sich vom Ingenieur- und Schlüsselfertigbau, dem Gleisinfrastrukturbau bis hin zum Straßen- und Netzbau.

Du suchst für Dein Praxissemester oder nach Deinem Studium den richtigen Partner? Dann bewirb Dich als

**PRAKTIKANT, WERKSTUDENT** oder  
**BERUFSEINSTEIGER** (m/w/d)

an einem unserer Standorte in Deutschland.

Wir freuen uns auf Deine Bewerbung über unser Jobportal:  
[www.leonhard-weiss.jobs](http://www.leonhard-weiss.jobs)

**LEONHARD WEISS GmbH & Co. KG – BAUUNTERNEHMUNG**

Leonhard-Weiss-Str. 2-3, 74589 Satteldorf  
Kontakt: Patrick Ilg, P +49 7951 33-2336

**LEONHARD WEISS**  
**BAUUNTERNEHMUNG**



**FOCUS**

**TOP**

NATIONALER  
ARBEITGEBER

**2023**

BAU

FOCUS BUSINESS .DE  
IN KOOPERATION MIT  
FACT<sup>®</sup> „FIELD



## BEWEGEN + BEGEISTERN

### Du willst dein Wissen einbringen? Gestalte mit uns gemeinsam die Zukunft.

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 dein Wissen einbringen? Dann bewirb dich unter [www.endress.com/karriere](http://www.endress.com/karriere) 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



**ZF**® | 60 Jahre  
Zoller+Fröhlich | Years

## 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](mailto:jobs@zofre.de)



„Mehr Abwechslung?  
**Wechsle  
zu grün.**“

Berufseinstieg für Studierende  
und Absolventen



**Jetzt bewerben.**  
[dekra.de/karriere](https://dekra.de/karriere)

Wir verstehen uns als globaler Partner für eine sichere und nachhaltige Welt. Seit fast 100 Jahren arbeitet DEKRA als eine der weltweit führenden Expertenorganisationen für die Sicherheit im Verkehr, bei der Arbeit und zu Hause. Dafür sind wir mit knapp 49.000 Mitarbeitenden in 60 Ländern täglich im Einsatz.

Verstärke jetzt unser Team in **Karlsruhe oder an anderen Standorten** aus den Bereichen:

- **Maschinenbau**
- **Fahrzeugtechnik**
- **Elektrotechnik**
- **Verfahrenstechnik**
- **Umwelttechnik**



# Intelligente Systeme

# Wertschöpfungsnetzwerke durch KI-basierte Optimierung resilient gestalten

Dennis Richter, Steffen Kinkel, Patrick Fomferra und Ina Schiedermaier

DE Globale Liefer- und Wertschöpfungsketten sind zunehmend komplexer und vernetzter. In der Folge ist die Häufigkeit von Störungen durch Naturkatastrophen, politische Instabilität oder globale Pandemien in den letzten Jahren deutlich gestiegen. Der Beitrag gibt Einblicke in das Forschungsprojekt Re\_KI\_lienz, das sich mit der Gestaltung resilienter und agiler Wertschöpfungsnetzwerke durch KI-basierte Optimierung auseinandersetzt. Der Beitrag gibt außerdem einen kurzen Überblick über den aktuellen Stand der Einführung technischer und organisatorischer Konzepte zur Reduzierung von Lieferkettenproblemen anhand einer Befragung von 314 deutschen Unternehmen des verarbeitenden Gewerbes.

EN Global supply and value chains are becoming increasingly complex and interconnected. As a result, the frequency of disruptions caused by natural disasters, political instability, or global pandemics has significantly increased in recent years. The article provides insights into the research project Re\_KI\_lienz, which deals with the design of resilient and agile value networks through AI-based optimization. The article also provides a brief overview of the current state of the implementation of technical and organizational concepts for reducing supply chain issues based on a survey of 314 German manufacturing companies.

Die resiliente Gestaltung globaler Liefer- und Wertschöpfungsketten <sup>[1,2]</sup> und internationaler Produktionskonfigurationen <sup>[3]</sup> ist aufgrund verschiedener jüngerer Einflüsse zu einem sehr wichtigen Thema geworden. So hat die COVID-19-Pandemie gezeigt, dass Aspekte der Widerstandsfähigkeit und Wiederherstellbarkeit von Wertschöpfungskonstellationen in Zukunft an Bedeutung gewinnen müssen. <sup>[4]</sup> Der aktuelle Russland-Ukraine-Konflikt hat zudem einen immensen und anhaltenden Einfluss auf den internationalen Handel mit Verbrauchs- und Vorleistungsgütern und hat schwerwiegende Unterbrechungen von Lieferketten ausgelöst.

Die Resilienz von Lieferketten wird in der Literatur unterschiedlich definiert und umfasst die Anpassungsfähigkeit eines Unternehmens oder Systems, sich auf nicht langfristige vorhersehbare Störungen vorzubereiten (prepare), angemessen zu reagieren (react) und die reguläre Leistungsfähigkeit wiederherzustellen (restore). <sup>[5,6]</sup> Einige der Hauptgründe für das hohe Maß an Risiken und Unterbrechungen globaler Liefer- und Wertschöpfungsketten lassen sich auf frühere strategische Entscheidungen von Unternehmen zurückführen. Dazu zählen beispielsweise die heute stark globalisierten Lieferketten durch eine einseitige Priorisierung von Faktorkosten- und Effizienzvorteilen gegenüber Risiko- und Lieferfähigkeitsaspekten sowie stark reduzierte Lieferantenbasen mit vielen Single-Source-Konstellationen. Diese begrenzte Anzahl global verteilter Lieferanten führt zu langen Lieferwegen und einer hohen Abhängigkeit von wenigen Regionen.

An dieser Stelle setzt das Forschungsprojekt Re\_KI\_lienz an, das vom Institut für Lernen in Innovation in Netzwerken (ILIN) der Hochschule Karlsruhe geleitet und koordiniert wird. Im Konsortium arbeiten die vier Unternehmen Feinguss Blank, Marquardt, TRUMPF und Sartorius gemeinsam mit Neoception, einem Spin-off der Pepperl+Fuchs Gruppe, und der Hochschule für Wirtschaft und Umwelt Nürtingen-Geislingen sowie dem IMU Institut an der KI-gestützten Gestaltung resilienter und agiler Wertschöpfungskonstellationen. Zur Bearbeitung dieses Themas fokussiert Re\_KI\_lienz drei Anwendungsszenarien, die nachfolgend beschrieben werden:

[1] Kahkonen, A.K.; Patrucco, A.: A purchasing and supply management view of supply resilience for better crisis response, *Journal of Purchasing and Supply Management*, 100803(2022).

[2] Dubey, R.; Gunasekaran, A.; Childe, S.J.; Fosso Wamba, S.; Roubaud, D.; Foropon, C.: Empirical investigation of data analytics capability and organizational flexibility as complements to supply chain resilience, *International Journal of Production Research* 591(2021), pp. 110–128.

[3] UNCTAD: World Investment Report 2020: International Production beyond the Pandemic, New York and Geneva, United Nations (2020).

[4] Xu, X.; Sethi, S.P.; Chung, S.H.; Choi, T.M.: Reforming global supply chain management under pandemics: The GREAT-3Rs framework. *Production and Operations Management*, 32(2023) 2, pp. 524–546.

[5] Negri, M.; Cagno, E.; Colicchia, C.; Sarkis, J.: Integrating sustainability and resilience in the supply chain: A systematic literature review and a research agenda. *Business Strategy and the environment*, 30(2021) 7, pp. 2858–2886.

[6] Ponomarev, S.Y.; Holcomb, M.C.: Understanding the concept of supply chain resilience, *International Journal of Logistics Management* 201(2009), pp. 124–143.

### Anwendungsszenario „Resiliente globale und lokale Lieferketten“:

Lieferketten stehen im Spannungsfeld zwischen Lokalität und Globalität. Lokale Konstellationen weisen insbesondere bei Komponenten mit hoher Komplexität Vorteile wie eine hohe Reaktions- und eine schnelle Lieferfähigkeit auf. Zudem zeichnen sie sich durch Individualität und Varianz aus, während globale Lieferketten hier an ihre Grenzen stoßen. Dennoch erweisen sich globale Lieferstrukturen häufig robuster als gedacht. So tragen sie beispielsweise zur überregionalen Diversifikation und Risikostreuung bei. Im Rahmen von Re\_KI\_lienz sollen intelligente Methoden, Werkzeuge und ganzheitliche Gestaltungsansätze zur resilienten Ausgestaltung globaler und lokaler Lieferketten konfiguriert werden, die situative Anpassungen hinsichtlich der Fragmentierung, Länge, Lokalisierung vs. Globalisierung und Redundanz (multiple vs. single sourcing) an sich ändernde Bedingungen erlauben sowie ein proaktives Risikomanagement unterstützen. Durch Neustrukturierungen von Vorleistungsketten sollen Abhängigkeiten und Gefahrenpotenziale frühzeitig erkannt und die Vorleistungsketten so gestaltet werden, dass eine dynamische Balance zwischen Stabilität, Effizienz und Agilität erlangt werden kann. Neben Anzahl und Kompetenzen der Lieferanten wird auch ihre regionale Verteilung Gegenstand der Planung und Gestaltung sein.

### Anwendungsszenario „Adaptive Standortrollen im globalen Produktionsnetzwerk“:

Einer der primären Gründe für Rückverlagerungen von Produktionsaktivitäten deutscher Unternehmen aus dem Ausland sind Einbußen bei Flexibilität und Lieferfähigkeit. Weitere Treiber sind eine hohe Varianz und Individualität der Produkte sowie hohe Kundenanforderungen an Schnelligkeit, Termintreue und Qualität. Die Wandlungsfähigkeit mancher Standorte im globalen Produktionsnetzwerk scheint demzufolge nicht ausreichend groß zu sein, wodurch sich bestehende Konfigurationsmuster und Standortrollen womöglich als überholt erweisen werden. Im Rahmen von Re\_KI\_lienz sollen intelligente Methoden, Werkzeuge und ganzheitliche Gestaltungsansätze zur Ausgestaltung adaptiver Standortrollen im globalen Produktionsnetzwerk erarbeitet werden, die eine marktadäquate und veränderbare Kompetenzallokation am jeweiligen Standort erlauben und einen Beitrag zur Inno-

vations- und Wandlungsfähigkeit des gesamten globalen Wertschöpfungsnetzwerks leisten können. Ziel ist es, Ansätze für eine agile Neuausrichtung unternehmensinterner Wertschöpfungsnetzwerke zu erarbeiten. Innovations- und Fertigungskompetenzen (Ressourcen und Fähigkeiten) sollen neu strukturiert und das Zusammenspiel der einzelnen Standorte und deren Rollen im Netzwerk systematisch angepasst und adaptiv gestaltet werden können.

### Anwendungsszenario „Elastische Make-or-Buy-Entscheidungen“:

Die Frage, welche Komponenten ein Unternehmen selbst herstellen oder zukaufen soll, spielt eine wesentliche Rolle für die Konfiguration wandlungsfähiger und gleichzeitig effizienter Wertschöpfungskonstellationen. Das Outsourcing eigener Wertschöpfung an in- und ausländische Zulieferer war über viele Jahre hinweg gängige Praxis, was sich jedoch seit etwa zehn Jahren umkehrt. Ein Wiederanstieg der eigenen Wertschöpfungstiefe und ein leichter Rückgang des Anteils der aus dem Ausland bezogenen Vorleistungen ist zu beobachten. Häufig überwiegen bei genauerem Hinsehen die Kosten des Outsourcings dessen direkte Effizienzvorteile. Auch die Frage der technologischen und wirtschaftlichen Abhängigkeit von Lieferanten nimmt bei Make-or-Buy-Entscheidungen eine bedeutendere Rolle ein. Im Rahmen von Re\_KI\_lienz sollen intelligente Methoden, Werkzeuge und ganzheitliche Gestaltungsansätze zur Unterstützung bei Make-or-Buy-Entscheidungen konzipiert werden, die eine dynamische Anpassung der Wertschöpfungstiefe („Atmen“) in definierten Kompetenzfeldern am jeweiligen Produktionsstandort an die lokalen und globalen Umfeldbedingungen erlauben. Neben operativen Kostenfaktoren fließen auch strategische Faktoren der Versorgungssicherheit, Gefahr von Abhängigkeiten, Volumen- und Variantenflexibilität, Anpassungsfähigkeit sowie die strategischen Rollen unterschiedlicher Standorte in Make-or-Buy-Abwägungen ein.

Bereits vor dem Projektstart wurde von September bis November 2022 eine computergestützte Telefonbefragung (CATI) bei 314 Unternehmen des verarbeitenden Gewerbes durchgeführt. Ziel war es, den aktuellen Stand der Einführung technischer und organisatorischer Konzepte zur Reduzierung von Lieferkettenproblemen bei diesen Unternehmen besser zu verstehen. Es wurden Vertreter

# Die Relevanz resilienter Liefer- und Wertschöpfungskonstellationen zeigte sich zuletzt eindrucksvoll.

aus den Bereichen Produktionsmanagement, Supply Chain Management, Einkaufsmanagement und Geschäftsführung/-entwicklung befragt. Die Stichprobe stellt ein gutes Abbild der Größen- und Branchenstrukturen im deutschen verarbeitenden Gewerbe dar. 36 % der befragten Betriebe haben weniger als 50 Beschäftigte, 54 % haben 50 bis 249 Beschäftigte und 10 % weisen 250 und mehr Beschäftigte aus. Damit entfallen 90 % der Betriebe der Stichprobe auf kleine und mittlere Unternehmen (KMU) mit weniger als 250 Beschäftigten.

Hinsichtlich der Einführung technischer und organisatorischer Konzepte zur Reduzierung von Lieferkettenproblemen zeigen sich bei den befragten Betrieben deutlich unterschiedliche Nutzungsmuster (Abb. 1). Mit 43 % werden Tools für die Anpassung der eigenen Produktionssysteme hin zu mehr Flexibilität und Wandlungsfähigkeit von den befragten Betrieben am häufigsten genutzt. Digitale Tools zum Monitoring der Lieferstände wichtiger Komponenten in oder nahe Echtzeit wurden von etwa 22 % der befragten Betriebe eingeführt. Mit deutlichem Abstand folgen digitale Tools zum Monitoring der Produktionsaktivitäten der wichtigsten Lieferanten in oder nahe Echtzeit, die nur von etwa 12 % der befragten Betriebe genutzt werden. Der Einblick in die Produktionsstände der Lieferanten scheint für viele Unternehmen, insbesondere klei-

ne und mittlere Unternehmen (KMU) mit geringer Marktmacht, nur schwierig umsetzbar zu sein. Schließlich werden digitale Tools zur Früherkennung potenzieller Störgrößen der Materialversorgung von etwa 13 % der befragten Betriebe eingesetzt. Digitale Tools zur Früherkennung von schwachen Signalen im Vorfeld von Disruptionen der Lieferketten sind noch nicht breit in der Praxis etabliert. Die Umfrageergebnisse bestätigen damit die bislang ausbleibende umfassende digitale Erfassung, Überwachung und Steuerung innerhalb von Liefer- und Wertschöpfungskonstellationen und folglich die hohe Relevanz des Projektes Re\_KI\_lienz für deutsche Unternehmen.

Förderhinweis: Dieses Forschungs- und Entwicklungsprojekt wird durch das Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) im Programm „Zukunft der Wertschöpfung – Forschung zu Produktion, Dienstleistung und Arbeit“ (Förderkennzeichen: 02L19C250) gefördert und vom Projektträger Karlsruhe (PTKA) betreut. ✕

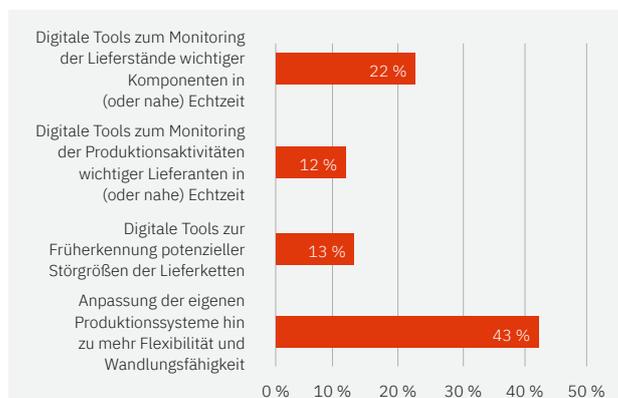


Abb. 1: Nutzung digitaler Tools und organisatorischer Konzepte zur Erhöhung der Resilienz von Wertschöpfungsketten

## Autoren und Autorin

### Dennis Richter M.Sc.

Projektkoordinator Re\_KI\_lienz und Akademischer Mitarbeiter am Institut für Lernen und Innovation in Netzwerken (ILIN),  
E-Mail: [dennis.richter@h-ka.de](mailto:dennis.richter@h-ka.de)

### Prof. Dr. Steffen Kinkel

Projektleiter Re\_KI\_lienz, Institutsleiter des ILIN,  
E-Mail: [steffen.kinkel@h-ka.de](mailto:steffen.kinkel@h-ka.de)

### Patrick Fomferra M.Eng.

Akademischer Mitarbeiter am ILIN

### Ina Schiedermaier M.A.

Akademischer Mitarbeiterin am ILIN

## Kontakt

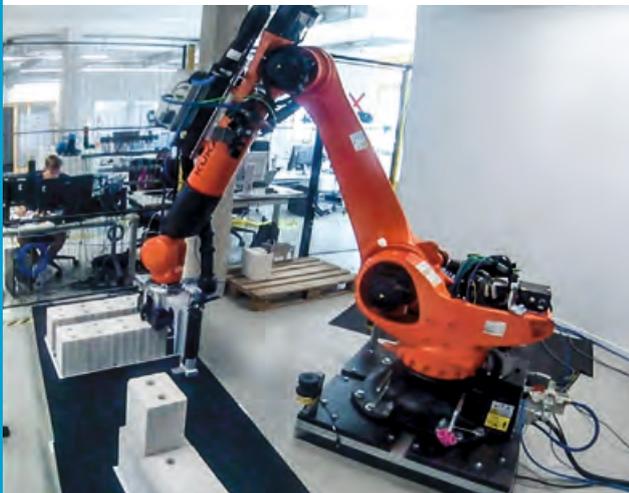
Prof. Dr. Steffen Kinkel  
Hochschule Karlsruhe  
Fakultät für Informatik und  
Wirtschaftsinformatik  
Moltkestraße 30  
76133 Karlsruhe  
E-Mail: [steffen.kinkel@h-ka.de](mailto:steffen.kinkel@h-ka.de)

# Kurs auf Bauen 4.0

## Innovatives Bauen mit Dreßler



CarlsCube, Karlsruhe



Mauerroboter „GD-Prime“



VR-Lab, Dreßler Bau Karlsruhe

### Die Zukunft des Bauens gestalten

Im CarlsCube werden effizienzsteigernde Bauprozesse Wirklichkeit. Schon heute können Bauherren und Planungsteams im hochtechnisierten VR-Lab ein realitätsgetreues virtuelles Gebäudeinneres ihres Bauvorhabens begehen und dessen Ausstattung bemustern. Parallel forscht Dreßler in Zusammenarbeit mit der AAT Automation GmbH und der Hochschule Karlsruhe am Mauerroboter „GD-Prime“, um die Wirtschaftlichkeit von Bauvorhaben in der Region Karlsruhe zu steigern.

### Dreßler Bau GmbH

#### Niederlassung Karlsruhe

Am Großmarkt 10 - 76137 Karlsruhe

Telefon 0721 66737-0 - [ka-nl@dressler-bau.de](mailto:ka-nl@dressler-bau.de)



# ROBDEKON II – Robotersystem für die Dekontamination in menschenfeindlichen Umgebungen

Dennis Hartmann, Yucheng Tang, Christian Wurll und Björn Hein

DE Der Rückbau von Kernkraftwerken und anderen kerntechnischen Anlagen ist eine arbeitsintensive Aufgabe, die bisher mit Ausnahme des reaktornahen Bereichs fast ausschließlich manuell ausgeführt wurde. ROBDEKON II zielt darauf ab, Roboter-Technologien für autonome und teilautonome Dekontamination zu integrieren. Der GammaBot, eine autonome mobile Umwelterfassungsplattform, ermöglicht Erkundung und Kartierung von Kernkraftwerken im Rückbauprozess mit einem 3D-Laserscanner und einer Szintillatorsonde. Bei komplexeren Aufgaben im Dekontaminationsprozess, wie dem Heben schwerer Lasten oder die 3D-Erfassung komplexer Strukturen, sollen Robotersysteme mit zwei Armen oder mehreren unterschiedlichen kinematischen Komponenten zum Einsatz kommen, unterstützt durch maschinelles Lernen und Optimierungsalgorithmen.

EN The decommissioning of nuclear power plants and other nuclear facilities is a labor-intensive task that has thus far been almost exclusively performed manually, with the exception of the area close to the reactor. ROBDEKON II aims to integrate robotic technologies for autonomous and semi-autonomous decontamination. The GammaBot, an autonomous mobile environmental sensing platform, enables exploration and mapping of nuclear power plants in the decommissioning process using a 3D laser scanner and a scintillator probe. For more complex tasks in the decontamination process, such as lifting heavy loads or 3D sensing of complex structures, robotic systems with two arms or several different kinematic components will be used, supported by machine learning and optimization algorithms.

Zu Beginn des Rückbauprozesses eines Kernkraftwerks ist es wünschenswert ein vollständiges geometrisches Modell der Gebäude anzufertigen. Momentan wird zur Erstellung dieses Modells ein 3D-Laserscanner manuell von einer Mitarbeiterin bzw. einem Mitarbeiter an viele Stellen innerhalb eines Raumes oder Gebäudekomplexes platziert. Die dabei aufgenommenen 3D-Punktwolken werden anschließend in einer Software miteinander verbunden, sodass ein Gesamtmodell entsteht. Um den Fortschritt des Rückbaus zu dokumentieren und das Modell zu aktualisieren, muss dieser Prozess mehrfach aufwändig manuell wiederholt werden.

## Gammabot

Unsere mobile Umwelterfassungsplattform GammaBot übernimmt diese Aufgaben autonom. Dafür haben wir eine mobile Roboterplattform mit verschiedenen Sensoren, einem 360°-3D-Laserscanner und einer Szintillatorsonde ausgestattet. Weiterhin haben wir Algorithmen entwickelt, die es dem GammaBot erlauben, autonom die Räume des Kernkraftwerks zu erkunden und dabei ein 3D-Modell mit geometrischen Daten und Strahlungswerten zu erstellen.

Zusätzlich zu den Hauptsensoren sind ein Sicherheitslaser-scanner und ein Time-of-Flight 3D-Sensor integriert, die für ein kollisionsfreies Fortbewegen sorgen. Eine Weitwinkel- und eine Telekamera erlauben die Teleoperation von einem entfernten Leitstand. Über eine Wärmebildkamera können Wärmeanomalien visuell dargestellt werden.

Der Algorithmus zur autonomen Exploration basiert auf dem Next-Best-View Ansatz. Dabei wird das in einem ersten Scan erstellte Modell nach neuen kollisionsfrei erreichbaren Scanpositionen untersucht. Um zu entscheiden, welche nächste Scanposition am geeignetsten ist, wird von jeder Position simuliert, wie viel neue Information hier gewonnen werden kann. Konkret werden Sichtstrahlen in alle Richtungen innerhalb der Parameter des 3D-Laserscanners ausgesendet und getestet, ob diese Strahlen einen bereits registrierten Punkt im bisherigen Modell finden. Läuft der Strahl ins Leere, gibt es hier potenziell neue Informationen. Eine Optimierungsfunktion kombiniert die potenziell neuen Informationen mit der Länge der Strecke zur entsprechenden Position und bestimmt so die nächste anzufahrende Position. Dort wird

[1] Tang, Y.; Shen, W.; Mamaev, I.; Hein, B.: Towards Flexible Manufacturing: Motion Generation Concept for Coupled Multi-Robot Systems, IEEE 19<sup>th</sup> International Conference on Automation Science and Engineering, (2023).

ein neuer Scan ausgeführt und die neue 3D-Punktwolke wird mit dem bereits bestehenden Modell zusammengeführt. Der Algorithmus wird beendet, wenn es keine erreichbaren Positionen mehr gibt, bei denen der Informationsgewinn einen bestimmten vorgegebenen Schwellenwert überschreitet.

Eine weitere Aufgabe im Rückbauprozess ist die Strahlungsmessung in den Räumen. Der GammaBot kann gezielt entlang der Wände fahren und dabei kontinuierlich die Ortsdosisleistung mit einer Szintillatorsonde messen und die gesamten Daten in das Modell einpflegen. So kann bereits in einer frühen Phase des Rückbaus festgestellt werden, wo Kontaminationen zu erwarten sind und entsprechend geplant werden.

Das von GammaBot erstellte Modell kann anschließend in einer Building Information Modelling (BIM) Umgebung verwendet werden. In ROBDEKON II dient es als Grundlage für die robotergestützte Dekontamination, die vom Projektpartner Karlsruher Institut für Technologie (KIT) – Institut für Technologie und Management im Baubetrieb (TMB) erforscht wird.

## Flexible Dekontamination von Anlagenteilen

Ein weiterer Schwerpunkt der wissenschaftlichen Forschung von ROBDEKON II ist die Objektmanipulation mittels Multirobotersystemen. Mit der Weiterentwicklung der Technologie aus ROBDEKON I ist nun der Einsatz von autonomen Mehrrobotersystemen für die Reinigung von Objekten, z. B. Anlagenteilen, geplant. Diese Roboter sollen in die Lage versetzt werden, Reinigungsaufgaben effektiv zu erledigen und damit das Risiko der Strahlenbelastung für den Menschen erheblich zu verringern. Die Zusammenarbeit von zwei oder mehr Robotern hat mehrere bedeutende Vorteile gegenüber Einzelrobotersystemen. Im Folgenden werden die Anwendungen und Vorteile für vier Aufgaben näher erläutert: 3D-Erfassung und Modellierung von Objekten, Strahlungsüberwachung, Objektreinigung und Objekthandhabung.

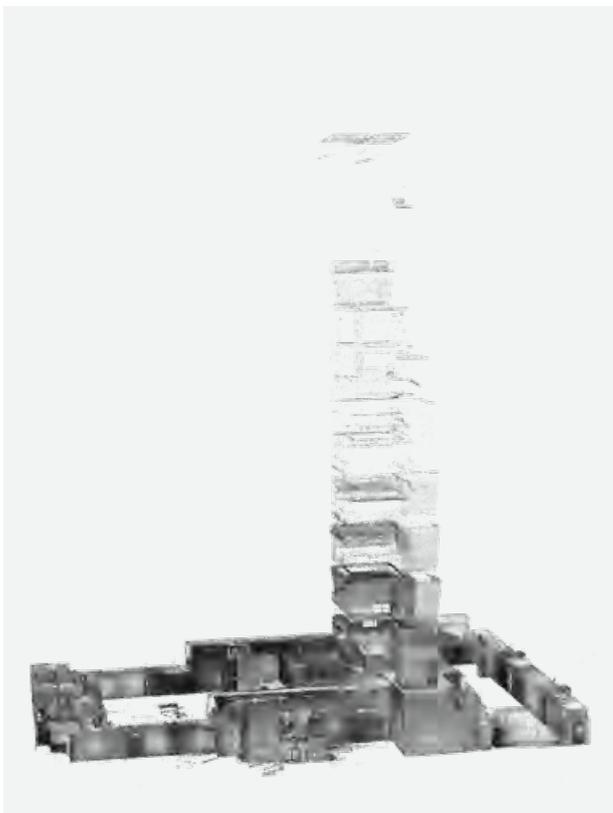
Für die Aufgabe der 3D-Erfassung und Modellierung unbekannter Objekte sind Mehrrobotersysteme eindeutig von Vorteil. Dank fortschrittlicher Laserscan-Technologie,



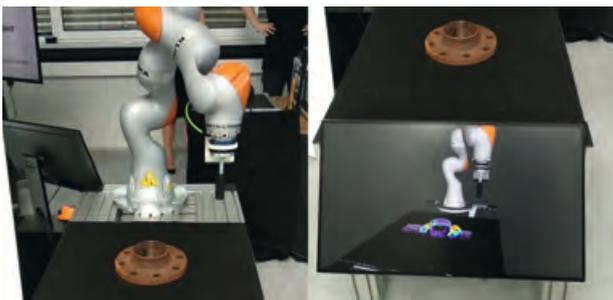
Die Umwelterfassungsplattform GammaBot (Foto: Dennis Hartmann)

# „Robotic technologies can make the job of cleaning up nuclear sites easier.“

KUKA AG



Mit GammaBot aufgenommenes 3D-Modell vom Kernkraftwerk in Zwentendorf, Österreich (Quelle: Dennis Hartmann)



Einzelne Roboter können keine Informationen auf der Unterseite von Objekten scannen (Foto: Dennis Hartmann)

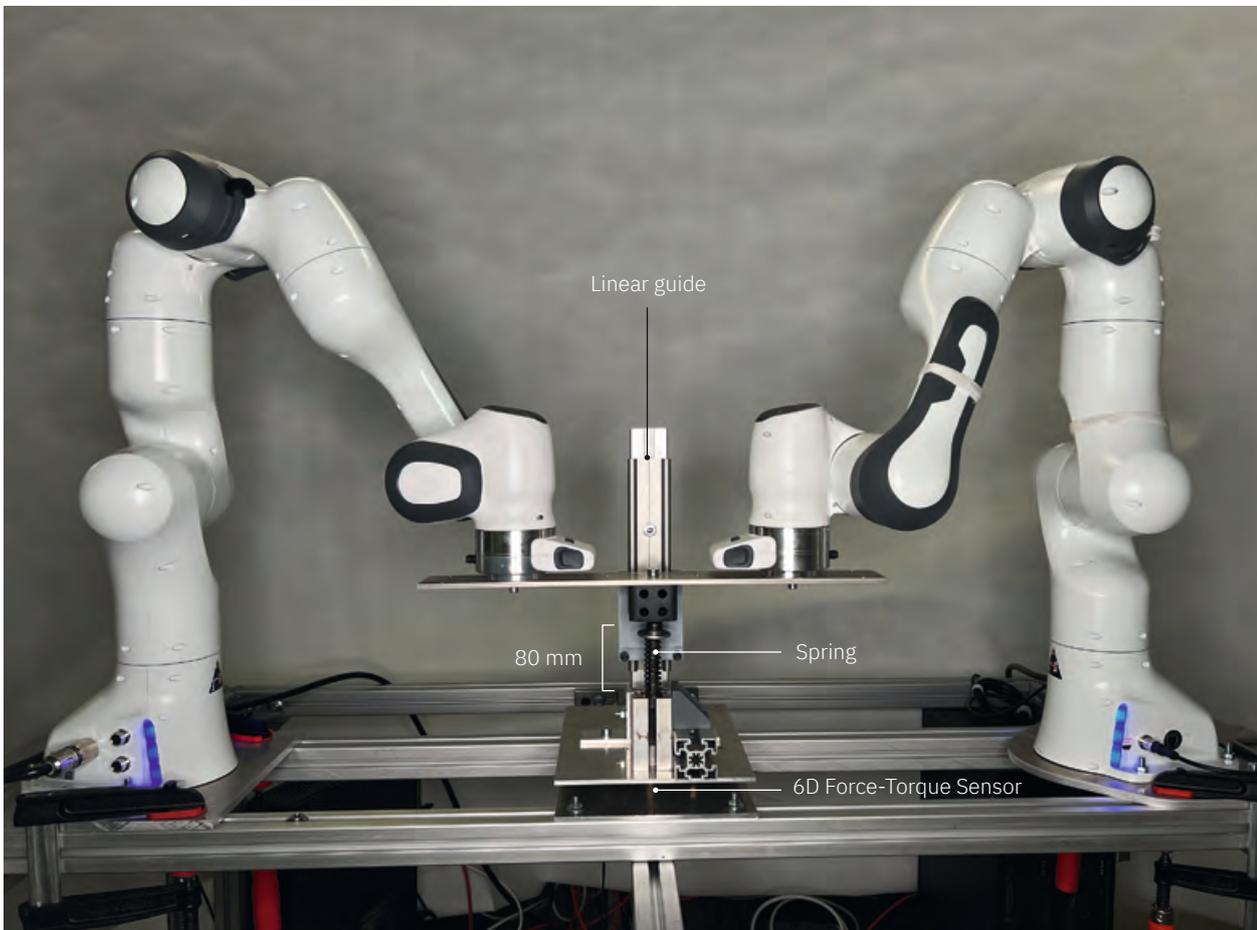
Bildverarbeitungsalgorithmen und Bewegungsplanungsalgorithmen können Roboter schnell und präzise Informationen über Form, Größe und Position eines Objekts erfassen, um ein genaues 3D-Modell zu erstellen. Im Gegensatz zu Einzelrobotersystemen können Multirobotersysteme zusammenarbeiten, um beispielsweise ansonsten verdeckte Flächen erfassen zu können. Letzteres ist die Grundlage und von entscheidender Bedeutung für die zuvor genannten anderen drei Aufgabenstellungen.

Zweitens kann der Roboter auch mit einer Szintillatorsonde zur Strahlungsmessung von Objekten ausgestattet werden. Diese Daten sind für die Festlegung der Art und Weise der nachfolgenden Reinigungsvorgänge von Bedeutung. Mehrrobotersysteme ermöglichen hier eine flexiblere und bessere Handhabung von Objekten mit unregelmäßigen Oberflächen, bei denen die Größe der Szintillatorsonde eine vollständige Erfassung durch einen einzelnen Roboter erschwert, insbesondere wenn das Objekt konkav ist oder eine stark gekrümmte, unebene Oberfläche hat.

Dual- oder Multirobotersysteme sollen in ROBDEKON II für die Reinigung von Objekten durch Wasserstrahlen, Sandstrahlen und Wischen eingesetzt werden. Zweiarmroboter können durch eine menschenähnliche Anordnung in die Lage versetzt werden, menschliche Handhabungskonzepte nachzuahmen und komplexe Reinigungsaufgaben ferngesteuert auszuführen. Durch den Einsatz maschineller Lernverfahren und optimaler Regelungsstrategien können Multirobotersysteme auch bestimmte Reinigungsaufgaben autonom übernehmen. Darüber hinaus verfügen Multiroboter über mehr Gelenke und Freiheitsgrade als Einzelrobotersysteme, was zu einem größeren Optimierungsspielraum und einer besseren und reibungsloseren Ausführung der Aufgaben führt.

Schließlich können bei Handhabungsaufgaben, bei denen ein Mehrrobotersystem eine größere Last bereitstellen kann, auch schwere Gegenstände bewegt werden.

Insgesamt sollen der in ROBDEKON II geplante Einsatz von Dual- und Multirobotersystemen für die Reinigung von Anlagenteilen einen flexiblen Lösungsansatz bieten. Verfolgtes Ziel von ROBDEKON II ist es, neuartige Verfahren und ein generisches Rahmenwerk für die Reinigung von Anlagenteilen zu entwickeln.



Mit zwei Armen können Roboter einen Abwärtsdruck von mehr als der doppelten Last erzeugen (über 700 N mit 3 kg Payload) <sup>[1]</sup>  
 (Foto: Ilshat Mamaev)

## Fazit

Das vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) geförderte Forschungsprojekt ROBDEKON II zielt darauf ab, die komplexe und arbeitsintensive Aufgabe der Rückbauarbeiten von Kernkraftwerken und anderen kern-technischen Anlagen mit Hilfe der Robotik teil- oder vollauto-matisch durchzuführen. In diesem Projekt kann Gamma-Bot, eine mobile Plattform zur Erfassung von Umweltdaten, autonom Gebäudemodelle erstellen und aktualisieren und gleichzeitig Strahlungswerte messen. Dieses 3D-Modell kann in einer BIM-Umgebung verwendet werden und bildet die Grundlage für die robotergestützte Dekontamina-tion von Gebäudestrukturen. Gleichzeitig soll im Rahmen des Projekts erforscht werden, wie durch den Einsatz von Mehrrobotersystemen die Reinigung und Dekontamina-tion von Anlagenteilen autonom und effizient durchgeführt werden können.

Dem Projektkonsortium gehören neben der Hoch-schule Karlsruhe (Die HKA) die Partner Fraunhofer IOSB, Deutsches Forschungszentrum Künstliche Intelligenz (DFKI), KIT, Forschungszentrum Informatik (FZI), Götting KG, Kraftanlagen Heidelberg GmbH und ICP Inge-nieursgesellschaft Prof. Czurda und Partner mbH an. Die Forschungsgruppe Robotik und Autonome Systeme (iRAS) am Campus HKA 2030+ der Hochschule Karlsru- he treibt die Forschungsarbeiten zur semantischen Seg- mentierung auf der Basis von 3D-Punktwolken sowie zur Bewegungsplanung und -steuerung von mehreren Robo- tern voran. Zukünftige Arbeiten werden sich zunehmend

auf Industrieroboter in unstrukturierten und komplexen Umgebungen konzentrieren, deren Umsetzung den Einsatz von autonomen Robotersystemen erfordern wird. ✘

### Autoren

**Dennis Hartmann M.Sc.**

Akademischer Mitarbeiter in der Forschungsgruppe „Robotik und Autonome Systeme“ am Institut für Angewandte Forschung (IAF) der HKA

**Yucheng Tang M.Sc.**

Akademischer Mitarbeiter in der Forschungsgruppe „Robotik und Autonome Systeme“ am Institut für Angewandte Forschung (IAF) der HKA

**Prof. Dr.-Ing. Christian Wurll**

Professor an der Fakultät für Wirtschaftswissenschaften der HKA

**Prof. Dr.-Ing. habil. Björn Hein**

Professor an der Fakultät für Wirtschaftswissenschaften der HKA

### Kontakt

Prof. Dr.-Ing. habil. Björn Hein  
 Hochschule Karlsruhe  
 Fakultät für Wirtschaftswissenschaften  
 Forschungsgruppe „Robotik und Autonome Systeme“  
 (iRAS) am Institut für Angewandte Forschung  
 Wilhelm-Schickard-Straße 9, Gebäude F  
 76131 Karlsruhe  
 E-Mail: bjoern.hein@h-ka.de

# Das Kompetenzzentrum KARL bietet ein wachsendes Angebot rund um Künstliche Intelligenz (KI)

Dennis Richter, Steffen Kinkel und Jakob Ilg

DE Der Einsatz von Künstlicher Intelligenz (KI) wird in der Gesellschaft breit diskutiert – zuletzt vermehrt durch intelligente Sprachmodelle wie ChatGPT von OpenAI, Bing AI von Microsoft, Bard von Google sowie Luminous von Aleph Alpha. Doch nicht nur für Endanwenderinnen und Endanwender wird KI zu einem spannenden und relevanten Thema. Vor allem in Bezug auf unsere Arbeitswelt wirft KI viele Fragen seitens der Unternehmen auf. Das Kompetenzzentrum KARL entwickelt aktuell Hilfestellungen und Werkzeuge, um KI-interessierte Unternehmen an unterschiedlichen Stellen der KI-Einführung zu unterstützen.

EN The use of Artificial Intelligence (AI) is an important concern in society – recently, in particular with the increased presence of intelligent language models such as OpenAI's Chat-GPT, Microsoft's Bing AI, or Google's Bard as well as Aleph Alpha's Luminous. AI is not only an exciting and relevant topic for end-users, it also raises many questions for companies, especially concerning the work environment. The competence center KARL is currently developing a toolbox to support AI-interested companies at various stages of AI implementation.

Kennen Sie eigentlich KARL, das Kompetenzzentrum zum Thema Künstliche Intelligenz (KI) für Arbeit und Lernen in der Region Karlsruhe?

Mit KARL wurde in Karlsruhe ein regionales Kompetenzzentrum der Arbeitsforschung geschaffen, um die Potenziale von KI für die Gestaltung zukünftiger Arbeits- und Lernwelten zu untersuchen. Im Kern engagieren sich in KARL neun Forschungs- bzw. Transfereinrichtungen und elf Unternehmen. Ziel von KARL ist es, diese Potenziale greifbar zu machen. Dafür werden reale Orte des Erlebens, Ausprobierens und Erlernens errichtet und miteinander vernetzt. Gleichzeitig dienen Pilotprojekte von Unternehmen, die wissenschaftlich begleitet werden, als Inspirationsquelle für Interessierte. Die Ergebnisse werden in Demonstrationen vorgestellt, in spezifischen Fortbildungen für Fach- und Führungskräfte angeboten sowie in die relevanten Studiengänge der beteiligten Hochschulen integriert. Bei allen Arbeiten in KARL steht der Mensch im Mittelpunkt. So soll ein breiter gesellschaftlicher Diskurs angestoßen werden.

## Welche Angebote entstehen aktuell in KARL?

KARL entwickelt unterschiedliche Angebote für KI-interessierte Unternehmen, wie beispielsweise:

- + Auswahlsystematik zur Identifikation von KI-Anwendungsfällen in der betrieblichen Praxis
- + Auswahlsystematik für erklärbare KI-Anwendungen (XAI)
- + KI-Readiness-Check zur Überprüfung der Ausgangslage von Unternehmen vor der KI-Einführung
- + Sammlung von Best Practices zum technischen und organisatorischen Aufbau einer Infrastruktur für maschinelles Lernen
- + KI-Kompetenzbenchmark als Grundlage für eine fundierte Einschätzung der vorhandenen und benötigten Kompetenzen im eigenen Unternehmen
- + Modularer KI-Weiterbildungskurs zur Erlangung der relevanten KI-Kompetenzen
- + Methodik zur KI-Prozessmodellierung

- + Leitfaden mit Empfehlungen zu Datenschutz im Kontext von KI
- + Leitfaden zu ethischen, sozialen und rechtlichen Aspekten (ELSA)

Ergänzt wird der „KARL-Methodenkoffer“ durch fünf Workshops zu praxisrelevanten Schwerpunktthemen. Hierzu zählen die angeleitete Entwicklung einer KI-Einführungsstrategie, eine Einführung in die Thematik der Erklärbaren KI (XAI) mit Anwendungsbeispielen, die Identifikation von Kompetenzbedarfen für eine erfolgreiche menschenzentrierte KI-Einführung, eine Einführung in das Spannungsfeld zwischen KI-Anwendungen auf Basis personenbezogener Daten und Grundlagen des Datenschutzes sowie ein Workshop zu ethischen, rechtlichen und sozialen Aspekten im KI-Kontext.

Abb. 1: Beispiel eines durch die KARL-Auswahlsystematik identifizierten KI-Steckbriefs

Nachfolgend wird die Auswahlsystematik zur Identifikation von KI-Anwendungsfällen für das eigene Unternehmen kurz skizziert. Diese ist eines der entwickelten Werkzeuge. Außerdem wird das Workshopkonzept zur Einführung in die Thematik der Erklärbaren KI (XAI) näher vorgestellt.

Die Auswahlsystematik richtet sich an KI-interessierte Unternehmen, die bislang nur wenige Berührungspunkte mit dem Thema KI hatten und mehr über potenzielle KI-Anwendungsmöglichkeiten für das eigene Unternehmen sowie Voraussetzungen für die Implementierung erfahren möchten.

KARL hat daher ein systematisches Vorgehen in Form eines Tools entwickelt, mit dem Unternehmen ihre Rahmenbedingungen, Probleme oder bevorzugten KI-Lösungen strukturiert erfassen können. Auf der Suche nach geeigneten KI-Anwendungen werden KI-interessierten Unternehmen zielgerichtet KI-Steckbriefe (Abb. 1) als Anschauungsbeispiele vorgeschlagen. Die Steckbriefe sind standardisiert aufgebaut und zeigen auf einen Blick, wie eine KI-Anwendung



# KARL bietet passende Hilfestellungen und Werkzeuge für KI-interessierte Unternehmen!

funktioniert, welchen Nutzen sie verspricht und welche Potenziale, aber auch Risiken die jeweilige KI-Anwendung mit sich bringen kann. In Verbindung mit dem KI-Readiness-Check können Unternehmen direkt auch die eigene Ausgangslage hinsichtlich der Eignung für identifizierte KI-Anwendungsfälle überprüfen. Gerne nimmt KARL auch Ihren KI-Anwendungsfall in die Sammlung auf, um Sie so mit anderen Unternehmen zu vernetzen. Anfragen dazu werden gerne über kontakt@kompetenzzentrum-karl.de entgegengenommen.

In dem Workshop zur Erklärbaren KI lernen Unternehmen den Nutzen von XAI-Methoden und das grundlegende Problem kennen, das XAI lösen soll. Der Workshop vermittelt, was für Unternehmen bei selbsterklärenden und transparenten KI-Systemen aufgrund rechtlicher Vorgaben wie der Datenschutzgrundverordnung (DSGVO) oder der geplanten KI-Verordnung der Europäischen Union (EU AI Act) verpflichtend ist. Ferner werden anhand anschaulicher Beispiele die Möglichkeiten und Grenzen heutiger XAI-Methoden demonstriert. Dabei lernen die Teilnehmenden die Herausforderungen kennen, die bei der Gestaltung eines für den Menschen nachvollziehbaren KI-Systems bestehen. In dem Workshop wird jedoch nicht nur Wissen vermittelt, sondern die Teilnehmenden wenden dieses direkt in konkreten KI-Fallbeispielen an. Als Ergebnis entsteht ein XAI-Canvas, mit dem die Teilnehmenden erste Schritte der menschenzentrierten Gestaltung eines selbsterklärenden KI-Systems vollzogen haben. Nach dem Workshop sind die Teilnehmenden unter anderem in der Lage, den Mehrwert einer Nutzung von XAI-Methoden für Softwareentwickler:innen als auch Benutzer:innen eigenständig zu beurteilen. Zuletzt verstehen die Teilnehmenden die Herausforderungen, die es bei der Gestaltung eines XAI-Systems zu beachten gilt und lernen, diese Herausforderungen durch einen menschenzentrierten Ansatz zu meistern. Die Workshopkonzepte können derzeit noch kostenfrei über kontakt@kompetenzzentrum-karl.de angefragt werden.

## Wie erhalte ich Zugang zu diesen Angeboten und ab wann?

Auf der Webseite des Kompetenzzentrums KARL ([www.kompetenzzentrum-karl.de](http://www.kompetenzzentrum-karl.de)) finden sich regelmäßig neue Angebote. Der einfachste Weg, um auf dem Laufenden zu bleiben,

ist der Beitritt in das kostenlose KARL-Netzwerk. Als Mitglied erhalten Sie regelmäßig kurze Infomails, die über anstehende Veranstaltungen, Forschungsergebnisse und neue KARL-Angebote informieren. Die derzeit noch kostenfreien Workshopangebote können bereits über die KARL-Webseite angefragt werden. Ab dem vierten Quartal 2023 werden erste Werkzeuge auf der KARL-Webseite verfügbar sein.

Dieses Forschungs- und Entwicklungsprojekt wird durch das Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) im Programm „Zukunft der Wertschöpfung – Forschung zu Produktion, Dienstleistung und Arbeit“ (Förderkennzeichen: 02L19C250) gefördert und vom Projektträger Karlsruhe (PTKA) betreut. ✕

### Autoren

#### **Dennis Richter M.Sc.**

Projektkoordinator Kompetenzzentrum KARL und akademischer Mitarbeiter am Institut für Lernen und Innovation in Netzwerken (ILIN)  
E-Mail: [dennis.richter@h-ka.de](mailto:dennis.richter@h-ka.de)

#### **Prof. Dr. Steffen Kinkel**

Projektleiter Kompetenzzentrum KARL,  
Institutsleiter des ILIN  
E-Mail: [steffen.kinkel@h-ka.de](mailto:steffen.kinkel@h-ka.de)

#### **Jakob Ilg M.A.**

Öffentlichkeitsarbeit Kompetenzzentrum KARL und Netzwerkmanager des CyberForum

### Kontakt

Prof. Dr. Steffen Kinkel  
Hochschule Karlsruhe  
Fakultät für Informatik und  
Wirtschaftsinformatik  
Moltkestraße 30  
76133 Karlsruhe  
E-Mail: [steffen.kinkel@h-ka.de](mailto:steffen.kinkel@h-ka.de)

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

Veränderung  
startet mit uns



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!

## SCHLEITH BAUT ERFOLGSSTORYS

[schleith.de/karriere](https://schleith.de/karriere)  

Als Familienunternehmen sind wir mit über 750 Mitarbeitenden an sieben Standorten in Baden-Württemberg tätig. Unser Leistungsspektrum erstreckt sich vom Tief-, Erd- und Straßenbau über den Ingenieur- und Roh- bis zum Schlüsselfertigbau.

### WIR SIND FÜR DICH DER RICHTIGE ARBEITGEBER, WENN:

- dir ein wertschätzendes Miteinander und eine professionelle Zusammenarbeit auf Augenhöhe wichtig sind,
- dir der achtsame Umgang mit deinen eigenen Ressourcen, deinem Team und ebenso den zur Verfügung stehenden Arbeitsmitteln am Herzen liegt,
- du in einem erfolgreichen Umfeld deine Leistung unter Beweis stellen und ziel- und lösungsorientiert zu unserer gemeinsamen Zukunftsfähigkeit beitragen möchtest.

Wir freuen uns auf deine Bewerbung@schleith.de!

### STARTE DEINE STORY BEI UNS ALS:

- WERKSTUDENT (M/W/D)
- PRAKTIKANT (M/W/D)
- BACHELORAND (M/W/D)
- MASTERAND (M/W/D)

### ODER DIREKT NACH DEINEM STUDIUM ALS:

- JUNIOR BAULEITER (M/W/D)
- TRAINEE (M/W/D) KALKULATION

WALDSHUT-TIENGEN

STEISSLINGEN

RHEINFELDEN

UMKIRCH

ACHERN

MANNHEIM

KARLSRUHE



# Wissenschaft und Gesellschaft

# Die Idee der Zahl

Thomas Morgenstern

DE Mathematik ist die Grundlage aller Natur-, Technik- und Wirtschaftswissenschaften und durchdringt in einer digitalisierten Gesellschaft praktisch alle Lebensbereiche. Als Ausdrucksmittel dienen „Zahlen“, die allerdings bis heute nicht durchdringend verstanden worden sind. Daher ist es die Aufgabe von Mathematikern und Philosophen, sich immer neu über die Leitidee des Begriffs „Zahl“ klar zu werden.

EN Mathematics is the basis of all natural, technical and economic sciences and permeates more or less all areas of life in our digitized world. However, “numbers” as a means of expression have not really been understood up to now. It is therefore the task of mathematicians and philosophers to clarify and explain the central idea of the concept of “numbers”.

Die Arithmetik, die Kunst des Rechnens mit Zahlen, ist ein wesentlicher Teil der Mathematik. Die Bildungsstandards zur Qualitätssicherung in Schulen identifizieren zentrale Leitideen, die Orientierung in einer durch Digitalisierung geprägten Gesellschaft ermöglichen sollen – die Idee der Zahl ist eine davon, denn in der digitalen Gesellschaft wird alles Zahl. Dennoch ist der Begriff der Zahl bis heute immer noch nicht wirklich klar verstanden, was schon Gottlob Frege (1848 bis 1925; einer der prägendsten Mathematiker und Logiker seiner Zeit) kritisierte. Das Kriterium: Wie lässt sich der Sinn von Zahlen-Gleichungen feststellen?

Welchen Sinn könnten die Gleichungen „ $1 + 1 = 2$ “ oder „ $2 + 3 = 5$ “ haben? Ernst Schröder (Professor für Mathematik an der damaligen TH Karlsruhe) bezeichnete es als einen „wahren Verderb“, wenn im Elementarunterricht der Volksschullehrer sagen lässt: „2 und 3 sind 5“ – dieser Satz enthält zwei Fehler: „und“ sowie den Plural „sind“. Als Computerbefehl lässt sich das gut darstellen, die zweite Gleichung bedeutet: „`isEqual(Plus(2,3),5)`“, d. h. „2 plus 3 ergibt 5 und dies ist gleich 5“.

Könnte man in der Gleichung „ $1 + 1 = 2$ “ für „1“ irgendein Ding wählen, dann bleibt unklar, ob für beide „1“ dasselbe Ding gesetzt werden kann – eher nicht, denn dann wäre ja „ $1 + 1 = 1$ “! Was bedeutete aber „ $1 = 1$ “, wenn es unterschiedliche Dinge wären? In der Tat ist es so, dass diejenigen, die nicht verstanden haben, was Zahlen sind und welche Dinge gleichgesetzt werden dürfen, oft gravierende Fehler begehen und nur Verwirrung stiften.

Wegen der Wichtigkeit der Frage und der unterschiedlichen herrschenden Auffassungen orientieren sich Philosophen und Mathematiker immer wieder neu an den Ursprüngen der Idee der Zahl, denn unsere Vorstellungen von den Zahlen haben sogar Einfluss auf unsere Wahrnehmung der Welt und damit auch auf jede Praxis!

Pythagoras lehrt: „Das Erste, harmonisch zusammengefügte ist die Eins“. Dann tritt Leeres in den Weltraum ein, trennt die Dinge und macht sie so zu Sortalen – „Alles ist zählbar“. Die pythagoreische Definition der arithmetischen Zahl (altgr. ἀριθμοί, arithmoí) lautet: „Einheit (altgr. μονάς, monás) ist das, wonach jedes Ding Eins (altgr. ἓν, hén) genannt wird“ und „Zahl“ ist die aus Einheiten zusammen-



gesetzte Vielheit (altgr. πλῆθος, plêthos)“. Einheiten sind sinnlich wahrnehmbare, unteilbare Dinge und Zahlen sind wirklich, räumlich und zeitlich. Für den Handel ist das ausreichend – allerdings verändern sich die Werte mit Ort und Zeit.

In der Musiktheorie lässt sich in der mathematisch exakten, reinen Stimmung der Quintenzirkel nicht schließen und es entsteht eine Quintenspirale – das pythagoreische Komma bleibt für die Musik-Praxis allerdings nicht vernachlässigbar. Noch entscheidender war die Entdeckung der Inkommensurabilität der Seite und der Diagonale des Quadrats – die Irrationalität von  $\sqrt{2}$ .

Nur auf der Grundlage einer idealisierten Geometrie mit ausdehnungslosen Punkten und breitenlosen Geraden gibt es überhaupt Größen, für die kein gemeinsames Maß gefunden werden kann – ihre Gegenstände kann man weder sehen noch fühlen, sondern nur denken. Auf empirischem Wege lässt sich jedoch nicht herausfinden, ob geometri-

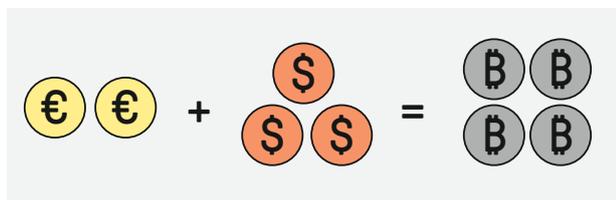


Abb. 1: Addition von Werten

sche Aussagen wahr oder falsch sind, sondern allein durch das Denken.

Platon nennt diese idealen Gegenstände die Ideen – sie sind einfache, eindeutig bestimmte, deutliche Gestalten/ Formen/ Muster. Ideen sind wesentliche, allgemeine Eigenschaften – Normen der Ordnung des Seienden, d. h. Leitideen oder Grundvorstellungen. Ihr Sein ist weder physisch, noch räumlich oder zeitlich und nur der inneren, geistigen

Wahrnehmung zugänglich. Platon veranschaulicht das als semiotische Linie: Idee – Gegenstand – Abbild. Die Gegenstände der Mathematik nehmen dagegen eine Mittelstellung ein, da sie durch Nachdenken aus Voraussetzungen und unter Zuhilfenahme sichtbarer Gestalten gewonnen werden.

Platons Idee der Zahl wird bestimmt durch zwei Prinzipien: Einheiten sind ideale, unteilbare Gegenstände; sie bestimmen logisch-formal die Einzahl, sind aber nicht identisch mit einem der einzahligen Gegenstände und Zahlen stehen zueinander in Relation. Allerdings kann man mit diesen ideellen Zahlen nicht rechnen, da die 1 erst vervielfältigt werden muss. In der Schule sind die Einheiten die unteilbaren Punkte auf dem anschaulichen Zahlenstrahl;

in der Mengenlehre ist die Einheit die leere Menge  $\{ \}$  und  $3 = \{ \{ \}, \{ \{ \}, \{ \{ \}, \{ \{ \} \} \}$ .

In einem Zeitalter der Digitalisierung stellt sich die Frage nach der „Berechenbarkeit der Welt“. Auch Wissen soll mathematisiert und elektronisch verarbeitet werden. Informatiker entwerfen dazu formale Ontologien – die Stichworte bleiben allerdings gleich: materiell oder immateriell, Name oder Begriff, Identität oder Gleichheit, Orts- und Zeitbezug (vgl. DIN 2330:2022-07).

Ernst Schröder hat mit seinem Hauptwerk „Algebra der Logik“ die Grundlagen für die mathematische Theorie der begrifflichen Wissensverarbeitung geschaffen; dort schreibt Schröder: „Endlich dürfen wir es rühmen, dass das Menschen verbindende Zeichen schon als ein unsichtbarer Blitz von Land zu Land, von Weltteil zu Weltteil fliegt, den ganzen Erdball mit seiner Herrschaft umspannend.“ und „In der That aber vermag doch Niemand vorauszusehen, ob nicht schon bald eine „Denkmaschine“ konstruierbar wird, welche dem Menschen einen sehr beträchtlichen Teil ermüdender Denkarbeit fortan abnehmen wird, gleichwie die Dampfmaschine es mit der physischen Arbeit erfolgreich thut.“ ✘

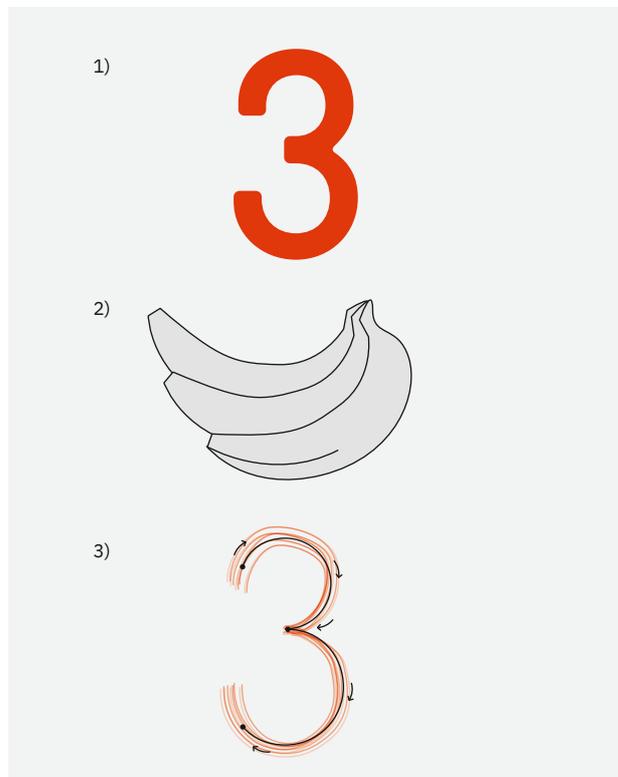


Abb. 2.1: Idee (altgr. ἰδέα, idéā); 2.2: Gegenstand (altgr. κρῆμα, khrēma); 2.3: Abbild (altgr. εἰκὼν, eikón)

#### Autor

**Prof. Dr. rer. nat. Thomas Morgenstern**  
Professor für Mathematik, Operations Research  
und Logistik an der Fakultät für Informatik und  
Wirtschaftsinformatik der HKA

#### Kontakt

Prof. Dr. rer. nat. Thomas Morgenstern  
Hochschule Karlsruhe  
Fakultät für Informatik und Wirtschaftsinformatik  
Moltkestraße 30  
76133 Karlsruhe  
E-Mail: thomas.morgenstern@h-ka.de

# TRAINER FÜR DEINE ZUKUNFT

WERDE TEIL DES TEAMS!

STAHL

ERFAHRE MEHR!



ALWIN  
EPPLER

Ingenieurleistungen für Kommunen, Verbände & Privatwirtschaft.

Ingenieurleistungen im Fluss der Zeit

Ingenieurbüro

Alwin Eppler GmbH & Co. KG

Gartenstraße 9 | 72280 Dornstetten

Telefon: 07443-944-0 | [www.eppler.de](http://www.eppler.de)



Sie suchen eine Herausforderung in angenehmer, kollegialer Atmosphäre?  
Dann kommen Sie doch zu uns ins Team.

Wir stellen ein:

- Bauingenieur/in Bereich Tief- / Rohrleitungsbau
- Ingenieur/in für Verfahrenstechnik

Wasserversorgung  
Abwassertechnik

Verfahrenstechnik  
Betriebsbetreuung

Forschung  
Entwicklung

Umweltplanung  
Projektsteuerung

Umkehrosmose  
Membranfiltration

Wasserenthärtung  
EMSR-Technik

Wasserbau  
Wasserkraft



**multitorch**  
the sparking pioneer

# Zusammen vor Energie sprühen!



[www.multitorch.de/karriere](http://www.multitorch.de/karriere)



Partnerunternehmen der HKA für das „StudiumPlus Praxis“-Programm.



# FACHKRÄFTEMANGEL

Mit Ihrer Anzeigenschaltung in den Fachpublikationen helfen Sie dem akuten Fachkräftemangel in Deutschland entgegenzuwirken. Weitere Informationen und Publikationen finden Sie online.



**ALPHA Informationsgesellschaft mbH**

Finkenstraße 10

D-68623 Lampertheim

Tel.: 06206 939-0

[magazin@alphapublic.de](mailto:magazin@alphapublic.de)

[www.alphapublic.de](http://www.alphapublic.de)

# VEGA

**SIND MEINE IDEEN  
VON HEUTE  
EURE VON MORGEN?  
SICHER. MIT VEGA.**



## **UNSERE ANGEBOTE FÜR STUDENTEN**

· Bachelorthesis · Masterthesis · Praktikum · Werkstudent



Werde Teil unseres Teams, das nicht nur für international anerkannte Spitzentechnologien steht, sondern auch für ein vertrauensvolles Miteinander, Wertschätzung, langfristige Sicherheit und erfolgreiche Zukunftsperspektiven. Interessiert? Mehr Infos gibt's auf [www.vega.com/karriere](http://www.vega.com/karriere).

# Über Wissenschaft reden ...

Anja Grunwald

DE ... und zwar so, dass es jeder versteht! Dieses Ziel stellt sich das Team des Steinbeis Transferzentrums für Visuelle Informations- und Wissensvermittlung. Im neugebauten Wasserwerk Mörscher Wald ist eine Dauerausstellung entstanden, die das komplexe Zusammenspiel unterschiedlichster wissenschaftlicher Disziplinen für die scheinbar grenzenlose und oft als selbstverständlich erachtete Trinkwasserversorgung den Karlsruher Bürgerinnen und Bürgern aufschlussreich präsentiert.

EN ... and in such a way that everyone understands it! This is the goal the team at Steinbeis Transfer Center for Visual Information and Knowledge Transfer has set for itself. In the newly built Mörscher Wald waterworks, a permanent exhibition has been created which offers the citizens of Karlsruhe enlightening insights into the complex interplay of a wide range of scientific disciplines for the apparently limitless supply of clean drinking water that is often taken for granted.

Das deutsche Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) hat 2019 das „Grundsatzpapier Wissenschaftskommunikation“ veröffentlicht und damit einen Leitfaden bereitgestellt, in dem Prinzipien und Strategien für die Kommunikation von wissenschaftlichen Themen an die breite Öffentlichkeit vermittelt werden. Formuliertes Ziel ist hierbei, den positiven Einfluss von Wissenschaft und Forschung auf die nachhaltige Entwicklung, auf die Innovationsfähigkeit und auf die Lebensqualität unserer Gesellschaft zu verdeutlichen. Wissenschaft soll im Bewusstsein der Gesellschaft verankert, Bürgerinnen und Bürgern die aktive Teilhabe an wissenschaftlichen Themen ermöglicht und damit die Demokratiefähigkeit unserer Gesellschaft gefördert werden.

Wissenschaftskommunikation hat dabei den Anspruch, die Gesellschaft in ihrer ganzen Breite zu erreichen. Das Spektrum der Möglichkeiten ist groß: Je nach Thema, Zielgruppe und zeitlichem Horizont kann die Vermittlung über unterschiedlichste Medien und Kanäle erfolgen. Hierbei können aktuelle Ergebnisse z. B. in Form von Twitter-Beiträgen, Nachrichten oder Podcasts formuliert oder Forschungsgegenstände längerfristig beobachtet, analysiert und dann z. B. in Magazinbeiträgen, Dokumentarfilmen oder – wie in diesem Fall – auch in Ausstellungen veröffentlicht werden.

## Die Trinkwasserversorgung ist eine multidisziplinäre wissenschaftliche Meisterleistung!

Die Stadtwerke Karlsruhe haben zusammen mit dem Steinbeis Transferzentrum für Visuelle Informations- und Wissensvermittlung im 2022 eröffneten Neubau des Wasserwerks Mörscher Wald eine Dauerausstellung installiert, die den vielschichtigen Einfluss von Trinkwasser auf sämtliche Lebensbereiche erläutert und den Besucherinnen und Besuchern das komplexe Zusammenspiel von Ingenieur-, Natur- und Umweltwissenschaften bei der Trinkwasserversorgung vermittelt.

Trinkwasser ist die Grundlage allen Lebens. Es sprudelt aus unseren Wasserhähnen in scheinbar unendlicher Menge – klar, erfrischend und von höchster Qualität. Hier in Deutschland ist das bisher noch selbstverständlich. Doch



Abb. 1: An 14 Stationen werden die Themen rund um das Trinkwasser mit Grafiken, Animationen, Filmen und interaktiven Medien anschaulich vermittelt. (Foto: Anne-Sophie Stolz)

die Versorgung mit Trinkwasser gewinnt unter den veränderten klimatischen Bedingungen immer mehr an Brisanz. Die Dürreperiode im Jahr 2018 hat verdeutlicht, dass die Wasservorkommen auch in Deutschland endlich sind. Auch in diesem Jahr warnte der Deutsche Wetterdienst in seiner Trendprognose vor einem außergewöhnlich heißen und trockenen Sommer. Häufigere Dürreperioden, die immer länger andauern, in Verbindung mit höheren Temperaturen belasten langfristig die Verfügbarkeit von Wasserressourcen. Darüber hinaus gilt bei der Trinkwasserversorgung der Anspruch, den Energieverbrauch und damit auch den CO<sub>2</sub>-Ausstoß zu senken sowie Lebensräume für Pflanzen und Tiere zu schützen, um damit wertvolle Ökosysteme zu erhalten. Auf lange Sicht müssen auch für nachfolgende Generationen und zu vertretbaren Kosten für die Verbraucher die Trinkwasserversorgung gesichert und negative Auswirkungen minimiert werden.

Diese verantwortungsvolle Aufgabe, weitsichtige Strategien zum Wasserressourcenmanagement zu entwickeln und damit die Trinkwasserversorgung effizient, nachhaltig und umweltfreundlich zu gestalten, ist nur in der engen Verzahnung der unterschiedlichen wissenschaftlichen Disziplinen zu bewältigen.



Abb. 2: Das topografische Modell zeigt die Infrastruktur der Trinkwasserversorgung rund um Karlsruhe (Foto: Anne-Sophie Stolz)

# Wissenschaft soll im Bewusstsein der Gesellschaft verankert werden.

## Atmosphäre, Information und Erlebnis

Die Herausforderung, die Trinkwasserausstellung über die ganze Bandbreite der wissenschaftlichen Disziplinen zu konzipieren, liegt einerseits in der Komplexität und Themenvielfalt, andererseits aber auch in der Heterogenität der Besucherinnen und Besucher der Ausstellung. Die Stadtwerke erwarten vor allem Schülerinnen, Schüler und Studierende, aber auch interessierte Erwachsene sowie Expertinnen und Experten der Trinkwasserversorgung, die sich hier zu Tagungen und Vorträgen zusammenfinden sollen. Die Art der Vermittlung ist daher divers und setzt nicht nur auf klassische Informationsmedien, sondern auch auf atmosphärische und künstlerische Interventionen.

Die Besucherinnen und Besucher des Wasserwerks werden im Foyer von einer großflächigen Wandgrafik empfangen, die durch ihre blaugrüne Farbigkeit die Vereinigung von Tech-

nik und Natur symbolisiert. Gleichzeitig ertönen aus großen Rohrskulpturen natürliche Wasserklänge wie Tropfen, Rauschen, Plätschern und auch technische Geräusche von Pumpen oder Wasserrädern. Die Komposition der Klänge lässt die Besucherinnen und Besucher atmosphärisch in die Welt des Wassers eintauchen. Eine der Rohrskulpturen ist mit Sensoren ausgestattet, die durch Handbewegung eine Manipulation des Sounds ermöglichen. Die Skulptur wird so zu einem Instrument, das die Besucher mit dem Klang aus der Tiefe der Rohre interagieren lässt. Eine weitere Skulptur in Form von abstrahierten Rheinkieseln beherbergt einen Trinkwasserspender, aus dem die Besucher während ihres Rundgangs Wasser trinken können.

Direkt neben dem Foyer befindet sich die eigentliche Trinkwasserausstellung. In 14 Stationen werden die unterschiedlichen Themen anschaulich vermittelt: von den physikalischen Phänomenen des Wassers, dem persönlichen und dem regionalen Verbrauch über die verfügbaren



Abb. 3: Trinkwasserspender, Rohrskulptur und Klanginstallation schaffen einen atmosphärischen Empfang. (Foto: Anne-Sophie Stolz)

# Kunst erschließt neue Wege, um die Faszination der Wissenschaft zu vermitteln.

Grundwasserressourcen im Oberrheingraben und der Trinkwassergewinnung mittels Tiefbrunnen bis hin zu globalen Fragestellungen, wie die Auswirkungen des Klimawandels auf die nutzbaren Wasserressourcen oder dem Menschenrecht auf ungehinderten Zugang zu Trinkwasser. Je nach Interesse und Medienaffinität können die Besucher die wesentlichen Informationen auf den großformatigen Grafiken erfassen und bei vertieftem Interesse aktiv in die Auseinandersetzung mit digitalen und interaktiven Medien einsteigen.

An der Kopfseite des Raums fällt der Blick auf ein topografisches Modell des Oberrheingraben bei Karlsruhe. LEDs bilden das gesamte Leitungsnetz des Versorgungsbereichs ab und zeigen die dazugehörige technische Infrastruktur, wie Wasserwerke, Hochbehälter oder Probeentnahmestellen.

Zum Abschluss des Ausstellungsrundgangs gelangen die Besucherinnen und Besucher in das Herz des Wasserwerks, die Pumpenhalle, um dort die ingenieurwissenschaftlichen Komponenten des Wasserwerks 1:1 nachzuvollziehen. Ergänzend wird hier das Element Wasser in seinen unterschiedlichen Aggregatzuständen durch ein Projection Mapping künstlerisch inszeniert. Wirkungsmächtige, bewegte Bilder, die die Lebenskraft des Wassers spürbar machen, werden großflächig auf die Objekte in der Halle projiziert. Zusätzlich werden Informationen zur technischen Anlage und zur Förderkapazität visualisiert und mit einer Klanginstallation akustisch unterstützt, sodass auch die Technik zu einem erfahrbaren Erlebnis wird.

## Besuch der Ausstellung

Seit Juli 2022 kann die Trinkwasserausstellung im Wasserwerk Mörscher Wald von interessierten Karlsruher Bürgerinnen und Bürgern besucht werden. Durch die Kombination von Informationen, Multimedialität und Kunst ermöglicht sie, sich dem komplexen Prozess der Trinkwasserversorgung auf verständliche, aber auch auf emotionale Weise zu nähern. Die Ausstellung schafft Raum für Reflexion, Interpretation und aktive Auseinandersetzung mit den wissenschaftlichen Themen und trägt damit zur Förderung eines breiteren Verständnisses und einer tieferen Verbindung zwischen Wissenschaft und Gesellschaft bei. Informationen zu Führungen sind unter [www.swka.de/ausstellung](http://www.swka.de/ausstellung) zu finden. ✕

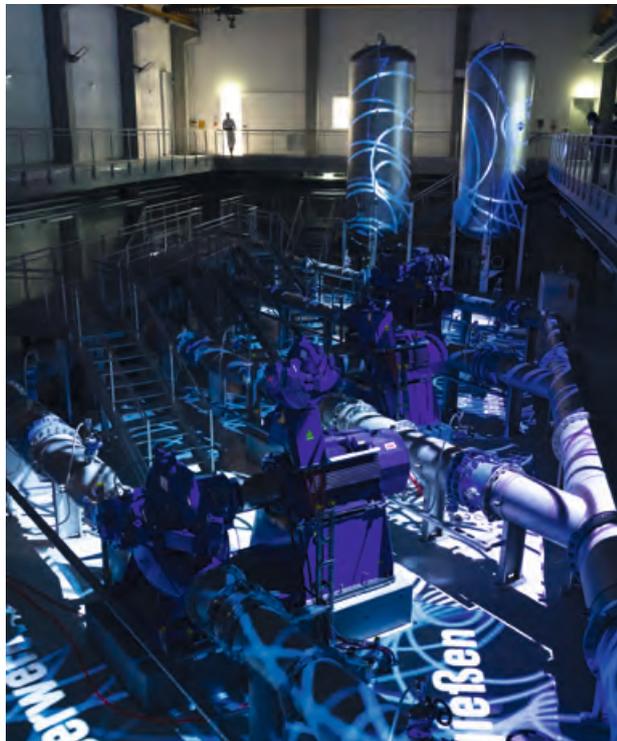


Abb. 4: In der Pumpenhalle wird mit einem Projection Mapping das Wasser eindrucksvoll inszeniert. (Foto: Anne-Sophie Stolz)

### Autorin

**Prof. Anja Grunwald**

Professorin für Gestaltung und Visualisierung  
an der Fakultät für Informationsmanagement  
und Medien der HKA  
Leiterin des Steinbeis Transferzentrums für Visuelle  
Informations- und Wissensvermittlung

### Kontakt

Prof. Anja Grunwald  
Hochschule Karlsruhe  
Fakultät für Informationsmanagement und Medien  
Moltkestraße 30  
76133 Karlsruhe  
E-Mail: [anja.grunwald@h-ka.de](mailto:anja.grunwald@h-ka.de)

# Identifizierung von Schlüsselpersonen für eine effiziente Wissenssicherung und -weitergabe in Unternehmen

Elena Kick, Ina Schiedermaier, Marco Baumgartner, Tobias Kopp und Steffen Kinkel

DE Die zunehmende Alterung der Belegschaften sowie vermehrt auftretende Fachkräftengpässe stellen Unternehmen vor die Herausforderung, geschäftsrelevantes Wissen zu sichern und intern zu verteilen. Speziell das Wissen von Schlüsselpersonen ist dabei in besonderer Weise zu adressieren. Die unternehmensinternen Schlüsselpersonen zu kennen, stellt somit einen zentralen Faktor dar, um entsprechende Maßnahmen einzuleiten. Dieser Beitrag beschreibt, wie Unternehmen derzeit bei der Identifikation von Schlüsselpersonen vorgehen und wie sie künftig durch entsprechende Werkzeuge dabei unterstützt werden können. Abschließend stellen wir unsere Ansätze im Projekt KlproWork zur arbeitsintegrierten Dokumentation und intelligenten, bedarfsgerechten Weitergabe des prozeduralen Wissens von Schlüsselpersonen vor.

EN The increasing number of older employees and the growing shortage of skilled workers are two challenges that confront companies as they need to secure business-relevant knowledge and distribute it internally. In particular, the knowledge of key personnel must be specially addressed. Knowing the company's internal key personnel is therefore a central factor in initiating appropriate measures. This article describes how companies currently proceed in identifying key personnel and ways of supporting these companies by appropriate tools in the future. Finally, we present our approaches in the KlproWork project for work-integrated documentation and intelligent, demand-oriented transfer of the procedural knowledge of key personnel / employees.

Der Mittelstand ist ein zentraler Treiber für die Beschäftigung und den wirtschaftlichen Erfolg in Deutschland. Allerdings ist das Wissen zu relevanten Prozessen gerade in kleinen und mittleren Unternehmen (KMU) häufig auf nur wenigen Schultern verteilt. Diese Beschäftigten, die aufgrund ihrer Erfahrung und ihres unternehmensspezifischen Wissens und Könnens unentbehrlich und schwer ersetzbar sind, werden als Schlüsselpersonen bezeichnet<sup>[1,2]</sup>. Teils sind solche Abhängigkeiten von einzelnen Personen in Unternehmen strukturell schwer vermeidbar, teils sind sich die Führungskräfte der hohen Abhängigkeiten aber auch nicht bewusst und kennen ihre Schlüsselpersonen nicht. Fallen Schlüsselpersonen dann unvorhergesehen aus oder verlassen das Unternehmen, kommen geschäftskritische Prozesse zum Erliegen und das Unternehmen erleidet gravierende Wissensverluste. Nur durch entsprechende Antizipation ist es Unternehmen möglich, rechtzeitig geeignete Maßnahmen zu ergreifen, beginnend bei der Identifikation von Schlüsselpersonen über die Dokumentation ihres relevanten Wissens bis hin zur intelligenten und bedarfsgerechten Weitergabe.

## Identifikation von Schlüsselpersonen

Zur Identifikation von Schlüsselpersonen können verschiedene Merkmale herangezogen werden.<sup>[2]</sup> Eine systematische Bewertung solcher Merkmale findet jedoch insbesondere in KMU kaum statt, da diese mit einem hohen Arbeitsaufwand einhergeht und mitunter die entsprechende Expertise fehlt.<sup>[3]</sup>

Auf Basis von acht qualitativen und explorativen Interviews mit Führungskräften (Expert:in; abgekürzt Exp1–8) aus deutschen Unternehmen stellen wir nachfolgend dar, wie Unternehmen derzeit vorgehen, um Schlüsselpersonen zu erkennen. Zunächst lässt sich konstatieren, dass eine systematische Bewertung relevanter Merkmale von Schlüsselpersonen in keinem Unternehmen vorgenommen wird, sondern die Identifikation entweder intuitiv oder teilweise kriteriengeleitet erfolgt. Während ein:e Unternehmensvertreter:in argumentiert, dass Führungspersonen ihre Beschäftigten „normalerweise [...] relativ gut [kennen und daher] sehr schnell [wissen] [...], wer welche Rolle spielt“

[1] Ackermann, B.: Strukturierte Wissenstransfers – enormes Potenzial für Wirtschaft und Verwaltung, in: Ackermann, B; Krancher, O; North, K; Schildknecht, K; Schorta, S. (Hrsg.): Erfolgreicher Wissenstransfer in agilen Organisationen. Hintergrund – Methodik – Fallbeispiele, Springer Gabler, Wiesbaden, Heidelberg (2018), pp. 21–36.

[2] Wolwer, D. (2016): Identifikation und Bewertung von Schlüsselpersonen sowie deren Einflussnahme auf den Unternehmenserfolg kleiner und mittlerer Unternehmen, Dissertation, Wuppertal.

[3] Decius, J; Schaper, N.: Ein Instrument zur strategischen Kompetenzentwicklung in mittelständischen gewerblichen Betrieben: Die Kompetenzmanagementtabelle (KMT), Gr Interakt Org 52(2021) 2, pp. 261–277.

[4] Schiedermaier, I; Kick, E; Baumgartner, M; Kopp, T; Kinkel, S.: Wissensmanagement in KMU – Kriterien zur Identifikation von internen Schlüsselpersonen, ZWF Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb 118(2023) 6.

(Exp1), nennen andere Befragte konkrete Faktoren, anhand derer sie Schlüsselpersonen identifizieren. Ein Hinweis darauf, dass es sich um eine Schlüsselperson handelt, sehen einige Interviewte beispielsweise darin, dass deren Name als Ansprechperson bei Problemen häufig genannt wird. So betont ein:e Exper:tin: „Wenn man unterschiedliche Personen anspricht, mit Fragen oder Problemen, [...] und da [...] ein Name [...] immer wieder [fällt], dann hat man [...] einen ganz guten Indikator“ (Exp5). Diese Erfahrung teilen auch weitere Führungspersonen, die Beschäftigte als Schlüsselpersonen identifizieren, falls „bei bestimmten Themen [...] immer die gleichen Personen fokussiert werden“ (Exp2) und deutlich wird, dass man diese „gerne einsetzt, gerne fragt [und von ihnen] gerne eine Meinung einholt“ (Exp8). In diesem Zusammenhang wird ebenfalls erwähnt, dass „Personen mit besonders vollen Kalendern, [...] die von unterschiedlichsten Leuten aus der eigenen Organisation ständig [...] kontaktiert werden“ (Exp2) oder Beschäftigte, bei denen „man sich scheut sie anzusprechen, weil man weiß, dass sie viel zu tun haben, sie aber auch eben viel Wissen tragen“ (Exp4) ebenfalls mit hoher Wahrscheinlichkeit als Schlüsselpersonen gelten.

Je nach Persönlichkeit der Schlüsselpersonen werden entsprechende Beschäftigte eher als solche erkannt: „Bei den Personen, bei denen es eher um die Persönlichkeit geht, sind die eher extrovertierten Personen [...] gleich ersichtlich als Schlüsselpersonen“, während „eher introvertierte, ruhigere Schlüsselperson[en] [...] vielleicht nicht gleich ersichtlich [sind]“ (Exp8). Eine befragte Führungsperson führt außerdem die Beobachtung der Blickwechsel in Meetings unter Beschäftigten als Identifikationsmöglichkeit an: „Man sitzt in einem Raum mit mehreren Leuten und [schaut] [...]: wer wird am häufigsten angeguckt von den anderen, wer hat den größten Einfluss“ (Exp8).

Die Interviews zeigen, dass in Unternehmen keine einheitliche Vorgehensweise zur Identifikation von Schlüsselpersonen vorliegt, sondern unterschiedliche Merkmale zurate gezogen werden. Um Unternehmen bei der Identifikation von Schlüsselpersonen zu unterstützen, haben wir unter anderem ein Merkmalcluster entwickelt, das Unternehmensvertreterinnen und -vertretern als

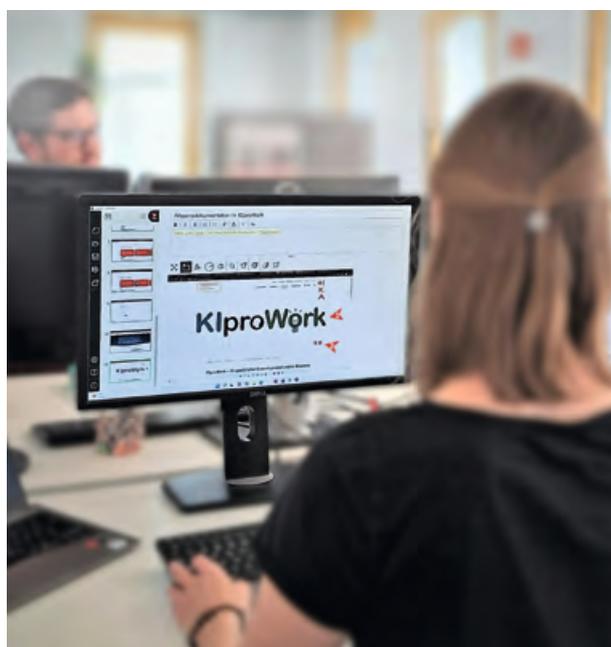


Abb. 1: Digitale Dokumentation von prozeduralem Wissen (Foto: KlproWork)

Orientierung dienen kann, um systematisch zu untersuchen, inwieweit Schlüsselpersonen im eigenen Unternehmen vorhanden sind. <sup>[4]</sup>

## Auf Wissensengpässe reagieren

Um Engpässen entgegenzuwirken, die durch das Vorhandensein von Schlüsselpersonen auftreten können, werden bereits in einigen Unternehmen Maßnahmen ergriffen. Dazu gehören z. B. Stellvertretungsregelungen der Schlüsselpersonen, die besonders für die Urlaubsphasen oder krankheitsbedingten Ausfälle der Schlüsselpersonen von zentraler Bedeutung sind. So bringt Expert:in 7 auf den Punkt: „Kein Urlaub ohne Vertretung. [...] . Die [Vertretungsperson] muss dann auch da sein, die kann dann kein Urlaub nehmen.“ Zusätzlich zu Vertretungsregelungen wird in einigen Unternehmen auch bereits bei der Stellenbesetzung und Organigrammaufstellung darauf geachtet, „immer alles

# Unternehmen sollten erfolgskritisches Wissen von Schlüsselpersonen auf mehreren Schultern verteilen.

doppelt zu besetzen [...], dass nicht nur [eine:r] die Kompetenz hat“ (Exp3) und somit „redundantes Wissen“ (Exp2) in der Abteilung entsteht.

Ein befragtes Unternehmen verfolgt einen abweichenden Ansatz. Statt das Vorhandensein von Schlüsselpersonen als kritische und unerwünschte Tatsache aufzufassen, zielt deren Vorgehensweise darauf ab, Beschäftigte möglichst dafür zu begeistern, selbst eine Schlüsselperson zu werden. Im Rahmen eines „high potential Programm[s]“ (Exp8) erfahren ausgewählte Beschäftigte eine spezielle Förderung. Durch eine offene und transparente Kommunikation über dieses Programm erhofft sich das Unternehmen, die Motivation der anderen Beschäftigten zu erhöhen.

Von zentraler Bedeutung ist es, das implizit vorhandene Wissen von Schlüsselpersonen systematisch und nachhaltig zu sichern und an andere Personen im Unternehmen weiterzugeben, sodass sich Beschäftigte „auch gegenseitig fit machen“ (Exp2) können. Dieses Thema wird angesichts des demografischen Wandels und zunehmender Fachkräfteengpässe zukünftig an Relevanz gewinnen und erfordert daher innovative Lösungen im Bereich des Wissensmanagements. Im Rahmen unseres Forschungsprojekts „KI-gestützter Erwerb prozeduralen Wissens in Arbeitsprozessen von KMU“ (kurz: KIproWork) befassen wir uns damit, wie es gelingt, das sogenannte prozedurale (durch Übung routinierte und automatisierte Handlungs-) Wissen von Schlüsselpersonen arbeitsintegriert und strukturiert zu dokumentieren und intelligent sowie bedarfsgerecht an andere Beschäftigte weiterzugeben. Dabei legen wir den Fokus insbesondere auf computergestützte Arbeitsvorgänge innerhalb der Unternehmen. Wie in Abbildung 1 dargestellt, arbeiten wir gemeinsam mit unseren Konsortialpartnern daran, das Klickverhalten von Schlüsselpersonen zu erfassen, mit Hilfe von Künstlicher Intelligenz auszuwerten und automatisiert Anleitungen zu erstellen. Diese Dokumentationen sollen daraufhin anderen Beschäftigten zur Verfügung gestellt werden, sobald diese Unterstützung benötigen. Dies führt zu einer zur leichteren Einarbeitung neuer Fachkräfte sowie zur Entlastung stark beanspruchter

Schlüsselpersonen und zum anderen bleiben Unternehmen dadurch vor schwerwiegenden Wissensverlusten bei Ausfall oder Weggang von Schlüsselpersonen bewahrt. Auf diese Weise können sich Unternehmen nachhaltig absichern und den Herausforderungen des demografischen Wandels begegnen. ✘

## **Autorinnen und Autoren**

### **Elena Kick (M. Sc.)**

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

### **Ina Schiedermaier (M.A.)**

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

### **Marco Baumgartner (M. Sc.)**

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

### **Dr. Tobias Kopp**

Akademischer Mitarbeiter und Leiter einer Nachwuchsforschungsgruppe zur menschenzentrierten Technikgestaltung und -einführung, 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**

Prof. Dr. Steffen Kinkel  
Hochschule Karlsruhe  
Institut für Lernen und Innovation in Netzwerken  
Wilhelm-Schickard-Straße 9, Gebäude F  
76131 Karlsruhe  
E-Mail: steffen.kinkel@h-ka.de

# EMISSIONSMESSUNGEN



An diversen Fahrzeugen  
flexibel einsetzbar  
Entsprechend EU-ETS



Schütz GmbH Messtechnik · Einsteinallee 5 · D-77933 Lahr, Schwarzwald · Tel: +49(0)7821 32 80 100  
info@schuetz-messtechnik.de · www.schuetz-messtechnik.de

## Werde Teil unseres Architektenteams

Wir bieten Dir

- Praxissemester - Werkstudentenjobs - AiP
- Berufseinstieg mit erfahrenen Kollegen
- Ausbildung in allen Leistungsphasen
- Mitarbeit an spannenden Großprojekten



Kühnl + Schmidt Architekten AG  
in Karlsruhe - Baden-Baden - München  
Jetzt bewerben auf [personal@ks-architekten.de](mailto:personal@ks-architekten.de)



## kundenspezifische Hochspannungstechnik

Zündsysteme  
Steckverbinder  
Sondermesstechnik  
Umweltprüfungen

WEISSGERBER engineering GmbH  
Breisenbachstraße 36  
44357 Dortmund



Das Ingenieurbüro für besondere Anforderungen.

# Was autonomes Fahren mit unserem Mobilitätsverhalten machen würde

Jan Riel und Kerstin Gothe

**DE** Autonomes Fahren als Technologie zur Lösung der Verkehrsprobleme? Tatsächlich sind die Potenziale der Technik enorm, unreguliert führt sie jedoch zu einer Zunahme des Verkehrs auf den Straßen: So wäre für mehrere Personengruppen der Zugang zur autonomen Mobilität einfacher und Fahrzeit könnte anders genutzt werden – ein Vorteil gegenüber anderen Verkehrsmitteln, der sich sowohl in der Verkehrsmittelwahl als auch in der Akzeptanz längerer Wege bemerkbar macht. Um das autonome Fahren im Sinne einer effizienten, nachhaltigen und stadtverträglichen Mobilität zu nutzen, müssen bereits heute die Rahmenbedingungen geschaffen werden, sodass das autonome Fahren nur als Sharing-Angebot und integriert in den ÖPNV eingesetzt wird.

**EN** Autonomous driving as a technology to solve traffic problems? In fact, the potential of this technology is enormous, but unregulated it foreseeably will lead to an increase in traffic on the roads as access to automotive mobility would be easier for various groups, and travel time could be used differently. This is an advantage over other modes of transport that is reflected both in the choice of transport and in the acceptance for longer journeys. In order to use autonomous driving as an efficient, sustainable and urban-compatible form of mobility, the framework conditions must be developed today so that in the future autonomous driving is only used as a sharing service and is integrated into public transport.

Autonomes Fahren – ein regelrechter Hype schwappete vor ein paar Jahren durch die Republik. Politik und Wirtschaft forcierten den Aufbau von Testfeldern für die neue Technologie, u. a. auch das vom Land Baden-Württemberg geförderte „Testfeld Autonomes Fahren“ (TAF) in Karlsruhe. Zahlreiche Visualisierungen – vor allem aus der Automobilbranche – zeigen Visionen für eine autonome Zukunft: Grüne, belebte Städte, auf deren Straßen sich Fahrrad-, Fuß- und (autonomer) Kfz-Verkehr in harmonischem Miteinander bewegen.

Das ebenfalls vom Land Baden-Württemberg geförderte Projekt „Autonomes Fahren – Chancen und Risiken“ (AutoRICH) wurde federführend von Institut für Verkehr und Infrastruktur (IVI) der Hochschule Karlsruhe bearbeitet und untersuchte am Beispiel der Stadt Karlsruhe die potenziellen Auswirkungen des autonomen Fahrens auf das Verkehrsaufkommen in den Städten und auf die Bewohner:innen. Dies geschah auf Basis von mehreren Szenarien, die schließlich in Empfehlungen für den Umgang für die Gestaltung des autonomen Fahrens im Sinne einer nachhaltigen Entwicklung von Stadt und Verkehr abgeleitet werden.

## Veränderungen im Mobilitätsverhalten

„Was wäre, wenn es heute bereits autonom fahrende Autos gäbe?“ wurden insgesamt 3.400 Personen im Rahmen zweier Online-Erhebungen gefragt. Das Ergebnis: 60 % der Befragten würden autonome Fahrzeuge nutzen, 40 % nicht. Die Fahrten der am autonomen Fahren Interessierten würden sich dabei auf verschiedene Nutzungsformen autonomer Fahrzeuge verteilen: Das Privatfahrzeug wäre mit gut der Hälfte der beabsichtigten Wege nach wie vor die beliebteste Nutzungsform, aber auch Carsharing und Ridepooling würden für jeweils fast ein Viertel der Wege genutzt.

Die Menschen würden dabei von den neuen Mobilitätsoptionen sogar regen Gebrauch machen: So sind z. B. Jugendliche bis 17 Jahre zwar schon sehr aktiv und selbstständig, haben aber keinen Führerschein.



Zielvision einer nachhaltigen, smarten Stadt mit autonomen Fahrzeugen (Visualisierung: Lisa Matzdorff)

Ältere Personen fahren aufgrund körperlicher Einschränkungen weniger Auto, wären aber gerne mehr mobil. Auch andere Alters- bzw. Personengruppen hätten Vorteile durch das autonome Fahren, z. B. weil die Fahrzeit produktiver genutzt werden kann. Aus diesen Gründen würden über alle Wegezwecke verteilt neue Wege generiert oder vom Umweltverbund auf das Auto verlagert werden. Dabei würden nicht nur mehr, sondern auch längere Fahrten entstehen. Tabelle 1 zeigt die Zunahmen des Kfz-Verkehrs entsprechend der Umfrage:

Auf Grundlage dieser Daten wurden am Beispiel der Stadt Karlsruhe zwei Szenarien für das Jahr 2040 gebildet, die prinzipiell aber auch auf andere Städte übertragbar sind.

## Szenario „Trend“

Bei diesem Szenario befinden sich die autonomen Fahrzeuge (so wie heute) in Privatbesitz. Diese können sich jedoch auch einen weiter entfernt liegenden freien Stellplatz suchen. Die Anschaffungshürde „Parkraum“ für ein Kraftfahrzeug

entfällt. Dies führt zu einer Angleichung der Zulassungsdichte an das Niveau wie es heute nur an den Stadträndern bekannt ist. Die KFZ-Flotte wächst und es sind zusätzliche Parkbauten erforderlich.

Die tägliche Verkehrsleistung steigt im Szenario „Trend“ von heute 16,8 Mio. Pkw-km auf 23,1 Mio. Pkw-km an. Limitierender Faktor ist dabei das Straßennetz: Aufgrund dessen Kapazitätsgrenze könnten 25 % der beabsichtigten Fahrten gar nicht durchgeführt werden.

Dieses Ergebnis ist weit von dem Bild entfernt, das uns die eingangs genannten Visualisierungen vermitteln. In einem Dialog mit ca. 40 ausgewählten Karlsruher Bürgerinnen und Bürgern wurden die ersten Ergebnisse der Szenarien diskutiert. Das Szenario „Trend“ wurde eindeutig als nicht wünschenswert erachtet, der Wunsch nach Regulierung wurde deutlich kommuniziert.

## Szenario „Sharing“

Das Szenario „Sharing“ betrachtet in mehreren Unterszenarien unterschiedliche Formen der Regulierung und unterschiedliche Nutzungsformen autonomer Fahrzeuge:

	Arbeit	Dienstlich	Ausbildung	Einkauf	Priv. Erledigung	Freizeit	Holen / Bringen
Wege	+79 %	+136 %	+345 %	+69 %	+128 %	+66 %	+116 %
km	+16 %	+18 %	+10 %	+16 %	+17 %	+11 %	+16 %

Tabelle 1: Zunahme von Wegehäufigkeit und Wegelängen durch autonomes Fahren

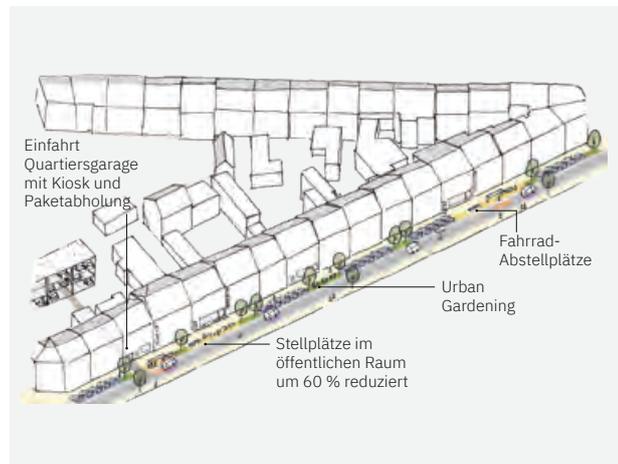
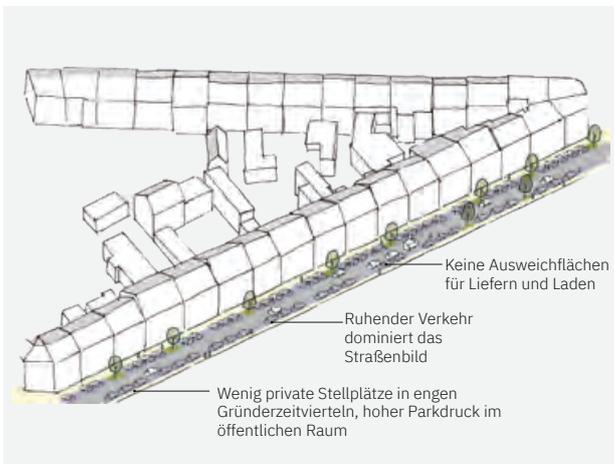


Abb. 1: Beispiel für gründerzeitliche Straße im Szenario „Trend“ (links) und „Sharing“ (rechts) (Skizzen: Lisa Matzdorff, Sanda Sandic)

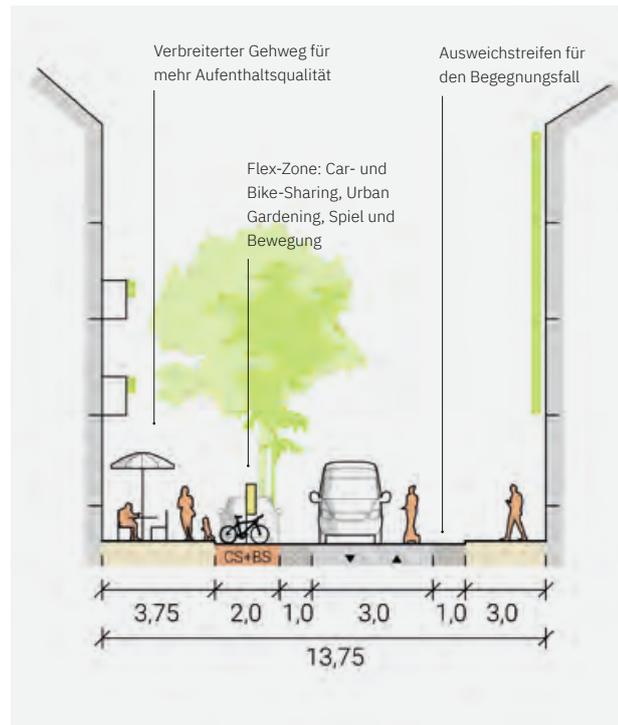
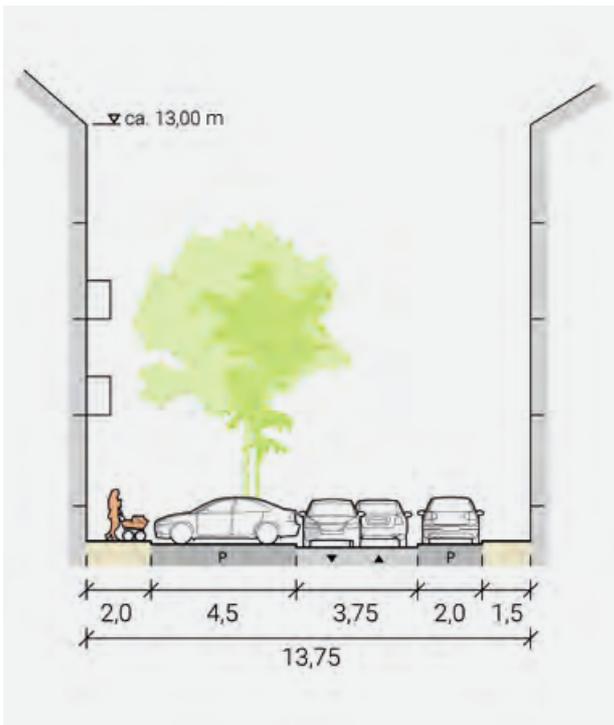


Abb. 2: Veränderte Flächenaufteilung im Straßenraum (links heute bzw. „Trend“, rechts „Sharing“)

# Autonomes Fahren per se löst nicht die Verkehrsprobleme.



Abb. 3a: Beispiel aus dörflichem Stadtteil: Vollständig versiegelter Straßenraum ohne Begrünung, enge Gehwege

- + Carsharing: Ähnlich dem heutigen Carsharing kommen Fahrzeuge automatisiert zu Nutzer:innen. Komfortabel, führt aber zu Leerfahrten.
- + Ridepooling: Nicht nur Autos, sondern auch Fahrten werden geteilt. Shuttles holen Passagiere mit ähnlichen Quellen und Zielen entlang einer optimierten Route ab. Nachteile durch entstehende Umwege werden aus Kundensicht durch niedrigere Fahrpreise kompensiert.

Ein Sharing-Fahrzeug ersetzt ca. acht Privatwagen. Die Fahrzeugflotte in den Sharing-Szenarien schrumpft daher von 84.000 auf 10.000 Fahrzeuge. Zusammen mit den manuell gesteuerten Fahrzeugen ergibt sich damit noch eine Flotte von insgesamt 66.000 Kfz – weniger als die Hälfte von heute.

## Auswirkungen auf den öffentlichen Raum

Während im Szenario „Trend“ der öffentliche Raum zusätzlich vom ruhenden Verkehr belastet wird, wird im Szenario „Sharing“ aufgrund der Halbierung der Fahrzeugflotte dessen nachhaltige Transformation möglich: Es gibt mehr Flächen für Aufenthalt, Begrünung, Entsiegelung

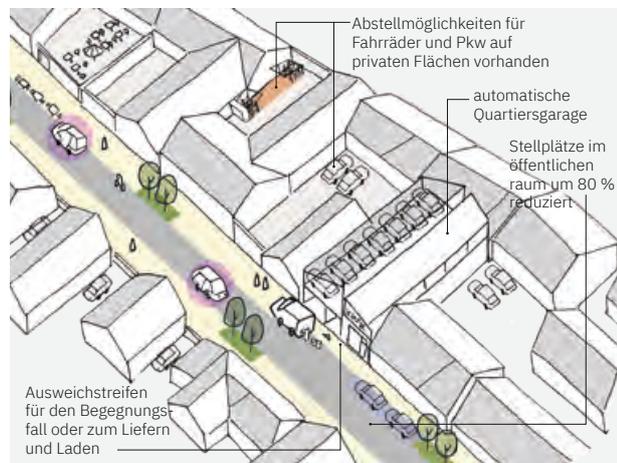


Abb. 3b: Beispiel aus dörflichem Stadtteil: Entsiegelung und Begrünung des öffentlichen Raums durch Reduzierung des ruhenden Verkehrs

sowie Klimaanpassung und zum Fahrradparken. Die Konsequenzen des Szenarios „Sharing“ am Beispiel von existierenden Karlsruher Straßen können für verschiedene Straßenraumtypen dargestellt werden.

## Auswirkungen auf die Verkehrsbelastung der Straßen

Die Modellergebnisse zeigen, dass auch im Szenario „Sharing“ der Verkehr auf den Straßen je nach Randbedingung stark anwachsen kann:

- + In einem Unterszenario „Sharing ohne Grenzen“ werden der Umfrage entsprechend jeweils 50 % der autonomen Fahrten als Ridepooling- bzw. mit Carsharing-Fahrten durchgeführt. Das Straßennetz wäre dann mit 23,1 Mio. Pkw-km/Tag wie im Szenario „Trend“ am Limit, allerdings könnten aufgrund des höheren Besetzungsgrads der Ridepooling-Fahrzeuge alle geplanten Fahrten durchgeführt werden.
- + Erst der ausschließliche Einsatz von Ridepooling im Unterszenario „Mehr Mobilität – weniger Verkehr“ würde zu einem Rückgang der gefahrenen Kilometer auf täglich 15,5 Mio. führen.

# Ohne Regulierung wird das autonome Fahren eher zu mehr als zu weniger Verkehr führen.

+ In weiteren Unterszenarien wurden ebenfalls Reduzierungen der gefahrenen km erreicht, wobei unterschiedliche restriktive Maßnahmen wie z. B. die Einführung von Fahrtenkontingenten oder deutlich unterschiedliche Preisgestaltung in MIV und ÖPNV zugrunde gelegt wurden. Auch die Sharing-Szenarien wurden im Bürger:innendialog diskutiert. Dabei wurde z. B. der Ansatz eines „alternativlosen“ Ridepoolings aus Sorge vor unangenehmen anderen Fahrgästen kritisch gesehen, bei finanziellen Regulierungsinstrumenten wurde auf die Gewährleistung der Teilhabe an Mobilität für alle Bevölkerungsschichten hingewiesen.

Auch die Sharing-Szenarien wurden im Bürger:innendialog diskutiert. Generell wurde dabei die Reduzierung des Straßenverkehrs als ein wichtiges und wünschenswertes Ziel eingeschätzt. Dabei wurden aber auch Bedenken genannt: Z. B. wurde der Ansatz eines „alternativlosen“ Ridepoolings aus Sorge vor unangenehmen anderen Fahrgästen kritisch gesehen, bei finanziellen Regulierungsinstrumenten wurde auf die Gewährleistung der Teilhabe an Mobilität für alle Bevölkerungsschichten hingewiesen.

## Fazit und Empfehlungen

Autonomes Fahren löst nicht per se die Verkehrsprobleme, ohne Regulierung ist vielmehr sogar mit mehr Verkehr zu rechnen. Ein Schlüssel zur Lösung der Verkehrsprobleme und der klimaresilienten Transformation der Städte liegt in der Nutzung des autonomen Fahrens ausschließlich als Sharing-Angebot. Empfehlungen hierzu betreffen drei Ebenen:

1. Auf Bundesebene sollte bereits heute der Rahmen dafür geschaffen werden, dass autonome Fahrzeuge nur als geteilte Fahrzeuge zugelassen werden (Planungssicherheit für Hersteller).
2. Auf Landesebene sollte den Kommunen in den Bauordnungen der Spielraum für ein reduziertes Angebot von Stellplätzen ermöglicht werden: So sollte z. B. nicht die heutige Anzahl von (privaten) Fahrzeugen, sondern eine dem Ersetzungsfaktor von Sharing-Fahrzeugen entsprechende Anzahl von Stellplätzen zugrunde gelegt werden.
3. Auf kommunaler Ebene sollte die Transformation des öffentlichen Raums im Sinne einer Reduzierung der

öffentlichen Parkstände bereits heute auch unabhängig vom autonomen Fahren angestoßen werden.

Der Artikel basiert auf dem Anfang 2022 abgeschlossenen Forschungsprojekt AutoRICH und wurde in ähnlicher Form bereits in der Fachzeitschrift SRL (Vereinigung für Stadt-, Regional- und Landesplanung) berücksichtigt. Neben anderen waren daran von Seiten der Hochschule Karlsruhe beteiligt: Tim Reuber, Jan Wachsmann (IVI), Reiner Jäger, Naznin Akter (Labor für GNSS und Navigation), am Karlsruher Institut für Technologie: Lisa Matzdorff (IESL), Alexa Maria Kunz, Felix Albrecht (House of Competence, Methodenlabor), sowie Koehler und Leutwein GmbH & Co KG: Peter Koehler, Jonas Fehrenbach, Martin Pielawa, Stefan Wammetsberger, Fraunhofer-Institut für Optronik, Systemtechnik und Bildauswertung (IOSB) Miriam Ruf, Jens Ziehn, Wilko Manz, Karlsruhe (Beratung). Das Projekt wurde gefördert vom Ministerium für Wissenschaft, Forschung und Kunst Baden-Württemberg sowie vom Ministerium für Verkehr.

Eine handlungsorientierte, illustrierte Zusammenfassung des Projekts mit zentralen Ergebnissen und Empfehlungen findet sich unter dem Link [www.h-ka.de/ivi/projekte/autorich](http://www.h-ka.de/ivi/projekte/autorich) ✕

### Autor und Autorin

**Prof. Dr.-Ing. Jan Riel**

Professor an der Fakultät für Architektur und Bauwesen

Institut für Verkehr und Infrastruktur (IVI) der Hochschule Karlsruhe

**Prof. em. Kerstin Gothe**

Institut Entwerfen von Stadt und Landschaft (IESL) an der Architekturfakultät des KIT

### Kontakt

Prof. Dr.-Ing. Jan Riel

Hochschule Karlsruhe

Fakultät für Architektur und Bauwesen

Moltkestraße 30

76133 Karlsruhe

E-Mail: [jan.riel@h-ka.de](mailto:jan.riel@h-ka.de)

# RENAISSANCE 3.0

Ein Basislager für  
neue Allianzen von  
Kunst und  
Wissenschaft  
im 21. Jahrhundert

25.3.2023 – 7.1.2024



Gefördert durch  
Baden-  
Württemberg  
Stiftung  
www.bwstiftung.de

Stifter des ZKM  
Baden-Württemberg



Premiumpartner des ZKM

EnBW



zkm karlsruhe

www.zkm.de © »Algo-rhythmics«, 2023 von Tomás Saraceno © Foto: ZKM | Karlsruhe / Felix Grünschloß

## Finde Deinen Einstieg bei L'ORÉAL!

Wir sind Marktführer in Beauty und Pionier im Bereich Beauty Tech. Wir leben Nachhaltigkeit und Umweltschutz. Wir schätzen Diversität und fühlen uns klaren, ethischen Prinzipien verpflichtet.

In dem weltweit größten Logistikzentrum der L'ORÉAL Gruppe am Standort Muggensturm (Nähe Karlsruhe) beliefern wir unsere Kunden in Deutschland, Österreich und der Schweiz.

Wir bieten neben diversen Studiengängen und Beruflichen Ausbildungen auch Praktika oder Werkstudentenstellen. Wir suchen laufend Studien-abgänger:innen für Junior-Positionen.

Schau auf unserer Karriereseite oder schicke uns eine Initiativbewerbung.



[career.loreal.com](https://career.loreal.com)



## Impressum

Forschung aktuell 2023  
Hochschule Karlsruhe

Herausgeber  
Rektorat der Hochschule Karlsruhe

Redaktion  
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  
Silber Druck oHG  
www.silberdruck.de

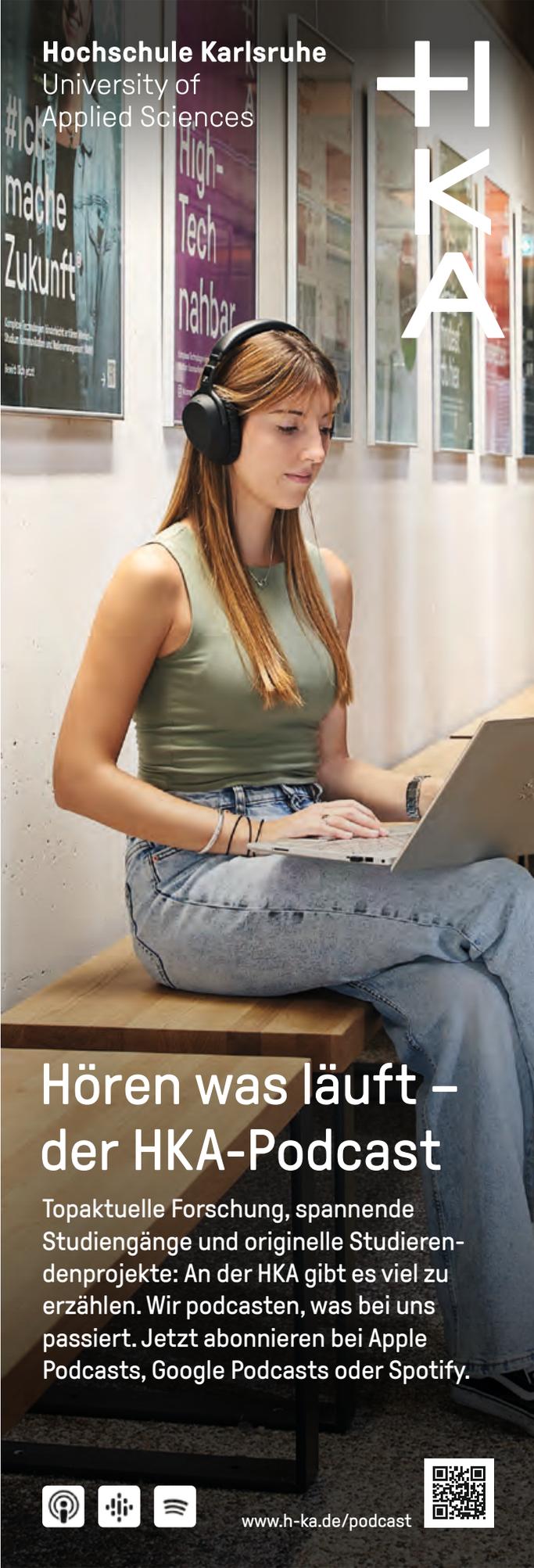
Auflage  
3.000 Exemplare  
Oktober 2023

ISSN 1613-4958

Bildquellen  
Titel: iStock.com/Rober;  
S. 3 Tobias Schwerdt; S. 4.1 iStock.  
com/Elen11; S. 4.2 iStock.com/  
haydenbird; S. 5.1 iStock.cpm/bjdlzx;  
S. 5.2, S. 68 iStock.com/gremlin;  
S. 71 iStock.com/asbe;  
S. 90 Magali Hauser

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

Anzeigen



**Hochschule Karlsruhe**  
University of Applied Sciences

# HKA

## Hören was läuft – der HKA-Podcast

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

[www.h-ka.de/podcast](http://www.h-ka.de/podcast) 

# Mikrochips für Megatrends

– Ich steuere die Entwicklung wegweisender Technologien.



Seeing beyond

Hunderte  
offene  
Stellen

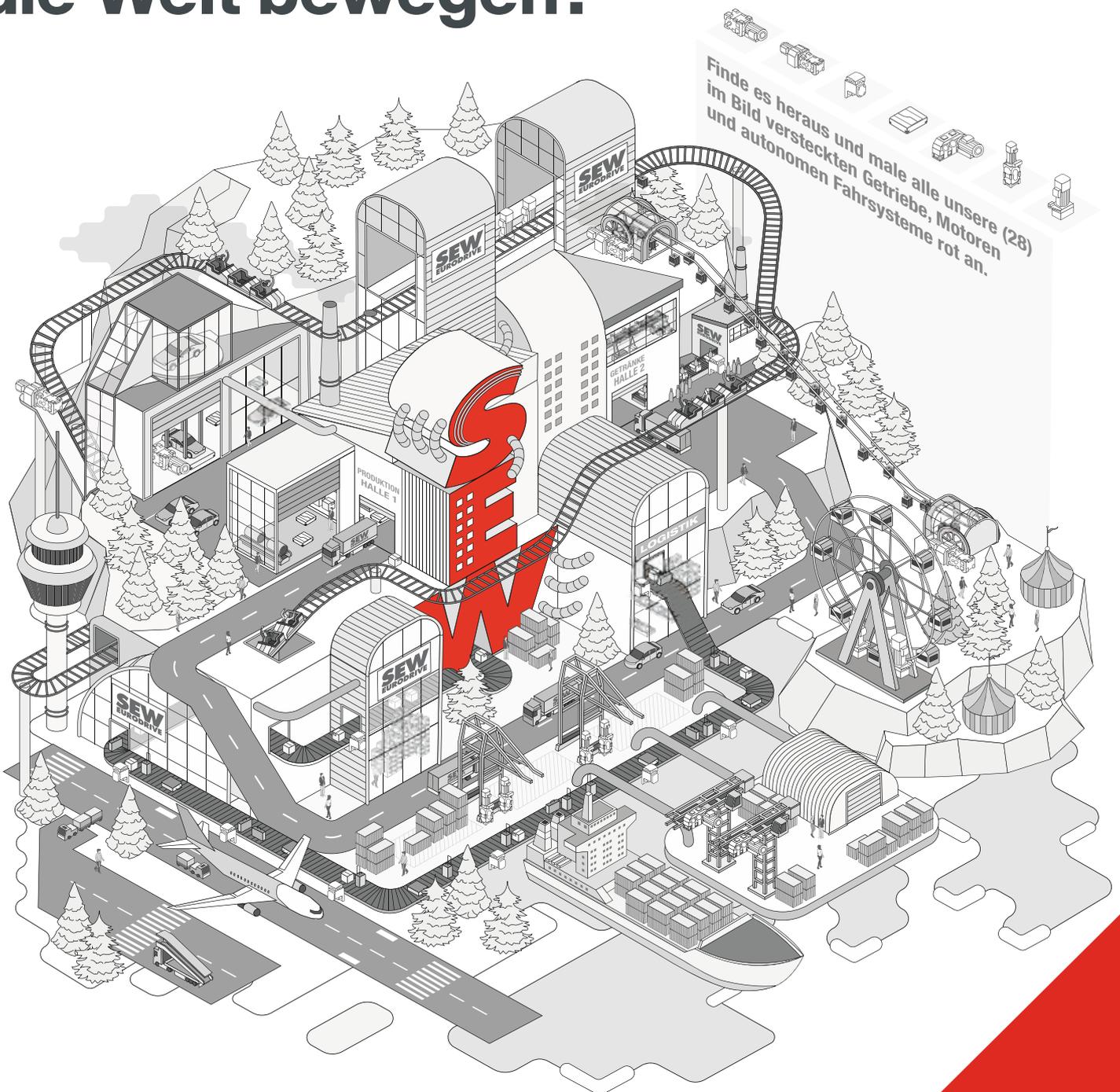


## Forschung & Entwicklung bei ZEISS

Als wissenschaftlicher Projektmanager sorgt Max dafür, dass Fortschritt entsteht. Jeden Tag. Sein Team entwickelt in der Halbleiterfertigungssparte von ZEISS Lithographie-Prozesse, um neuartige optische Elemente herzustellen. Die werden zur Halbleiterproduktion eingesetzt und ermöglichen dort, dass immer kleinere, leistungsfähigere und energieeffizientere Mikrochips hergestellt werden können. Der promovierte Chemiker Max konzentriert sich in seinem Job auf die Rahmenbedingungen, hält die Fäden zusammen: „Als wissenschaftlicher Projektmanager höre ich zu, stärke meinem Team den Rücken und gebe ihnen genau das, was sie brauchen. Damit sie jeden Tag Top-Leistungen bringen können.“ Und Fortschritt ermöglichen.

Erfahre mehr über Jobs bei ZEISS: [zeiss.de/nawis](https://zeiss.de/nawis)

# Warum wir sagen, dass wir die Welt bewegen?



Klingt interessant?  
Praktikum, Werkstudierendentätigkeit,  
Abschlussarbeit oder Direkteinstieg.  
Jetzt bewerben!  
[www.sew-eurodrive.de/studenten](http://www.sew-eurodrive.de/studenten)

**ANTRIEB  
BEWEGT  
ZUKUNFT**  
BEWEG  
MIT