



HI
K
A

F
O
R
S
C
H
U
N
G

A
K
T
U
E
L
L

2024

Liebe Leserinnen und Leser,

Ihnen die „Forschung aktuell 2024“, den Forschungsbericht der Hochschule Karlsruhe (HKA) vorzustellen, bereitet mir alljährlich Freude, zeigt er doch die Vielfalt der Themen, mit denen sich unsere Forscher:innen beschäftigen. Gleichzeitig ist er auch ein Spiegelbild der Herausforderungen, vor denen unsere Gesellschaft steht. So verwundert es nicht, dass die Schwerpunkte unseres Forschungsberichts in den Bereichen Erneuerbaren Energien und ihren Speichermöglichkeiten in Wasserstoff und Batterien, Nachhaltigkeit in Industrie und Landwirtschaft, Materialien und Ressourcen, Mobilität sowie Robotik liegen. Und jeder dieser Bereiche wird von der Künstlichen Intelligenz (KI) durchdrungen.

Die im Folgenden veröffentlichten Artikel zeigen nicht nur, dass die HKA die Bedeutung der KI erkannt hat, sondern sie zeigen auch, wie sich die HKA mit der KI beschäftigt: Als Hochschule für Angewandte Wissenschaften zielen wir nicht darauf ab, die KI durch z. B. grundlegende Erkenntnisse im Bereich des maschinellen Lernens weiterzuentwickeln, sondern wir bringen KI in die Anwendung, wir lösen damit konkrete Aufgaben. So erfahren Sie in diesem Heft, wie die KI zur datenschutzkonformen und grenzüberschreitenden Authentifizierung von Benutzern, zur Softwareentwicklung, zur Überwachung von Windenergieanlagen, in der automatisierten Produktion, in der Materialforschung, der Wassereinigung und natürlich auch für die nachhaltige Mobilität erfolgreich eingesetzt werden kann.

Wie wohl keine andere disruptive Technik zuvor betrifft die KI uns Menschen in besonderer Weise, da sie, scheinbar, in eine Sphäre eindringt, die bisher uns vorbehalten war: das kreative Schaffen. Wie tief und wie erfolgreich das sein wird, muss die Zukunft zeigen. Auf jeden Fall wirft der Einsatz der KI bereits jetzt ethische Fragen auf. Diesen widmen wir uns im Interview mit Prof. Dr. Ziad Mahayni. Er wurde vor kurzem auf die Professur für Angewandte Ethik an unserer Fakultät für Informationsmanagement und Medien berufen und ist gleichzeitig Leiter des landesweiten Referats für Technik- und Wissenschaftsethik.

Um Ihnen die Fokussierung auf Ihre bevorzugten Interessen zu erleichtern, sind die fünfzehn Beiträge dieser Ausgabe folgenden Rubriken zugeordnet: Künstliche Intelligenz, Nachhaltige Produktion, Materialforschung, Mobilität.

Das Titelbild nimmt Bezug zu diesen Rubriken: Das Fahrrad steht sinnbildlich für umweltfreundliche Mobilität.



Es wird von einem Roboter gelenkt, welcher auf nachhaltige Produktion und künstliche Intelligenz hinweist. Umrahmt werden sie von einer Gitterstrukturröhre aus Nitinol, einem ganz besonderen Material. Durch Simulation mit dem an der HKA entwickelten digitalen Zwilling kann es zuverlässig für die Produktion von Medizinprodukten wie Stents oder Herzklappenrahmen eingesetzt werden.

Angewandte Forschung hat als Ziel immer den Transfer. Das wird in diesem Heft ersichtlich, erfahrbar wird es durch den direkten Kontakt mit unseren Forscher:innen. Dazu haben Sie, werte Leserinnen und Leser, Gelegenheit bei der ResearchContacts, dem Transfertag der HKA. Er findet am 7. November von 10 bis 15 Uhr im Foyer unseres Gebäudes B statt und ich darf Sie bereits jetzt ganz herzlich einladen, uns zu besuchen und ein spannendes Programm zu erleben. Beachten Sie bitte dazu auch die Ankündigung weiter hinten.

Ich bedanke mich bei allen, die bei der Erstellung der „Forschung aktuell 2024“ mitgewirkt haben und wünsche Ihnen, liebe Leserinnen und Leser bei der Lektüre interessante Einblicke in die Forschungsaktivitäten der HKA, die Sie auf der ResearchContacts vertiefen können.

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



Überblick über die Forschung an der Hochschule Karlsruhe

Franz Quint, Elena Stamm

Künstliche Intelligenz

- 14 Borderless Authentic – Authentication in the Upper-Rhine Area with AI
David Monschein, Zoltán Nocht, José Antonio Peregrina Pérez, Tim Piotrowski, Oliver Waldhorst, Christian Zirpins
- 18 Low-Code in Web-Applikation: Fachabteilungen stärken – IT Abteilung entlasten
Andreas Schmidt, Tobias Münch
- 22 Industrielle Softwareentwicklung – heute und morgen
Patrick Fomferra, Marco Baumgartner, Steffen Kinkel



- 26 KI zur intelligenten Überwachung von Windenergieanlagen nutzen
Christine Preisach

- 30 **Interview:** Künstliche Intelligenz: Infocalypse now?
Interview mit Ziad Mahayni

Nachhaltige Produktion

- 38 CO₂ nachhaltig aus Biogas entfernen – mit Mehrfachnutzen für die Landwirtschaft
Nick Schäuble, Jan Hoinkis, Markus Graf
- 42 Wege zur nachhaltigen Produktion – Sustainable Manufacturing in der Praxis
Sebastian Beiner
- 46 Lernen robotischer Manipulationsstrategien für die Produktion der Zukunft
Christian Friedrich, Constantin Schempp, Patrick Frank, Eric Hirsch, Fabian Harlacher



50 Nachhaltige Agrarwirtschaft in Ostafrika

Talha Atiye, Duc Dinh Ngoc, Sneha De, Ulrich Hellriegel,
Jan Hoinkis

54 H2iPort KA Mod – Modellierung einer Wasserstoffinfrastruktur für Karlsruhe

Melanie Ruschke, Daniel Bull, Marco Braun, Karsten Pinkwart

Materialforschung

60 Nitinol (NiTi) – Wundermaterial der Medizintechnik

Marek Fassin, Philipp Hempel, Katrin Schulz

66 Optimierung der Grundwasserreinigung mittels eines digitalen Zwillings

Gert Rehner, Anastasia August, Eduard Alesi, Aron Kneer,
Martin Reder, Britta Nestler



Mobilität

72 Citizen Science – HKA und Bürgerwissenschaftler:innen erforschen Überholabstände zwischen Fahrrädern und Kfz

Catharina Lutz, Jochen Eckart

76 Next Generation Energy storage systems – Artificial Intelligence and Edge Computing for sustainable mobility solutions

Vinay Veeranna, Reiner Kriesten

82 Wie fahren Radfahrende? Biomechanische Analyse von Alltagsradlern

Martín Bejarano, Jochen Eckart

86 Impressum

DAS HAT STEEL. WEIL UNSERE LEIDENSCHAFT MENSCHEN VERBINDET.

Lösungen für die grüne Zukunft der Stahlproduktion.

**Werde ein
Pioneer
at Heart.
Bewirb
dich jetzt!**



PRIMETALS TECHNOLOGIES **EIN ATTRAKTIVER ARBEITGEBER**

Du suchst eine Herausforderung neben dem Studium und möchtest die erlernte Theorie in der Praxis anwenden? Dann bist Du bei uns genau richtig. Primetals Technologies bietet technologiebegeisterten Teamplayern viele Möglichkeiten: Spannende Aufgaben im internationalen Umfeld, gelebte Werte und Workshops zur Stärkung der Unternehmenskultur.

#pioneersforfuture



**Besuche uns
auf unserer
Karriereseite.**

meta.ls/ge-karriere

[primetals.com](https://www.primetals.com)

GEMEINSAM IN DIE BERUFLICHE ZUKUNFT



**Starte Deine Ausbildung bei uns
als Industriekaufmann (mwd)
oder Industriemechaniker (mwd)**

www.koch-technik.de





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/einstieg

Coperion – Gemeinsam. Weiter. Entwickeln.



Überblick über die Forschung an der Hochschule Karlsruhe



14

**qualitätsgesicherte und zentrale
Forschungsinstitute**

Institut für Angewandte Forschung

Sprecher: N.N.

Institut für Datenzentrierte Softwaresysteme

Sprecher: Prof. Dr. Oliver Waldhorst

Institute of Digital Economy and Venturing

Sprecher: Prof. Dr. Carsten Hahn

Institut für Digitale Materialforschung

Sprecherin: Prof. Dr. Britta Nestler

Institut für Energieeffiziente Mobilität

Sprecher: Prof. Dr. Reiner Kriesten

Institut Intelligent Systems Research Group

Sprecherin: Prof. Dr. Astrid Laubenheimer

Institut für Intelligente Interaktion und Immersive Erfahrung

Sprecher: Prof. Dr. Matthias Wölfel

Institut für Kälte-, Klima- und Umwelttechnik

Sprecher: Prof. Dr. 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 Thermofluidodynamik

Sprecher: Prof. Dr. Matthias Stripf

Institut für Verkehr und Infrastruktur

Sprecher: Prof. Dr. Jan Riel

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

Innovative Mobilitätskonzepte

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

Ressourcen und Klima

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

Intelligente Systeme

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

Arbeit und Produktion

Der Fokus dieses Forschungsschwerpunkts liegt auf der Transformation der Arbeitswelten hin zu automatisierten Fertigungsverfahren, zur Vernetzung von Industrieprozessen und zum Einsatz von kollaborativen und autonomen Robotersystemen. Unsere Forscher:innen beachten dabei auch die neue Rolle des Menschen in den Produktionsprozessen.



110

laufende
Promotionsvorhaben

Unsere Professor:innen betreuten Ende 2023 insgesamt 110 Doktorand:innen. Ein Teil davon promoviert im Promotionsverband der HAWen Baden-Württemberg, ein Teil kooperativ mit Partneruniversitäten und weitere in unseren zwei kooperativen Promotionskollegs 1) Accessibility through AI-based Assistive Technology (KATE) mit dem KIT und 2) Wissensmedien in Kooperation mit der PH Karlsruhe. Wir gratulieren unseren 10 Doktorand:innen, die ihre Promotion 2023 erfolgreich abgeschlossen haben.



438

Forscher:innen

Ohne das Engagement der Ende 2023 72 Professor:innen und ihren insgesamt 366 Mitarbeiter:innen in unseren Forschungsinstituten wäre unsere Forschung nicht möglich. Bei ihnen und unseren Kooperationspartnern möchten wir uns herzlich bedanken.



€ 11,4 Mio.

Drittmiteleinahmen

Unsere Forscher:innen haben im Jahr 2023 in insgesamt 214 Projekten ca. 11,4 Mio. Euro forschungsbezogene Drittmittel eingenommen. Der Rückgang 2023 gegenüber den beiden Vorjahren lässt sich hauptsächlich durch die statistische Jahresabgrenzung bei umsatzstarken EU-Projekten erklären. Die Entwicklung und Ausweitung unserer Forschungsaktivitäten bewerten wir deshalb weiterhin positiv (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.

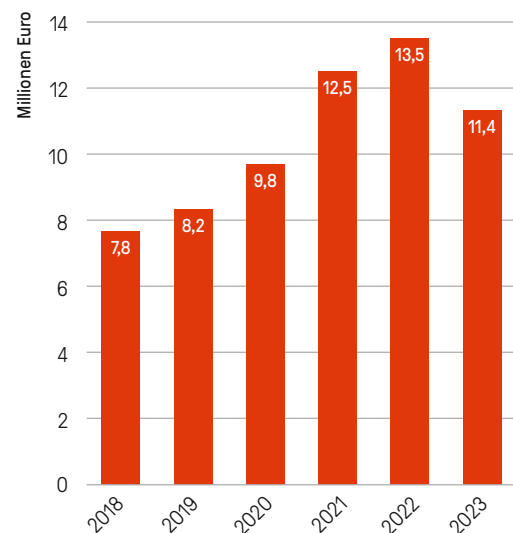


Abb. 1: Umsatzentwicklung Forschung 2018 bis 2023

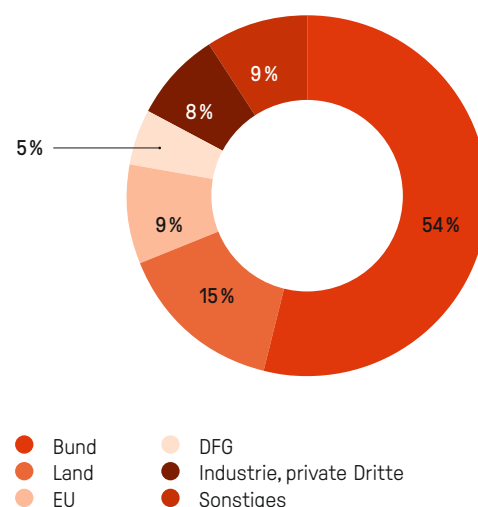


Abb. 2: Mittelgeberkategorie nach Höhe der Drittmiteleinahmen in den Jahren 2021 bis 2023

NERDS GESUCHT:

FÜR DIE ENTWICKLUNG ASSISTIVER TECHNOLOGIEN!

KI und IT sind dein Zuhause? Mit Machine Learning möchtest du die Welt verbessern? Dann komm ins RTB-Team und erarbeite digitale Lösungen für Barrierefreiheit.

RTB

Bad Lippspringe | Tel. +49 5252 9706-0



SYSTEC & SOLUTIONS

ÜBER UNS



Systec & Solutions GmbH, mit Sitz in Karlsruhe, ist ein Hersteller von Life-Science-Ready Hardware-Komplettsystemen für die Pharma-, Kosmetik-, Lebensmittelindustrie und Krankenhäuser. Unsere Produkte sind in über 30 Ländern bei führenden Pharmaunternehmen im Einsatz.

GMP-IT – industrietauglich & langlebig

Unsere GMP-IT Hardware-Systeme erfüllen höchste Qualitätsansprüche und sind für die regulierte Industrie entwickelt.

Reinraumtauglich & leistungsstark

Unsere geschlossenen Systeme nach IP65 sind leicht zu reinigen und erfüllen strenge Hygieneanforderungen.

Robust & kompatibel

Unsere modularen Systeme sind für Langzeitbetrieb unter anspruchsvollen Bedingungen konzipiert und kompatibel mit gängigen IT-Systemen.

www.systec-solutions.com



We love to make
transformation happen

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



Technologiepark Karlsruhe GmbH

Tel. 0721 6105-01

E-Mail tpk@techpark.de

→ techpark.de



Künstliche Intelligenz

Borderless Authentic – Authentication in the Upper-Rhine Area with AI

David Monschein, Zoltán Nocht, José Antonio Peregrina Pérez, Tim Piotrowski, Oliver Waldhorst, Christian Zirpins

DE Effizientes Identitätsmanagement ist nicht nur eine Grundvoraussetzung für IT-Systeme der digitalisierten Welt, sondern auch von größter Bedeutung für offene und moderne Informationsgesellschaften wie die Europäische Union. Vor kurzem wurden nicht-intrusive, KI-basierte Techniken der kontinuierlichen Authentifizierung von Benutzern vorgeschlagen, um die Sicherheit, Effizienz und Benutzerfreundlichkeit von Online-Systemen und -Diensten zu erhöhen. In diesem Artikel stellen wir das Europäische Interreg-Forschungsprojekt *aura.ai* vor, in dem untersucht wird, wie diese neuartigen Mittel der KI-basierten Authentifizierung in den öffentlichen Nahverkehr am Oberrhein übertragen und dort angewendet werden können.

EN Efficient identity management is not only a concern in the virtual world but also paramount for modern open societies like the European Union. Non-intrusive, AI-based techniques of continuous user authentication have recently been proposed to increase the security, efficiency and user friendliness of online systems and services. In this article we introduce the research project *aura.ai* that investigates the transfer and application of these novel means of AI-based authentication in the field of public transportation in the Upper-Rhine region.

Identity is an essential characteristic of all human beings in their various roles, such as European citizenship. A person's identity is key for their possessions as well as their rights and obligations. Identity is closely linked with the ability to prove it and to validate such proofs, which is known as authentication. There are various means of authenticating human identity, including physical means such as an Identification Document (ID), passport, driving license, or banking cards, and virtual means such as passwords, certificates, and others. They all carry the risk of getting lost, or stolen, or being misused. Depending on the case, this can be trivial or disastrous. Such risks lead to additional security measures, such as multi-factor authentication (MFA) combining two (2FA) or more means. [1] On the one hand, MFA safeguards authentication, but on the other hand, it increases complexity and effort, [2] which allows for the possibility of various trade-offs.

In the digital domain (including the digitalized, cyber-physical world), it is now possible to seamlessly authenticate people in a cost-efficient way. This builds on early ideas about recognizing patterns of behavior that are typical or even unique to human individuals, such as their keystrokes. [3] Today, Artificial Intelligence (AI) offers novel ways of recognizing behavioral patterns and using them to strengthen other means of authentication [4] (for enhanced security) or even replacing them (for convenience). In the following, we present such a technology and its application for public transport in the Upper-Rhine region.

FML-CA: Federated Machine Learning for Continuous Authentication

Ongoing automated authentication based on contextual information is known as continuous authentication (CA). [5] A novel way of implementing CA uses machine learning (ML) of behavior, [6] such as spatial location, movements or swiping on a touch device. Communication networks offer additional sources of behavioral data, [7] where, for example, communication patterns, access location, low-level authentication features, and technical fingerprints may be collected.

- [1] A. Ometov, S. Bezzateev, N. Mäkitalo, S. Andreev, T. Mikkonen, and Y. Koucheryavy, "Multi-Factor Authentication: A Survey," *Cryptography*, vol. 2, no. 1, p. 1, Jan. 2018, doi: 10.3390/cryptography2010001.
- [2] S. Das, B. Wang, Z. Tingle, and L. J. Camp, "Evaluating User Perception of Multi-Factor Authentication: A Systematic Review," 2019, doi: 10.48550/ARXIV.1908.05901.
- [3] R. Joyce and G. Gupta, "Identity authentication based on keystroke latencies," *Commun. ACM*, vol. 33, no. 2, pp. 168–176, Feb. 1990, doi: 10.1145/75577.75582.
- [4] D. Garabato, C. Dafonte, R. Santoveña, A. Silvelo, F. J. Nóvoa, and M. Manteiga, "AI-based user authentication reinforcement by continuous extraction of behavioral interaction features," *Neural Comput & Applic*, vol. 34, no. 14, pp. 11691–11705, Jul. 2022, doi: 10.1007/s00521-022-07061-3.
- [5] F. H. Al-Naji and R. Zagrouba, "A survey on continuous authentication methods in Internet of Things environment," *Computer Communications*, vol. 163, pp. 109–133, Nov. 2020, doi: 10.1016/j.comcom.2020.09.006.
- [6] Y. Liang, S. Samtani, B. Guo, and Z. Yu, "Behavioral Biometrics for Continuous Authentication in the Internet-of-Things Era: An Artificial Intelligence Perspective," *IEEE Internet Things J.*, vol. 7, no. 9, pp. 9128–9143, Sep. 2020, doi: 10.1109/JIOT.2020.3004077.
- [7] D. Monschein and O. P. Waldhorst, "Privacy-Preserving and Scalable Authentication based on Network Connection Traces," in *Proc. GI/ITG Conf. on Networked Systems (NetSys)*, Virt. Conf., Sep. 2021. [Online]. Available: <https://journal.ub.tu-berlin.de/eceasst/article/download/1175/1109>
- [8] Q. Yang, Y. Liu, T. Chen, and Y. Tong, "Federated Machine Learning: Concept and Applications." *arXiv*, Feb. 13, 2019. Accessed: Mar. 14, 2023. [Online]. Available: <http://arxiv.org/abs/1902.04885>

Learning behavior always requires ML-training based on behavioral data of individuals or generalizable data of groups. The latter benefits from public or shared data of people and organizations.

Handling behavioral data and patterns always raises concerns about privacy. Regarding behavioral data, federated machine learning (FML) ^[8] allows the distributed training of partial patterns at the original site of their generation and without the need for sharing any training data. Ultimately the partial patterns are aggregated into a single ML-model that represents the knowledge of all federation partners (people or organizations). Only the aggregated model is shared, and security technologies ensure the preservation of individual privacy, ^[9] adequate contributions of all participants, ^[10] and the absence of fraudulent manipulation.

The application of AI models for authentication is possible without revealing the models or their input data to the party that requests the authentication by means of homomorphic encryption (HE). ^[11] Also, the real-time behavioral data of individuals being authenticated may be gathered by third parties without exposing the users' identities by means of pseudonymization. In summary, FML-based CA (FML-CA) can be achieved, while protecting the privacy of all involved.

FML-CA for Public Transport in the Upper-Rhine Region

An interesting area for the application of FML-CA is public transportation, especially for such cases that include international operations crossing borders. To this end, we are focusing on the Upper-Rhine region that spans 350 kilometers along the river Rhine at the borders between France, Germany, and Switzerland. This tri-national region is involved in the European Territorial Cooperation program (also known as Interreg) so it offers optimum conditions for implementing innovative trans-national applications of FML-CA.

The research project aura.ai aims to tap the potential of FML-CA in the public transport area of the Upper-Rhine region (see Figure 1). The goals of aura.ai are to make Upper-Rhine mobility more secure, less expensive, and

more comfortable by using FML-CA. More concretely, the project will capitalize on experience gained in the context of the regiomove project. regiomove is a mobility platform in the Karlsruhe area involving multiple federated providers of mobility services. Currently, a similar platform is being built for the Ortenau region. The plan is to connect the two platforms enabling interregional booking. Furthermore, the goal is to enable cross-border connectivity to Strasbourg. Therefore, regiomove is an excellent example of interregional and cross-border mobility. It provides the application context for utilizing FML-CA, leading to technologies and lessons learned that could be transferred to other regions in the Upper Rhine area, such as the Basel region.

Today, regiomove builds on the close legal relationships between partners on the core platform to provide integrated IT-support for multimodal mobility (route planning, ticketing, bike/e-scooter/car sharing, etc.) in Karlsruhe. Currently, travelers are centrally authenticated to enable seamless use of all services, which is paramount for the desired user experience. While reliable permanent login is already challenging in the centralized case, the integration of mobility services of other regions and beyond the core platform federation cannot be done centrally anymore. This hampers the extension of the mobility solution to cover the whole tri-national region and forces travelers to manage multiple accounts from regional providers, re-authenticate, and deal with media breaks, thereby reducing the acceptance and usage of public transport as such.

Aura.ai aims to demonstrate that FML-CA can help solve authentication-related hurdles of interregional multimodal mobility solutions. As a Proof-of-Concept (PoC), we apply FML-CA to enable permanent login for services without traveler distraction by automated re-authentication and demonstrate this for the mobile app of the regiomove platform. Building on this core, aura.ai is considering how to enable automated switches between regional mobility providers based on FML-CA instead of manual logins for services of the Karlsruhe, Ortenau and Strasbourg areas. Overall, this will facilitate a comprehensive network of seamless mobility services across the tri-national region.

How would AI-based authentication support public transport in the Trinationl Metropolitan Region Upper Rhine?

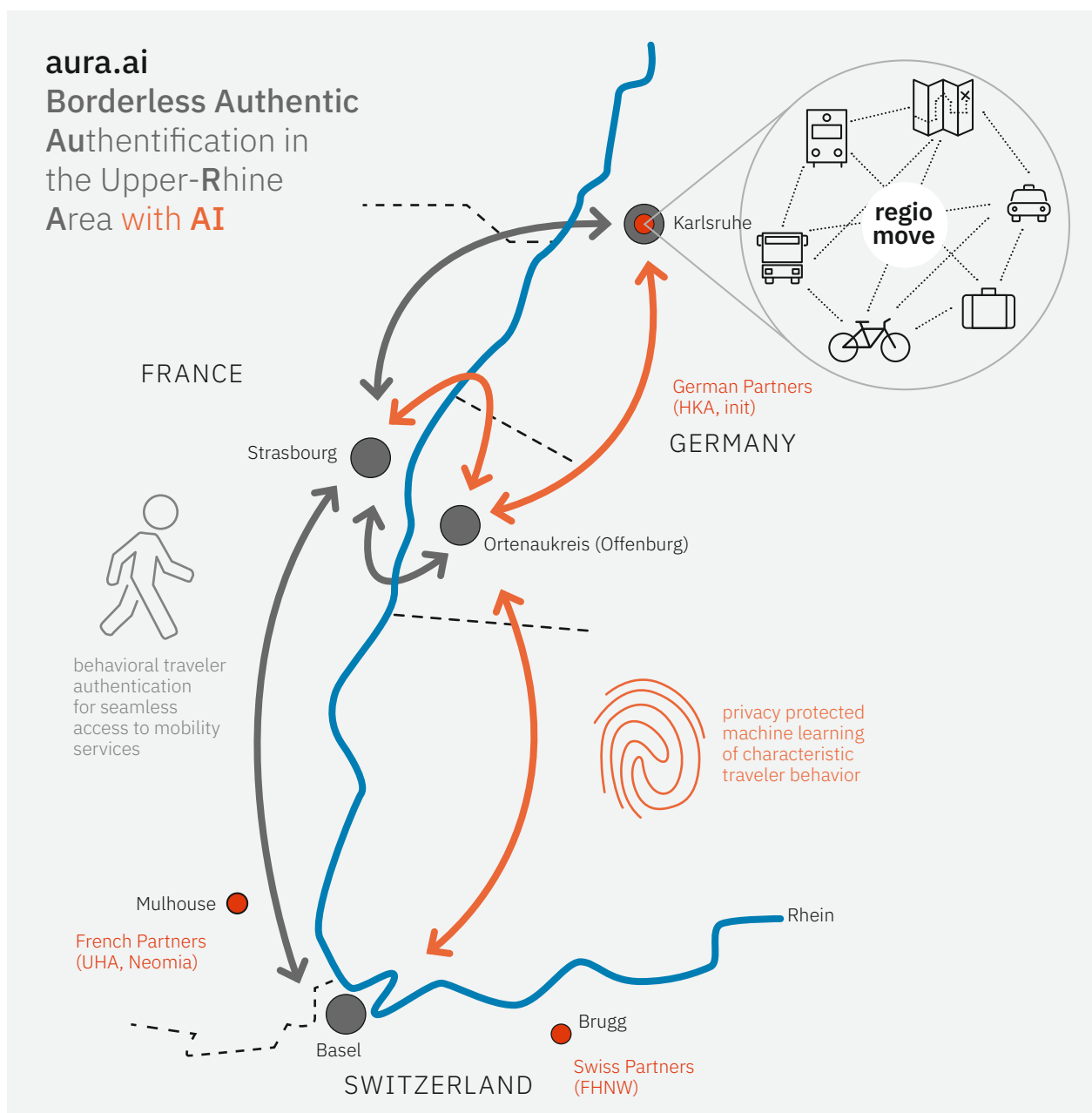


Fig. 1: Overview of the aura.ai research transfer project

- [9] T. Piotrowski and Z. Nochta, "Towards a Secure Peer-to-Peer Federated Learning Framework," in *Advances in Service-Oriented and Cloud Computing*, C. Zircpins, G. Ortiz, Z. Nochta, O. Waldhorst, J. Soldani, M. Villari, and D. Tamburri, Eds., Cham: Springer Nature Switzerland, 2023, pp. 19–31. [Online]. Available: http://dx.doi.org/10.1007/978-3-031-23298-5_2
- [10] J. A. Peregrina, G. Ortiz, and C. Zircpins, "Towards Data Governance for Federated Machine Learning," in *Advances in Service-Oriented and Cloud Computing*, C. Zircpins, G. Ortiz, Z. Nochta, O. Waldhorst, J. Soldani, M. Villari, and D. Tamburri, Eds., in *Computer and Information Science*, vol. 1617. Cham: Springer Nature Switzerland, 2023, pp. 59–71. doi: 10.1007/978-3-031-23298-5_5.
- [11] D. Monschein and O. P. Waldhorst, "mPSAuth: Privacy-Preserving and Scalable Authentication for Mobile Web Applications." 2022. [Online]. Available: <https://arxiv.org/abs/2210.04777>
- [12] D. Monschein, J. A. Peregrina, T. Piotrowski, Z. Nochta, O. P. Waldhorst, and C. Zircpins, "Towards a Peer-to-Peer Federated Machine Learning Environment for Continuous Authentication," in *Proc. 1st IEEE Int. Workshop on Distributed and Intelligent Systems (DistInSys)*, co-located with 26th IEEE Symp. on Computers and Communications (ISCC), Athens, Greece, Sep. 2021. [Online]. Available: http://dx.doi.org/10.1007/978-3-031-23298-5_2
- [13] D. Hardt, "The OAuth 2.0 authorization framework," no. 6749. in *Request for comments. RFC Editor*, Oct. 2012. doi: 10.17487/RFC6749.

Technical Building Blocks of aura.ai

Considering the methodologies and technologies to be applied in aura.ai, the fundamental methods for FML-CA were studied in the research project KIWI. [12] These approaches are augmented, extended, and complemented in two directions, to make them suitable for application in the case of aura.ai.

Firstly, the network modeling and monitoring mechanisms developed at the Université de Haute Alsace (UHA) for multi-provider/cross border public transport, enable the continuous gathering of real-time data, such as low-level login features, which serve as the basis for CA.

Secondly, a proxy for a common authentication protocol, currently being developed at Fachhochschule Nordwestschweiz (FHNW), connects the FML-CA approaches to already established web technologies. The proxy extends the standard functionality of a basic authentication protocol (OAuth 2.0 / SAML 2.0) [13] to enable CA with privacy-preserving pseudonymization between various providers. In the context of transnational mobility, the sharing of such data is exceptionally important, as the relevant jurisdictional rules may even prohibit sharing such data.

In combination aura.ai aligns these technical components to augment FML-based CA with essential features for innovative cross-border public transportation services.

Conclusion

The research project aura.ai is targeting various fields of innovation such as digitalization, cybersecurity, and sustainable mobility. It has made existing scientific results, namely FML-based CA with pseudonymized network data, usable for the economic sector of public transportation. The project includes measures for the development of demonstrations and implementation of pilot applications in cross-border public transportation. The tri-national Upper-Rhine region benefits significantly from the project as it contributes to the following objectives: a) bringing together transport service and IT-providers from multiple countries, b) fostering the easy mobility of people within the region, and c) making public transport even more attractive to citizens. Moreover, aura.ai incorporates AI governance

methods that ensure the absence of bias and the equal treatment of people regardless of gender, race, or disabilities. In summary, aura.ai provides comprehensive advantages for the Upper-Rhine region in alignment with the goals of the European Union.

Acknowledgement

This research was funded by grants from the European Regional Development Fund (ERDF) Interreg Upper Rhine initiative (project name: aura.ai). ✕

Autoren

David Monschein, M.Sc.

Akademischer Mitarbeiter am Institut für datenzentrierte Softwaresysteme (IDSS) der HKA

Prof. Dr.-Ing. Zoltán Nochta

Projektleiter des Projekts aura.ai und Mitglied des IDSS an der HKA und Professor für Innovative IT-Anwendungen an der Fakultät für Informatik und Wirtschaftsinformatik

José Antonio Peregrina Pérez, M.Sc.

Akademischer Mitarbeiter am IDSS der HKA

Tim Piotrowski, M.Sc.

Akademischer Mitarbeiter am IDSS der HKA

Prof. Dr. rer. nat. Oliver Waldhorst

Projektleiter des Projekts aura.ai und Sprecher des IDSS an der HKA und Professor für Rechner- und Kommunikationsnetze an der Fakultät für Informatik und Wirtschaftsinformatik

Prof. Dr. rer. nat. Christian Zircpins

Projektleiter des Projekts aura.ai und stellv. Sprecher des IDSS an der HKA und Professor für verteilte Systeme an der Fakultät für Informatik und Wirtschaftsinformatik.

Kontakt

Prof. Dr. rer. nat. Oliver Waldhorst
HKA – Hochschule Karlsruhe
Fakultät Informatik und Wirtschaftsinformatik
Moltkestraße 30, 76133 Karlsruhe
E-Mail: oliver.waldhorst@h-ka.de

Low-Code in Web-Applikation: Fachabteilungen stärken – IT Abteilung entlasten

Andreas Schmidt, Tobias Münch

DE Wir stellen eine Low-Code-Umgebung vor, mit der man auf einfache, deklarative Weise dynamische Inhalte aus relationalen Datenbanken in beliebige, statische HTML-Seiten einbetten kann. Bei den Inhalten kann es sich sowohl um vollständige oder partielle Datenbanktabellen (Selektion, Projektion), Ergebnisse von SQL-Anfragen oder einzelne Datensätze handeln. Der Vorteil unseres Ansatzes, im Vergleich zur klassischen Vorgehensweise mittels Skriptsprachen oder Webframeworks, liegt darin, dass er nahtlos in bestehende webbasierte Umgebungen, wie Enterprise-Resource-Planning Systeme (ERP), Content Management Systeme (CMS) wie z. B. WordPress, SaaS-Systeme oder auch in eine lokale HTML-Datei auf einem PC, integriert werden kann und keinerlei Programmierkenntnisse notwendig sind.

EN In this article we present a low-code environment which allows dynamic content from relational databases to be embedded into static HTML pages in a simple, self explanatory way. The content can be full or partial data-base tables (selection, projection), results of SQL queries or individual data records. The advantage of our approach, compared to the classic approach using scripting languages or web frameworks, is that it can be seamlessly integrated into existing web-based environments, such as enterprise resource planning (ERP) systems, content management systems (CMS) such as WordPress, SaaS systems or even into a local HTML file on a PC, without the need for any programming skills.

Relationale Datenbanken (RDBMS) bilden auch 50 Jahre nach ihrer Entwicklung eine zentrale Rolle als generischer Dienstleister in einer Vielzahl von unternehmenskritischen Anwendungen in Wirtschaft, Forschung und Verwaltung. Um diese Daten im Rahmen von webbasierten Anwendungen zu visualisieren, werden typischerweise serverseitige Skriptsprachen wie PHP, Javascript oder Python verwendet oder oft auch Frameworks wie Django (Python), Symfony (PHP) oder Express (JavaScript) eingesetzt. Dies erfordert zum einen Kenntnisse in der verwendeten Programmiersprache bzw. des Frameworks sowie den Zugang zur entsprechenden Entwicklungs- und Laufzeitumgebung, was eine nicht unerhebliche Hemmschwelle bei der kurzfristigen Erschließung von relevanten Inhalten aus relationalen Datenbanken bedeutet. Insbesondere in den Fachabteilungen von Unternehmen liegen diese Kenntnisse zumeist nicht vor und die IT-Abteilung ist mit der Pflege/Wartung der technischen Infrastruktur ausgelastet und nicht in der Lage, kurzfristig auf Anforderungen aus den Fachabteilungen bezüglich der Visualisierung von konkreten Datenbankinhalten zu reagieren.

In der vorliegenden Arbeit wird ein neuer Weg beschritten, der es erlaubt, Datenbankinhalte deklarativ in HTML-Seiten zu integrieren, ohne dass Kenntnisse in den gängigen Skriptsprachen und Frameworks vorhanden sein müssen. Dies stellt einen bedeutend niedrigschwelligeren Zugang zu den benötigten Informationen dar. In vielen Fällen kann dies durch die Fachabteilung selbst erfolgen, bzw. der Aufwand für die IT-Abteilung reduziert sich maßgeblich.

Web Components

Ausgangspunkt für unseren Ansatz bilden Web-Components. ^[1] Dabei handelt es sich um einen W3C Standard, der die Definition eigener HTML-Elemente erlaubt. Dazu wird vom Entwickler der Web-Komponente eine Javascript Klasse erstellt, die das Verhalten des neuen Elements und die visuelle Darstellung im Browser festlegt. Bindet man die Javascript Klasse in eine (statische) HTML-Seite ein, kann das neu definierte Element innerhalb der Seite verwendet werden. Da die komplette Logik in der Javascript Klasse gekapselt ist, wird neben



Die Einbindung dynamischer Datenbankinhalte erfolgt deklarativ und bedarf lediglich weniger Zeilen selbsterklärendem HTML Markup (siehe Abb. 1). Rudimentäre HTML Kenntnisse vorausgesetzt, kann dies problemlos durch Personal der Fachabteilung erfolgen. Zuvor muss lediglich von der IT-Fachabteilung der Zugriff auf die entsprechenden Datenbanken konfiguriert werden. (Foto: iStock.de/Georgijevic)

dem Browser keine weitere Laufzeitumgebung, wie etwa ein serverseitiger Applikationsserver, benötigt.

Abb. 1 zeigt den HTML-Code einer minimalistischen, aber vollständigen HTML-Seite, in die eine Datenbanktabelle eingebunden ist. Die für die Einbindung der Inhalte relevanten Anteile sind in Rot dargestellt. In Zeile 4 und 5 wird die Javascript Klasse, in der die beiden verwendeten Web-Komponenten (db-server und db-table) definiert sind, eingebunden. In Zeile 12 bis 14 wird eine Verbindung zur Datenbank hergestellt, während in den Zeilen 16 bis 19 die Tabelle „island“ eingebunden wird. Zusätzlich wird die Bedingung formuliert, dass nur Inseln der Inselgruppe der „Ostfriesischen Inseln“ angezeigt werden sollen (Zeile 17) und die Inseln aufsteigen nach ihrer Größe (Zeile 18) sortiert sein sollen.

Abb. 2 zeigt die zugehörige Darstellung im Browser. Es ist wichtig anzumerken, dass keinerlei weitere Voraussetzungen notwendig sind, damit die Datenbanktabelle angezeigt wird, d. h. wenn sie den HTML-Code abtippen, in eine lokale HTML-Datei speichern und im Browser anzeigen lassen, dann sehen sie dieselbe Tabelle wie in Abb. 2.

```

01 <!DOCTYPE html>
02 <html>
03 <head>
04   <script type="module" src="https://www.smiffy.de/dbwc/db.js">
05   </script>
06   <link rel="stylesheet" href="css/style.css">
07 </head>
08
09 <body>
10   <h1>Ostfriesische Inseln</h1>
11
12   <db-server url="https://www.smiffy.de/dbwc"
13     database="mondial">
14   </db-server>
15
16   <db-table table="island"
17     filter="Islands=Ostfriesische Inseln"
18     order="Area">
19   </db-table>
20 </body>
21 </html>

```

Abb. 1: HTML-Code zur Anzeige der Datensätze der „Ostfriesischen Inseln“ aus der Tabelle „island“

Entwickelte Komponenten

Im Rahmen unserer Arbeit haben wir eine Reihe von Webkomponenten für die deklarative Integration von Datenbankinhalten in HTML-Dokumente entwickelt. Neben der reinen Darstellung von Inhalten haben wir auch Komponenten zur Bearbeitung von Datensätzen (anlegen, modifizieren,

Ostfriesische Inseln

Name	Islands	Area	Height	Type	Longitude	Latitude
Baltrum	Ostfriesische Inseln	6.5	5		7.4	53.6
Wangerooge	Ostfriesische Inseln	7.9	17		7.9	53.8
Juist	Ostfriesische Inseln	16.4	3		7	53.6
Spiekeroog	Ostfriesische Inseln	18.2	3		7.6	53.8
Langeoog	Ostfriesische Inseln	20	5		7.5	53.65
Norderney	Ostfriesische Inseln	26.3	5		7.9	53.7
Borkum	Ostfriesische Inseln	31	6		6.7	53.6

Abb. 2: Browseransicht des HTML-Codes aus Abb. 1

First Prev 1 / 4 (38) Next Last

Name	Islands	Area
Bahamas	Bahama Islands	13935
Comae		9681
Cuba	Grosse Antillen	114524
East Falk	X Falkland Islands	12123
Fidschi	Fiji	18272
Fuenen		2976
Gheschim		1491
Gotland		3140
Greenland		2175600
Hispaniola	Grosse Antillen	76192

Abb. 3: „Full-featured“ db-table Komponente

Name: France

Code: F

Area: 547030

Population: 58317450

Capital: Par

Kempton Park

Overland Park

Paramaribo

Parana

```
<db-row table-name="country" key="60">
</db-row>
```

Abb. 4: db-row Komponente zum Editieren eines Datensatzes

löschen, suchen) realisiert. Im Einzelnen handelt es sich um folgende Komponenten:

- + db-table: Komponente, die eine Datenbanktabelle oder einen Teil davon darstellt. Die Komponente unterstützt eine Reihe von Parametern, welche optionale Funktionalitäten bereitstellen. Abbildung 3 zeigt dieselbe Tabelle wie zuvor, aber mit allen möglichen zusätzlichen Interaktionselementen wie „seitenweises Blättern“ (1), „Sortierung nach Spaltenwerten“ (2), „Inline Edit“ (3), „Formulierung von Filterkriterien“ (4) und „löschen/editieren“ (5) von Datensätzen aus der Tabellenansicht.
- + db-row: Komponente, die einen einzelnen Datensatz darstellt. Die Funktionalität dieser Komponente reicht von der einfachen vordefinierten Visualisierung des Datensatzes über die Erstellung und Bearbeitung von Datensätzen sowie Darstellung mittels interner oder externer HTML-Formulare. Ein wichtiger Punkt bei der Komponente ist die Fähigkeit, Fremdschlüsselbeziehungen aufzulösen. In diesem Fall wird nicht der Wert des Fremdschlüssels angezeigt, sondern der Wert eines vordefinierten Attributes des in Beziehung stehenden Datensatzes. Abbildung 4 zeigt im oberen Bereich die visuelle Repräsentation eines Datensatzes (Frankreich) im Editiermodus, während im unteren, grau unterlegten Teil die zugehörige Deklaration des Elements „db-row“ zu finden ist. Beim Attribut „Capital“ handelt es sich um einen Fremdschlüssel auf die Tabelle „city“, der mittels der Komponente „db-select“ (siehe unten) aufgelöst wird und eine Präfixsuche in den referenzierten Datensätzen ermöglicht.
- + db-field: Komponente, die den Wert eines einzelnen Attributs eines Datensatzes darstellt. Diese Komponente wird in Verbindung mit der Komponente „db-row“ verwendet, wenn das Standardlayout für die Anzeige eines Datensatzes angepasst werden soll.
- + db-select: Die Funktionalität entspricht der des HTML-select-Elements, bei dem ein Eintrag aus einer Reihe von vordefinierten Werten ausgewählt werden kann. In unserer Komponente werden die Werte jedoch aus der Datenbank gelesen. Dies kann entweder durch Angabe der entsprechenden Spalte(n) und der Tabelle zusammen mit einer optionalen Bedingung oder durch eine

„Die Fachabteilung kennt ihre Anforderungen selbst am besten und unsere Komponenten erlauben es diese ohne tiefergehende Programmierkenntnisse zu erfüllen.“

Tobias Münch

SQL-Anweisung erfolgen. Abbildung 4 zeigt die visuelle Repräsentation der Komponente für das Attribut „capital“.

- + db-query: Komponente, die das Ergebnis einer Datenbank-anfrage (SQL-Select Statement) darstellt. Die visuelle Darstellung ist ähnlich wie bei der Komponente „db-table“.
- + db-server: Diese Komponente stellt die Verbindung zwischen den Komponenten und dem Backend her. Diese Komponente hat keine visuelle Repräsentation, sondern wird von den anderen Komponenten zur Kommunikation mit der Datenbank verwendet. Das Backend wird durch einen von uns entwickelten, generischen RESTful Service repräsentiert, der einen eigenen Authentifizierungsmechanismus bereitstellt und als Verbindungsglied zu den Datenbanken fungiert.

Anpassung

Die Komponenten werden mit einem Standardlayout angezeigt. Dieses Layout kann jedoch mit Hilfe von cascading style sheets (CSS) und einer Reihe von möglichen Attributen für die Komponenten angepasst werden. Die „db-row“ Komponente kann zusätzlich über ein externes HTML-Formular oder „db-field“ Komponenten an die eigenen Layout-Vorstellungen angepasst werden.

Ausblick

Aktuell erlaubt die Komponente „db-select“ nur die Auswahl eines Eintrags aus der Liste der möglichen Werte, womit sich 1:1 und 1:n Beziehungen modellieren lassen. Indem man die Auswahl auf mehrere Werte erweitert, könnten auch n:m-Beziehungen zwischen Datensätzen modelliert werden.

Die Auflösung von Fremdschlüsseln wird aktuell von der Komponente „db-table“ noch nicht unterstützt. Dies soll optional in zukünftigen Versionen möglich sein. Dies kann jedoch bereits durch die alternative Verwendung der Komponente „db-query“ und entsprechende SQL-Join-Operationen simuliert werden.

Darüber hinaus planen wir die Entwicklung eines Assistenten, der die interaktive Erstellung des deklarativen HTML-Codes unserer Komponenten ermöglicht.

Wir werden den Code unserer Komponenten als Open Source zur Verfügung stellen. ✕

Autoren

Prof. Dr. Andreas Schmidt

Professor für Datenbanken und Informationssysteme der Fakultät für Informatik und Wirtschaftsinformatik der Hochschule Karlsruhe und wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Automation und angewandte Informatik (IAI) des Karlsruher Institut für Technologie (KIT).

Tobias Münch M.Sc.

CTO der Münch Gesellschaft für IT-Solutions mbH PhD Student der Technischen Universität Chemnitz

Kontakt

Prof. Dr. Andreas Schmidt
HKA – Hochschule Karlsruhe
Fakultät für Informatik und Wirtschaftsinformatik
Moltkestraße 30, 76133 Karlsruhe
E-Mail: andreas.schmidt@h-ka.de

Industrielle Softwareentwicklung – heute und morgen

Patrick Fomferra, Marco Baumgartner, Steffen Kinkel

DE Die Softwareentwicklung spielt auch im Maschinen- und Anlagenbau eine zunehmend wichtigere Rolle. In einer Studie im Auftrag des VDMA e. V. Fachverband Software und Digitalisierung hat das Institut für Lernen und Innovation in Netzwerken (ILIN) der Hochschule Karlsruhe näher untersucht, wie sich der derzeitige Status-Quo und die Zukunft der industriellen Softwareentwicklung gestaltet. Dazu wurden 88 Unternehmen der industriellen Softwareentwicklung und des Maschinen- und Anlagenbaus befragt sowie sechs Expert:innen im Bereich der industriellen Softwareentwicklung interviewt. In diesem Beitrag stellen wir die wichtigsten Ergebnisse vor, zeigen den aktuellen Stand in Bezug auf Agilität und Menschenzentrierung auf und diskutieren wichtige Herausforderungen und Kompetenzbedarfe.

EN The role of software development in mechanical and plant engineering is becoming increasingly important. In a study commissioned by the VDMA e.V. Software and Digitalization Association, the Learning and Innovation in Networks Institute (ILIN) at the Karlsruhe University of Applied Sciences conducted an in-depth analysis of the current state of industrial software development and its future prospects. For this purpose, a survey was conducted of 88 companies in the industrial software development and mechanical and plant engineering sectors, and six experts in the field of industrial software development were interviewed. In this article, we present the most important findings, show the current state in terms of agility and human-centeredness, and discuss key challenges and competence requirements.

Die Softwareentwicklung hat sich in den letzten Jahren kontinuierlich weiterentwickelt. Während neue und veränderte technische Rahmenbedingungen (z. B. durch Cloud Computing, Internet der Dinge oder Big Data) und aktuelle organisatorische Problemstellungen (z. B. im Bereich der Cybersicherheit und der Fachkräftegewinnung) die Softwareentwicklung und ihre Geschäftsmodelle kontinuierlich beeinflussen, entstehen neue Technologien (z. B. im Bereich der generativen KI oder Low-Code- und No-Code-Lösungen), welche die Arbeit und die Kompetenzprofile von Softwareentwickler:innen maßgeblich verändern könnten. Auch das Management und die Arbeitskultur in der Softwareentwicklung scheinen sich in den letzten Jahren weiter hin zu agileren Ansätzen zu entwickeln. Dies stellt Maschinen- und Anlagenbauer, welche traditionell eher konservativ denken, aber immer häufiger auch eigenständig Software für ihre Produkte und Prozesse entwickeln (siehe Abbildung 1), vor neue Herausforderungen. Aufbauend auf einer quantitativen Befragung von 88 Unternehmen der industriellen Softwareentwicklung und des Maschinen- und Anlagenbaus sowie sechs qualitativen Expert:innengesprächen, wirft eine im Auftrag des VDMA e. V. Fachverband Software und Digitalisierung durchgeführte Studie des Instituts für Lernen und Innovation in Netzwerken (ILIN) der Hochschule Karlsruhe Licht auf den derzeitigen Status quo der Softwareentwicklung im Maschinen- und Anlagenbau und die voraussichtliche Entwicklung der kommenden Jahre.

Agilität in der industriellen Softwareentwicklung

Agile Softwareentwicklung ist ein flexibler Ansatz, bei dem Softwareprojekte in kurzen und iterativen Zyklen durchgeführt werden, während klassische Softwareentwicklung einem festen, plangetriebenen Prozess folgt. ^[1] Seit den späten 1990er Jahren spielt Agilität in der Softwareentwicklung eine wichtige Rolle um flexibel auf Marktbedürfnisse zu reagieren. ^[2] Die Ergebnisse zeigen, dass Unternehmen in der industriellen Softwareentwicklung aufbauend auf langjährige Erfahrungen weitestgehend agil arbeiten. Im

[1] Kusay-Merkle, U.: Agiles Projektmanagement im Berufsalltag. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg 2018

[2] Hoda, R., Salleh, N. u. Grundy, J.: Timeline data for „The Rise and Evolution of Agile Software Development“. IEEE SOFTWARE (2018)

[3] König, G. u. Kugel, R.: DevOps—Welcome to the Jungle. HMD Praxis der Wirtschaftsinformatik 56 (2019) 2, S. 289–300

[4] Opelt, A., Gloger, B., Pfarl, W. u. Mittermayr, R.: Der agile Festpreis. Leitfaden für wirklich erfolgreiche IT-Projekt-Verträge. München: Hanser, Carl 2012

[5] Schumann, S. u. Kopp, T.: Menschenzentrierte KI. In: Richter, D., Bernhard-Skala, C. u. Kinkel, S. (Hrsg.): Glossar Künstliche Intelligenz für die interdisziplinär vernetzte Arbeitsforschung. Bonn, Karlsruhe 2024

[6] Schön, E.-M., Thomaschewski, J. u. Escalona, M. J.: Agile Requirements Engineering: A systematic literature review. Computer Standards & Interfaces 49 (2017), S. 79–91

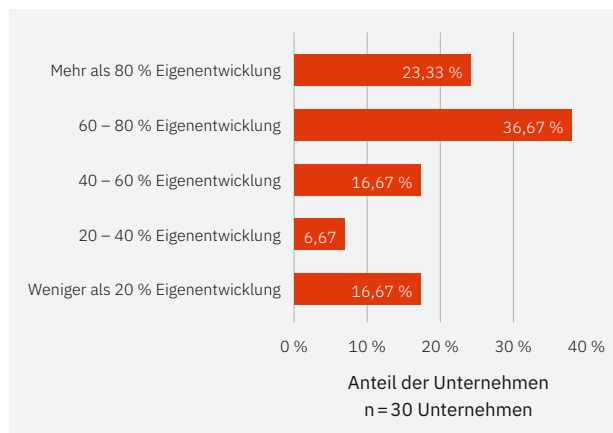


Abb. 1: Eigenentwicklung von Custom Software in Unternehmen des Maschinen- und Anlagenbaus

Gegensatz dazu haben Unternehmen im Maschinen- und Anlagenbau, die einen Großteil ihrer Software selbst entwickeln, Schwierigkeiten mit agilen Methoden und überschätzen ihre Agilität, obwohl sie deren Vorteile erkennen. Dies zeigt, wie herausfordernd es für den Maschinen- und Anlagenbau ist, von traditionellen, wasserfallbasierten Arbeitsprozessen auf agile Methoden wie SCRUM und Kanban umzustellen. [3] Es bleibt abzuwarten, ob die wachsende Bedeutung agiler Arbeitsweisen zu mehr Agilität in dieser Branche führen wird, besonders da die Budgetierung und Preisgestaltung agiler Projekte in traditionellen Einkaufs- und Verkaufsprozessen schwierig ist. [4] Die Studie zeigt, dass agile Unternehmen ihre Kosten eher stundenbasiert und nicht nach Festpreisen abrechnen, was im konservativeren Umfeld des Maschinen- und Anlagenbaus möglicherweise mehr Flexibilität bieten könnte.

Menschenzentrierung in der industriellen Softwareentwicklung

Menschenzentrierte Gestaltung (engl.: Human-Centered Design) orientiert sich an den Prinzipien des menschenzentrierten Designs (ISO 9241-210:2019), mit dem Ziel,

die Bedürfnisse aller Stakeholder umfassend zu verstehen und zu berücksichtigen. [5] Stakeholder sind Personen, die am Projekt beteiligt sind, das Projekt beeinflussen oder vom Projekt betroffen sind, z. B. die Anwender:innen der neuen Softwarelösung, die in den Design- und Entwicklungsprozess einbezogen werden sollten. [6] Trotz der Bedeutung der Stakeholder-Einbindung in agilen Projekten, [6] wird die Menschenzentrierung in vielen Unternehmen der industriellen Softwareentwicklung oft vernachlässigt oder als schwer umsetzbar empfunden. Ein erheblicher Teil der befragten Unternehmen misst ihr keine Bedeutung bei, obwohl ein ganzheitlicher Ansatz notwendig sein könnte, um technologiezentrierte Methoden zu überwinden.

Kompetenzen in der Softwareentwicklung

In der industriellen Softwareentwicklung sind umfangreiche Kenntnisse in verschiedenen Programmiersprachen erforderlich, wobei Python insbesondere im Hinblick auf die Entwicklung KI-basierter Systeme an Bedeutung gewinnt. KI wird neben anderen Technologien wie Cloud Computing, Internet der Dinge und Big Data als entscheidend für zukünftige Geschäftsmodelle angesehen und könnte zukünftig verstärkt in industriellen Softwarelösungen Anwendung finden. Die Umfrage zeigt, dass neben Kompetenzen in der Entwicklung auch nicht-technische Kompetenzen immer wichtiger werden. Zum einen könnte der zunehmende Einsatz von generativer KI im Bereich der Programmierung und Low- bzw. No-Code-Lösungen dazu führen, dass Programmierkenntnisse allein nicht mehr im Fokus stehen. Stattdessen wird der Umgang mit technischen Hilfsmitteln und die kritische Analyse von Code wichtiger. Auf der anderen Seite erfordert die zunehmende Orientierung an den betroffenen Menschen entsprechende Soft Skills für erfolgreiche Teamarbeit, kundenorientierte Anforderungserhebung sowie Personalführung und Entscheidungsfindung in Bezug auf neue Technologien. Dies könnte bedeuten, dass Personen mit weniger Programmierkenntnissen, aber anderen relevanten Kompetenzen in Zukunft vermehrt gefragt sein werden.



PRAKTIKA UND
ABSCHLUSSARBEITEN

**MAKE THE
MOVE.**

BE GREEN.
BE COOL.

» GEHE MIT UNS DEN ERSTEN SCHRITT.

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



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



Die Kompetenzprofile von Softwareentwickler:innen verändern sich.

Herausforderungen in der industriellen Softwareentwicklung

Die Gewinnung von Fachkräften stellt der Studie zufolge heute und in Zukunft die größte Herausforderung für die industrielle Softwareentwicklung dar. Für die Unternehmen gestaltet es sich als schwierig, passendes und qualifiziertes Personal aufgrund der hohen allgemeinen Nachfrage an Softwareentwickler:innen zu finden. Um diesem Mangel entgegenzuwirken, werden von den Unternehmen verschiedene Ansätze verfolgt. Ein Ansatz ist die frühzeitige Rekrutierung junger Nachwuchskräfte durch attraktive Arbeitsbedingungen, wie z. B. das Angebot von Home-Office-Arbeitsplätzen. Die guten Voraussetzungen für Remote-Arbeit in der Softwareentwicklung bieten zusätzlich die Möglichkeit, Fachkräfte in noch nicht so stark umkämpften Märkten zu gewinnen, allerdings verschärfen sie auch den Konkurrenzkampf um erfahrene und leistungsfähige Arbeitskräfte. Um den veränderten Kompetenzanforderungen gerecht zu werden, könnten Unternehmen zudem vermehrt Quereinsteiger mit nicht-technischen Kompetenzen einstellen. Darüber hinaus setzen die befragten Unternehmen häufig auf interne Schulungen und Coachings für den Kompetenzaufbau. Die Studie zeigt auch, dass Cybersicherheit zunehmend an Bedeutung gewinnt und in Zukunft eine zentrale Herausforderung darstellen wird. Gut funktionierende DevSecOps, also Ansätze zur engen Verzahnung von Entwicklung (engl. „Development“ – kurz „Dev“), Sicherheit (engl. „Security“ – kurz „Sec“) und Betrieb (engl. „Operations“ – kurz „Ops“), und Konzepte für Cybersicherheit und Resilienz spielen daher eine wichtige Rolle in der industriellen Softwareentwicklung und stellen Themen dar, die in hohem Maße von den Kunden angetrieben werden.

Schlussfolgerung

Mit der im Auftrag des VDMA e. V. Fachverband Software und Digitalisierung durchgeführten Studie konnte der aktuelle Status quo der Softwareentwicklung im Maschinen- und Anlagenbau und die voraussichtliche Entwick-

lung der kommenden Jahre aufgezeigt werden. Es zeigt sich einerseits, dass insbesondere der Fachkräftemangel und eine zunehmend veränderte Arbeitsweise, bedingt durch die steigende Agilität der Entwicklungsprojekte und die zunehmende Werte- statt Technikorientierung, eine Herausforderung für die Unternehmen des Maschinen- und Anlagenbaus darstellen könnten. Andererseits erhalten vermehrt technische, teils KI-basierte Hilfsmittel Einzug in die industrielle Softwareentwicklung, welche die Arbeit von Softwareentwickler:innen erleichtern und dem allgegenwärtigen Fachkräftemangel entgegen wirken könnten. Um den Veränderungen der Arbeitsweise gerecht zu werden, sind neue Kompetenzen in der Softwareentwicklung erforderlich. Die Studie liefert wichtige praxisorientierte Einblicke und zeigt aktuelle Entwicklungen und Trends, die aus wissenschaftlicher Perspektive weiter untersucht werden sollten. Für Unternehmen des Maschinen- und Anlagenbaus gilt es entsprechende Strategien zu entwickeln, wie sie den Veränderungen in der Arbeitsweise, dem Bedarf an neuen Kompetenzen und den Herausforderungen der Cybersicherheit zukünftig begegnen wollen. ✖

Autoren

Patrick Fomferra M.Eng.

Akademischer Mitarbeiter, 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

Prof. Dr. Steffen Kinkel

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

Kontakt

Prof. Dr. Steffen Kinkel

HKA – Hochschule Karlsruhe

Fakultät für Informatik und Wirtschaftsinformatik

Moltkestraße 30, 76133 Karlsruhe

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

KI zur intelligenten Überwachung von Windenergieanlagen nutzen

Christine Preisach

DE Die Energiewende ist einer der zentralen Hebel für mehr Klimaschutz. Dazu muss insbesondere die Windenergie massiv ausgebaut werden. Um die hohe Verfügbarkeit der erneuerbaren Energie zu gewährleisten, müssen alle Windenergieanlagen überwacht werden. Auffälligkeiten und Schäden müssen schnell erkannt und behoben werden, wofür immer mehr Experten benötigt werden, die diese Überwachung übernehmen. Wegen des Fachkräftemangels ist das allerdings sehr schwierig. Daher ist es notwendig, diesen Prozess der Schadenserkennung und -diagnose zu automatisieren. Im Forschungsprojekt „Auto-DiagCM - Condition Monitoring 4.0 für Windenergieanlagen“ forschen wir an KI-Methoden zur intelligenten Überwachung und automatisierten Schadensdiagnose.

EN The energy transition is one of the most important levers for more climate protection. To achieve this, wind energy in particular must be developed. To ensure the availability of renewable energy, all wind turbines have to be monitored. Irregularities and damage must be found and repaired quickly. As a result more and more experts are needed to carry out this monitoring. Due to the current shortage of skilled workers, this is a big challenge. It is therefore necessary to automate the process of finding and diagnosing damage. In the research project “AutoDiagCM – Condition Monitoring 4.0 for wind turbines”, we are investigating AI methods for intelligent condition monitoring and automated fault diagnosis.

Um die energiepolitischen Ziele der Bundesregierung und der Europäischen Union bei den erneuerbaren Energien zu erreichen, gilt es, die Ressourcen für die Energieversorgung effizient zu nutzen. Die Zustandsüberwachung von Windenergieanlagen spielt dabei eine wichtige Rolle, da sie Stillstandzeiten und Folgeschäden verhindern kann. Darüber hinaus ermöglicht eine präzise Fehlerfrüherkennung eine Steigerung des Energieertrags und den Übergang von einer rein reaktiven zu einer zustandsbasierten Instandhaltung der Anlagen.

Die Leistungsfähigkeit erneuerbarer Erzeugungsanlagen ist in den letzten Jahren kontinuierlich gestiegen, wodurch auch zunehmend mehr Informationen verfügbar sind. Jede neue Analyse, Überwachungsmethode oder ein neuer Kennwert erhöht jedoch den Aufwand in deren Bewertung durch Experten. Mit zunehmender Anzahl der zu überwachenden Anlagen, Kennwerte und verfügbaren Signale wird auch die Erkennung von Abweichungen immer komplexer und zeitintensiver. Ohne automatisierte und damit maschinelle Unterstützung wird es dadurch immer schwieriger, den Zustand der Anlagen zu beurteilen.

Da Schäden einerseits selten auftreten und andererseits sehr unterschiedlich sind, ist der Einsatz selbstlernender Verfahren, die prinzipbedingt viele Daten zum Training benötigen, herausfordernd. Wie erläutert, fehlen die Daten in der Praxis, wodurch solche Verfahren in der Regel nur allgemeine Aussagen über den Zustand einer Anlage erlauben, bspw. dass die Anlage auffällig ist. Notwendig wird dann eine manuelle Analyse, um auf bestimmte defekte Komponenten zu schließen.

Um die Ziele des Ausbaus erneuerbarer Energieerzeugung und die Optimierung der Instandhaltungskosten zu erreichen, ist daher die Entwicklung von skalierbaren Überwachungsmethoden notwendig. Der Überwachungsaufwand darf sich mit steigendem Ausbau solchen Anlagen nicht weiter erhöhen. Dies erfordert automatisierte Diagnosen von Schäden und den Austausch von Erkenntnissen zwischen Anlagen.

An der Entwicklung eines solchen Systems arbeiten Expert:innen der HKA und der EnBW derzeit mit Hoch-



HKA und EnBW erarbeiten in dem gemeinsamen Projekt AutoDiagCM, wie mit maschinellem Lernen KI zur intelligenten Überwachung von Windenergieanlagen genutzt werden kann. (Foto: iStock.de/Firstsignal)

druck im Projekt „Condition Monitoring 4.0 bei Windenergieanlagen (AutoDiagCM)“, das vom Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz mit rund 1,34 Mio. Euro bis Ende September 2025 gefördert wird.

Big Data bei Windenergieanlagen

Eine moderne Windenergieanlage verfügt heute über 15.000 Parameter bzgl. Temperaturen, Druckverhältnisse oder Ströme. Hinzu kommen Messdaten und Ergebnisse von Speziaisystemen wie Rotorblatt-, Struktur- oder Triebstrangüberwachung. Damit steigt die Anzahl der Parameter und auch die Datenmenge weiter stark an. Vermutlich werden bereits in naher Zukunft 100.000 zu überwachende Parameter erreicht. Will man alle diese Daten aus verschiedenen Blickwinkeln beleuchten, Abweichungen von deren Normalzuständen interpretieren oder müssen diese Daten für unterschiedliche Überwachungsaufgaben speziell aufbereitet und weiterverarbeitet werden, entstehen schnell zehntausende von Parametern pro Anlage, die überwacht werden müssen. Werden diese vielen Parameter allerdings mit Schäden und Ereignissen kombiniert, wie sie sich z. B. aus Instandsetzungsprotokollen ergeben, entstehen Datensätze, mit denen maschinelles Lernen möglich wird.

Condition Monitoring bei Windenergieanlagen

Deutlich wird dieses Prinzip z. B. bei der Betrachtung eines defekten Windgeschwindigkeitssensors. Das Signal „Windgeschwindigkeit“ kann aus verschiedenen Richtungen plausibilisiert werden:

- + Passt die Windgeschwindigkeit noch zur Leistung?
- + Verhält sich das Signal an sich auffällig (bspw. träger oder im Niveau verändert)?
- + Bei zwei verbauten Sensoren: Weicht die Windgeschwindigkeit A von der Windgeschwindigkeit B an der gleichen Anlage ab?
- + Hat sich das Verhältnis der Windgeschwindigkeit von der einen Anlage zur Windgeschwindigkeit der Nachbaranlage geändert?

All diese Fragen lassen sich mit modernen Überwachungsmethoden beantworten und mittels Kenngrößen ausdrücken, die eine Abweichung beschreiben. Bereits heute nutzt die EnBW KI Modelle, um einzelne Parameter zu überwachen, allerdings führt das zu sehr vielen KI-Modellen, die betrieben werden müssen und die zu einer

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!



st w Steinbeis

**STEINBEIS –
TRANSFERPARTNER
DER HOCHSCHULE
KARLSRUHE**

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

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

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

Die **Hochschule Karlsruhe** und **Steinbeis** verbindet eine jahrelange sehr erfolgreiche Zusammenarbeit im unternehmerischen Wissens- und Technologietransfer, die 2008 zum Kooperationsunternehmen Steinbeis Transferzentren GmbH an der Hochschule Karlsruhe geführt hat: Verlässlich und unbürokratisch finden hier vor allem kleine und mittlere Unternehmen **Ansprechpartner** für **Forschung, Entwicklung und Beratungsprojekte**.

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



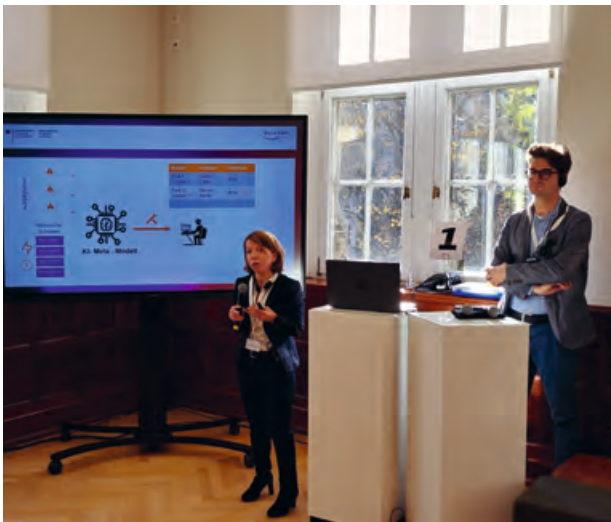
Steinbeis-Experten in der Region Karlsruhe



Unternehmensgründung mit Steinbeis

„Wir nutzen KI, um ein System zur intelligenten Überwachung von Windenergieanlagen zu entwickeln.“

Prof. Dr. Christine Preisach



Prof. Dr. Christine Preisach und Dr. Martin Kato bei der Präsentation des Projekts „AutoDiagCM“ während des Digital-Gipfels der Bundesregierung (Foto: Meik Schlechtingen, EnBW)



Das HKA Team des Forschungsprojekts AutoDiagCM (v.l.n.r.): Raphaele Salvatore Licciardo, Kenan Weber, Oliver Hennhöfer, Christine Preisach (Foto: HKA-Öffentlichkeitsarbeit IWI)

Vielzahl von Alarmen führt, die nicht alle händisch analysierbar sind. Außerdem muss die Diagnose hier immer noch manuell von Experten gestellt werden. Angewendet auf eine Vielzahl von Anlagen versagt dieser Ansatz schlicht schon aufgrund der absoluten Fallzahl und des zu bearbeitenden Datenvolumens. Die Verknüpfung der Vielzahl an Informationen mithilfe Künstlicher Intelligenz (KI) könnte hier helfen, das Problem zu lösen.

Gemeinsam möchten nun HKA und EnBW im Projekt AutoDiagCM mit KI (Lernen eines Metamodells und Nutzung von Transfer Learning) dazu einsetzen, ein System zur intelligenten Überwachung von Windenergieanlagen zu entwickeln, um folgende Ziele zu erreichen:

- + eine hohe Überwachungsbreite und -tiefe
 - + eine Automatisierung des Diagnoseprozesses bei hoher Überwachungsgüte zur Reduzierung des Überwachungsaufwandes
 - + eine kontinuierliche Weiterentwicklung auf Basis historischer und bereits erkannter Schäden
 - + eine Übertragbarkeit von Erkenntnissen und Fehlern auf Anlagen des gleichen Typs
 - + eine flexible Erweiterbarkeit, indem zusätzliche Datenquellen und Analysemethoden integriert werden können
- Durch die Verfolgung dieser Ziele wird eine ganzheitliche und fortschrittliche Überwachungslösung angestrebt, die den manuellen Überwachungsaufwand deutlich senkt. ✖

Autorin

Prof. Dr. rer. nat. Christine Preisach
Professorin für Data Science und Informatik an der
Fakultät für Informatik und Wirtschaftsinformatik

Kontakt

Prof. Dr. rer. nat. Christine Preisach
HKA – Hochschule Karlsruhe
Fakultät für Informatik und Wirtschaftsinformatik
Moltkestraße 30, 76133 Karlsruhe
E-Mail: christine.preisach@h-ka.de

Künstliche Intelligenz: Infocalypse now?

Interview mit Ziad Mahayni



Prof. Dr. Ziad Mahayni, Leiter des Referats für Technik- und Wissenschaftsethik (www.rtw.de). (Alle Fotos: Magali Hauser)

Ziad Mahayni

Dr. Ziad Mahayni ist Professor für Angewandte Ethik an der Fakultät für Informationsmanagement und Medien und zugleich Leiter des landesweit tätigen und an der HKA angesiedelten Referates für Technik- und Wissenschaftsethik. In seinen Seminaren und Publikationen schaut er mit dem Blick eines Philosophen und dem naturwissenschaftlichen Hintergrund eines Chemikers auf die wirtschaftlichen und gesellschaftlichen Herausforderungen, die sich aus der Digitalisierung und der zunehmenden Allgegenwart der künstlichen Intelligenz ergeben. Jan Holthaus hat mit ihm gesprochen.

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



Sie befassen sich sehr umfassend mit künstlicher Intelligenz. Wann haben Sie zuletzt privat eine KI benutzt und wofür?

Das letzte Mal habe ich sie vor fünf Minuten benutzt, als ich mich von meinem Navi hierher habe fahren lassen. Wir sind uns ja gar nicht bewusst, wie tief künstliche Intelligenz bereits in die alltäglichen Prozesse integriert ist. Ich habe mir gerade zusammen mit einer Studierenden, die darüber eine Bachelorarbeit schreibt, angeschaut, wie künstliche Intelligenz in der Personalverwaltung eingesetzt wird. Da ging es vor allem um die Personalauswahl, also von der Stellenausschreibung bis zur Einstellung. Von dem Moment an, in dem ich Stellenanzeigen lese, bis zu dem Moment, in dem ich eingestellt bin, habe ich es schon heute ungefähr genauso oft mit künstlicher Intelligenz zu tun wie mit echten Menschen. Das beginnt mit KI-generierten Stellenausschreibungen, die optimiert sind auf Zielgruppen. Das geht über Vorgespräche, die mit KI-Chatbots durchgeführt werden, bis hin zum Screening von Lebensläufen. Also: KI ist längst tief integriert und wir haben eigentlich jeden Tag damit zu tun.

Würden Sie sagen, KI ist eine Art der technologischen Weiterentwicklung oder ist das etwas so Grundlegendes, etwas so Fundamentales, dass man KI als „disruptiv“ bezeichnen könnte?

Meines Erachtens ist das tatsächlich ein häufig zu hörendes Missverständnis in der Debatte über künstliche Intelligenz, dass man sagt, es ist ja einfach nur eine weitere neue Technologie. Es wird dann oft der Bezug zur Eisenbahn hergestellt, denn als die Eisenbahn neu aufgekommen ist, hatten auch viele Menschen Angst davor und es gab Vorstellungen davon, dass das schnelle Fahren zu massiven Gehirnschäden bei den Passagieren führen müsse. Diese Ängste haben sich nicht bewahrheitet und so sei das letztendlich auch mit künstlicher Intelligenz. Das halte ich für einen falschen Gedanken. Künstliche Intelligenz ist das, was man in der Technikphilosophie eine „General Purpose Technology“ nennen würde. Man kann das vielleicht übersetzen mit „Meta-Technologie“. Künstliche Intelligenz müssen wir uns eher so



vorstellen und so verstehen wie Elektrizität. Mit Elektrizität selbst kann ich ja erst mal nichts machen. Aber dadurch, dass Elektrizität in andere Technologien hineinkommt, werden sie auf ein völlig anderes Niveau gehoben und es werden Dinge und Technologien möglich, die vorher nicht möglich gewesen sind. Das bedeutet, dass die Veränderungen, die mit künstlicher Intelligenz einhergehen, ebenfalls viel grundlegender, viel weitreichender sind, als wenn es um die Erfindung einer sogenannten Single-Purpose-Technologie, wie der Eisenbahn, geht. Es gibt noch einen weiteren grundlegenden Unterschied: Künstliche Intelligenz ist die erste und einzige Technologie, die sich selbst weiterentwickeln und optimieren kann. Und das wirft Fragen auf, die wir so im Kontext anderer Technologien noch nicht hatten.

Wir reden immer von künstlicher Intelligenz und von menschlicher Intelligenz. Ist KI denn tatsächlich intelligent?

Da müsste man erst mal die Frage beantworten, was Intelligenz eigentlich ist. Wenn man das kulturhistorisch betrachtet, hat sich die Art und Weise, wie wir Intelligenz definieren, über die Zeit stark verändert. In der Antike gab es ein sehr weites Verständnis von Intelligenz. Da gehörte z. B. auch Geschmack dazu und viele andere Dinge. Das hat sich immer weiter eingeeengt, bis dann um 1900 herum Intelligenz als eine rein analytisch-mathematische Intelligenz verstanden worden ist, die man in IQ-Punkten beziffern kann. Und jetzt sind wir wieder in einem Prozess der Öffnung, da kommen die emotionale Intelligenz, die soziale Intelligenz usw. hinzu. Kurz: Wir haben eigentlich keine echte Antwort auf die Frage, was Intelligenz ist. Ich glaube daher, es ist sinnvoller, die Frage so zu stellen: „Ist das, was künstliche Intelligenz tut, strukturell vergleichbar mit dem, was Menschen tun, wenn sie intelligent mit der Welt interagieren?“

Und? Ist das vergleichbar?

Wenn wir uns anschauen, was beispielsweise Large Language Models wie ChatGPT tun, dann ist das strukturell etwas anderes als das, was Menschen tun. Ich erläutere das an dem schönen Satz: „Ich liebe dich“. Was macht ein Large Language Model, wenn es diesen Satz spricht? Large Language Models sind stochastische Modelle, die die Wahrscheinlichkeiten ausrechnen, mit der ein Wort auf ein anderes folgt. Also das Large Language Model sagt als erstes das Wort „ich“ und dann überlegt es sich Wahrscheinlichkeiten, welches Wort könnte ich denn, im Kontext einer romantischen Szene, als nächstes sagen? Und dann fügt es das Wort „liebe“ dazu. Dann rechnet es wieder die Wahrscheinlichkeiten aus, was es nun als nächstes sagen könnte. Und das tut es im wörtlichen Sinne. Das heißt, es rechnet für jedes beliebige Wort von „Traktor“ über „Bügeleisen“ oder „Kühlschrank“ die Wahrscheinlichkeit aus. Und stellt dann fest, dass das Wort „Bügeleisen“ jetzt nicht so gut geeignet ist, wie das Wort „dich“. So, jetzt

„Eigentlich müssten wir von ‚simulierter Intelligenz‘ sprechen.“

Prof. Dr. Ziad Mahayni

überlegen Sie mal, was Sie tun, wenn Sie als Mensch einen Heiratsantrag machen und Ihrer Frau sagen: „Ich liebe ...“. Dann überlegen Sie ja nicht Wahrscheinlichkeiten und fragen sich: Sollte ich nun als nächstes „Bügeleisen“, „Toaster“ oder „dich“ sagen?

Stimmt, Heiratsanträge sind keine Frage der Stochastik.

Ja, und es ist interessant, denn dieses einfache Beispiel zeigt: So funktioniert das nicht, wenn wir Menschen denken. Ein Grund ist, dass menschliches Denken eingebettet ist in Fühlen. Wir können menschliches Denken nicht losgelöst vom Fühlen verstehen. Das wird in der Philosophie auch diskutiert unter der „Embodiment Hypothese“. Menschliche Intelligenz ist eingekörpert in einen Leib, in Gefühle, in Empfindungen. Und aus diesem Zusammenspiel heraus entsteht eigentlich überhaupt erst das, was wir menschliche Intelligenz nennen. KI funktioniert anders. Sie ist, Stand heute,



eine Maschine, die Kalkulationen macht, ein „stochastischer Papagei“, wie es die Linguistin Emily Bender formulierte. Deshalb müssten wir eigentlich sinnvoller von „simulierter Intelligenz“ sprechen. Das, was diese Simulationen zustande bringen, ist ohne Zweifel beeindruckend.

Allgemein geht man inzwischen davon aus, dass sich der Arbeitsmarkt durch den Einsatz von KI stark verändern wird. Inwiefern wird das der Fall sein?

Der Arbeitsmarkt wird sich ganz sicher fundamental verändern. In jedem Job gibt es Tätigkeiten, die durch KI und andere digitale Technologien automatisiert werden können. Die Frage ist, wie groß ist dieser Anteil? Es gibt eine Studie, die kommt zu dem Ergebnis, dass kurzfristig in zehn Prozent aller Jobs die Hälfte aller Tätigkeiten automatisiert werden können. Wenn die Anzahl der Tätigkeiten im Job hoch ist, die automatisiert werden können, dann ist die Wahrscheinlichkeit, dass der ganze Job verschwindet, natürlich groß. Letztlich ist das aber auch eine marktwirtschaftliche Entscheidung. Wir werden Jobs sehen, die weiterhin von Menschen erledigt werden, weil es billiger ist, als wenn man eine KI einsetzen würde.

Ich will es mal konkretisieren. Was passiert zum Beispiel mit dem Job eines Übersetzers?

Sie können heute per Knopfdruck jede beliebige Sprache in jede beliebige andere Sprache übersetzen und das Ergebnis ist sehr, sehr gut. Heißt das nun, dass es keine Übersetzer mehr geben wird? Ich würde sagen kurzfristig nein. Aber das, was ein Dolmetscher oder eine Dolmetscherin tut, wird zu etwas anderem. Ihre Funktion verschiebt sich sukzessive vom Träger von Fachwissen, in dem Fall Fremdsprachenwissen, zum Vertrauensbildner. Die Tatsache, dass zum Beispiel in hochkarätigen Politikergesprächen Dolmetscher zum Einsatz kommen, wird immer weniger zu einer fachlichen Notwendigkeit und immer mehr zu einer symbolischen Geste, deren vertrauensbildender Wert darin liegt, dass

Menschen Tätigkeiten ausführen, obwohl sie von einer KI ausgeführt werden könnten.

Ich bin da ein bisschen skeptisch. Früher waren Beifahrer-in oder Beifahrer fürs Kartenlesen zuständig. Heutzutage vertrauen wir alle z. B. Google Maps, weshalb manche Leute direkt in den Bodensee hineinfahren, weil die App gesagt hat, geradeaus geht's weiter. Das Vertrauen hat sich also auf die Maschine verlagert. Ist es nicht auch denkbar, dass das ebenso in anderen Bereichen passiert und Menschen dort überflüssig werden?

Das ist absolut denkbar und langfristig wird es diese Verschiebungen geben. Das ist wahrscheinlich auch eine Generationenfrage, je nach dem, wie man aufgewachsen ist. Aber kommen wir noch einmal auf Ihr Beispiel zurück. Sie haben ja mit Ihrer Beifahrerin oder Ihrem Beifahrer eigentlich nur als Notlösung interagiert. Sie wollten eigentlich wissen: Wie komme ich von A nach B. Ich glaube aber, es gibt Tätigkeiten, bei denen das anders ist. Ich würde immer danach schauen, wo hat die Mensch-Mensch-Interaktion einen besonderen Wert? Und dann komme ich zum Beispiel zu Schnitt-

stellen, wie dem Vertrieb. Im Vertrieb ist es natürlich auch so, dass es immer mehr KI-basierte Software gibt, die genau sagen kann, was der richtige Preis ist, mit dem ich in eine Verhandlung gehen sollte, die mir sogar Verhandlungsstrategien gibt. Trotzdem glaube ich, dass wir an diesen sensiblen Schnittstellen weiterhin Menschen sehen werden, die dort tätig sind, weil hier in der Mensch-Mensch-Interaktion die Vertrauensbeziehung noch einen besonderen Wert hat.

Apropos Vertrauen: Ein großes Problem dieser Tage ist, dass man zunehmend Bilder, Texte und Videos von generativer KI erstellen lassen und zu Propagandazwecken missbrauchen kann. Was bedeutet das für unsere Gesellschaft, für unsere Demokratie?

„Der Arbeitsmarkt wird sich fundamental verändern.“

Prof. Dr. Ziad Mahayni



Das ist ohne Zweifel eine ganz große Herausforderung für Demokratien. Es gibt in der Debatte zu dem Thema ein Wort, das das Problem auf den Punkt bringt: die „Infokalyypse“. Das klingt jetzt sehr dystopisch, weil es ja letztendlich mit der Informationsapokalypse spielt. Man kann aber durchaus argumentieren, dass dieses Jahr in Sachen „Infokalyypse“ von besonderer Bedeutung ist, weil in diesem Jahr zwei Dinge zusammenkommen: 2024 ist das Jahr, in dem KI-Technologien ein Niveau erreicht haben, in dem synthetische Medien, also egal ob es Ton, Text, Bild oder Video ist, in Perfektion erzeugt werden können. Und: 2024 ist ein Superwahljahr. Knapp die Hälfte der Menschheit geht in diesem Jahr wählen. Das gab es so noch nicht. Und das bildet einen großen Trigger, diese synthetischen Medien generativer KI-Technologien auch zu manipulativen Zwecken einzusetzen. Und wir sehen einen massiven Anstieg an Deep Fakes, Fake News etc. Hinzu kommt der Information Overload, den haben wir schon lange. Information Overload führt dazu, dass nicht mehr unterscheidbar ist, was *wichtig* ist und was nicht. Informationen sind dazu da, die Welt verständlicher zu machen. Wenn es unendlich viele Informationen gibt, wird die Welt plötzlich völlig unverständlich, weil in dem Meer der Information zwischen wichtigen und unwichtigen Informationen nicht mehr unterschieden werden kann. Und nun kommt mit Deep Fakes noch dazu, dass wir Falschinformation erzeugen. Das heißt, wir können nun auch nicht mehr unterscheiden, was *richtig* ist und was nicht. Beides zusammen führt dazu, dass das Informations-Ökosystem in den Grundstrukturen fragwürdig wird und das ist gefährlich. Die eigentliche Gefahr von Deep Fakes und Fake News besteht meines Erachtens nicht darin, dass Menschen auf falsche Information reinfallen, sondern darin, dass wir überhaupt nichts mehr glauben können. Das ist eine besondere Gefahr für Demokratien, weil Demokratien davon abhängig sind, dass Gesellschaften in einem diskursiven Prozess miteinander zu einer gemeinsamen oder zumindest mehrheitsfähigen Lösung kommen. Und das wird massiv erschwert, wenn wir noch nicht mal auf der Informationsseite auf dem gleichen Boden stehen.

Es gibt neuerdings den EU AI Act, eine Verordnung der Europäischen Union, die versucht, der KI gewisse

Schranken zu setzen. Ist das der richtige Weg, um diesem Problem zu begegnen?

Es ist der erste staatenübergreifende Vorstoß, künstliche Intelligenz zu regulieren. Die erste Frage ist, sollten wir regulieren, ja oder nein?

Regulierung klingt immer so negativ, nach Einschränkungen und nach Verhinderung.

Richtig. Und diese Bedeutung hat es traditionell auch. Eigentlich war Deregulierung das Ziel, weil Regulierung immer als Bremse des Fortschritts verstanden wird. Wenn der technische Fortschritt aber nun so schnell und so radikal vorangeht, dass praktisch alles möglich wird, dann müssen wir Regulierung anders denken. Wir müssen nun bestimmen, was technischer Fortschritt können soll. Der EU AI Act reagiert darauf. Er reguliert nicht Technologien, das würde keinen Sinn ergeben, weil sich die Technologie so schnell verändert. Der EU AI Act reguliert Risiken. Es soll zum Beispiel das Risiko vermieden werden, dass so etwas wie Social Scoring entsteht. Deshalb ist beispielsweise biometrische Totalüberwachung verboten. Und in einem wichtigen ersten Schritt, in Bezug auf das Thema Infokalyypse, regelt der EU AI Act, dass KI generierte Medien als solche gelabelt sein müssen, z. B. durch ein Wasserzeichen.

Aber da ist zu befürchten, dass diejenigen, die ein Interesse an Manipulation haben, darauf verzichten werden.

Natürlich. Und was dann entsteht, ist eben ein Katz- und Maus-Spiel der Technologie. Wir werden KI-Tools bauen, die Medieninhalte daraufhin untersuchen, ob sie KI-generiert sind oder nicht. Zynisch formuliert könnte man sagen, dass technischer Fortschritt hier darin besteht, mittels KI Probleme zu lösen, die erst durch KI entstanden sind.

Oha, das werden spannende, vielleicht aufregende Zeiten. Wie kann man da gelassen bleiben?

Ich bin davon überzeugt: Ich als Mensch bin etwas strukturell ganz anderes als eine künstliche Intelligenz, was auch immer sie kann. Und das macht mich sehr gelassen.

Vielen Dank für das Gespräch!

Anspruchsvolle Edelstahlrohre und Komponenten – aus Achern in alle Welt

Die fischer group ist der weltweit führende Anbieter längsnahtgeschweißter Edelstahlrohre sowie daraus gefertigter Komponenten und Baugruppen. Gegründet 1969 in Seebach hat sich die fischer group vom Kleinbetrieb zur multinationalen Unternehmensgruppe mit derzeit rund 2.700 Mitarbeitende entwickelt. Mit eigener Maschinenteknik und vielfältigen Weiterverarbeitungsmöglichkeiten entstanden nach und nach 18 Niederlassungen auf verschiedenen Kontinenten.

In unserem Unternehmen gibt es jede Menge Möglichkeiten, deine Bachelor- und Masterarbeit zu schreiben, als Werkstudent/in zu arbeiten oder als Berufseinsteiger/in in verschiedenen Bereichen tätig zu werden.

Geh mit der fischer group an die Spitze der Entwicklung und gestalte deine Zukunft. Wir freuen uns auf dich!



Wir bieten an:

- Bachelor- und Masterabschlussarbeit
- DHBW Studium Wirtschaftsingenieurwesen
- DHBW Studium BWL - Industrie
- DHBW Studium Maschinenbau
- DHBW Studium Elektrotechnik
- DHBW Studium Informatik



Bewirb dich jetzt!

Im Gewerbegebiet 7
77855 Achern-Fautenbach
Germany

Tel. +49 7841 6803-0
sales@fischer-group.com
www.fischer-group.com

#SWARCOcareer

DU WILLST MEHR PRAXIS? HABEN WIR!

DUALES STUDIUM: INFORMATIK

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

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



Grow with SWARCO.

swarco
The Better Way. Every Day.

Kontakt:

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





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

Driving progress together

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



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

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

Endress+Hauser 
People for Process Automation

VEGA

**PRAXISSEMESTER,
ABSCHLUSSARBEIT
UND BERUFSEINSTIEG?
SICHER. MIT VEGA.**

UNSERE ANGEBOTE FÜR STUDENTEN:

- Bachelorthesis
- Masterthesis
- Praktikum
- Werkstudententätigkeit

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



Entdecke auch unseren

INNOVATION-HUB

in Karlsruhe!



Nachhaltige Produktion

CO₂ nachhaltig aus Biogas entfernen – mit Mehrfachnutzen für die Landwirtschaft

Nick Schäuble, Jan Hoinkis, Markus Graf

DE Biogas als wichtiger Energieträger der Zukunft enthält produktionsbedingt einen hohen Anteil an biogenem CO₂, das zur Brennwerterhöhung entfernt werden muss und dabei üblicherweise in die Atmosphäre entweicht. Als aktiver Beitrag zum Klimaschutz hat sich das Forschungsprojekt CapBioCO₂ zum Ziel gesetzt, ein innovatives Verfahren zur dauerhaften Bindung dieses CO₂ zu realisieren. Dabei wird in diesem Verfahren nicht nur das Biogas aufgereinigt, sondern gleichzeitig auch sauberes Wasser und hochwertiger Dünger produziert. Dies bringt im Sinne einer lokalen Kreislaufwirtschaft einen nachhaltigen Mehrfachnutzen und eine Erhöhung der Versorgungssouveränität von landwirtschaftlichen Betrieben, die insgesamt auch durch eine neuartige integrierte Nachhaltigkeitsanalyse nachgewiesen werden soll.

EN Biogas is an important source of energy for the future. Due to the way it is produced, it contains a large amount of biogenic CO₂, which has to be removed in order to increase its calorific value. The CapBioCO₂ research project aims to contribute to climate protection by exploring an innovative process to permanently capture this CO₂, which would otherwise escape into the atmosphere. The proposed process not only purifies the biogas, but also produces clean water and premium fertilizer. This leads to multiple sustainable benefits in the sense of a local circular economy as well as making agricultural enterprises increasingly independent. This will also be proven by a novel integrated sustainability analysis.

Eine der zentralen Herausforderungen unserer modernen Gesellschaft ist die technologische und gesellschaftliche Bewältigung des Klimawandels auf nationaler und internationaler Ebene. Charakteristisch für den Klimawandel ist der anhaltende Anstieg der Durchschnittstemperatur der erdnahen Atmosphäre, welcher nach Stand der Forschung auf den anthropogenen (d. h. durch Menschen verursachten) Treibhauseffekt zurückzuführen ist.^[1, 2] Dieser Effekt resultiert aus der Wirkung von sogenannten Treibhausgasen wie z. B. Kohlendioxid (CO₂) in der Atmosphäre. Der Treibhauseffekt an sich hat eine wichtige Funktion, da er die Existenz von Lebewesen und unserer natürlichen Umwelt auf der Erde sichert. Seit Beginn der Industrialisierung werden jedoch durch die Nutzung fossiler Brennstoffe und durch eine stark wachsende Bevölkerung immer mehr Treibhausgase in die Atmosphäre emittiert, was zu der eingangs beschriebenen kontinuierlichen Erwärmung führt. Die Folgen sind unkontrollierbare und potenziell irreversible Auswirkungen wie z. B. die Zunahme extremer Wetterereignisse, das Verschwinden von Gletschern und polaren Eisflächen, ein Anstieg des Meeresspiegels sowie die Erwärmung der Ozeane mit zum Teil katastrophalen Folgen für betroffene Ökosysteme und die dort lebenden Menschen.

Als Reaktion auf diesen Erwärmungsprozess wurde im Pariser Abkommen in einem breiten internationalen Konsens beschlossen, geeignete Maßnahmen umzusetzen, um den Anstieg der Durchschnittstemperatur langfristig möglichst auf 1,5 °C bis maximal 2 °C zu begrenzen. Um diese Ziele zu erreichen, ist nach dem jüngsten Bericht des Weltklimarates (IPCC Intergovernmental Panel on Climate Change) nicht nur eine vollständige Vermeidung fossiler CO₂-Emissionen notwendig. Was in der Öffentlichkeit oft weniger bekannt ist: Die entsprechenden Szenarien gehen sogar zwingend von einer Entnahme von CO₂ aus der Atmosphäre in der zweiten Hälfte des Jahrhunderts aus,^[2] sodass gute Ideen und innovative Technologien zur dauerhaften Bindung von CO₂ gefragt sind.

Ein nicht-fossiler Energieträger, der zukünftig verstärkt genutzt werden soll, ist Biogas, das z. B. aus organischen Abfällen, tierischen Exkrementen aus der Landwirtschaft oder gezielt angebauten Energiepflanzen gewonnen wird.

[1] www.umweltbundesamt.de/themen/klima-energie/klimaschutz-energiepolitik-in-deutschland/treibhausgasemissionen/, letzter Zugriff: 09.07.2024.

[2] IPCC: Climate Change 2022 – Mitigation of Climate Change. Summary for Policymakers. 6th Assessment Report.
[3] Fachagentur für nachwachsende Rohstoffe – Biogasaufbereitung: <https://biogas.fnr.de/biogaserzeugung/anlagentechnik/biogasaufbereitung>, letzter Zugriff: 09.07.2024.

[4] <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/198551/umfrage/aufbereitungskapazitaet-der-biogasanlagen-zurbiomethanproduktion/>, letzter Zugriff: 09.07.2024.

[5] <https://de.statista.com/infografik/25742/durchschnittliche-co2-emission-von-pkw-in-deutschland-im-jahr-2020/>, letzter Zugriff: 09.07.2024.
[6] <http://capbioco2.de/>.

Dieses Biogas besteht jedoch herstellungsbedingt nicht nur aus Methan (Hauptbestandteil von Erdgas) sondern auch zu 30 bis 50 % aus CO₂.^[3] Um den Brennwert des Biogases zu erhöhen und das aufgereinigte Biogas als Biomethan in das Erdgasnetz einspeisen zu können, muss daher das CO₂ abgetrennt werden. Zwar ist das im Biogas enthaltene CO₂ biogenen Ursprungs, d. h. es wurde während des Pflanzenwachstums aus der Atmosphäre in die Biomasse aufgenommen, aber durch eine dauerhafte Bindung anstelle der üblichen Freisetzung könnte de facto ein gewünschter Entnahmeeffekt aus der Atmo-

sphäre erzielt werden. Das Potenzial hierfür ist beachtlich: Im Jahr 2020 betrug die Einspeisekapazität der 233 Biogasanlagen zur Biomethanproduktion in Deutschland 136.400 Norm m³/h. Rechnerisch ergibt sich daraus bei einem CO₂-Anteil von 30 bis 50 % ein Entnahmepotenzial von 940.000 t/Jahr, was dem jährlichen CO₂-Ausstoß von ca. 670.000 Mittelklassewagen entspricht.^[4,5]

Das Ziel des Forschungsprojektes CapBioCO₂^[6] ist die Realisierung eines innovativen Gesamtprozesses zur Abtrennung und dauerhaften Bindung von CO₂ aus Biogas (siehe Abb. 1). Bei diesem Prozess soll nicht nur

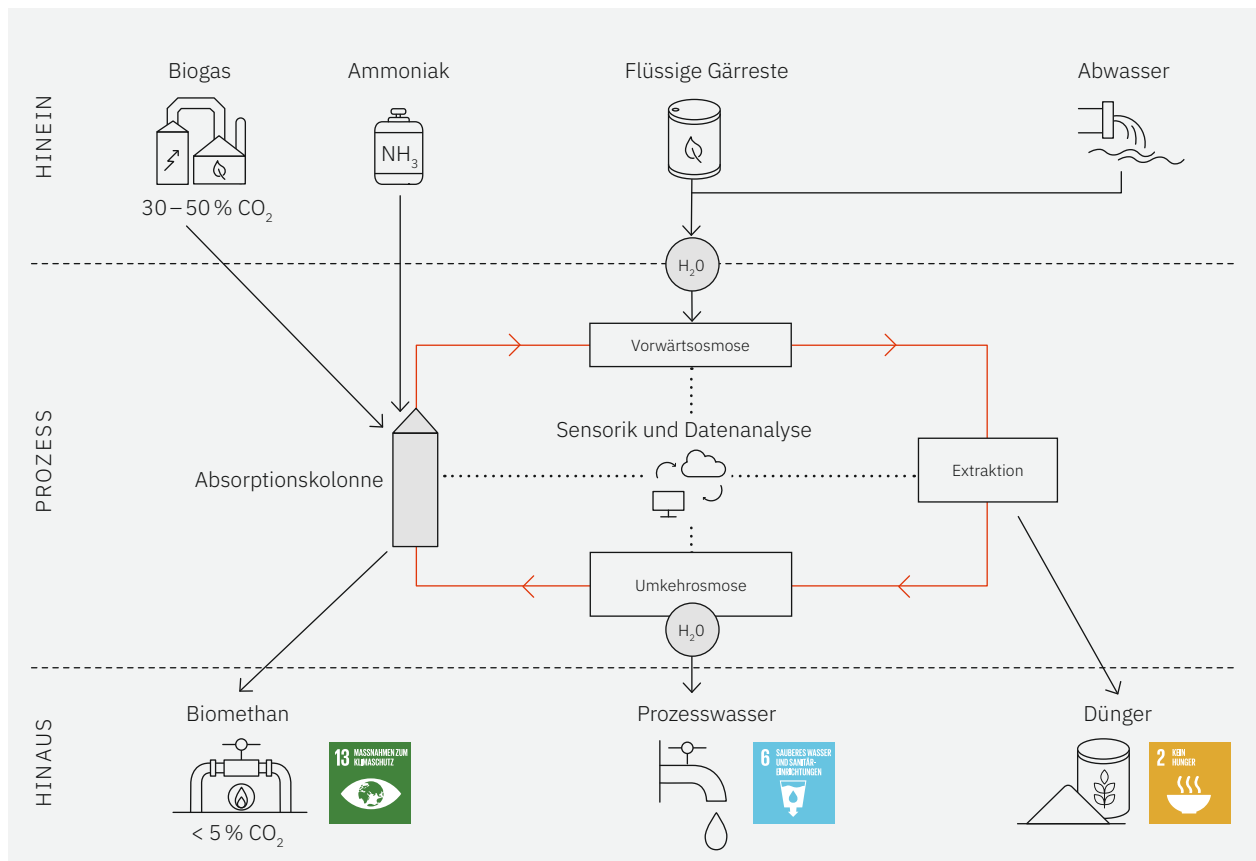


Abb.1: Schema des Gesamtprozesses des CapBioCO₂ Forschungsprojekts



Abb. 2: Bild der Absorptionskolonne mit Projektteam von links nach rechts: Prof. Dr. Markus Graf, Nick Schäuble M.Sc., Prof. Dr.-Ing. Jan Hoinkis (Foto: Magali Hauser)

aufgereinigtes Biogas, sondern gleichzeitig auch sauberes Wasser, landwirtschaftlicher Dünger und ein Konzentrat zur Nährstoffrückgewinnung entstehen. Damit leistet eine solche Anlage nicht nur einen Beitrag zum Klimaschutz, sondern auch zu weiteren UN-Nachhaltigkeitszielen (Sustainable Development Goals, SDGs) wie beispielsweise ‚Sauberes Wasser‘, ‚Kein Hunger‘ und ‚Erschwingliche und saubere Energie‘.

Die Grundidee des neuen Verfahrens ist in Abb. 1 dargestellt: Die Abtrennung des CO_2 aus Biogas soll in einer Absorptionskolonne (siehe Abb. 2) unter Zugabe von Ammoniak (NH_3) erfolgen, das in geringen Mengen auch in Biogasanlagen vorhanden und als handelsübliche Chemikalie leicht verfügbar ist. Ammoniak und Kohlendioxid bilden in wässriger Lösung ein Salz (Ammoniumhydrogencarbonat NH_4HCO_3), wobei das CO_2 als Carbonat gebunden und damit der Atmosphäre entzogen wird. Die entstehende Salzlösung, die in diesem Fall als sogenannte Zuglösung verwendet wird, kann aufgrund ihrer osmotischen Wirkung zur Abwasserreinigung und zur Aufbereitung von flüssigen Gärresten aus den Biogasanlagen genutzt werden. Dazu wird in der Anlage eine neuartige Kreislaukopplung aus einer Vorwärts- und einer Umkehrosmoseanlage eingesetzt, so dass sauberes Prozesswasser entsteht, das z. B. zur Bewässerung geeignet ist. Durch Aufarbeitung in einer Extraktionseinheit wird ein lokal verfügbares hochwertiges Düngemittel gewonnen, welches auch als Rohstoff für Industrieprodukte eingesetzt werden kann. Ein weiteres Produkt ist ein organikhaltiges Konzentrat, aus dem durch biotechnologische Behandlung einerseits Nährstoffe und andererseits wieder Biogas gewonnen werden können. Aufgrund der komplexen dynamischen Kopplung der einzelnen Prozesseinheiten und zur umfassenden digitalen Erfassung von Prozessparametern sind der Einsatz von smarter Sensorik und intelligenter Datenanalyse sowie eine optimale Prozessführung mittels maschinellem Lernen vorgesehen.

Ein weiterer wichtiger Teil des Forschungsvorhabens ist die Bilanzierung der Stoff- und Energieströme und die Bestimmung der angestrebten Nachhaltigkeitsleistung.

Ziel ist eine lokale Kreis- laufwirtschaft mit möglichst engen Kreisläufen und Wert- schöpfungszyklen für die landwirtschaftlichen Betriebe.



Abb. 3: Detailaufnahme Absorptionskolonne (Foto: Magali Hauser)

Hierzu wird eine neuartige Methodik zur integrierten und zirkulären Erfassung entwickelt, welche die vielfältigen Nachhaltigkeitseffekte quantitativ und qualitativ aufzeigen soll.

Interessant ist der dargestellte Prozess auch im Sinne einer lokalen Kreislaufwirtschaft mit möglichst engen Kreisläufen und Wertschöpfungszyklen für die landwirtschaftlichen Betriebe. Bisher wird z. B. sauberes Wasser meist von weit entfernten Wasserwerken bezogen und das Abwasser entsprechenden Kläranlagen zugeführt, was mit einem gewissen energetischen und monetären Aufwand verbunden ist. Auch Düngemittel und Gas als Energieträger werden häufig als Handelsware bezogen, was jedoch Abhängigkeiten von Lieferanten schafft. Störungen der Lieferketten durch unvorhergesehene Ereignisse können jedoch Betriebe stark beeinträchtigen und wirtschaftlich gefährden. Das vorgeschlagene Verfahren enthält demgegenüber sehr enge und lokale Stoffkreisläufe mit hoher Effizienz: Biogas wird direkt

auf dem Betrieb zu Biomethan aufbereitet und kann zur Energieerzeugung genutzt werden, Abwasser wird vor Ort gereinigt, CO₂ wird dort gebunden, wo es sonst entweichen würde, und hochwertiger Dünger wird lokal erzeugt, wo er benötigt wird. Damit könnte ein höheres Maß an Souveränität für landwirtschaftliche Betriebe gewonnen werden, was insbesondere für den Einsatz in den Ländern des globalen Südens attraktiv ist.

Auf diese Weise könnten sich die beabsichtigten Nachhaltigkeitswirkungen voll entfalten und damit weit über den Klimaschutzaspekt hinaus einen signifikanten Mehrfachnutzen sowohl für die lokale Versorgungssouveränität als auch für eine globale nachhaltige Entwicklung erbringen.

Dieses Forschungsprojekt wird von der Vector-Stiftung im Rahmen des Programms ‚Forschung für den Klimaschutz: Reduzierung der CO₂-Konzentration‘ gefördert und vom Unternehmen Endress+Hauser durch die Bereitstellung von Sensortechnik unterstützt. ✕

Autoren

Nick Schäuble M.Sc.

Projektleiter und Akademischer Mitarbeiter am
Institut für Sensor- und Informationssysteme (ISIS)
der HKA

Prof. Dr.-Ing. Jan Hoinkis

Projektleiter des Projekts, Professor für
Umwelttechnik an der Fakultät Elektro- und
Informationstechnik
Institut für Kälte-Klima und Umwelttechnik

Prof. Dr. sc. Markus Graf

Institut für Sensor- und Informationssysteme (ISIS)
der HKA und Professor für Sensorsystemtechnik und
Nachhaltige Innovation an der Fakultät für Elektro-
und Informationstechnik

Kontakt

Prof. Dr. sc. Markus Graf
HKA – Hochschule Karlsruhe
Fakultät für Elektro- und Informationstechnik
Moltkestraße 30, 76133 Karlsruhe
E-Mail: markus.graf@h-ka.de

Wege zur nachhaltigen Produktion – Sustainable Manufacturing in der Praxis

Sebastian Beiner

DE Nachhaltigkeit ist eines der zentralen Trendthemen in der Wirtschaft, nicht zuletzt in der verarbeitenden Industrie. Schlagworte wie Twin Transformation, Industrie 5.0, Corporate Social Responsibility oder die 17 Sustainable Development Goals der UN sind weit verbreitet. Doch auch in der Produktionsforschung gewinnt Sustainable Manufacturing immer mehr an Bedeutung. Dies soll dazu beitragen, die drei Säulen Ökonomie, Ökologie und Soziales langfristig zu verbessern. Doch was heißt das für die praktische Umsetzung? Wir haben mit acht Vorreiterunternehmen der Nachhaltigen Produktion in Deutschland gesprochen und Erkenntnisse über die Maßnahmen sowie Treiber und Barrieren für die Umsetzung gesammelt.

EN The concept of sustainability is becoming increasingly prevalent in the business, particularly in the manufacturing industry. Terms such as twin transformation, Industry 5.0, corporate social responsibility, and the 17 Sustainable Development Goals are widely used. Now the concept of sustainable manufacturing is also gaining importance in production research. This is intended to help improve the three pillars of economy, ecology, and social responsibility in the long term. In this article we ask what this means in terms of practical implementation. To address this question, we conducted interviews with eight pioneering companies in sustainable manufacturing in Germany. These interviews provided insights into the measures, motivation for and barriers to the implementation of sustainable manufacturing.

Der Begriff der Nachhaltigkeit wurde 1987 von der Brundtland-Kommission der UN geprägt: „Eine Entwicklung, die die Bedürfnisse der Gegenwart befriedigt, ohne die Fähigkeit künftiger Generationen zu gefährden, ihre eigenen Bedürfnisse zu befriedigen“. ^[1] Ausgehend von diesem zentralen Ziel wurde in der betriebswirtschaftlichen Literatur der Triple-Bottom-Line-Ansatz etabliert, der die drei Säulen ökologische, soziale und ökonomische Nachhaltigkeit umfasst. Nachhaltiges Management erweitert das Unternehmensziel der Gewinnmaximierung um ökologische und soziale Ziele. ^[2] Das US-Handelsministerium definiert Sustainable Manufacturing (SM) wie folgt: „SM beschreibt Herstellungsprozesse, die negative Auswirkungen auf die Umwelt minimieren, Energie und natürliche Ressourcen schonen, sicher für Mitarbeitende, Gesellschaft und Verbraucher sind und wirtschaftlich gesund sind.“ ^[3] In der wissenschaftlichen Literatur findet sich eine Vielzahl unterschiedlicher SM-Definitionen. So führten Moldavska und Velo ^[4] eine Literaturrecherche durch und identifizierten 89 ursprüngliche Definitionen von SM. Dieses Fehlen eines klaren Verständnisses hält Praktiker:innen davon ab, nachhaltige Maßnahmen in ihren Organisationen einzuführen. ^[5] Um produzierende Unternehmen bei der Umsetzung nachhaltiger Maßnahmen zu unterstützen, gab die OECD 2011 das sogenannte „Sustainable Manufacturing Toolkit“ heraus. ^[6] Dieses enthält einige praktische Tipps zur Verbesserung der Nachhaltigkeit in wertschöpfenden Prozessen. Dennoch hat die Industrie weiterhin ein großes Verbesserungspotenzial in Sachen Nachhaltigkeit.

Daher führten wir am Institut für Lernen und Innovation in Netzwerken im Rahmen des BMBF-geförderten Forschungsprojekts SPIN:S acht Interviews mit Führungspersonen produzierender Unternehmen in Deutschland durch, die als Vorreiter in Sachen nachhaltiger Produktion gelten. Diese wurden aufgezeichnet, anonym transkribiert und qualitativ ausgewertet, um der Frage nachzugehen, was Unternehmen tun, um nachhaltiger zu werden.

Die meisten der von den Befragten beschriebenen Maßnahmen zielen in erster Linie auf die ökologische Nachhaltigkeit ab. Insbesondere in der metallverarbeitenden Industrie, aber auch bei den Kunststoffverarbeitern ist

- [1] Brundtland, Gro Harlem: Report of the World Commission on Environment and Development: Our common future. In: Oxford University Press 1987.
- [2] Elkington, John & Rowlands, Ian: Cannibals with forks: the triple bottom line of 21st century business. In: Choice Reviews Online 1999; 25:42–3.
- [3] Howard, Matthew C: Sustainable manufacturing initiative (SMI): a true public-private dialogue. The US Department of Commerce 2014. <https://web.archive.oecd.org/2012-06-14/107719-45010349.pdf>, letzter Zugriff: 21.06.2024
- [4] Moldavska, Anastasiia und Welo, Torgeir: The concept of sustainable manufacturing and its definitions: A content-analysis based literature review. In: Journal of cleaner production 2017; 166:744–55.
- [5] Despeisse, Mélanie et al.: The emergence of sustainable manufacturing practices. In: Production Planning & Control 2012; 23:354–76.
- [6] OECD. Sustainable Manufacturing Toolkit: Start-up Guide - Seven steps to environmental excellence. 2011 <https://www.oecd.org/innovation/green/toolkit/48661768.pdf>, letzter Zugriff: 21.06.2024.

Recycling ein geeignetes Mittel, um zur ökologischen Nachhaltigkeit beizutragen. Gerade in materialintensiven Branchen ist dies häufig ein großer Stellhebel. Dies gilt auch für die Reduzierung von CO₂-Emissionen. Auch Maßnahmen in der Produktion oder an den Maschinen selbst zur Verbesserung der Material- oder Energieeffizienz werden beschrieben. Eines der untersuchten Unternehmen hat beispielsweise seine Spritzgussmaschinen so umgerüstet, dass es bei gleichem Output 60 bis 70 % Energie einspart. Neben Anpassungen an Maschinen und Anlagen selbst sind auch Maßnahmen an der Gebäudeinfrastruktur der Fabrik weit verbreitet. Dabei geht es in der Regel um die Steigerung der Energieeffizienz. So hat ein anderes Unternehmen ein Wärmerückgewinnungssystem entwickelt. Die Abwärme aus den Produktionsprozessen wird zur Beheizung der Fabrik genutzt. Eine Gebäudeheizung wird dadurch komplett ersetzt.

Nachhaltige Maßnahmen, die auf eine wirtschaftliche Verbesserung abzielen, wurden am seltensten genannt. Für Unternehmensvertreter, die traditionell wirtschaftlich denken müssen um langfristig wettbewerbsfähig zu bleiben, scheinen wirtschaftliche Maßnahmen nicht direkt mit Nachhaltigkeit in Verbindung zu stehen. Direkt nach solchen Maßnahmen gefragt, wurden einige Aktivitäten beschrieben, die auf die Steigerung der Produktivität und der Kundenzufriedenheit abzielen. Ein weiterer großer Stellhebel ist die Digitalisierung von Prozessen und Anlagen, da diese häufig einen langfristigen ökonomischen Vorteil bringen.

Die von den Vorreiterunternehmen umgesetzten Maßnahmen zur sozialen Nachhaltigkeit sind breit gefächert. Am häufigsten werden Maßnahmen zur Verbesserung von Sicherheit und Gesundheitsschutz, philanthropische Maßnahmen sowohl im lokalen Umfeld als auch bei

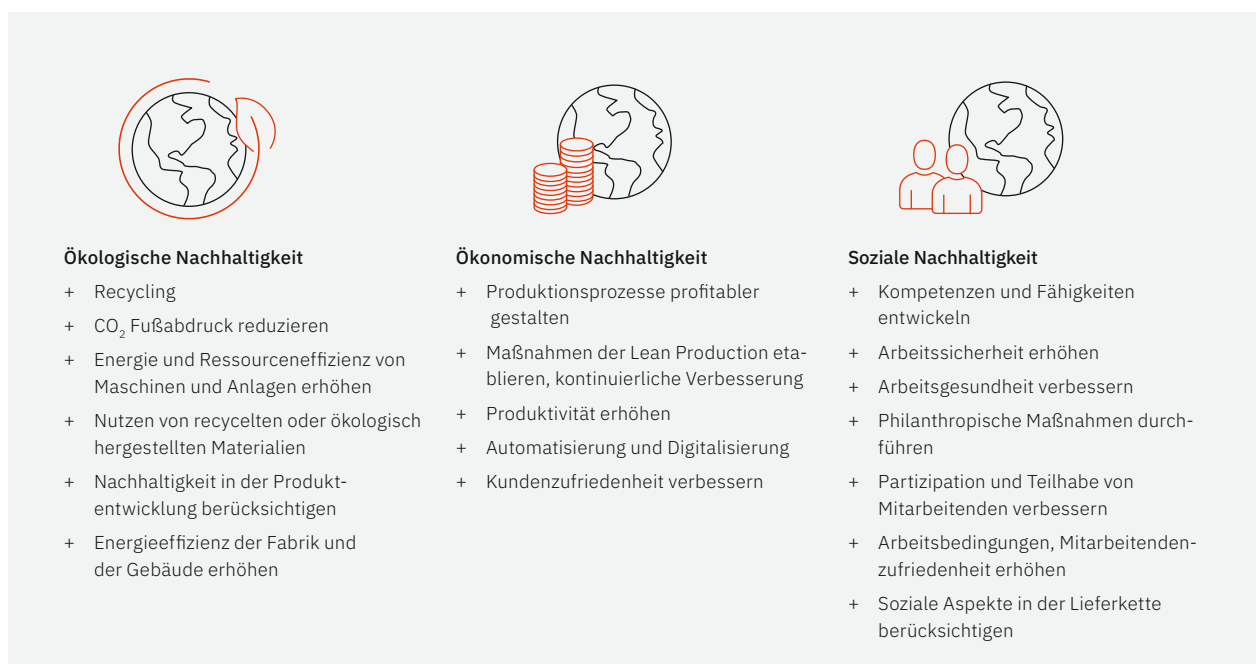


Abb. 1: Kategorien nachhaltiger Maßnahmen in der Produktion

ResearchContacts

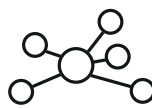
Die Transfermesse der HKA

Do. 7. November 2024 | 10:00 – 15:00 Uhr

Wir bringen Forschung und Wirtschaft zusammen!



#Forschung



#Transfer



#Kooperation



HKA Campus, Moltkestr. 30, 76133 Karlsruhe, Foyer B-Gebäude (EG)
Mehr Infos unter: www.h-ka.de/researchcontacts

Sustainable Manufacturing ist komplex, führt aber zu langfristigen Wettbewerbsvorteilen.

globalen Aktivitäten sowie Maßnahmen zur Verbesserung der Arbeitsqualität und der Mitarbeitendenzufriedenheit beschrieben. Alle Unternehmen haben philanthropische Aktivitäten durchgeführt. Viele unterstützen lokale gemeinnützige Organisationen durch finanzielle Beiträge oder andere Formen der Hilfe. Es gibt zudem viele Möglichkeiten, die Zufriedenheit der Mitarbeitenden und die Qualität ihrer Arbeitsbedingungen zu verbessern, die über die traditionellen Sicherheits- und Gesundheitsmaßnahmen hinausgehen. Insbesondere vor dem Hintergrund des Fachkräftemangels in Deutschland versprechen diese Initiativen nicht nur soziale Effekte, sondern auch wirtschaftliche Vorteile. Generell betont die Mehrheit der befragten Expert:innen die Bedeutung einer qualitativ hochwertigen und attraktiven Aus- und Weiterbildung für eine langfristige Wettbewerbsfähigkeit.

Aus der Literatur und den gesammelten Maßnahmen exzellenter Unternehmen der nachhaltigen Produktion leiten wir eine Klassifikationsmöglichkeit für ebensolche Maßnahmen ab (s. Abb. 1). Diese wird für weitere Forschungsaktivitäten genutzt.

Die Kategorisierung von Maßnahmen der Nachhaltigkeit innerhalb einzelner Gruppen wird der Komplexität jedoch nicht gerecht. Eine zentrale Herausforderung bei der Verbesserung der Nachhaltigkeit in der Produktion besteht vor allem darin, dass keine Maßnahme nur einem Ziel zuzuordnen ist. So sollten digitale Technologien der Industrie 4.0, KI und Automatisierungsprojekte nicht nur aus ökonomischen Gesichtspunkten eingesetzt werden. Sie haben häufig auch ökologische (Ressourcen- und Energieeffizienz) und soziale (Automatisierung von ungeliebten und belastenden Aufgaben, Aufwertung der Arbeit und Unterstützung bei komplexen Aufgaben).

Nachhaltigkeit ist aus Sicht der Expert:innen ein zentraler Treiber für langfristigen Unternehmenserfolg. Maßnahmen der sozialen Nachhaltigkeit sorgen für eine verbesserte Mitarbeitendenbindung und wirken damit dem aktuellen Fachkräftemangel entgegen. Auch wird das Unternehmensimage gesteigert, was sowohl bei der Mitarbeitendengewinnung als auch im Vertrieb Vorteile mit sich bringt. Demgegenüber steht die Beobachtung nahe-

zu aller befragten Expert:innen, dass sich ihre Kund:innen zwar nachhaltigere Produkte wünschen, jedoch kaum die Bereitschaft besteht, dafür höhere Kaufpreise zu zahlen. Um diesem entgegenzuwirken, ist es aus Sicht der Expert:innen nötig, das eigene Geschäftsmodell anzupassen. So werden beispielsweise Beratungsangebote zum Thema Nachhaltigkeit um das Produkt herum ergänzt, das Produktportfolio um günstigere Handelsware erweitert oder Kreislaufgeschäftsmodelle etabliert, bei denen das Produkt nach seinem Lebenszyklus dem Erzeuger wieder zugeführt wird.

Im Rahmen der Interviews wurde deutlich, dass nachhaltige Produktion keineswegs eindeutig in die drei in der Theorie postulierten Säulen zu strukturieren ist. Es bestehen Abhängigkeiten, Zielkonflikte sowie Synergien zwischen den sozialen, ökologischen und ökonomischen Unternehmenszielen. Das macht eine Bewertung, gerade von langfristigen Maßnahmen, sehr komplex. Da für Unternehmen vor allem ökonomische Kriterien maßgeblich sind, ist es schwierig, nachhaltige Maßnahmen gegenüber Maßnahmen durchzusetzen, die eine geringere Investition benötigen. Die Expert:innen betonen daher bei der Priorisierung der drei Säulen untereinander, dass ein Mindestmaß an ökonomischen Zielen erreicht werden muss. Erst wenn eine Maßnahme keine negativen Auswirkungen auf die ökonomische Säule hat, wird die ökologische und soziale Verbesserung fokussiert. ✗

Autor

Sebastian Beiner M.Sc.

Akademischer Mitarbeiter am Institut für Lernen und Innovation in Netzwerken der HKA

Kontakt

Sebastian Beiner
HKA – Hochschule Karlsruhe
Institut für Lernen und Innovation
in Netzwerken (ILIN)
Moltkestraße 30, 76133 Karlsruhe
E-Mail: sebastian.beiner@h-ka.de

Lernen robotischer Manipulationsstrategien für die Produktion der Zukunft

Christian Friedrich, Constantin Schempp, Patrick Frank, Eric Hirsch, Fabian Harlacher

DE Stetig wachsende Produktvarianten und -komplexität sowie der zunehmende Fachkräftemangel bei gleichzeitig hohen Lohnkosten stellen Produktionsunternehmen in Industrieländern vor immer größere Herausforderungen. Während in der letzten Dekade insbesondere klassische Automationslösungen und der Einsatz von Robotik die Produktionskapazitäten steigern konnten, stoßen diese inzwischen aufgrund der fehlenden Flexibilität und Wandelbarkeit an ihre Grenzen. Um diese Hemmnisse in der Robotik zu überwinden, arbeiten wir gemeinsam mit Partnern aus Industrie und Forschung an Methoden, die es Robotersystemen erlauben, sich flexibel an neue Aufgaben im produktionstechnischen Umfeld anzupassen.

EN More and more product variations as well as the increasing shortage of skilled workers combined with high labor costs are the biggest challenges for manufacturing companies today. Although classic robotic and automation solutions have increased production capacities in the last decade, due to a lack of flexibility they are reaching their limits. To overcome these obstacles in robotics, we are working together with partners from industry and research on new methods that allow robotic systems to adapt flexibly to new tasks in the field of production.

Die Produktionstechnik erwirtschaftete im Jahr 2023 in Deutschland 24 Prozent des Bruttoinlandsprodukts. ^[1] In Baden-Württemberg ist dieser Zweig der führende Wirtschaftstreiber mit über 30 Prozent Bruttowertschöpfung und sichert somit maßgeblich den vorhandenen Wohlstand und Fortschritt im Land. ^[2] Um den Herausforderungen der industriellen Produktion zu begegnen, müssen sich robotische Systeme, die zur Erzeugung von Produkten eingesetzt werden, flexibel an unterschiedliche Aufgaben anpassen können. Eine händische Programmierung der Ablauf- und Bewegungsprogramme ist für die hohe Variantenvielfalt oftmals nicht mehr ökonomisch umsetzbar. Umso wichtiger ist die Einbringung von Autonomie in die Robotik, die es den Produktionsmitteln ermöglicht, Teilaufgaben selbstständig durchzuführen und sich flexibel an neue Anwendungen anpassen. Besonderer Bedarf an derartigen Technologien besteht im Bereich Montage, insbesondere bei kleineren bis mittleren Losgrößen, da sich hier die klassische Automatisierung der Prozesse nicht rechnet und Fachkräfte oftmals schwierig zu gewinnen sind. Zur Behebung dieses Defizits forschen wir an intelligenten Algorithmen für die Robotik, die Daten aus dem Produktentstehungsprozess und der Umwelt nutzen, um hieraus selbstständig Manipulationsaktionen zu planen und auszuführen.

Automatische Generierung von Roboteraktionen am Beispiel der Montage

Die autonome Montage eines Produkts setzt detaillierte Informationen über die spezifischen Montageschritte und deren korrekte Abfolge voraus. Informationen zu einzelnen Bauteilen und deren Relationen zueinander sind in den zugrundeliegenden CAD-Modellen vorhanden. Mit diesen Daten lässt sich eine Freiheitsgradanalyse durchführen, um die möglichen Montageschritte und -richtungen für jedes Bauteil zu bestimmen. Auf dieser Basis kann ein Graph gebildet werden, der jedes Bauteil und die Relationen der Bauteile zueinander beschreibt. Die Repräsentation der Relationen erfolgt über eine symbolische Beschreibung, wodurch der Suchraum für die Planungsalgorithmen eingegrenzt werden kann. Der Einsatz von Methoden der



Um den Herausforderungen der industriellen Produktion zu begegnen, müssen sich robotische Systeme, die zur Erzeugung von Produkten eingesetzt werden, flexibel an unterschiedliche Aufgaben anpassen können. (Foto: iStock.de/SweetBunFactory)

künstlichen Intelligenz erlaubt hierbei eine besonders effektive Bestimmung von Planungssequenzen. Auf Basis dieser Planungsalgorithmen können Robotersysteme selbstständig ihre nächste Handlungsoption bestimmen. Damit die einzelnen Manipulationen auch fehlertolerant ausführbar sind, müssen diese in Echtzeit überwacht und geregelt werden. Für gewöhnlich wird hier auf visuelle Perzeption mittels Farb- und Tiefendatenkameras, Messung von Kräften und Momenten sowie auf haptische Sensorik gesetzt.

Algorithmen zum Lernen und Regeln von sensorgeführten Manipulationen

Im Produktentstehungsprozess wird eine CAD-Baugruppe des zu produzierenden Produktes entworfen. Dessen Unterbaugruppen bzw. Bauteile müssen in bestimmter Art und Weise zusammengefügt werden (stecken, klemmen, verstiften etc.), wie dies durch den Planungsalgorithmus vorgegeben wird. Zur Ausführung

wird eine Kraftregelung für den verwendeten Montage-roboter benötigt, sodass die Prozesskräfte beim Fügen eingehalten werden können. Traditionell wird die Regelung hierbei von einem Experten einmalig parametrisiert. Bei Montagelinien, bei denen sich das zu montierende Produkt nicht ändert, ist dies ausreichend, aber auch hier mit erheblichen Kosten verbunden. Insbesondere bei hoher Produktvielfalt mit jeweils geringen Stückzahlen ist dieses Vorgehen jedoch unwirtschaftlich und zeitaufwendig. Folglich ist hier eine flexible Parametrierung der Automatisierungslinie zwingend notwendig. Hierfür wurde ein neuartiger Ansatz entwickelt, welcher die Parameter eines Kontaktmodells allein aus den Geometrien und Materialien der zu fügenden Bauteile aus dem CAD-Baugruppenmodell schätzt. ^[3] Erreicht wird dies durch eine hybride Architektur bestehend aus Deep Learning und dynamischem Kontaktmodell, siehe Abbildung 1a. Über das geschätzte Kontaktmodell kann dann die Kraftregelung mit traditionellen Methoden der Reglersynthese automatisiert ausgelegt und zum Fügen genutzt werden, vgl. Abbildung 1b.

Erforscht werden Methoden, die es Robotersystemen erlauben, sich flexibel an neue Aufgaben im produktionstechnischen Umfeld anzupassen.

Damit der Fügeprozess kraftgeregelt durchgeführt werden kann, muss das Bauteil vorher entsprechend ausgerichtet sein. Hierfür entwickeln wir eine Kombination aus Detektionsnetzwerk und Trajektorienplaner, um zum einen verschiedene Objekte verfolgen und zum anderen in der Planung die kinematischen Grenzen des verwendeten Robotersystems ausnutzen zu können. [4] Abbildung 2a zeigt die Übersicht des Verfahrens. Durch die Entkopplung von Richtungsschätzung und Geschwindigkeitsplaner ist eine Übertragung des Verfahrens auf verschiedene Roboter ohne neue Trainingsdaten und Lernen möglich. Durch diesen Ansatz können die Posen der Bauteile erfasst und

der Roboter relativ zu diesen an ein vorgegebenes Ziel Verfahren werden, siehe Abbildung 2b. Durch die gemeinsame Verwendung beider hier aufgeführten Methoden wird eine automatisierte Detektion, Ausrichtung und kraftgeregelte Montage realisiert, ohne dass manuelles Eingreifen notwendig ist.

Intelligente Sensor-Aktor-Systeme für die Kontaktinteraktion

Zur Steigerung der Dynamik in robotischen Montageprozessen wird derzeit ein neuartiges intelligentes Sensor-

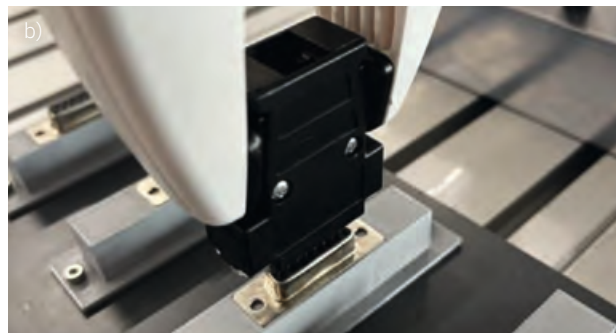
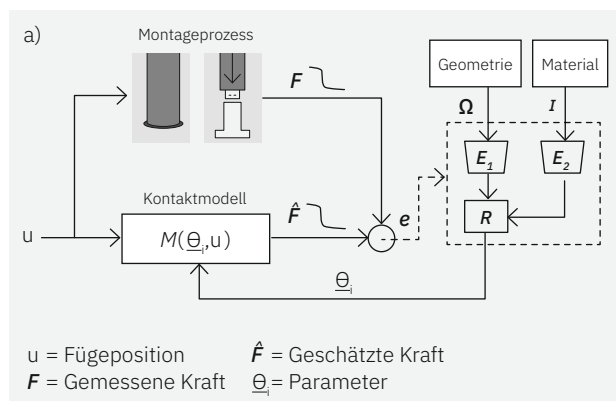


Abb. 1: a) Übersicht des Lernverfahrens zur Schätzung der Kontaktdynamik; b): Roboter beim Fügevorgang eines unbekannten Steckers mit automatisch ausgelegter Kraft-Momenten-Regelung

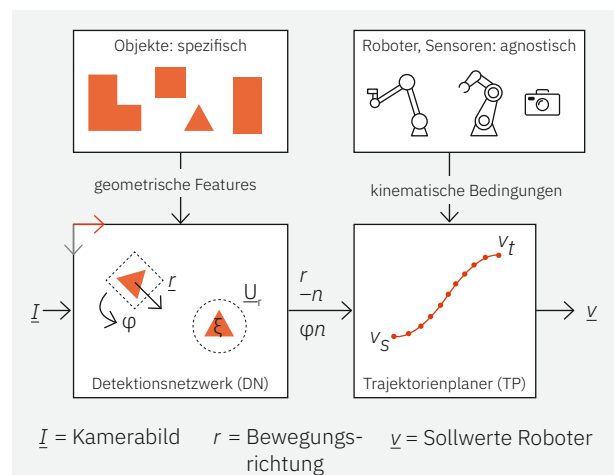


Abb. 2: a) Übersicht des Lernverfahrens zur visuellen Regelung; b): Beispielprozess, der Roboterarm UR5e richtet sich orthogonal in einem Abstand von 25 cm zum Bauteil aus

[1] Destatis, https://www.destatis.de/DE/Themen/Wirtschaft/Volkswirtschaftliche-Gesamtrechnungen-Inlandsprodukt/_inhalt.html, letzter Zugriff: 21.06.2024.

[2] Ministerium für Wirtschaft, Arbeit und Tourismus Baden-Württemberg, <https://wm.baden-wuerttemberg.de/de/wirtschaft/wirtschaftsstandort/wirtschaftsstruktur>, letzter Zugriff: 21.06.2024.

[3] Schempp, Constantin, and Christian Friedrich. „PIPE: Process Informed Parameter Estimation, a learning based approach to task generalized system identification.“ arXiv preprint arXiv:2405.06991 (2024).

[4] Schempp, Constantin, and Christian Friedrich. „Robot Agnostic Visual Servoing considering kinematic constraints enabled by a decoupled network trajectory planner structure.“ arXiv preprint arXiv:2405.07017 (2024).

Aktor-System (SAS) in Kooperation mit der Hochschule Aalen erforscht. Dieses wird anstelle eines herkömmlichen Kraft-Momenten-Sensors am Flansch des Roboterarms montiert. Das SAS besteht aus einer beweglichen Platte, die über eine Feder mit einem starren Gehäuse verbunden ist, siehe Abbildung 3a. Diese Feder wird über einen Motor zusammengedrückt bzw. auseinandergezogen, um die Nachgiebigkeit des SAS einzustellen. Somit kann über das SAS die einwirkende Kraft sowohl gemessen als auch direkt geregelt werden. Aufgrund der deutlich geringeren zu bewegenden Masse im Vergleich zu einer klassischen Kraftregelung, bei der die Trägheit der gesamten Roboterkinematik

geregelt werden muss, können zeitlich viel kürzere Prozesszyklen erzielt werden. Die Ausweichbewegung bei Überschreitung der Sollkraft ist in Abbildung 3b dargestellt. Dieses System ermöglicht einen wirtschaftlicheren Einsatz einer Kraftregelung in kontaktbehafteten Anwendungen, wie etwa der Montage.

Die Kombination der einzelnen erforschten Verfahren kann zukünftig einen entscheidenden Beitrag in der robotischen Manipulation, speziell im industriellen Umfeld, bieten und so die Wettbewerbsfähigkeit produzierender Unternehmen erhöhen.

Ein Dank für die Unterstützung dieser Forschungsarbeiten geht an das BMBF, die Carl-Zeiss-Stiftung und die Baden-Württemberg Stiftung, die diese finanziell fördert. ✖

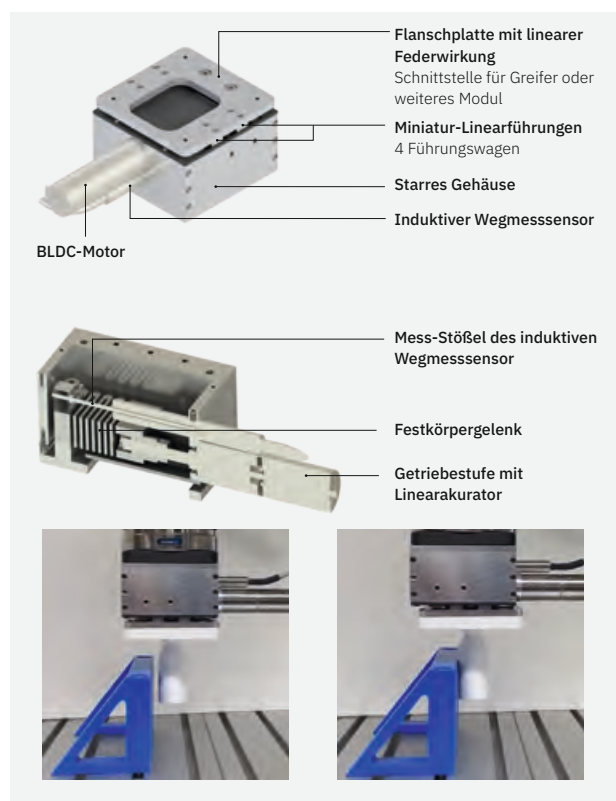


Abb. 3: a) Darstellung der Komponenten; b) Kontakt mit Hindernis und Ausweichbewegung des Sensor-Aktor-Systems

Autoren

Prof. Dr.-Ing. Christian Friedrich
Professor für Künstliche Intelligenz in der Produktion
an der Fakultät für Maschinenbau und Mechatronik

Constantin Schempp, M.Sc.
Akademischer Mitarbeiter am Institut für
Angewandte Forschung der HKA

Patrick Frank, M.Sc.
Akademischer Mitarbeiter am Institut für
Angewandte Forschung der HKA

Eric Hirsch, M.Sc.
Akademischer Mitarbeiter am Institut für
Angewandte Forschung der HKA

Fabian Harlacher, M.Sc.
Akademischer Mitarbeiter am Institut für
Angewandte Forschung der HKA

Kontakt

Prof. Dr.-Ing. Christian Friedrich
HKA – Hochschule Karlsruhe
Fakultät für Maschinenbau und Mechatronik
Moltkestraße 30, 76133 Karlsruhe
E-Mail: christian.friedrich@h-ka.de

Nachhaltige Agrarwirtschaft in Ostafrika

Talha Atiye, Duc Dinh Ngoc, Sneha De, Ulrich Hellriegel, Jan Hoinkis

DE Die Agrarökologie gewinnt an Dynamik aufgrund ihrer potenziellen Vorteile für die Ernährungssicherheit, die Umwelt und das Klima. Integrierte Systeme aus Fischzucht (Aquakultur) und Landwirtschaft sind vielversprechende Praktiken für den agrarökologischen Wandel, stehen jedoch vor Herausforderungen wie dem Mangel an geeigneter Infrastruktur und Know-how. Das HORIZON Europe-Projekt PrAEctiCe greift diese Probleme auf, indem es drei verschiedene Reallabore (Living Labs) in Ostafrika einrichtet. Durch die Bereitstellung konkreter Demonstrationen und die Förderung des Wissensaustausches liefern sie wichtige Daten für die laufende Entwicklung eines agrarökologisch angepassten Indikatorrahmens für die Aquakultur und Entscheidungshilfetools für Kleinbauern. Damit wird ein vielversprechender agrarökologischer Weg für die afrikanische Landwirtschaft aufgezeigt.

EN Agroecology is on the rise due to its potential benefits for food security, the environment and the climate. Integrated systems for fish farming (aquaculture) and agriculture have the potential to facilitate the agroecological transition, but face challenges including a lack of suitable infrastructure and expertise. The HORIZON Europe project PrAEctiCe is addressing these issues by establishing three different Living Labs in East Africa. By implementing tangible demonstrations and facilitating an exchange of knowledge, they provide crucial data for the continuous development of an agroecologically adapted indicator framework for aquaculture and a decision support tool for smallholder farmers. This demonstrates the potential of an agroecological approach to African agriculture.

Die globalen Lebensmittelsysteme stehen vor zahlreichen Herausforderungen, die die Lebensmittel- und Ernährungssicherheit gefährden können. Die „Farm to Fork“-Strategie, die das Herzstück des europäischen Green Deals bildet und für den Erfolg der UN-Ziele für nachhaltige Entwicklung (SDGs) von entscheidender Bedeutung ist, zielt darauf ab, diese Herausforderungen anzugehen, wobei die nachhaltige Landwirtschaft ein Schlüsselement der Strategie darstellt. Das anhaltend schnelle Bevölkerungswachstum in Afrika übt zusätzlichen Druck auf die Nahrungsmittelsysteme dieses Kontinents aus, wie ein aktueller Bericht der Ernährungs- und Landwirtschaftsorganisation der Vereinten Nationen ^[1] zeigt. In ihm wird die Bedeutung der Agrar- und Ernährungssysteme für die Erreichung des SDG2 – Kein Hunger – betont.

Im Sinne einer nachhaltigen Landwirtschaft wird die Agrarökologie (Agroecology, AE) in Zukunft eine immer wichtigere Rolle spielen. Die AE, ein integrierter Ansatz, der sowohl ökologische, als auch soziale Prinzipien auf die Gestaltung und das Management von Ernährungs- und Agrarsystemen anwendet, wurde von der von der Ernährungs- und Landwirtschaftsorganisation der Vereinten Nationen, FAO, ins Leben gerufen und gewinnt als effektive Antwort auf den Klimawandel und die Herausforderungen der Ernährungssysteme weltweit zunehmend an Interesse bei verschiedenen Institutionen.

Das HORIZON Europe Projekt PrAEctiCe

Um einen Beitrag zur Verbesserung der Ernährungskrise in Afrika zu leisten, startete im Jahr 2022 das internationale EU-Forschungsprojekt „Potentials of Agro-ecological practices in East Africa with a focus on Circular water-energy-nutrient systems“, kurz PrAEctiCe. ^[2] Neben der federführenden HKA (Hochschule Karlsruhe) sind mit dabei: aus Deutschland die Steinbeis 2i GmbH, aus Slowenien die University of Maribor, aus Schweden die University of Gothenburg, aus Uganda die Makerere University, die Uganda Martyrs University, die National

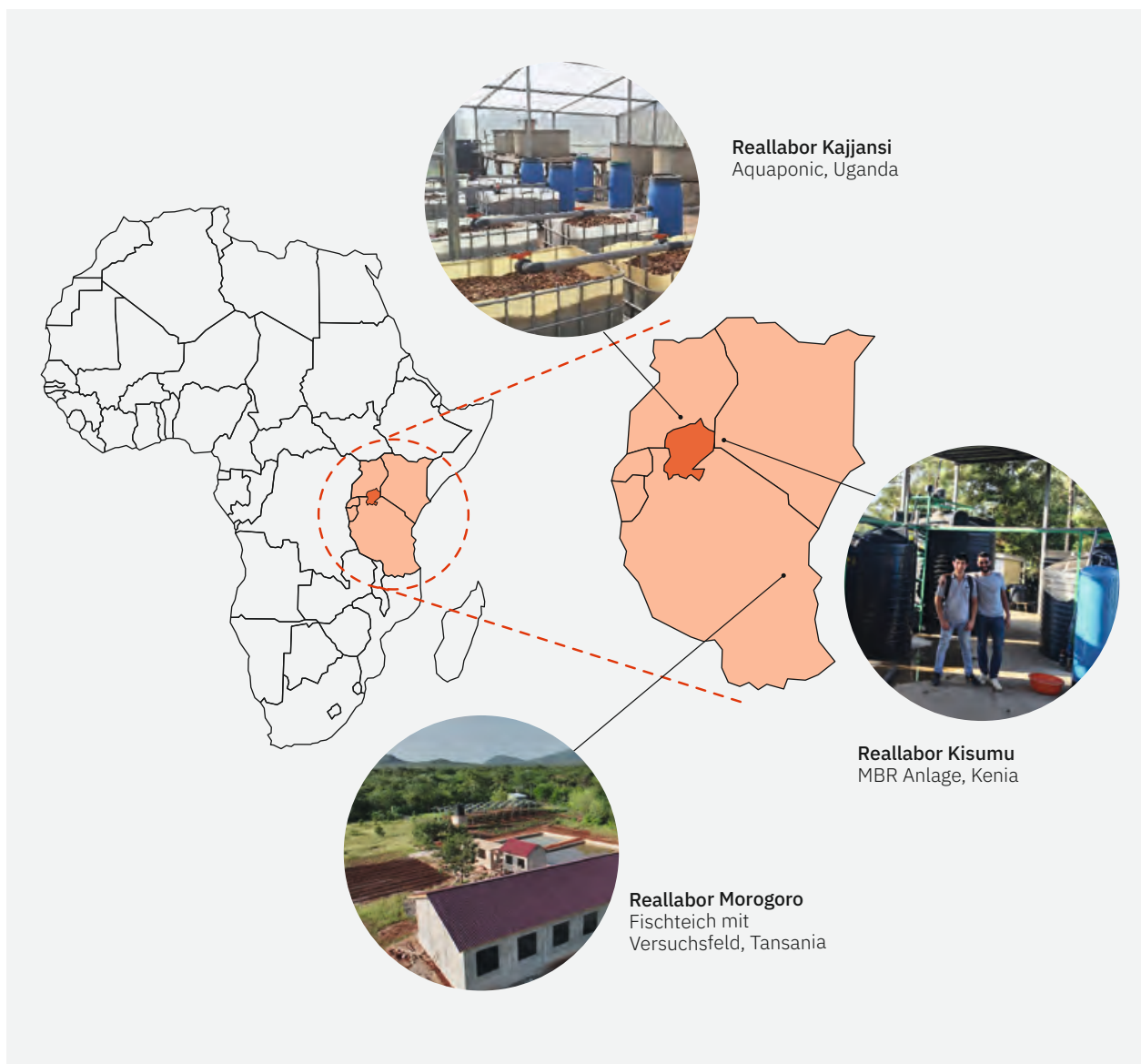


Abb. 1: Lage der PrAEctiCe Reallabore in Ostafrika (Landkarte: iStock.de/PytyCzech); Reallabor Kajjansi Aquaponic, Uganda (Foto: Nasser Kasozi); Reallabor Kisumu MBR Anlage, Kenia mit Duc Dinh Ngoc und Talha Atiye (Foto: Gilbert Omondi); Reallabor Morogoro Fischteich mit Versuchsfeld, Tansania (Foto: Rashid Raswui)

Agricultural Research Organisation, das Regional Universities Forum for Capacity Building in Agriculture und die Alliance for Food Sovereignty in Africa, aus Kenia die Maseno University, das Ministry of Agriculture, Livestock and Fisheries und die Africa Agribusiness Academy, aus Tansania die Organisation Sustainable Agriculture Tanzania, sowie die Unternehmen AquaBio Tech aus Malta, Aquagri aus Portugal und Apodissi aus Nigeria.

Das EU Projekt PrAEctiCe befasst sich mit der Erforschung der Potenziale von AE-Praktiken in Ostafrika, wobei der Schwerpunkt auf zirkulären Wasser-Energie-Nährstoff-Systemen liegt. Hierbei stehen insbesondere integrierte Systeme aus Fischzucht (Aquakultur) und Landwirtschaft (Integrated Aquaculture Agriculture, IAA) im Fokus. Die Integration der Aquakultur und Pflanzenproduktion in gemischten Anbausystemen ist aufgrund ihrer zahlreichen ökologischen und landwirtschaftlichen Mehrwerte ein Schlüssel für nachhaltige landwirtschaftliche Produktionssysteme. Das Projekt stellt die Bedürfnisse ostafrikanischer Kleinbauern in den Mittelpunkt und zielt darauf ab, die Auswirkungen

agrärökologischer Praktiken zu quantifizieren und nachzuweisen, dass sie nicht nur ökologische und soziale Vorteile mit sich bringen, sondern auch die finanzielle Rentabilität der Betriebe gewährleisten. IAA-Systeme sind in Afrika südlich der Sahara relativ neu. In dieser Region hat IAA jedoch das Potenzial, sich zu einer Schlüsseltechnologie zu entwickeln, die die Landwirtschaft verändern und die Ernährungssicherheit vor dem Hintergrund des Klimawandels verbessern kann. Zu den Herausforderungen bei der Umsetzung von IAA-Projekten in Ostafrika gehören der Mangel an Elektrizität in vielen ländlichen Gebieten, die Kosten und der Zugang zu Fischfutter sowie die hohen Kosten für die Einrichtung der Infrastruktur, die viele Landwirte davon abhalten IAA einzuführen. PrAEctiCe entwickelt neue agrärökologische Indikatoren als systematischen Ansatz für die Überwachung und Steuerung der Transformation und Leistung agrärökologischer Systeme, um Kleinbauern in Ostafrika bei der agrärökologischen Umstellung zu unterstützen. Ein Indikatorenrahmen für die Agrarökologie ist eines der Ziele des Projekts.



Abb. 4b: PrAEctiCe Fischteich Reallabor 3 mit Versuchsfeld in Morogoro (Foto: Rashid Raswui)

Aufbau und Pilotierung von drei Reallaboren in Ostafrika

Die neu entwickelten Indikatoren werden an drei Standorten in Kenia, Uganda und Tansania (Abb.1) im Rahmen von Reallaboren (engl.: living-labs) als solar unterstützte zirkuläre Wasser-Energie-Nährstoff-Systeme getestet und weiterentwickelt.

Reallabor Kajjansi in Uganda

Im Reallabor in Kajjansi, Uganda wird die Kombination von Aquakultur und Hydroponik, Aquaponik genannt, von der National Agricultural Research Organisation untersucht. Dabei wird das nährstoffreiche Ablaufwasser der Fischtanks zur Aufzucht von landwirtschaftlichen Nutzpflanzen verwendet und durch entsprechende Sensorik (gelöster Sauerstoff etc.) überwacht (Abb.3). Dabei werden zwei verschiedene Varianten aufgebaut und getestet. Zum einen die sogenannte Deep Water Culture (DWC), bei der die Pflanzen auf der Oberfläche eines Beckens platziert werden und die Wurzeln in der Nährlösung hängen. DWC ist eine in der Aquaponik weit verbreitete Methode, da sie einfach umzusetzen ist und gute Ergebnisse liefert. Zum anderen die sogenannte Nutrient Film Technique (NFT), bei der der nährstoffreiche Ablauf aus den Fischtanks in einem dünnen Film über die Wurzeln der Pflanzen in einem Rohrsystem fließt und so eine effiziente Versorgung der Pflanzen mit Wasser und Nährstoffen ermöglicht.

Reallabor Kisumu in Kenia

Im Reallabor am Standort in Kisumu in Kenia wurde eine bestehende Pilotanlage zur nachhaltigen Aufzucht von Jungfischen (Aquakultursystem mit geschlossenem Kreis-

lauf) entsprechend erweitert. Diese wurde im Rahmen eines früheren EU-Projekts VicInAqua ^[3] unter Federführung der HKA aufgebaut und dient als Demonstrationsanlage zur Aufzucht von Jungfischen für den lokalen Markt. ^[4] Im Rahmen von PrAEctiCe wurde diese Anlage nun erweitert. Für die Fischzucht und die Bewässerung wurde die Behandlung von kommunalem Abwasser durch einen größeren Membranbioreaktor (MBR) auf eine Kapazität von bis zu 20 m³ pro Tag erweitert (Abb. 2). Der Vorteil der MBR Technologie, bei der das Abwasser durch Ultrafiltrationsmembranen gereinigt wird, liegt in der hohen Wasserqualität bei geringem Platzbedarf im Vergleich zu konventionellen Anlagen mit Sedimentations- und Flotationsbecken.

Zusätzlich wurden Becken für die Aufzucht von großen Fischen gebaut und mit entsprechender Online Sensorik ausgestattet (gelöster Sauerstoff, pH etc.). Das nährstoffreiche (Stickstoff, Phosphor) Wasser aus den Fischzuchtbecken wird zur Bewässerung verschiedener Gemüsekulturen verwendet, wobei die Bewässerung durch Bodensensoren und eine Wetterstation überwacht wird. Als Futter für die Fischzucht wurde von der Maseno University eine Zuchtstation für Larven der Schwarzen Soldatenfliege (*Hermetia illucens*) eingerichtet. Die Larven werden wegen ihres hohen Protein- und Fettgehalts schon seit langer Zeit als Futterinsekten in der Nutztierhaltung im Bereich der Aquakultur eingesetzt. Sie ernähren sich von verschiedenen organischen Abfällen, sind daher kostengünstig in der Produktion und leisten einen Beitrag zur Abfallverwertung.

Reallabor Morogoro in Tansania

Im Reallabor in Morogoro, Tansania wird die Geflügelhaltung mit der Fischzucht in Teichen kombiniert (Abb. 4a, b). Dabei werden die Exkremente aus der Geflügelzucht als

Nährstoffe für die Fischzucht verwendet. Diese unterstützen das Wachstum von Plankton und anderen Mikroorganismen, die den Fischen als Nahrung dienen. Die Integration von Aquakultur und Geflügel führt zu einer effizienteren Ressourcennutzung als bei reiner Aquakultur, da Kosten für Fischfutter eingespart werden können. Der Nährstoffgehalt in den Fischzuchtteichen wird durch Sensoren überwacht (gelöster Sauerstoff etc.) und das nährstoffreiche Wasser aus den Teichen wird zur Bewässerung von Feldern verwendet. Auch dies wird durch Bodensensoren sowie durch Satelliten überwacht. Dadurch wird die Umwelt entlastet, da die Nährstoffe für die Lebensmittelproduktion genutzt werden und nicht in die Umwelt gelangen. Für die Bauern ergibt sich ein zusätzliches Einkommen.

Bereitstellung von Entscheidungshilfetools

Auf Basis der agrarökologischen Indikatoren aus den drei Reallaboren wird PrAEctiCe dann Entscheidungshilfetools (Decision Support Tool, DST) entwickeln, die Landwirte bei der agrarökologischen Transformation unterstützen. Ein verbesserter Entscheidungsfindungsprozess wird lokale Gemeinschaften in die Lage versetzen, Bedrohungen wie Klimawandel, Ernährungsunsicherheit und Biodiversitätsverlust zu begegnen. Das langfristige Ziel von PrAEctiCe ist es, durch die Kombination von traditionellem landwirtschaftlichem Wissen mit modernen digitalen Werkzeugen attraktive landwirtschaftliche Geschäftsmöglichkeiten im Bereich

der Agrarökologie für die junge Generation in Ostafrika zu schaffen. Hierbei werden drei Anwendungen zur Verfügung gestellt (Abb.5). Die mobile App für Farmer ermöglicht den direkten Zugriff auf aktuelle Wetterdaten, Boden- und Wasseranalysen und maßgeschneiderte Anbau- sowie Bewässerungsempfehlungen, was die Entscheidungsfindung vor Ort erheblich erleichtert und zu einer optimierten ökologischen Agrarwirtschaft beiträgt. Die Desktop-Anwendung für Berater bietet umfangreiche Analysemöglichkeiten und hilft dabei, komplexe landwirtschaftliche Daten zu interpretieren und maßgeschneiderte Beratungsdienste für einzelne Betriebe zu entwickeln. Die Backend-Version für Datenspezialisten umfasst fortschrittliche Werkzeuge zur Datenaggregation, -analyse und -visualisierung. Sie ermöglicht die Verarbeitung großer Datenmengen aus verschiedenen Quellen, um Muster zu erkennen und vereinfachte Handlungsoptionen aufzuzeigen. ✕

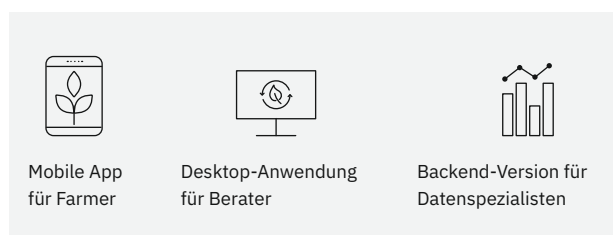


Abb. 5: Entscheidungshilfetools für die agrarökologische Transformation

Autoren

Talha Atiye M.Sc.

Akademischer Mitarbeiter am Institut IKKU der HKA

Duc Dinh Ngoc M.Sc.

Akademischer Mitarbeiter am Institut IKKU der HKA

Dr. Sneha De, M.Sc.

Akademische Mitarbeiterin am Institut IKKU der HKA

Dr. Ulrich Hellriegel, M.Sc.

Akademischer Mitarbeiter am Institut IKKU der HKA

Prof. Dr.-Ing. Jan Hoinkis

Projektleiter des Projekts, Professor für Umwelttechnik an der Fakultät Elektro- und Informationstechnik
Institut für Kälte-Klima und Umwelttechnik

Kontakt

Prof. Dr.-Ing. Jan Hoinkis
HKA – Hochschule Karlsruhe
Fakultät Elektro- und Informationstechnik
Moltkestraße 30, 76133 Karlsruhe
E-Mail: jan.hoinkis@h-ka.de

H2iPort KA Mod – Modellierung einer Wasserstoffinfrastruktur für Karlsruhe

Melanie Ruschke, Daniel Bull, Marco Braun, Karsten Pinkwart

DE Die Transformation unserer Gesellschaft hin zu mehr Nachhaltigkeit vor allem in den Sektoren Industrie, Energie/ Wärme und Mobilität gelingt nur mit dem Verzicht auf fossile Energieträger, die durch grünen Wasserstoff ersetzt werden müssen. Neben der Verfügbarkeit dieses nachhaltigen Energieträgers ist eine umfassende Wasserstoffinfrastruktur der Schlüssel für dessen zukünftigen Einsatz. Aktuell ist diese Infrastruktur kaum vorhanden und muss erst aufgebaut bzw. umgewidmet werden. Hohe Investitionskosten, Unsicherheiten, wie etwa schwankende Wasserstoffbedarfe stellen hierbei wesentliche Herausforderungen dar. Diese Unsicherheiten bedingen den Aufbau lokaler Wasserstoff-Hubs, an denen grüner Wasserstoff vor Ort produziert, gespeichert und verteilt werden kann. Ein idealer Standort für so einen Hub ist der Rheinhafen Karlsruhe, weshalb die Hochschule Karlsruhe ein Optimierungsmodell zur Unterstützung von Investitionsentscheidungen im Rahmen eines öffentlich geförderten Projektes erstellte.

EN The transition of society towards greater sustainability, particularly in the industrial, energy/heating and mobility sectors, can only succeed if we replace fossil fuels with green hydrogen. In addition to the availability of this sustainable energy source, a comprehensive hydrogen infrastructure is the key to its future use. Currently, this infrastructure is barely in place and must first be built or rebuilt. High investment costs and uncertainties, such as fluctuations in hydrogen demand, are major obstacles. These circumstances demand the establishment of local hydrogen hubs where green hydrogen can be produced, stored and distributed locally. The Rhine port of Karlsruhe is an ideal location for such a hub, which is why the University of Applied Sciences Karlsruhe developed an optimization model to support investment decisions as part of a publicly funded project.

Grüner Wasserstoff wird im Rahmen der Defossilisierung unserer Gesellschaft als Energieträger der Zukunft gehandelt. Dies hat die Bundesregierung in ihrer erstmals ressortübergreifenden nationalen Wasserstoffstrategie im Jahr 2020 veröffentlicht und damit die zentrale Rolle dieses nachhaltigen Energieträgers in der Energiewende hervorgehoben. Dabei soll Wasserstoff maßgeblich zum vollständigen Verzicht auf die fossilen Energieträger in den Sektoren Industrie, Energie/Wärme und Mobilität beitragen. Eine Voraussetzung für die breite Verfügbarkeit von Wasserstoff ist der Aufbau einer umfangreichen Wasserstoffinfrastruktur. Dieser erfordert jedoch hohe Investitionen und unterliegt verschiedenen Unsicherheiten wie z. B. der Abschätzung des zukünftigen Wasserstoffbedarfs und dessen zeitlicher Verfügbarkeit. Ein Projekt, das die Investitionsentscheidungen unterstützt, ist das vom baden-württembergischen Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft geförderte Forschungsprojekt „H2iPort KA Mod“. Dessen Ziel ist die Modellierung und Entwicklung eines Wasserstoff-Hubs im Rheinhafen Karlsruhe, solange ein Anschluss an das Wasserstoffkernnetz noch nicht vorhanden ist. Dazu wurde ein allgemeines Mehrjahresoptimierungsmodell erstellt, welches die komplexen technischen Komponenten der Wasserstoffinfrastruktur aufeinander anpasst, so dass auf Basis der Ergebnisse Investitionsentscheidungen getroffen werden können. Das Forschungsprojekt wird von einem Konsortium durchgeführt, welchem die IAVF Antriebstechnik GmbH, das Fraunhofer-Institut für Chemische Technologie, die Hochschule Karlsruhe, die KVVH Karlsruher Versorgungs-, Verkehrs- und Hafen GmbH und die TechnologieRegion Karlsruhe GmbH angehören. Ergänzt wird dieses Konsortium durch weitere assoziierte Partner wie z. B. EnBW AG, Siemens Energy, aber auch den Stadtwerken Karlsruhe. Die Hochschule Karlsruhe übernimmt im Konsortium die Aufgabe der Modellierung mit der Zielsetzung eine kostenoptimale Wasserstoffinfrastruktur mit CO₂-Reduzierung zu erarbeiten und wertet die Ergebnisse der Projektpartner aus.



Der Rheinhafen Karlsruhe ist ein idealer Standort für ein Wasserstoff-Hub, an dem grüner Wasserstoff vor Ort produziert, gespeichert und verteilt werden könnte. (Foto: TMC-Fotografie Tim Carmele)

Superstruktur des Optimierungsmodell

Das Optimierungsmodell bildet die relevanten Versorgungs-, Energiewandlungs-, Speicher- sowie Verteilstrukturen ab und beschreibt das dynamische Verhalten derselben. Abbildung 1 zeigt die übergeordnete Struktur des Ansatzes. Eine Druckwasserstoffversorgung kann entweder über eine Pipeline oder durch die Anlandung per Schiff erfolgen. Darüber hinaus kann Wasserstoff auch in Form von Ammoniak per Schiff angelandet werden. Die lokale Wasserstoffversorgung und -speicherung wird durch die vor Ort Erzeugung mittels Elektrolyse, die Synthese von Ammoniak nach dem Haber-Bosch-Verfahren und einer Rückgewinnung mittels Ammoniak-Cracker unterstützt.

Für die Produktion von grünem Wasserstoff müssen die Wandlungskomponenten mit Strom aus erneuerbaren Energien betrieben werden. Hierfür werden eine lokale Stromerzeugung durch PV-Anlagen in der Region Karlsruhe und auf dem Gelände des Rheinhafens sowie lokale Windkraftanlagen in der Region Karlsruhe berücksichtigt. Zudem besteht die Möglichkeit, Strom über sogenannte grüne Power-Purchase-Agreements (PPAs) zu beziehen. Dies sind langfristige Stromlieferverträge aus erneuerbaren Energien. Im Modell wurden hierfür drei verschiedene Arten von PPAs modelliert: Onshore-PPAs, Offshore-PPAs und PV-PPAs. Zusätzlich kann überschüssiger Strom in einen Batteriespeicher zwischengespeichert oder in das Strom-

netz eingespeist werden. Die Abwärme des Elektrolyseurs lässt sich mithilfe einer Wärmepumpe auf das Temperaturniveau des Fernwärmenetzes der Stadt Karlsruhe erhöhen, um dort Wärme einzuspeisen. Alternativ kann die Abwärme auch in einem Wärmespeicher zwischengespeichert oder direkt an den Rhein oder die Umgebungsluft abgeführt werden. Letztendlich wird der nachgefragte Wasserstoff per Lkw zu den Abnehmern transportiert. Spezifische einzelne unternehmerische Fragen werden separat betrachtet, um direkt deren Möglichkeiten wie zum Beispiel eines direkten Pipeline-Anschlusses oder dem vor Ort Aufbau eines Elektrolyseurs und eines Wasserstoffspeichers zu betrachten.

Alle Komponenten wurden unter Einbeziehung von technischen und wirtschaftlichen Daten der Projektteilnehmer parametrisiert. Dies erlaubt die Erstellung eines realitätsnahen Modells für den Rheinhafen Karlsruhe. Die Optimierung wird für die Jahre 2027, 2030, 2035, 2040 und 2045 durchgeführt, um die Änderungen in der Infrastruktur berücksichtigen zu können. Das Ergebnis der Optimierung ist die kostenoptimale Wasserstoffinfrastruktur und das Betriebsverhalten dieser sowie die Kosten des Wasserstoffes unter den gegebenen Rahmenbedingungen. Zusätzlich sind über 30 verschiedene Szenarien erstellt und analysiert worden, um Unsicherheiten zu berücksichtigen und die Resilienz des Modells zu untersuchen. Die betrachteten Szenarien lassen sich in die drei Kategorien Preis-, Infrastruktur- und Bedarfsszenarien unterteilen. Beispielhafte Szenarien umfassen die Veränderung der PPA-Preise, der Wasserstoffbedarfe oder eine Verzögerung des Pipelineanschlusses.

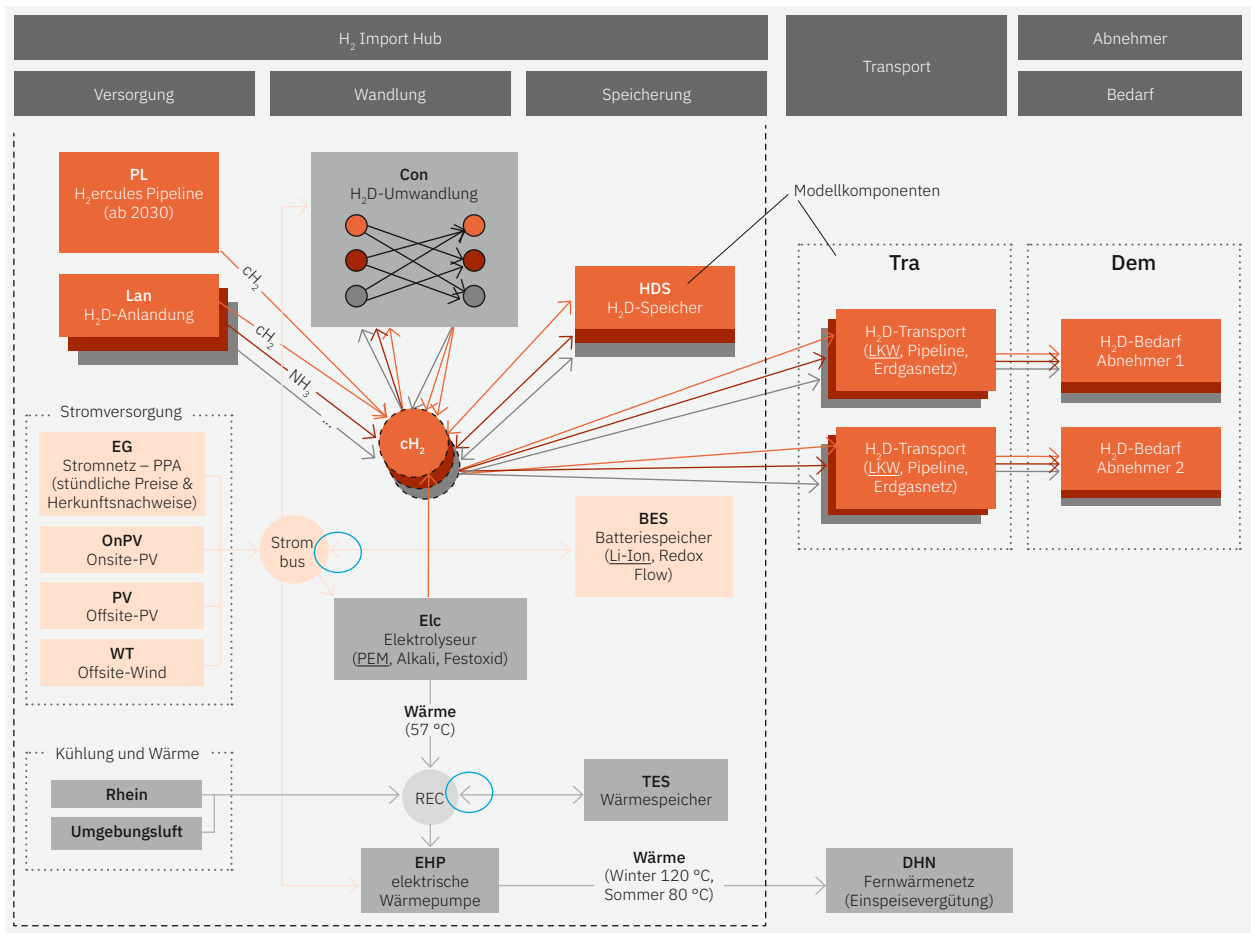


Abb. 1: Superstruktur des Optimierungsmodells

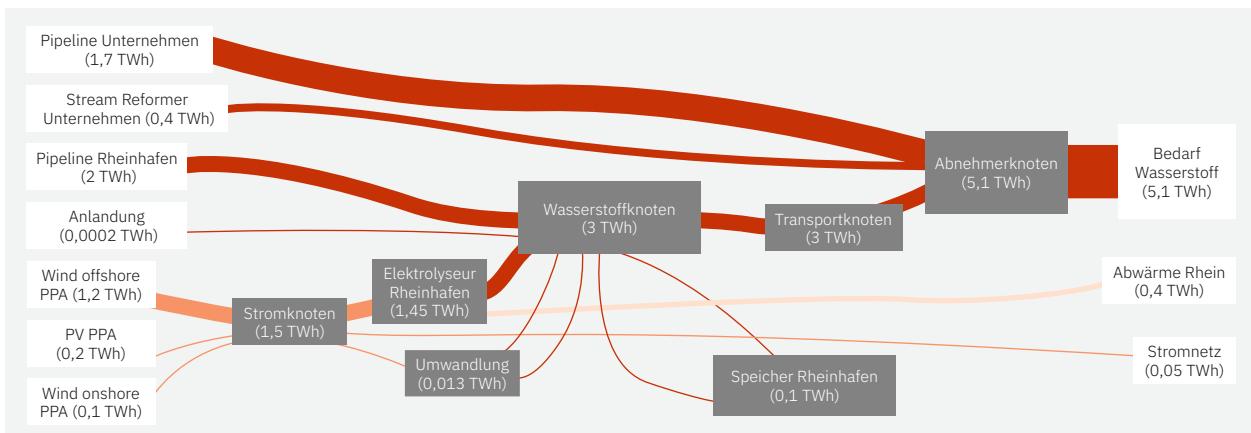


Abb.2: Energieflüsse 2027-2045 Referenzszenario

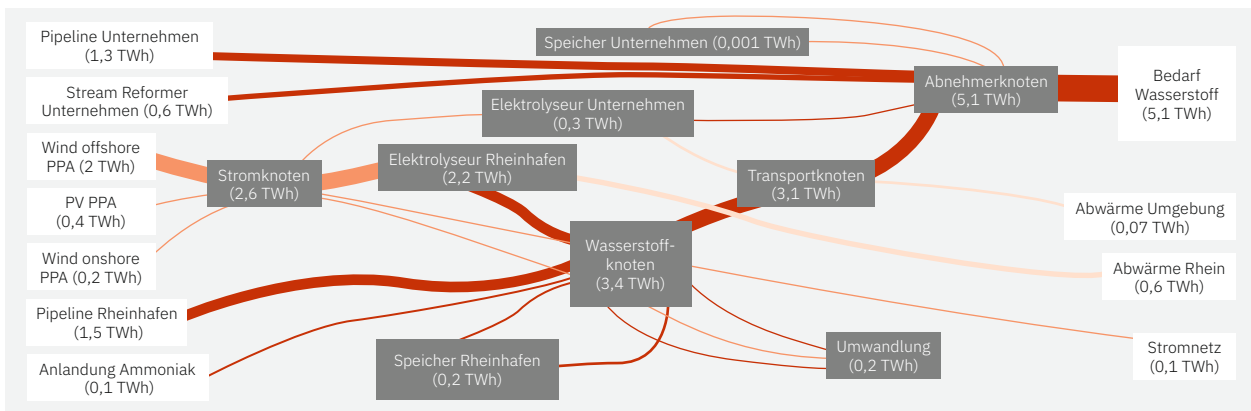


Abb. 3: Energieflüsse 2027-2045 Referenzszenario Pipeline 2035

„Die Modellierung einer geplanten Wasserstoffinfrastruktur bietet finanzielle Sicherheiten.“

Prof. Dr. Karsten Pinkwart

Ergebnis des Referenzszenarios

Ein Ziel des Projektes war es, ein Referenzszenario für eine resiliente Wasserstoffinfrastruktur zu erhalten, welche nur wenig auf äußere Einflüsse wie Preisschwankungen oder Verfügbarkeiten von Komponenten reagiert. Diese sollte zudem einfach erweiterbar sein, um zukünftige Investitionen bei einem stärker als erwarteten Bedarfsanstieg an Wasserstoff einfach zu gestalten. Die Struktur des Referenzszenarios umfasst dabei unter anderem eine im Jahr 2030 zu erwartende Pipeline zum Rheinhafen. Sobald die Pipeline im Jahr 2030 in Betrieb geht, erfolgt die Hauptversorgung mit Wasserstoff über diese. Im Stützjahr 2027, wenn die Pipeline noch nicht zur Verfügung steht, wird ein Elektrolyseur benötigt, um den Wasserstoffbedarf bereitzustellen. Der Strom für dessen Betrieb wird über PPAs bezogen, da sich lokale überschüssige Kapazitäten an erneuerbaren Energien in direkter Umgebung der Stadt Karlsruhe als unwahrscheinlich herausgestellt haben. Ein Mix aus Onshore-PPAs, Offshore-PPA und PV-PPAs stellt die optimale Lösung dar. Zudem wird Wasserstoff in Form von Druckwasserstoff und als Ammoniakderivat in Speichern vorgehalten. Diese Zwischenspeicherung ergibt sich aus dem fluktuierenden saisonalen Energieangebot aber auch aus dem kontinuierlichen Bedarf. Dies ist insbesondere dann wichtig, wenn ein Pipeline-Anschluss noch nicht verfügbar ist. Obwohl eine Anlandung von Ammoniak theoretisch rentabel ist, sind die Mengen zu gering, um realistisch betrachtet zu werden. Darüber hinaus erweisen sich das Haber-Bosch-Verfahren und das Ammoniak-Cracking im kleinen Maßstab als rentabel, um Wasserstoff auch über längere Zeiträume zwischenspeichern zu können.

Ein weiteres betrachtetes Szenario ist eine Verzögerung der Pipeline um fünf Jahre. Diese Verzögerung führt zu einer Erweiterung der Wasserstoffinfrastruktur bzw. deren Kapazitäten. Infolgedessen erhöhen sich die installierte Leistung der Elektrolyseure und eine Anlandung von Ammoniak wird rentabel. Dies hat gleichfalls zur Folge, dass mit dem des Ammoniak-Cracker höhere Kapazitäten zur Verfügung gestellt werden müssen und damit einhergehend der Wasserstoffspeicher mehr Volumen

aufnehmen muss. Die Energieflüsse über alle Stützjahre von beiden Szenarien sind in Abbildung 2 und 3 dargestellt.

Zusammenfassend kann gesagt werden, dass die Optimierungen eine resiliente Wasserstoffinfrastruktur liefern, welche erweitert und damit auf Veränderungen angepasst werden kann. Sie können zudem genutzt werden, um auch in anderen Regionen bzw. Ausgangssituationen verlässlichere Investitionsentscheidungen zu treffen. Daher finden aktuell vielfältige Gespräche über Investitionen in eine Wasserstoffinfrastruktur statt. Das Modell der Hochschule Karlsruhe hat die Basis geliefert und unterstützt nun intensiv diesen Prozess durch die Berechnung von gewünschten Szenarien. ✕

Autor:innen

Daniel Bull M.Sc.

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

Melanie Ruschke M.Sc.

Akademische Mitarbeiterin am Institut für Kälte-, Klima- und Umwelttechnik der HKA

Prof. Dr.-Ing. Marco Braun

Professor an der Fakultät für Wirtschaftswissenschaften an der HKA
Forschungsgruppe „Energiesystemanalyse & Nachhaltige Finanzierung“ am Institut für Kälte-, Klima- und Umwelttechnik

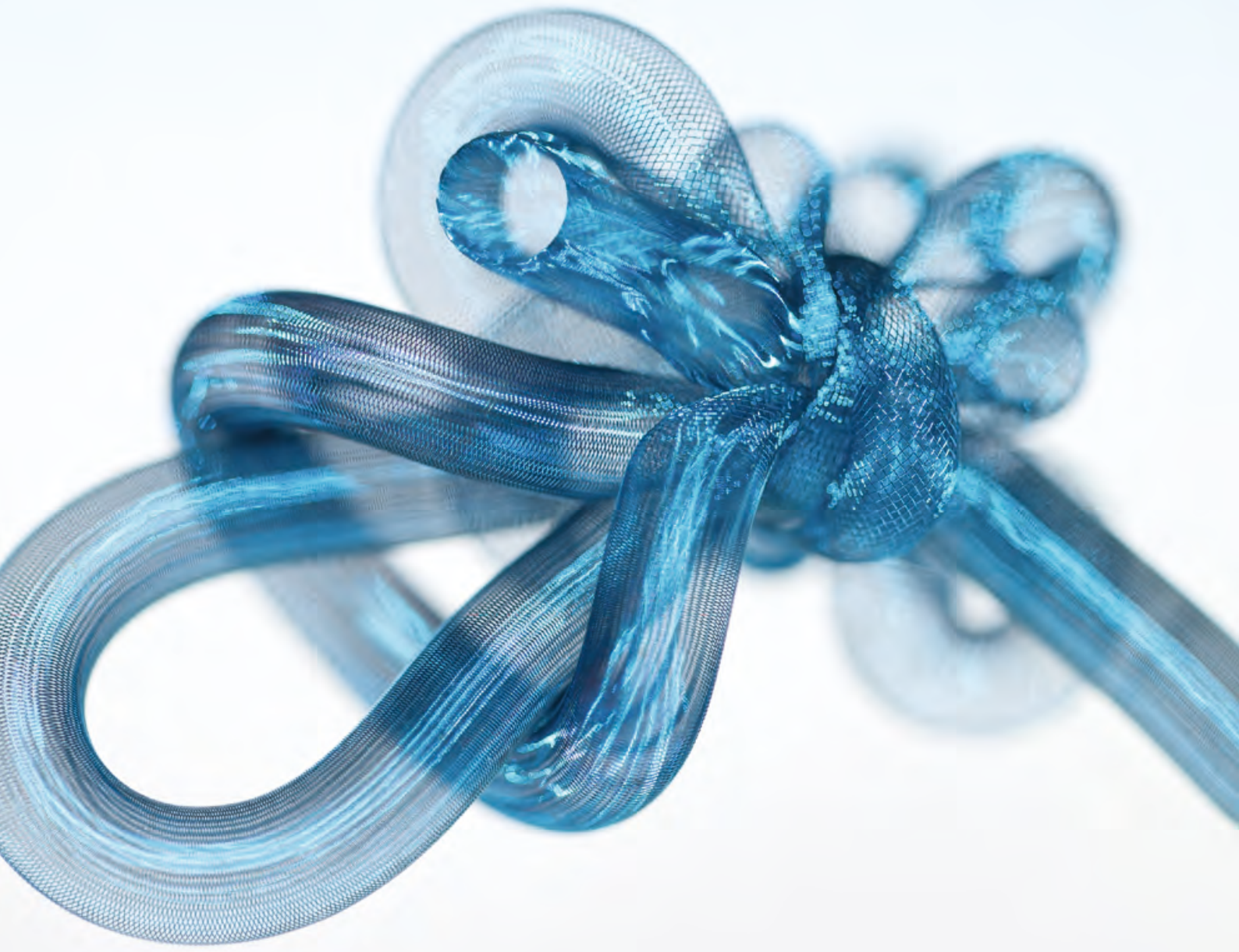
Prof. Dr. rer. nat. Karsten Pinkwart

Professor an der Fakultät für Elektro- und Informationstechnik an der HKA

Kontakt

Prof. Dr.-Ing. Marco Braun
HKA – Hochschule Karlsruhe
Fakultät für Wirtschaftswissenschaften
Moltkestraße 30, 76133 Karlsruhe
E-Mail: marco.braun@h-ka.de

Prof. Dr. rer. nat. Karsten Pinkwart
HKA – Hochschule Karlsruhe
Fakultät für Elektro- und Informationstechnik
Moltkestraße 30, 76133 Karlsruhe
E-Mail: karsten.pinkwart@h-ka.de



Material-
forschung

Nitinol (NiTi) – Wundermaterial der Medizintechnik

Marek Fassin, Philipp Hempel, Katrin Schulz

DE Für das optimale Design und die Gestaltung neuer Medizinprodukte sind heutzutage zuverlässige Materialmodelle und geeignete Simulationswerkzeuge unabdingbar. Nitinol ist aufgrund seiner superelastischen Materialeigenschaften heute aus der Medizintechnik, insbesondere für Stents und Herzklappenrahmen, nicht mehr wegzudenken. Daher arbeiten wir an der Entwicklung eines digitalen Materialzwillings des Werkstoffs Nitinol, der das komplexe Materialverhalten zuverlässig und prädiktiv abbildet. Dazu werden u. a. moderne Ansätze zur Lösung der mathematischen Modellbildung (automatische Differenzierung) sowie maschinelle Lernalgorithmen eingesetzt, um ein prädiktives Werkzeug gekoppelt mit der automatisierten Bestimmung von Materialparametern bereitstellen zu können.

EN Nowadays, reliable material models and suitable simulation tools are crucial for the optimal design and layout of new medical devices. Due to its superelastic material properties, Nitinol has become an indispensable part of medical technology, especially for stents and heart valve frames. Therefore we are developing a digital material twin of Nitinol, which reliably and predictively maps its complex material behavior. For this purpose, modern approaches for solving mathematical models (automatic differentiation) and machine learning algorithms are used to provide a predictive tool coupled with automated identification of material parameters.

Wer einen Stent (Gefäßstütze) oder eine künstliche Herzklappe bekommt, weiß, dass dies das Leben rettet. Zwar sind diese lebensrettenden Medizinprodukte (vgl. Abb.1) mittlerweile weit verbreitet, viele der Patient:innen werden sich jedoch noch immer fragen, welches außergewöhnliche Material dafür zum Einsatz kommt. Die Realität – ein minimal-invasives Einschieben dieser Teile über die Leiste bis hin zum Herzen mithilfe eines Katheters – klingt für viele von uns dabei immer noch wie Science Fiction. Damit das überhaupt möglich ist, braucht es ein Material, welches äußerst flexibel und reversibel verformbar ist und gleichzeitig eine hohe Dauerfestigkeit und Biokompatibilität aufweist.

Vor 35 Jahren gelang am Universitätsklinikum Lausanne die erste Implantierung eines Stents. Damals war dies ein bahnbrechender Eingriff. Heute ist dies Routine. Dies zeigt sich am Bedarf an Stents und Herzklappen, der in den letzten zwei Jahrzehnten erheblich gestiegen ist: von 2 auf 6,7 Millionen Stents bzw., 20.000 auf 380.000 künstliche Herzklappen pro Jahr. Dieser Anstieg ist zum einen auf die demographische Veränderung in der alternden Gesellschaft zurückzuführen. Zum anderen haben Fortschritte in der Medizintechnik, insbesondere minimal-invasive Verfahren, die Erfolgsrate und Sicherheit von solchen Eingriffen stark verbessert.

Typischerweise wird beim minimal-invasiven Implantieren der Stent bzw. der Herzklappenrahmen mit den eingenähten künstlichen Herzklappen in einen Katheter „geladen“. Dabei muss der Stent bzw. der Herzklappenrahmen eine Durchmesserreduktion auf bis zu 20 % des Ausgangsdurchmessers erfahren, also beispielsweise von fünf Millimetern auf einen Millimeter Durchmesser. Man nennt dies Crimpen (vgl. Abb. 2). Anschließend wird er über die Leiste durch Arterien bzw. Venen in den Körper eingeführt und an der gewünschten Stelle aus dem Katheter freigelassen. Dort muss er dann wieder – um seine Funktion zu erfüllen – seinen Ausgangsdurchmesser zurückverlangen (vgl. Freilassen in Abb. 2).

Die Herausforderung für selbstexpandierbare Stents/Herzklappen besteht also darin, ein Material zu finden, welches die extrem große reversible Verformung für das Crimpen mitmacht. Zudem muss das Material in der

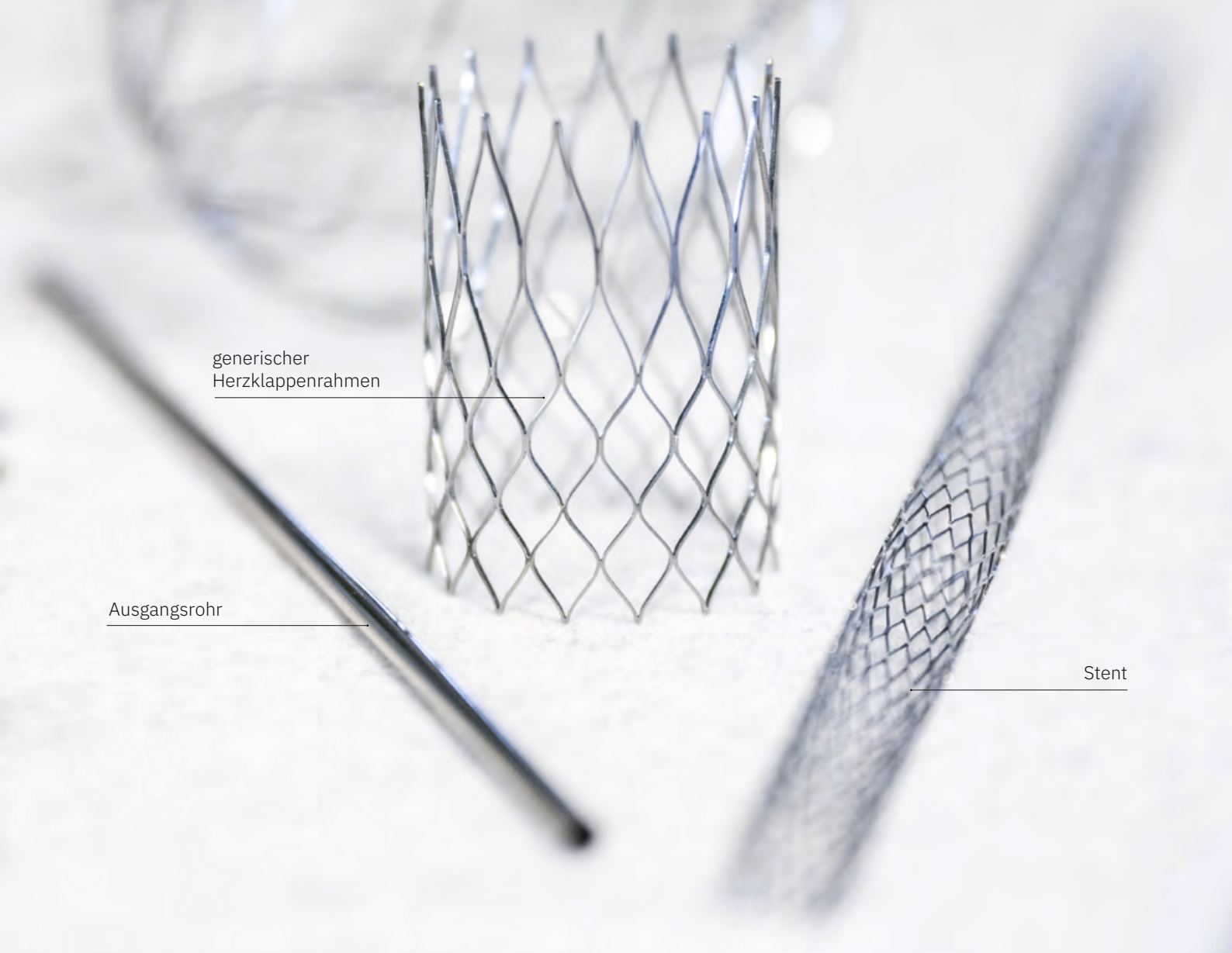


Abb. 1: Medizinprodukte aus Nitinol: Stent, generischer Herzklappenrahmen sowie Ausgangsrohr zur Fertigung der beiden Produkte
(Quelle: Admedes GmbH)

gewählten Geometrie eine ausreichend hohe Belastbarkeit und Lebensdauer besitzen sowie biokompatibel sein, d. h. im direkten Kontakt mit lebendem Gewebe keinen negativen Einfluss auf den Stoffwechsel ausüben. Im Körper implantiert erfährt der Stent bzw. Herzklappenrahmen verschiedene Belastungen, u. a. Quetschbelastungen beim Gehen (vgl. Abb. 2) oder die aus der Herzaktivität resultierende zyklische Belastung. Das Crimpen benötigt ein extrem reversibel verformbares Material, damit selbstexpandierende Stents bzw. Herzklappenrahmen überhaupt minimal-invasiv implantiert werden können. Typische Stähle sind hierfür nicht geeignet, da sich diese lediglich bis zu einer Verformung von ca. 0,1 % elastisch verhalten. Formgedächtnislegierungen lösen dieses Problem, weil sie durch Wechsel ihrer speziellen inneren Kristallstruktur die Fähigkeit haben, nach einer Verformung in ihre vorher definierte Form zurückzukehren und im Vergleich zu Stahl bis zu 100 mal größere reversible Dehnungen mitmachen können (8–10 %). Eine spezielle Formgedächtnislegierung, die obendrein auch noch die anderen beiden Eigenschaften (Biokompatibilität und Belastbarkeit/Lebensdauer) erfüllt, ist Nitinol.

Nitinol (NiTi) ist eine spezielle Nickel-Titanlegierung, die 1959 zufällig bei der Entwicklung eines Raketenhitzeschildes am Naval Ordnance Laboratory (USA) entdeckt wurde. Aus materialwissenschaftlicher Sicht ist NiTi höchst interessant, da es neben dem Effekt der Superelastizität auch den des Formgedächtnisses aufweist. Beide Eigenschaften beruhen auf der Phasentransformation von der sogenannten austenitischen zur martensitischen Phase, welche mit einem Wechsel der Kristallgitterstruktur einhergeht. In der austenitischen Phase ist die Kristallstruktur kubisch-flächenzentriert, in der martensitischen Phase liegt eine monokline Gitterstruktur vor. Der Wechsel zwischen diesen beiden Kristallgitterstrukturen erfolgt entweder spannungsgesteuert, was zur Superelastizität führt, oder temperaturgesteuert, was zum Effekt des Formgedächtnisses führt.

Für das optimale Design und die Auslegung eines Stents bzw. eines Herzklappenrahmens ist heute der Einsatz von Modellierung und geeigneten Simulationswerkzeugen (z. B. FEM) essentiell. Damit schon während des komplexen Herstellungsprozesses (vgl. Abb. 3) sichergestellt werden kann, dass keine Schädigung im Material

Aus materialwissen- schaftlicher Sicht ist Nitinol höchst interessant, da es neben dem Effekt der Superelastizität auch den des Formgedächtnisses aufweist.

entsteht, werden kritische Schritte des Herstellungsprozesses simuliert, wie z. B. das schrittweise Aufdehnen (Formgebung). Zudem ist es von zentraler Bedeutung den Vorgang des Implantierens sowie die Belastung des Stents im Körper (vgl. Abb. 2) zu simulieren. Für all diese Simulationen wird ein zuverlässiger digitaler Zwilling des Werkstoffs Nitinol benötigt, der das komplexe Materialverhalten mit den vorherrschenden mechanischen und thermischen Randbedingungen abbilden kann sowie eine prädiktive Untersuchung aller Anforderungen an das Produkt ermöglicht. Im Rahmen des Projektes an der Hochschule Karlsruhe werden die bisher häufig als einzeln betrachteten grundlegenden Mechanismen des Werkstoffs Nitinol in einem digitalen Zwilling vereint.

Zusammen mit der Admedes GmbH in Pforzheim, weltweit führender Auftragsfertiger von selbstexpandierenden Nitinol-Komponenten für die Medizintechnik, werden un-

terschiedliche ingenieurwissenschaftliche Ansätze mit dem Ziel generalisiert, ein prädiktives Werkzeug bereitzustellen, das eine maximal zuverlässige Auslegung der Produkte ermöglicht. Basierend darauf sollen dann mithilfe von Ansätzen der Lebensdaueranalyse Empfehlungen erarbeitet werden, wie die Langlebigkeit von Stents und Herzklappenrahmen erhöht werden kann. Dazu müssen Mehrskalenansätze berücksichtigt werden, die die mikrostrukturellen Zusammenhänge mit den makroskopischen Werkstoffeigenschaften verknüpfen. Hierbei werden die beiden Hauptmechanismen – Superelastizität und Formgedächtniseffekt – modelliert. Aber auch die Auswirkungen von ungewollten dauerhaften (plastischen) Verformungen und das Ermüdungsverhalten unter der zyklischen Dauerbelastung werden betrachtet.

Die von uns durchgeführte Generalisierung erfolgt indem alle Grundeffekte gleichzeitig abgebildet werden,

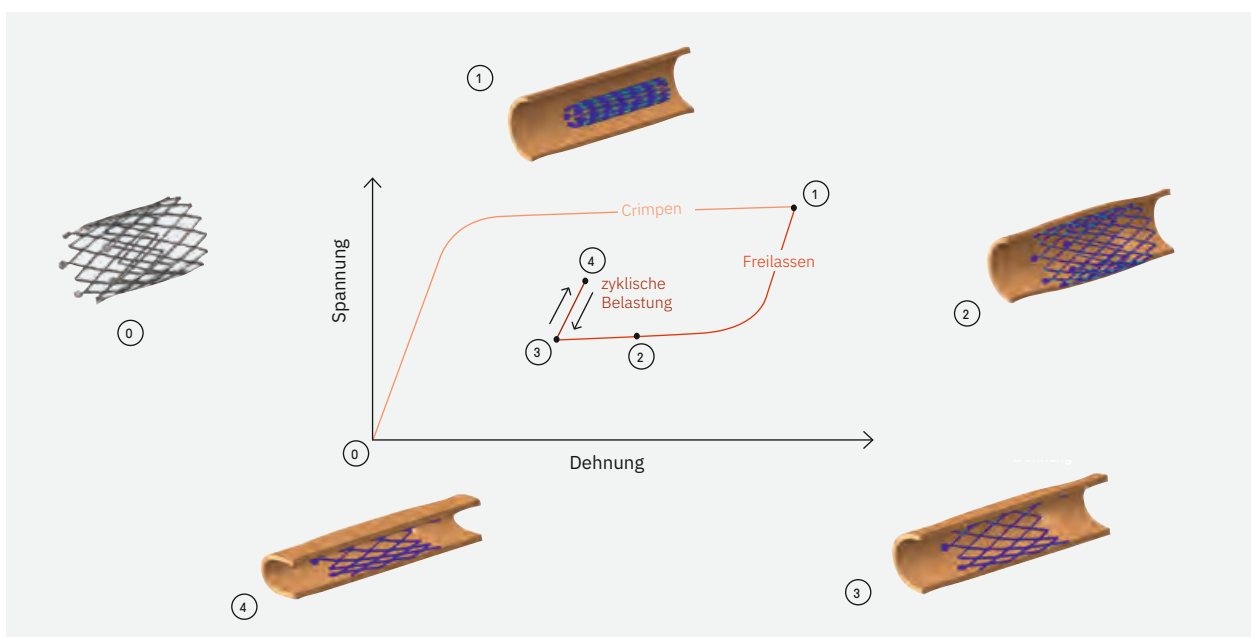


Abb. 2: Lokal ausgewertete Spannungs-Dehnungskurve für einen Stent aus Nitinol: (1) Crimpen, (2) Freilassen und (3) zyklische Belastung während Quetschbelastung auf Arterie. Visualisierung und Berechnung: Marek Fassin und Kevin Koschella (Berechnungsingenieur, Admedes GmbH)

aber auch modular ein- und ausgeschaltet werden können. Unsere Modelle basieren auf thermodynamischen Potenzialen, in die sowohl mikromechanisches als auch ingenieurwissenschaftliches Verständnis einfließt. Die Flexibilität erreichen wir, indem wir moderne Ansätze zur Lösung der mathematischen Modellbildung, wie z. B. die Mathematica Erweiterung AceGen zur automatischen Differenzierung verwenden. Da in dem hoch nichtlinearen Materialmodell für Nitinol komplizierte Ableitungen auftreten, die dann in die numerisch zu lösenden Differentialgleichungen eingehen, können hier geeignete Softwarelösungen Modelländerungen in Sekundenschnelle abbilden. Für diesen Prozess wären sonst üblicherweise mehrere Tage und eine vollständig neue Programmierung nötig.

Um die Brücke zur einfachen Handhabung in der Praxis zu schlagen, hat die effiziente und möglichst automatisierte Materialparameterbestimmung oberste Priorität.

Wir setzen einen maschinellen Lernalgorithmus ein, eine spezielle Kombination aus „feed-forward“ und rekurrenten neuronalen Netzen zur Berücksichtigung von pfadabhängigem Materialverhalten. Dieser Algorithmus findet automatisiert die besten Materialparameter und löst somit ein bisher häufig auftretendes Praxisproblem: die zeitintensive und oft nicht eindeutige Bestimmung von Materialparametern.

Künftig können mit dem digitalen Nitinolzwilling Simulationen zur Entwicklung von neuen Stent- und Herzklappenprodukten durchgeführt werden. Durch den generalisierten Ansatz und die Integration von maschinellen Lernverfahren ist es dem Forscherteam der HKA gemeinsam mit den Berechnungsingenieuren bei Admedes demnächst möglich, auch Änderungen in der Nitinollegierungszusammensetzung sofort in die Modellierung und Simulation mit einfließen zu lassen. ✕

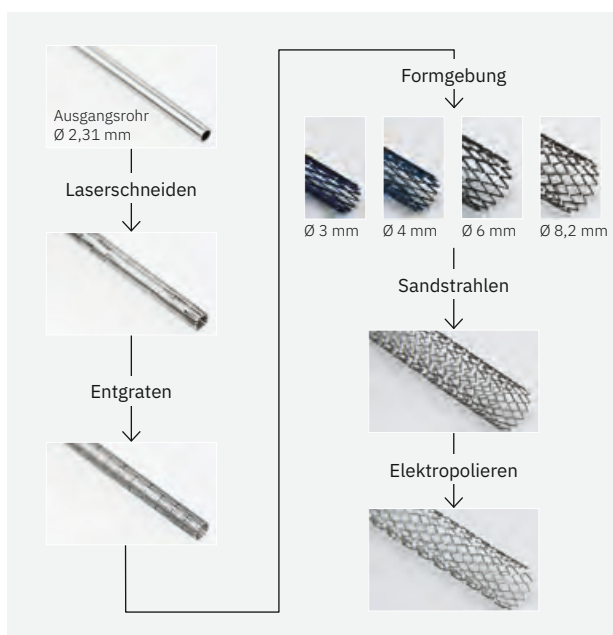


Abb. 3: Herstellungsprozess eines Stents
(Fotos: Admedes GmbH)

Autor:innen

Dr.-Ing. Marek Fassin

Postdoc an der HKA im Rahmen des ALPAKA Projektes
sowie Berechnungs- und Entwicklungsingenieur
bei der ADMEDES GmbH, Pforzheim

Dr.-Ing. Philipp Hempel

Leiter der Abteilung Simulation und Prüfen
bei der ADMEDES GmbH, Pforzheim

Prof. Dr.-Ing. Katrin Schulz

Professorin an der Fakultät für Maschinenbau
und Mechatronik der Hochschule Karlsruhe

Kontakt

Prof. Dr.-Ing. Katrin Schulz
HKA – Hochschule Karlsruhe
Fakultät für Maschinenbau und Mechatronik
Moltkestraße 30, 76133 Karlsruhe
E-Mail: katrin.schulz@h-ka.de

Cleveren Köpfen
gehört die Zukunft.
Dafür sorgen wir.

INGBW

Ingenieurkammer Baden-Württemberg
voranbringen – vernetzen – versorgen



Mit der INGBW
bist Du
schon im Studium
dicht dran
an der Berufspraxis.

Mit der **kostenlosen Junior-Mitgliedschaft** in der INGBW bist Du Teil eines starken Netzwerks und hast die Möglichkeit, mit renommierten Experten in Kontakt zu treten. Zudem kannst von dem umfangreichen Dienstleistungsangebot profitieren wie z. B. dem **INGBW-Patenprogramm** zur Vermittlung von Studentenjobs in Ingenieurbüros, dem **MentorING** zur Beratung und Unterstützung von Studentinnen oder dem **INGcast**, der spannende Einblicke in den Ingenieurberuf gibt.

Hochschule Karlsruhe
University of
Applied Sciences

Career → ← Contacts

20 Jahre Firmenkontaktmesse der HKA

HKA



www.h-ka.de/careercontacts

Hochschule Karlsruhe
University of
Applied Sciences

H
K
A

Hören, was läuft – der HKA-Podcast

Topaktuelle Forschung, spannende Studiengänge und originelle Studienprojekte: 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



ADMEDES
IDEAS. EXPERTISE. PASSION.

INNOVATIVES ARBEITEN, ZUKUNFTSORIENTIERTE BRANCHE.



PRAKTIKA.

DIREKTEINSTIEG.

ABSCHLUSSARBEITEN.

WERKSTUDENTENTÄTIGKEITEN.



Als Hersteller von medizinischen Produktkomponenten sind wir in einem extrem dynamischen Markt tätig. Dieser steckt voller Innovationen, die es weiter zu erforschen, zu entwickeln und auszuprobieren gilt. **SEIEN SIE DABEI.**

karriere.admedes.com



Optimierung der Grundwasserreinigung mittels eines digitalen Zwillings

Gert Rehner, Anastasia August, Eduard Alesi, Aron Kneer, Martin Reder und Britta Nestler

DE Der Klimawandel beeinträchtigt die Grundwasserneubildung und führt zu sinkenden Pegelständen. Wenn Grundwasserleiter verunreinigt werden, bleiben sie oft jahrzehntelang belastet. Herkömmliche Sanierungsmethoden mittels Abpumpen sind ineffektiv und verschwenden wertvolle Ressourcen. Grundwasserzirkulationsbrunnen stellen eine innovative Lösung dar, sie arbeiten energieeffizient und beeinträchtigen die Wasserbilanz nicht. Sie sind in der Lage, Schadstoffe aus horizontal gelagerten feinkörnigen Schichten gezielt vertikal auszuwaschen. Das Ziel der Forschungsarbeit ist es, durch numerische Modelle die Effizienz und die Auslegung solcher Brunnen zu optimieren. Mit Hilfe digitaler Zwillinge lassen sich Strömungsdynamiken und das Schadstoffverhalten in porösen Medien detaillierter analysieren und prognostizieren, dies steigert die Nachhaltigkeit von Sanierungsprozessen.

EN Climate change is having a negative effect on groundwater recharge which is leading to lower water levels. Contaminated groundwater often remains polluted for decades. Traditional remediation methods based on Pump & Treat are inefficient and resource-intensive. Groundwater Circulation Wells (GCWs) provide a more sustainable solution by circulating water vertically to remove pollutants from fine-grained layers, while consuming minimal energy and maintaining the water balance. Our project aims to optimize the efficiency and design of GCWs through numerical models. Digital twins assist in analyzing flow dynamics and enhancing pollutant capture, thereby increasing the sustainability of remediation processes.

Der Klimawandel wirkt sich erheblich auf den Grundwasserhaushalt aus. Die Verminderung oder gar das Ausbleiben von Niederschlägen erschwert die Grundwasserneubildung und erhöht die Gefahr von Verunreinigungen. Einmal durch Industrie- oder Agrochemikalien verunreinigt sind Grundwasserleiter häufig auf Jahrzehnte, wenn nicht Jahrhunderte hinaus belastet und stark nutzungseingeschränkt. Bisher eingesetzte Reinigungs- und Abpumpverfahren sind insbesondere in heterogen aufgebauten Grundwasserleitern wenig effizient, energieintensiv und gehen verschwenderisch mit der wertvollen Ressource Grundwasser um. Eine zukunftsweisende Möglichkeit, verunreinigte Grundwasserleiter zu reinigen, stellen Grundwasserzirkulationsbrunnen (GCW) dar, die die Wasserbilanz nicht beeinträchtigen, energiearm arbeiten und feinkörnige schadstoffbeladene Schichten im Untergrund effektiv hydraulisch durchspülen können. Die Dimensionierung solcher Brunnenkonstruktionen und deren Wirkungsweise wird bis heute größtenteils noch auf Basis empirisch abgeleiteter Formelwerke durchgeführt. Die Arbeit der Projektpartner zielt daher darauf ab, anhand numerischer Modelle – Simulationen mit Digitalen Zwillingen – die Auslegung solcher Brunnen und die Prognose der Reinigungsleistung zu optimieren.

Beschreibung des Brunnenprinzips

Zur Wassergewinnung dienen meistens Porengrundwasserleiter, die aus einer Wechsellagerung von Schichten unterschiedlicher Korngrößen bestehen. Die im Einflussbereich von Pumpbrunnen dominierenden horizontalen Strömungen sprechen solche kontaminierten Schichten nicht ausreichend an. Eine jahrelange diffusive Schadstofffreisetzung ins umgebende Wasser ist die Folge. Nur mit vertikalen Fließbewegungen im Grundwasserleiter lassen sich Kontaminanten effizient herauslösen.

Das Konzept der vertikalen Grundwasserzirkulation wurde in Deutschland Ende der 1980er Jahre entwickelt und beschreibt einen Brunnen, der mindestens zwei hydraulisch getrennte Filterabschnitte aufweist (GCW).^[1, 2] Das Wasser wird aus einem Abschnitt entnommen und in einen anderen zurückgeführt, der entweder tiefer oder höher liegen kann. Zwischen beiden Filterstrecken bildet sich ein hydraulischer

[1] Herrling, B., Stamm, J., Buermann, W., 1991a. Hydraulic circulation system for in situ bioreclamation and/or in situ remediation of strippable contamination. In: Hinchee, R.E., Olfenbuttel, R.F. (Eds.), In Situ Bioreclamation. Butterworth-Heinemann, Boston, MA, USA, pp. 173–195. <https://doi.org/10.1016/B978-0-7506-9301-1.50015-9>.

[2] Herrling, B., Stamm, J., 1992. Numerical results of calculated 3D vertical circulation flows around well with two screen sections for in situ or on-site aquifer remediation. In: Proceedings of IX Int. Conf. On Computational Methods in Water Resources, June 1992. Denver, CO (USA). ORCID /0000-0002-3729-0166/work/142248429

Gradient aus, der das Wasser in der Brunnenumgebung zu einem vertikalen Strömen zwingt. Es entsteht eine achsensymmetrische Grundwasserzirkulationszelle, die eingelagerte Schadstoffe in feinerkörnigen Schichten gezielt vertikal ausspült. Sehr häufig wird das infiltrierte Wasser mit Hilfsreagenzien angereichert (Nährstoffe zum mikrobiellen Abbau von Schadstoffen, Oxidationsmittel etc.). Die Wahl der Zirkulationsrichtung hängt von der Schadstoffverteilung

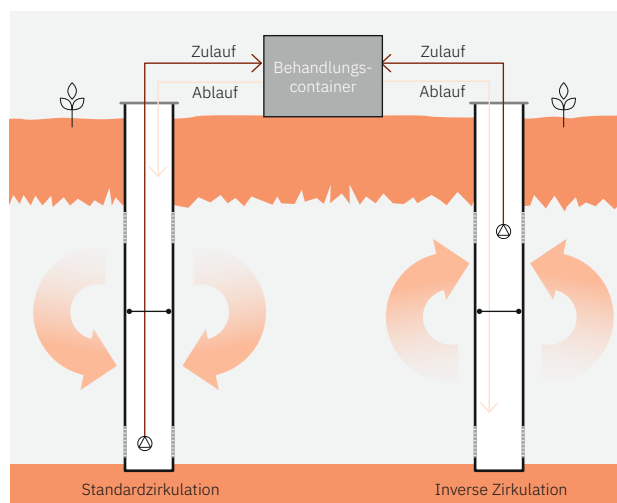


Abb. 1: Betriebsweisen eines GCW; links Standardzirkulation, rechts inverse Zirkulation



Abb. 2: Füllkörper; links unbeschichtete und rechts beschichtete Füllkörper, Schichtdicke ca. 100 µm (Foto: Eduard Alesi)

und den hydrogeologischen Bedingungen des Standorts ab. Bei größeren Mächtigkeiten von Grundwasserleitern kann es mitunter erforderlich sein, mehrere Filterstrecken in einer Achse anzuordnen, um Kreislaufströmungen besser steuern zu können bzw. verschiedene Grundwasserstockwerke getrennt zu bearbeiten.

Standardzirkulationen werden typischerweise für Schadstoffe wie chlorierte Lösungsmittel verwendet, die schwerer als Wasser sind, um sie in tieferen Abschnitten des Grundwasserleiters zu mobilisieren. Bei Kontaminationen durch Leichtphasen (z. B. Diesel, Heizöl) wird eine inverse Zirkulation bevorzugt. Durch die Zugabe von Nährstoffen entsteht eine mikrobiologisch aktive Behandlungszone zum Abbau von Schadstoffen. Zum Aufbau einer Spülströmung im Aquifer ist keine Wasserentnahme notwendig, während Abpumpmaßnahmen darauf beruhen, frisches unbelastetes Wasser aus der Brunnenumgebung ständig mit Schadstoffen aufzuladen und nach Reinigung in die Kanalisation oder ein Gewässer abzuleiten.

Reicht der Abbau im Grundwasserleiter für bestimmte Kontaminationen nicht aus, müssen zusätzliche Anlagenkomponenten für die Reinigung des Wassers eingesetzt werden, das den Brunnen durchströmt. Dies können beispielsweise mit speziell geformten und beschichteten Füllkörpern befüllte Biofilter sein. Deren Positionierung kann wahlweise direkt im Brunneninneren oder oberirdisch erfolgen. Die Dimensionierung hinsichtlich der erforderlichen Beströmungsdynamik und der Prognose des Adsorptions- bzw. Abbauverhaltens stellt hohe Anforderungen an die Modellierungssoftware.

Beschreibung der Experimente mit dem Reaktor

Zur Ermittlung des hydraulischen Verhaltens von Schüttungen mit hohlen Füllkörpern war eine Reihe von Versuchen erforderlich. Eine Säule mit unbeschichteten Körperchen wurde mit verschiedenen Durchflussraten beströmt und dabei die auftretenden Differenzdrücke in unterschiedlichen Distanzen von der Einlassöffnung erfasst und aufgezeichnet. Es ließ sich mit geeigneten Drucktransmittern eine

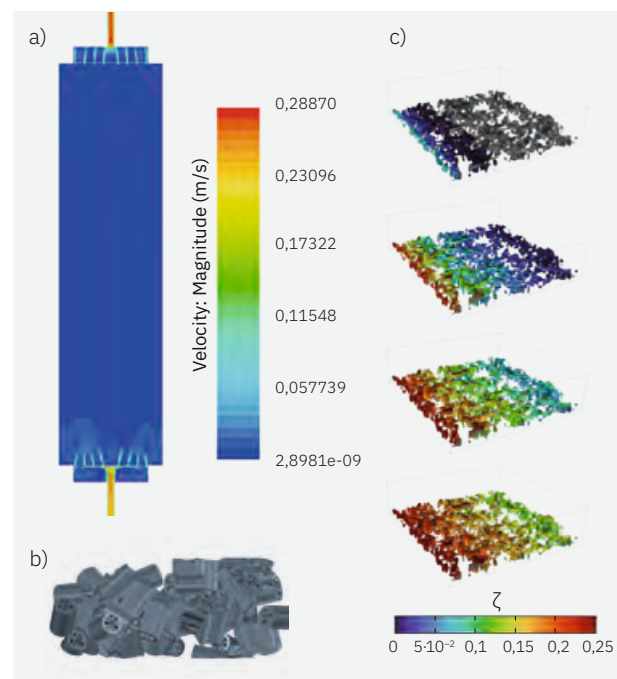
Abb. 3: Säule mit beschichteten Füllkörpern (Foto: Eduard Alesi)



Auflösung von bis zu 0,01 Pa erzielen. Erkenntnisse über die Strömungsgeschwindigkeiten in der Säule erbrachten impulsartige Einleitungen von definierten Heißwassermengen unter Variation der Durchflussraten. Da Wärme sich wie ein Markierungsstoff (Tracer) verhält, konnte über eingebaute Thermosensoren die Ausbreitung der Wärmefront innerhalb der Säule verfolgt und damit Hinweise für die Kalibrierung der Modellierungssoftware abgeleitet werden.

Anschließend erfolgte eine Bestimmung von beschichteten Partikeln mit einer Benzoesäure-haltigen Lösung, um deren Adsorptionsverhalten zu testen. Daraus resultierten wichtige Erkenntnisse für die Modellbildung.

Abb. 4: a) Reaktor, Simulationsergebnisse: Geschwindigkeitsverteilung beim Durchströmen von unten, b) Füllkörper, c) Beschichtung der Füllkörper, Simulationsergebnisse von oben nach unten: Die Sättigung mit dem Schadstoff im Laufe der Zeit beim Durchströmen von links (Simulation: a) Anastasia August, b) + c) Martin Reder)



Mit Hilfe digitaler Zwillinge lassen sich Strömungsdynamiken und das Schadstoff- verhalten in porösen Medien detaillierter analysieren.

Modellierung am Computer

Am Institut für Digitale Materialien der Hochschule Karlsruhe unterstützen wir die Experimente mithilfe von Computern und Simulationen. Dabei kommt es entscheidend auf den Einsatz von digitalen Zwillingen der entsprechenden Anlagen und ihrer Elemente. In der Untergrundsanierung können digitale Modelle auf mehreren Ebenen eingesetzt werden: auf der Meterskala, der Zentimeterskala und der Mikrometerskala.

Auf der Meterskala wird ein digitales Modell des gesamten Reaktors erstellt. Dieses Modell ermöglicht es, verschiedene Szenarien zu simulieren, um den Betrieb zu optimieren und potenzielle Probleme frühzeitig zu erkennen. Beispielsweise kann der digitale Zwilling verwendet werden, um den Fluss von kontaminiertem Wasser durch den Reaktor zu analysieren und die effizienteste Methode zur Schadstoffentfernung zu ermitteln. Durch die Visualisierung und Anpassung der Reaktorparameter in der digitalen Umgebung können reale Anpassungen gezielt und fundiert vorgenommen werden (Abb. 4a).

Eine Ebene tiefer, auf der Zentimeterskala, konzentriert sich der digitale Zwilling auf das aus Füllkörpern bestehende Granulat (s. Abb. 2) im Reaktorkern. Ein digitales Modell auf dieser Skala bildet die Struktur und Anordnung der Füllkörper ab. Durch die Simulation auf dieser Skala können wir die Effizienz des Granulats bei der Schadstoffbindung untersuchen. Es ist möglich, die Durchflussdynamik der Reinigungsmittel durch die Granulatmatrix zu analysieren (Abb. 4b).

Auf der Mikrometerskala, schließlich, wird ein digitales Modell der Beschichtung des Granulats erstellt. Diese Beschichtung spielt eine entscheidende Rolle bei der Funktionalität der Füllkörper, da sie die spezifische Reaktionsoberfläche darstellt, an der die Schadstoffe gebunden oder umgewandelt werden. Mit einem digitalen Modell kann man die molekularen Mechanismen der Schadstoffbindung und -reaktion detailliert untersuchen. Man kann die Wirksamkeit verschiedener Beschichtungsmaterialien vergleichen und die besten Kombinationen identifizieren (Abb. 4c).

Die Integration digitaler Zwillinge auf verschiedenen Skalen ermöglicht ein umfassendes Verständnis der komplexen Prozesse in der Untergrundsanierung. Von der Meterskala des gesamten Reaktors über die Zentimeterskala des Granulats bis hin zur Mikrometerskala der Füllkörperbeschichtung liefern diese Modelle wertvolle Einblicke und ermöglichen gezielte Optimierungen. Durch die Simulation und Analyse auf diesen verschiedenen Ebenen kann man die Effizienz und Nachhaltigkeit von Sanierungsprozessen erheblich verbessern und somit einen wichtigen Beitrag zum Umweltschutz leisten. ✕

Autor:innen

Gert Rehner

Senior Geologist, IEG Technologie GmbH

Dr. Anastasia August

Gruppenleiterin am Institut für Digitale Materialien,
an der HKA, Gruppenleiterin am KIT

Dr. Eduard Alesi, CEO

IEG Technologie GmbH

Dr.-Ing. Aron Kneer

TinniT Technologies GmbH und
Hochschule Karlsruhe

Dr. Martin Reder

Gruppenleiter am Institut für
Digitale Materialien an der HKA

Prof. Dr. Britta Nestler

Professorin und Leiterin des Instituts für Digitale
Materialien an der HKA, Institutsleiterin am KIT

Kontakt

Prof. Dr. Britta Nestler

HKA – Hochschule Karlsruhe

Fakultät für Informatik und Wirtschaftsinformatik

Moltkestr. 30, 76133 Karlsruhe

E-Mail: britta.nestler@h-ka.de



Mobilität

Citizen Science – HKA und Bürgerwissenschaftler:innen erforschen Überholabstände zwischen Fahrrädern und Kfz

Catharina Lutz, Jochen Eckart

DE Das Projekt „gÜ-Rad“ – Kommunale Konzepte zur Einhaltung der gesetzlichen Überholabstände zwischen Kfz und Radfahrenden – untersucht die Verbesserung der Überholabstände zwischen Radfahrenden und Kraftfahrzeugen in zehn Modellkommunen Baden-Württembergs durch verschiedene infrastrukturelle und kommunikative Maßnahmen. Unterstützt durch Bürgerwissenschaftler:innen und dem OpenBikeSensor wurden die Überholabstände gemessen und analysiert. Die Ergebnisse zeigen, dass die Überholabstände stark vom Verhalten der Kraftfahrzeugführenden geprägt sind und von einer Vielzahl von Einflussfaktoren abhängen, nicht allein von der Verkehrsinfrastruktur. In den Kommunen wurden verschiedene Lösungen zur Erhöhung der Überholabstände entwickelt, im realen Verkehr getestet und die Wirkung in einem Vorher-Nachher-Vergleich evaluiert. Die Ergebnisse heben die Bedeutung kontextspezifischer Anpassungen und die Einbindung der Bürger:innen in Planungsprozesse hervor, um die Radverkehrssicherheit nachhaltig zu erhöhen.

EN The project “gÜ-Rad” investigates the improvement of overtaking distances between cyclists and motor vehicles through a variety of infrastructural measures in ten model municipalities in Baden-Württemberg. Supported by citizen scientists and the OpenBikeSensor, the overtaking distances were measured and analyzed. The results show that overtaking distances are strongly influenced by the behavior of motor vehicle drivers and are affected by a multitude of factors, not just road infrastructure. A variety of solutions for increasing overtaking distances were developed in the municipalities, tested in real traffic conditions, and their effects evaluated through before-and-after comparisons. The findings highlight the importance of context-specific adjustments and the involvement of citizens in planning processes to sustainably enhance cycling safety.

Die Straßenverkehrsordnung hat mit der Novelle im Jahr 2021 den Mindest-Überholabstand von Kfz zu Radfahrenden auf innerorts 1,5 m und außerorts 2,0 m konkretisiert. Bei der Führung des Radverkehrs im Mischverkehr auf der Fahrbahn bzw. auf einem Schutzstreifen oder Radfahrstreifen ist das Überholen durch ein Fahrzeug mit 36 % aller erhobenen Stressmomente einer der dominanten Stressauslöser. ^[1] Ein solches subjektives Unsicherheitsgefühl ist für viele ein Hemmnis das Fahrrad als Verkehrsmittel zu nutzen. Insbesondere Personen, die bisher wenig Fahrrad fahren und damit für die Steigerung des Radverkehrsanteils in der Stadt und auf dem Land von hoher Bedeutung sind, werden davon stark beeinflusst. Die Einhaltung ausreichender Abstände bei Überholvorgängen fördert die objektive Verkehrssicherheit und vor allem das subjektive Sicherheitsgefühl der Radfahrenden.

In den Kommunen liegen bisher keine Erfahrungen und Zahlen zu den Überholabständen Kfz-Rad vor und es ist unklar welche Strategien und Maßnahmen zur Erhöhung der Überholabstände beitragen können. Das Ziel des Projekts gÜ-Rad ist es, in Zusammenarbeit mit der AGFK Baden-Württemberg und zehn Modellkommunen, Maßnahmen zu entwickeln, die Überholsituationen verbessern, die subjektive Sicherheit erhöhen und den Radverkehr fördern. Das Projekt wird vom Bundesamt für Logistik und Mobilität gefördert und vom OpenBikeSensor-Verein unterstützt.

Eine Besonderheit des Projektes gÜ-Rad ist, dass sowohl Akteure aus Kommunalverwaltungen als auch radfahrbegeisterte Bürger:innen partizipativ in die Forschung eingebunden werden. Dies fördert nicht nur das Verständnis der lokalen Gegebenheiten, sondern ermöglicht auch eine fundierte Nutzung der Daten aus bürgerwissenschaftlichen Messkampagnen in kommunalen Planungs- und Partizipationsprozessen. Durch die Einbindung der Praxisakteur:innen und Bürger:innen wird eine praxisorientierte und wissenschaftlich fundierte Grundlage geschaffen, um die Sicherheit und Attraktivität des Radverkehrs nachhaltig zu verbessern.



Bei der Führung des Radverkehrs im Mischverkehr auf der Fahrbahn bzw. auf einem Schutzstreifen oder Radfahrstreifen ist das Überholen durch ein Fahrzeug einer der dominanten Stressauslöser. (Foto: iStock.de/David_Sch)

Projektablauf

In zehn Modellkommunen in Baden-Württemberg wurden neuralgische Straßenabschnitte, die nach Meldungen von Bürger:innen häufig enge Überholvorgänge aufwiesen, in Zusammenarbeit mit kommunalen Radverkehrsbeauftragten und der Arbeitsgemeinschaft Fahrrad- und Fußgängerfreundlicher Kommunen in Baden-Württemberg e. V. (AGFK-BW) identifiziert. Für diese ausgewählten Streckenabschnitte wurde in einer Vorher-Erhebung die Anzahl und der Abstand der Überholvorgänge Kfz-Rad bestimmt. In jeder Kommune wurden fünf bis zehn Bürger:innen ausgewählt, die auf ihren täglichen Routen über einen Zeitraum von jeweils vier Wochen die Überholabstände erfassten. Die erste Datenerhebung erfolgte im Herbst 2022. Basierend auf diesen Ergebnissen wurden spezifische Überhol Situationen identifiziert, die als kritisch eingestuft wurden.

Anfang 2023 wurden im Dialog mit der Kommunalverwaltung und den zuständigen Straßenverkehrsbehörden gezielte Maßnahmen entwickelt, um die Situation in diesen Abschnitten zu verbessern. Nach einem Eingewöhnungszeitraum von sechs bis acht Wochen wurde im Herbst 2023 eine Nacherhebung durchgeführt, um die Wirkung der implementierten Maßnahmen zu evaluieren.

Die Erhebung der Daten erfolgte mithilfe des OpenBike-Sensors. Der OpenBikeSensor ist ein bürgerwissenschaftliches Projekt einer Community im Bereich IT und Radverkehr. Der Sensor misst während der Fahrt den Abstand zu Objekten links und rechts mittels Ultraschall. Überholvorgänge durch Kfz werden durch die Radfahrenden per Knopfdruck bestätigt. Der Standort der Überholvorgänge wird mittels GPS festgehalten. Die Ergebnisse wie Anzahl und Weite der Überholvorgänge werden auf einem Kartenportal für einzelne Streckenabschnitte angezeigt.

Für die teilnehmenden Kommunen wurde erstmals eine fundierte Datengrundlage zu Überholabständen Kfz-Rad

geschaffen. Diese kann genutzt werden, um die Sicherheit im Radverkehr zu erhöhen und gezielte Maßnahmen zur Verbesserung der Überholabstände zu entwickeln und zu evaluieren.

Ergebnisse

In den zehn Modellkommunen wurden im Dialog mit den lokalen Akteur:innen verschiedene Maßnahmen getestet, um die Überhol situation für Radfahrende sicherer zu gestalten. Dies umfasst Maßnahmen wie die Verbreiterungen der bestehenden Radwege, Markierungen mit Fahrrad-Piktogrammen auf der Fahrbahn, Überholbuchten und Überleitungen sowie kommunikative Maßnahmen. Alle Modellkommunen sind dabei durch spezifische Herausforderungen geprägt.

Beispielhafte Ergebnisse aus Stuttgart

In Stuttgart wird das Thema Überholabstände besonders durch die Topographie geprägt. In bergaufwärtsführenden Straßen neigen Kfz-Fahrer:innen dazu, Radfahrenden nicht über längere Strecken zu folgen, sondern überholen häufig trotz eingeschränkter Sichtverhältnisse und engen Platzverhältnissen. Dieses Verhalten erhöht das Risiko für enge Überholvorgänge. Jedoch empfinden Radfahrende auch ein Gefühl der Unsicherheit, wenn ein Kraftfahrzeug längere Zeit dicht hinter ihnen fährt.

Um diese spezifischen Herausforderungen zu adressieren, wurden in Stuttgart zwei temporäre Verkehrsversuche durchgeführt. Diese zielten darauf ab, die Auswirkungen von infrastrukturellen und verkehrsregulatorischen Maßnahmen auf das Überholverhalten von Kraftfahrzeugen und das Sicherheitsempfinden der Radfahrenden zu untersuchen.

In der bergaufwärtsführenden Waldburgstraße wurde der Schutzstreifen in Fahrtrichtung West von 1,50 m auf 1,85 m verbreitert. Zudem wurden auf dem 1,2 km langen

Eine Besonderheit des Projektes ist, dass sowohl Akteure aus Gemeinden als auch Bürger:innen partizipativ in die Forschung eingebunden werden.

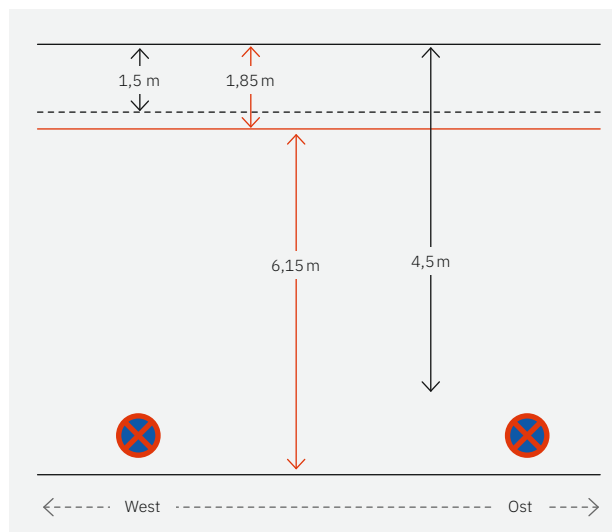


Abb. 1: Verkehrsversuch in der Waldburgstraße in Stuttgart (Foto: Stadt Stuttgart; Grafik: Jochen Eckart)

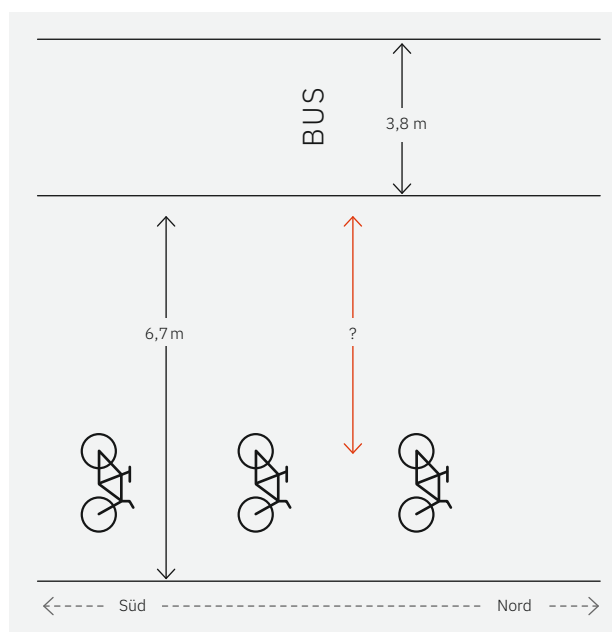


Abb. 2: Verkehrsversuch in der Schickhardtstraße in Stuttgart (Foto: Stadt Stuttgart; Grafik: Jochen Eckart)

bergaufwärtsführenden Abschnitt zwei Überholbuchten von jeweils 100 m Länge eingerichtet. Hierfür wurden die gegenüberliegenden Längsparkstände temporär entfernt. Zudem wurde der fließende Kfz-Verkehr gezielt in die Straßenmitte verlagert. Diese Maßnahme führte dazu, dass an den vorgesehenen Überholbuchten öfter überholt wurde und im Median mit mehr Abstand. Die Anzahl der Überholvorgänge mit einem Abstand von über 1,50 m nahm deutlich zu, während die Überholvorgänge mit einem Abstand von unter 1 m deutlich abnahmen. Auch außerhalb der Überholbuchten wurde mit deutlich mehr Abstand überholt. Auf der gesamten Strecke wurde bei den Vorerhebungen im Median mit 1,30 m überholt und in den Nacherhebungen mit 1,47 m.

In einem weiteren Verkehrsversuch wurden in der Schickhardtstraße eine Fahrradpiktogrammreihe auf der bergaufwärtsführenden Fahrbahn markiert. Diese Maßnahme führte dazu, dass Radfahrende – im Mischverkehr unterwegs – mehr in die Straßenmitte rückten. Dadurch verringerte sich die Anzahl der Überholvorgänge im Verhältnis zur Gesamtzahl der Befahrungen um 40 %. Die Überholabstände verschlechterten sich jedoch von einem Median von 1,44 m auf einen Median von 1,30 m.

Schlussfolgerung

Die spezifischen Experimente in Stuttgart verdeutlichen, dass lokale Gegebenheiten, wie die Topografie und Straßengeometrie, entscheidende Faktoren sind, die in Planungsprozessen berücksichtigt werden müssen und bei guter lokaler Anpassung Lösungen gefunden werden können.

Jedoch war nicht in allen Kommunen die Suche nach Lösungen zur Erhöhung der Überholabstände erfolgreich. So wurde in anderen Fallbeispielen in der Vorher-Nachher Analyse keine signifikante Verbesserung der Überholabstände festgestellt. Diese unterstützen jedoch wichtige Lernprozesse in den Kommunen, um in Zukunft wirksamere Maßnahmen zu entwickeln. Dabei ist es wichtig radfahrende Bürger:innen einzubinden, damit diese Teil des Lernprozesses sind. Die Kommunen berichten von positiver Rückmeldung der Bürger:innen, die anerkennen, dass sich die Kom-

mune des Problems annimmt, auch wenn nicht sofort eine Lösung gefunden wird.

Diskussion

Die vorliegenden Ergebnisse aus den zehn Modellkommunen zeigen, dass Überholvorgänge und die damit einhergehenden Abstände vom Verhalten der Kfz-Führenden abhängig sind, welches neben der Infrastruktur auch durch zahlreiche weitere Einflussfaktoren beeinflusst wird. Im Projekt zeichnen sich daher bisher keine verallgemeinerbaren Lösungen ab, die überall erfolgreich zur Erhöhung der Überholabstände eingesetzt werden können. Neben Maßnahmen an der Infrastruktur sind auch weitere ergänzende Maßnahmen wie Kampagnen, Öffentlichkeitsarbeit, Verkehrserziehung, Ahndung durch Polizei etc. erforderlich. Dabei sind kontextspezifische Anpassungen der Radverkehrsinfrastruktur notwendig, um die Sicherheit und das subjektive Sicherheitsempfinden der Radfahrenden zu verbessern.

Ein entscheidender Aspekt des Projekts „gÜ-Rad“ ist der bürgerwissenschaftliche Ansatz, der es den Bürgern ermöglicht, aktiv an der Datenerhebung und an den Planungsprozessen teilzunehmen. Dies sorgt für eine praxisnahe und realitätsgetreue Datengrundlage. Die Einbindung der Bürger trägt zudem dazu bei, lokale Gegebenheiten besser zu verstehen und gezielt darauf einzugehen, was die Effizienz und Effektivität der ergriffenen Maßnahmen erhöht. ✕

Autor:innen

Prof. Dr. Jochen Eckart
Professor für Verkehrsökologie an der Fakultät
für Informationsmanagement und Medien
Institut für Verkehr und Infrastruktur (IVI)

Catharina Lutz M.Sc.
Akademische Mitarbeiterin am Institut für Verkehr
und Infrastruktur der HKA.

Kontakt

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

Next Generation Energy storage systems – Artificial Intelligence and Edge Computing for sustainable mobility solutions

Vinay Veeranna, Reiner Kriesten

DE Das EU-Projekt **ENERGETIC** (Next generation battery management system based on data rich digital twin; <https://energeticproject.eu/>) zielt darauf ab, ein Batterie-managementsystem (BMS) der nächsten Generation zu entwickeln, um die Nutzung von Batterien im ersten (Mobilität) und zweiten Leben (stationärer Einsatz) auf dem Weg zu einem zuverlässigeren, leistungsfähigeren und sichereren Betrieb zu optimieren. Das Projekt umfasst die gesamte Prozesskette von der Batteriesensorik bis hin zum cloud-basierten Management mit künstlicher Intelligenz. Das Institut für Energieeffiziente Mobilität (IEEM) der Hochschule Karlsruhe als Kernpartner dieses Projekts entwickelt ein Framework für die Integration verschiedener Subsysteme in der zugrunde liegenden Architektur, namentlich die Schnittstellen von den Batterien zu der lokalen Edge-Einheit sowie weiter von den Edge-Entitäten in die Cloud-Anbindung.

EN The EU project **ENERGETIC** (Next generation battery management system based on data rich digital twin; <https://energeticproject.eu/>) aims to develop the next generation BMS for optimizing battery systems utilization in the first (transport) and the second life (stationary) in a path towards more reliable, powerful and safer operations. This project considers all the processes in the chain from battery sensing to cloud management using artificial intelligence. As a core partner of this project, the IEEM at the University of Applied Sciences Karlsruhe is developing a framework for the integration of the different subsystems in the overall system architecture, namely the interfaces between the battery and the edge unit as well as between the edge entities and the cloud.

Europe has committed itself to implement significant measures against climate change. This has become the long-term motivation for energy laws and policies. The EU has set a clear objective to attain a carbon-neutral economy by 2050 at the latest. ^[1] Cost-effective energy storage systems are essential to ensure that the objectives of the European Green Deal are met. These are to ensure a secure and dependable electricity supply. In the next years these objectives, and the need for batteries in stationary applications such as housing, will contribute to the second life of batteries. A battery's first life typically lasts between 10–15 years and retains more than two-thirds of its usable energy storage. Depending on their condition, used EV batteries can be repurposed for up to an additional 10 years in "second life" applications in stationary energy storage. ^[2]

The EU **ENERGETIC** (<https://energeticproject.eu/>) project aims to develop the next generation of Battery Management Systems (BMS) to optimize battery use in both mobile and stationary applications. To achieve this, the project focuses on advanced sensing technologies as well as the use of multiple AI models. For this, an Edge and Cloud computing framework will be developed. Advantages of this approach are a better understanding of the battery's performance and condition based on multiple sensor data and the derived statements from (centralized) AI models. Furthermore, if the cloud can apply functionalities to individual batteries, new services for the batteries can be found. **ENERGETIC's** vision includes not only monitoring and predicting the remaining life of a Li-ion battery using a digital twin but also diagnosing the causes of battery degradation with explainable AI models. ^[3]

At the University of Applied Sciences Karlsruhe (HKA), IEEM is aiming to integrate the different physical subsystems in the overall system architecture, namely the interfaces from the battery to the local edge computing unit and from the edge entity to the cloud. The challenges of the integration of these subsystems will be explained in more detail in the next chapter.

To facilitate data exchange between consumers and providers, a cloud platform has been set up as part of



Ziel des Projektes ist, ein Batteriemanagementsystem (BMS) der nächsten Generation zu entwickeln, damit die Nutzung von Batterien im ersten Leben für Mobilität und zweiten Leben im stationären Einsatz zuverlässiger, leistungsfähiger und sicherer ist. (Foto: iStock.de/solareseven)

the ENERGETIC project. The Google Cloud platform has been chosen and MQTT and HTTPS are being used as the underlying transmission protocol for the data exchange between the Edge devices or its decentralized digital twins and the cloud. Edge devices which act as data sources will push the data to the cloud using either of these protocols depending on hardware support and project requirements.

Overall setup and system architecture

Figure 1 shows the overall system architecture of the project with its different subsystems. The data sources are displayed on the left (black box) and include real-world physical batteries and their sensor data as well as the simulation of batteries by data-driven models in order to ensure digital twins for the battery unit. Focusing on the physics, real-world sensor data can be derived from battery test benches as well as from real-world driving scenarios ("in-field data"). There are major differences in the quality of the data and the underlying edge implementation. For test bench setups, different vendors already provide enhanced test and measurement units, and the preprocessing of the data is built deeply into these individual systems. Therefore, these systems represent mature edge units.

The further transfer of the obtained data to the cloud solution (red box) has to be in line with the defined interface agreement between the test bench and the cloud.

Therefore, it is crucial to define an agreed semantical and technical interface. These interfaces include the discussion of the granularity of the data sent to the cloud system and its data size, which might result in different solution strategies based on the given use-case.

In-field data based on real-world driving scenarios is usually pre-processed by Electronic Control Units (ECUs), often resulting in a focus on tiny, cost-effective solutions due to possible scaling effects. A reduction of only 1 Euro in a car-fleet of 5 billion cars leads to a significant reduction of 5 billion Euro. Thus, ECU sensing solutions will look different to test bench solutions and will require different implementation strategies.

The red box in Figure 1 shows the Smart Digital Twin BMS and is defined on multiple functionalities like battery predictions (State Of Charge, State of Health...), condition and failure monitoring, battery lifetime predictions and even testing scenarios where commands to the battery system may be re-transmitted to the left of the figure. This functionality is used for first and second-life applications, as shown in the blue box on the right of the figure.

System Decomposition and interface implementation

The HKA is specifically involved in the system decomposition and the setup of the different interfaces for the project. The first step involves the transfer of the battery sensor data to the edge unit. For this, HKA is concentrating on the de-

Smart sensors, smarter batteries: Powering the future with AI and innovation.

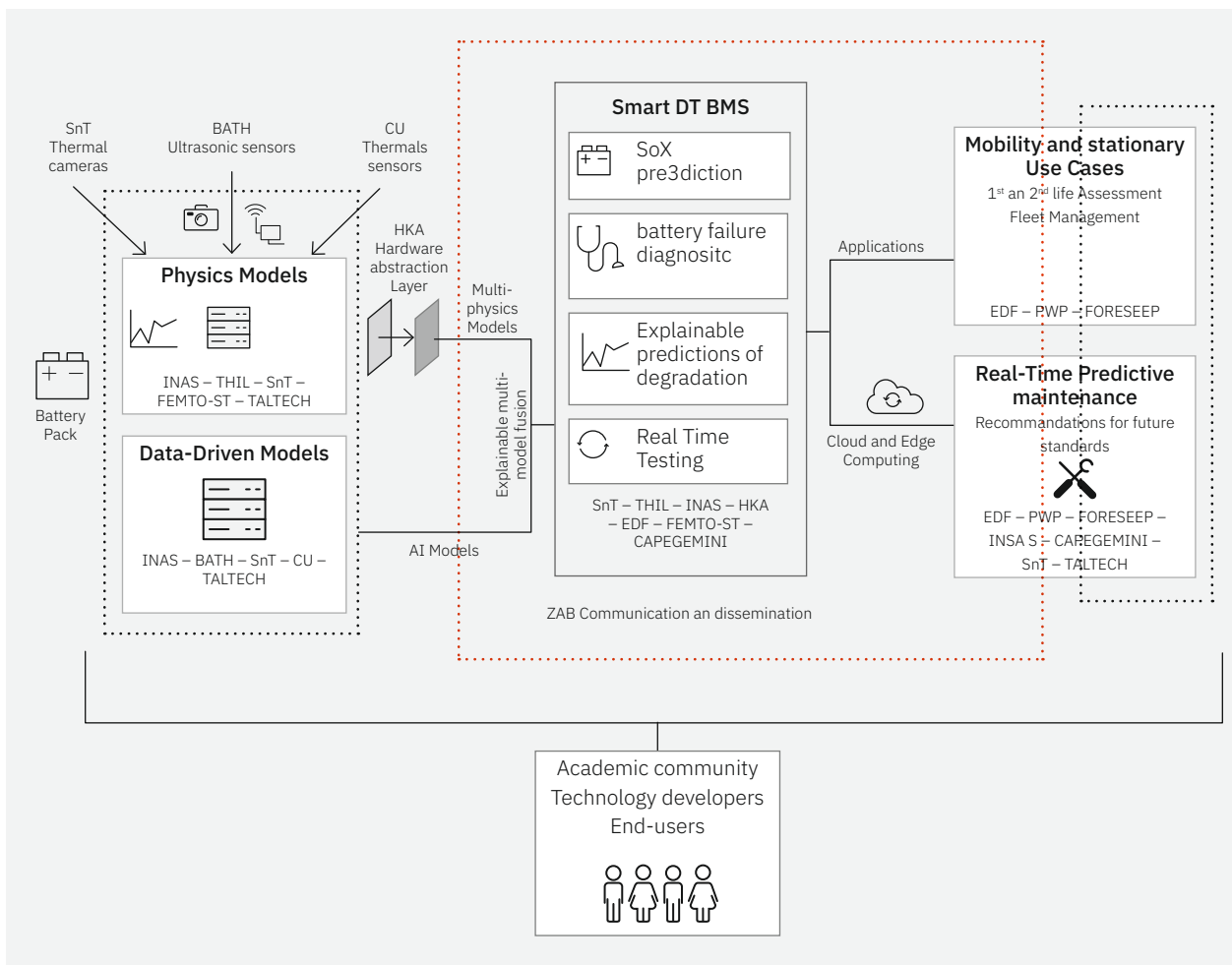


Figure 1: Overall architecture of the ENERGETIC technical system view ^[3]

Sensor Type	Interface	Computational time required	Latency of the sensor	Latency of the sensor sampling rate
Thermal Sensors	16 pin parallel	Up to ms level allowed	0.1-120Hz	100Hz is sufficient
Ultrasonic Transducers	Voltage signal	Up to μ s level	5MHz	The current setup uses 20 MHz

Table 1: Overview of Exemplary Sensor Requirements with Interfaces

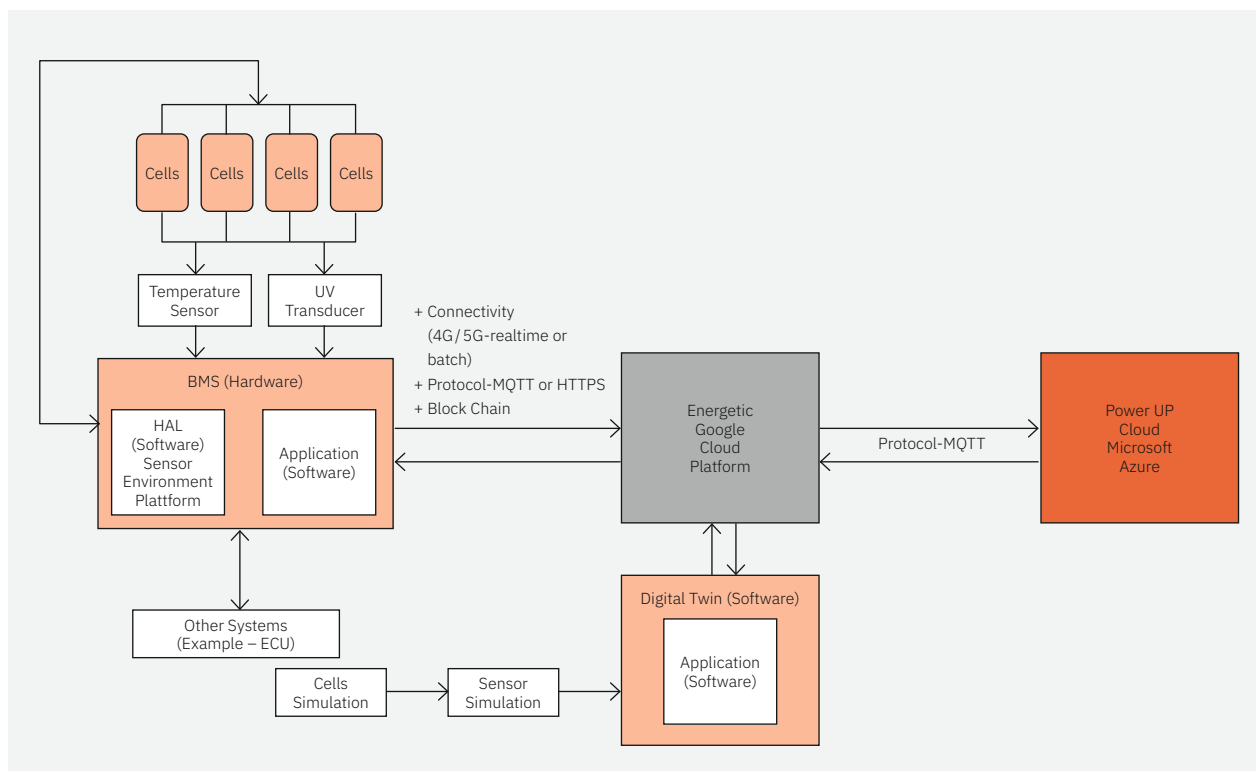


Figure 2: An in-depth image of the interface structure of the ENERGETIC system view

finition of the sensor interfaces and the implementation of a low-level hardware driver on an embedded device which can be used in the field – called Hardware Abstraction Unit (HAL) – for reliable data collection. This is shown in the upper left part of Figure 2.

The agreement on the interface definition includes the sensor measurement principles, the necessary sampling,

Data Type	Data Description
SOC [%]	State of Charge in percentage
SOH [%]	State of Health in percentage
Temperature in [°C]	Temperature readings in de-grees Celsius
Thermal Images/Video	Synthetic image dataset
Current [A] and Voltage [V]	Current and voltage meas-urements
Battery Manufacturer	Manufacturer of the battery
Li-ion Chemistry	Type of Li-ion chemistry (e.g., LFP, NMC)
System Architecture	Number of cells in the system
Battery Nominal Voltage	Number of cells in the battery system
Cycle Life	Cycle life of the battery

Table 2: Data Transferred from edge device to cloud

the data resolution, limitations in quantization errors, and the sensor output (analog output, pulse modulated signal). In the second step, the IEEM sets up the low-level driver which is suited for the time synchronization of the different sensor signals. For example; it is possible that data from two different sensors are read sequentially and therefore the resulting data is not characterized by the same time-stamp of the battery, leading to further analysis errors. Here the IEEM builds a solution strategy based on a virtual sensor data memory, i.e. local copies of hardware registers that have de-facto common time stamps and an agreed interface to the upper layers, the so-called Hardware Abstraction Layer API. Figure 3 shows

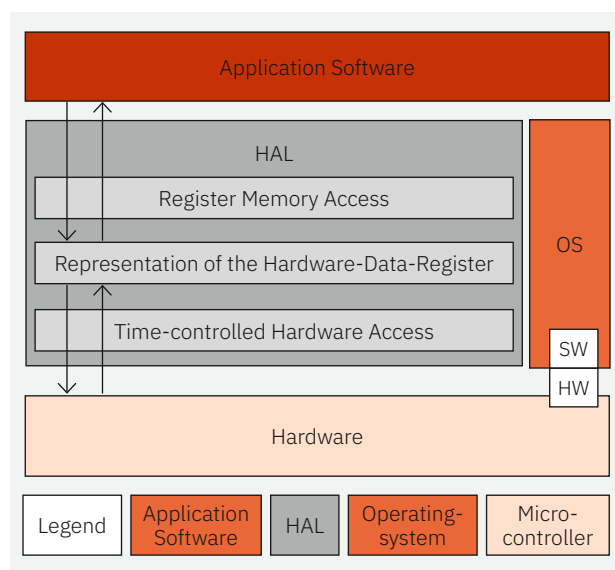


Figure 3: General concept of time-controlled hardware access [4]

[1] M. Child, C. Kemfert, D. Bogdanov, and C. Breyer, "Flexible electricity generation, grid exchange and storage for the transition to a 100% renewable energy system in RENENE.2019.02.077.

[2] M. H. S. M. Haram, J. W. Lee, G. Ramasamy, E. E. Ngu, S. P. Thiagarajah, and Y. H. Lee, "Feasibility of utilising second life EV batteries: Applications, lifespan, economics, environmental impact, assessment, and challenges," Alexandria Engineering Journal, vol. 60, no. 5, pp. 4517–4536, 2021, doi: <https://doi.org/10.1016/j.aej.2021.03.021>.

[3] Energetic, "Eu Grant Agreement Project 101103667," 2023.

[4] Simmann Gabriel, Veeranna Vinay, and Kriesten Reiner, "Design of an Alternative Hardware Abstraction Layer for Embedded Systems with Time-Controlled Hardware Access," in 2024 Stuttgart International Symposium, SAE International, Jul. 2024. doi: <https://doi.org/10.4271/2024-01-2989>.

the high-level concept of the HAL. For demonstration purposes the microcontroller ESP32 has been used.

The second part of the system decomposition addresses the transmission of edge data to the cloud and the further processing of the data in the cloud. The first step towards a common solution is the setup of agreed interfaces. Some examples can be seen in in Table 2. It outlines the data transferred from the edge device to the cloud.

To facilitate data exchange and storage between edge devices and the BMS, ENERGETIC has integrated Google Cloud as a pivotal component due to its security features and reliable operational performance.

Figure 2 illustrates an energy system divided into further components. Both processed and raw data are crucial, so we have separate storage devices in the cloud: the Processed Data Store for analyzed data and the Raw Data Store for data that has not yet been processed. The system also includes AI Platforms and Data Processing units for implementing battery strategies and algorithms. In addition, using APIs to search through data makes it easy for external users to find the information they need.

Conclusion

The need for ecological mobility solutions is driving research into the development of new batteries and their further use in second-life applications. In this context, the EU ENERGETIC project aims to integrate different battery sensing technologies, different data-driven models and digital twin solutions for enhanced functionality like state-of-X predictions, condition monitoring, and degradation forecasting. To do this, a technical framework is established including different components like virtual and real batteries, edge devices to collect and pre-process sensor data, and cloud solutions for high-level and AI-based functionalities.

The IEEM of the HKA as a partner of this project focuses on system decomposition and integration aspects. Core knowledge in system and embedded engineering is needed to understand battery systems, their decomposition, and their handling in different situations such as test bench scenarios and real-world driving scenarios.

A demonstrator unit will be set up using embedded device solutions with a focus on reliable low-level HW functionality at the IEEM.

Acknowledgement

Funded by the European Union's Horizon Europe research and innovation programme under grant agreement No. GAP-101103667. Views and opinions expressed are those of the author(s) and do not necessarily reflect those of the European Union. Neither the European Union nor the granting authority can be held responsible for the views expressed in this article. ✖

Authors

Vinay Kumar Veeranna M.Eng.
Research Associate at the Institute of Energy Efficient Mobility (IEEM)

Prof. Dr.-Ing. Reiner Kriesten
Professor for Automotive Technology at the Faculty of Mechanical Engineering and Mechatronics and Speaker of the Institute of Energy Efficient Mobility (IEEM)

Contact

Prof. Dr.-Ing. Reiner Kriesten
Faculty of Mechanical Engineering and Mechatronics
Moltkestraße 30, 76133 Karlsruhe
E-Mail: reiner.kriesten@h-ka.de



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

www.alphapublic.de

Wie fahren Radfahrende?

Biomechanische Analyse von Alltagsradlern

Martín Bejarano, Jochen Eckart

DE Für Planung und Entwurf von nutzerzentrierter Radverkehrsinfrastruktur spielt das Verständnis der Radfahrendenperspektive, die physikalische und biomechanische Eigenschaften beinhaltet, eine entscheidende, aber bisher wenig erforschte Rolle. So fehlen bisher grundlegende Informationen über den Kraftbedarf und die Geschwindigkeit von Alltagsradfahrenden. Wenn überhaupt Informationen vorliegen, stammen diese aus dem Bereich des Radsports. Daher ist für die Weiterentwicklung des Radverkehrs noch Grundlagenforschung erforderlich. In Rahmen des Projektes „Modelo-Rad“ wird das biomechanische Verhalten von Radfahrenden empirisch erhoben und es werden Modelle zum Fahrvorgang und zur Simulation von Fahrradfahrten entwickelt.

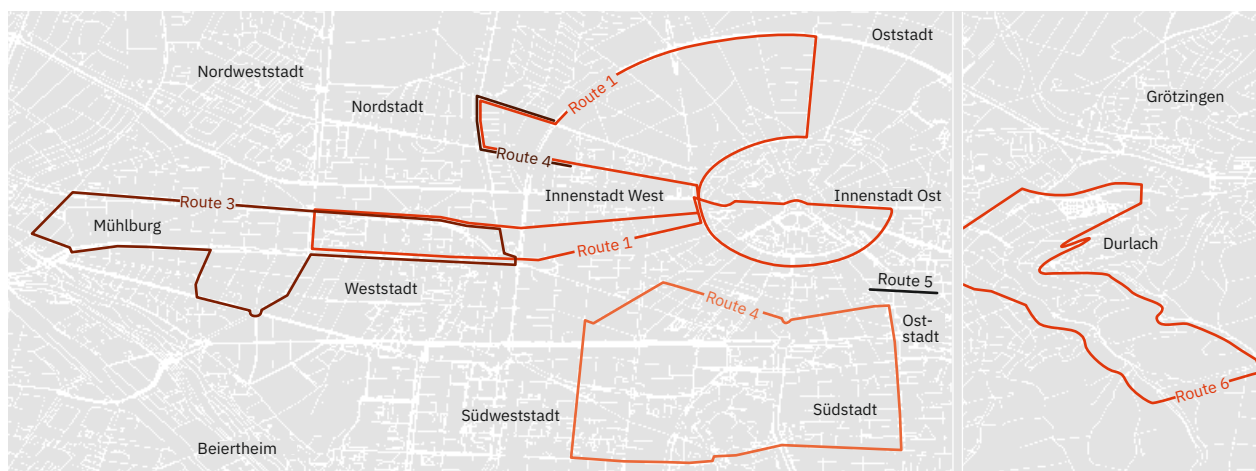
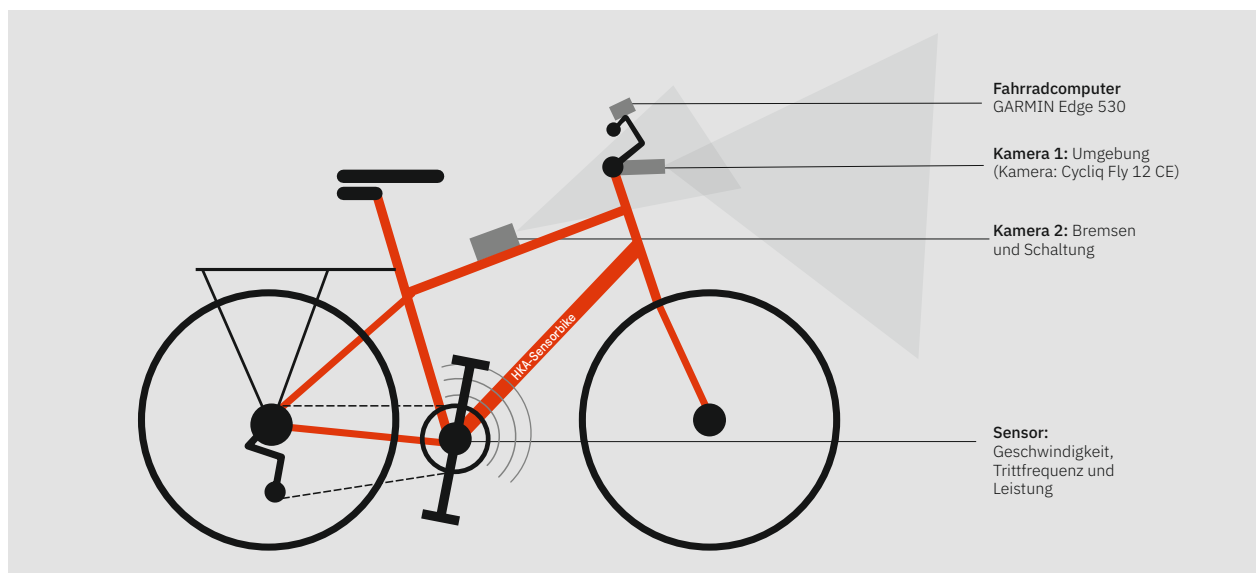
EN For the planning and design of user-centred cycling infrastructure understanding the cyclist's perspective, which includes physical and biomechanical characteristics, plays a crucial but as yet insufficiently researched role. To date, there is a lack of adequate data regarding the power needs and velocity of typical cyclists. Any information available on this issue is mainly from the field of sports cycling. It is evident that further research is necessary to facilitate the advancement of cycling. As part of the project "Modelo-Rad", the biomechanical behaviour of cyclists is being empirically investigated and new models of the riding process and of cycling trips are being developed.

Im Gegensatz zu motorisierten Verkehrsmitteln wird das (konventionelle) Fahrrad durch Muskelkraft betrieben. Die benötigte Energie muss durch die radfahrende Person aufgebracht werden. Der körperliche Leistungsbedarf ist daher eine wesentliche Komfortgröße für das Radfahren. Je geringer die benötigte Leistung zum Erreichen der gewünschten Fahrgeschwindigkeit ausfällt, desto komfortabler wird das Radfahren wahrgenommen. ^{[1][2]} Auf der Grundlage empirischer Erhebungen geht die vorliegende Arbeit der Frage nach, durch welche Eigenschaften des Fahrtablaufes der Leistungsbedarf und die Geschwindigkeit des Radfahrens geprägt wird. Dafür erfolgt die Untersuchung des Fahrverhaltens von Radfahrenden aus deren Perspektive. Die Erkenntnisse zu den Einflussfaktoren bezüglich des Verhaltens von Radfahrenden sind jedoch bisher nicht systematisch genutzt worden. Es fehlen Informationen zum Zusammenhang zwischen dem Fahrverhalten wie Leistungsfähigkeit, Beschleunigungs- und Bremsverhalten, Verhalten in Kurven und Interaktionen mit anderen Verkehrsteilnehmenden und der Verkehrsinfrastruktur.

Im Hinblick auf diese Lücke wird derzeit an der Hochschule Karlsruhe (HKA) das Projekt „ModeloRad“ durchgeführt. Das Projekt wird im Förderprogramm „Nicht investive Modellvorhaben Radverkehr“ vom Bundesministerium für Digitales und Verkehr zur Umsetzung des Nationalen Radverkehrsplans gefördert. Ziel ist die Entwicklung eines Tools zur hochauflösenden, strecken- und radfahrtypenabhängigen Simulation für den Radverkehr. Dieses soll eine detaillierte Beurteilung der Qualität von Fahrvorgängen für bestehende und zukünftige Radverkehrsinfrastruktur/-routen ermöglichen. Die Datenerhebung und die empirische Analyse der Informationen stellten das erste zentrale Ergebnis dieses Projekts dar. Zunächst wurde die Frage untersucht, wie sich das Fahrverhalten von Radfahrenden charakterisieren lässt.

Datenerhebung: Das SensorBike in Karlsruhe

Die Identifikation der für eine Fahrradfahrt relevanten Eigenschaften fand mit Hilfe von empirischen Erhebungen



Oben: Abb. 1: Erhebungsfahrrad. Sichtbereiche und Zubehör (Martin Bejarano; unten: Abb. 2: Ausgewählte Routen in Karlsruhe (Martin Bejarano)

verschiedener Fahrtszenarien von Radfahrenden statt. Insofern wurde das Erhebungsdesign so konzipiert, dass alle möglichen Eigenschaftskombinationen in einer Route auftreten, wie beispielsweise die Geschwindigkeitsvariationen unterschiedlicher Radführungsformen, Interaktionen mit anderen Verkehrsteilnehmenden, die Leistung vor und nach lichtsignalisierten Anlagen (LSA) oder die Trittfrequenz auf ansteigenden Abschnitten. Zur Beschaffung ausreichender und unterschiedlicher Radfahrvariablen wurden folgende Komponenten berücksichtigt: das Erhebungsfahrrad, das Erhebungsverfahren und die Fahrtrouten.

Die Erhebung fand mit dem SensorBike des Instituts für Verkehr und Infrastruktur statt. Beim SensorBike handelt es sich um ein mit Messtechnik ausgestattetes Fahrrad, welches die Erforschung des Radfahrens aus Perspektive der Radfahrenden ermöglicht. ^[3] Zum geplanten Test wurden zwei Kameras, ein Sensor und ein Fahrradcomputer verwendet. Mit den Kameras wurden der Sichtbereich der Radfahrenden und die Verwendung der Bremsen aufgenommen. Aus den Aufzeichnungen mit dem Fahrradcomputer wurden die GPS-Position, die Geschwindigkeit und der Routenverlauf gewonnen. Der Sensor koppelt sich mit dem Fahrradcomputer, wodurch Trittfrequenz und Leistung gemessen und gespeichert werden.

Die Datenerhebung mit dem SensorBike wurde in zwei Phasen durchgeführt. Die erste Phase (im Jahr 2022,

8 Teilnehmende) führte zur Identifizierung der Tendenzen und Mustern beim Radfahren anhand des Verhältnisses zwischen Geschwindigkeit, Leistung und Trittfrequenz. Die zweite Phase (im Jahr 2023, 67 Teilnehmende) umfasste eine integrierte Analyse von mehreren Daten und Kategorien (z. B. Radfahrendengruppen) anhand der in der ersten Phase identifizierten Mustern. Die in diesem Artikel vorgestellten Ergebnisse beziehen sich auf die erste Phase.

Im Hinblick auf die Datenerhebung wurden sechs Routen innerhalb von Karlsruhe festgelegt. Alle Teilnehmenden legen eine oder zwei der sechs Routen zurück. Die Routen umfassen eine Gesamtlänge von ca. 29 km und enthalten elf unterschiedliche Führungsformen. Die Datenerhebung auf den ersten zwei Routen fand im Juni und Juli 2022 statt. Für die Routen 3 bis 6 wurden die Daten zwischen Mai und Oktober 2023 erhoben. Insgesamt wurden mehr als 300 km zurückgelegt.

Datenanalyse: Radfahrdynamik zwischen Stopps

Die Geschwindigkeitsprofile über die zurückgelegte Distanz bieten einen wichtigen Ansatzpunkt in Bezug auf die Fahrdynamik entlang einer bestimmten Strecke oder eines bestimmten Abschnitts. Die von den Radfahrenden aufgebrauchte Leistung und Trittfrequenz sind weitere

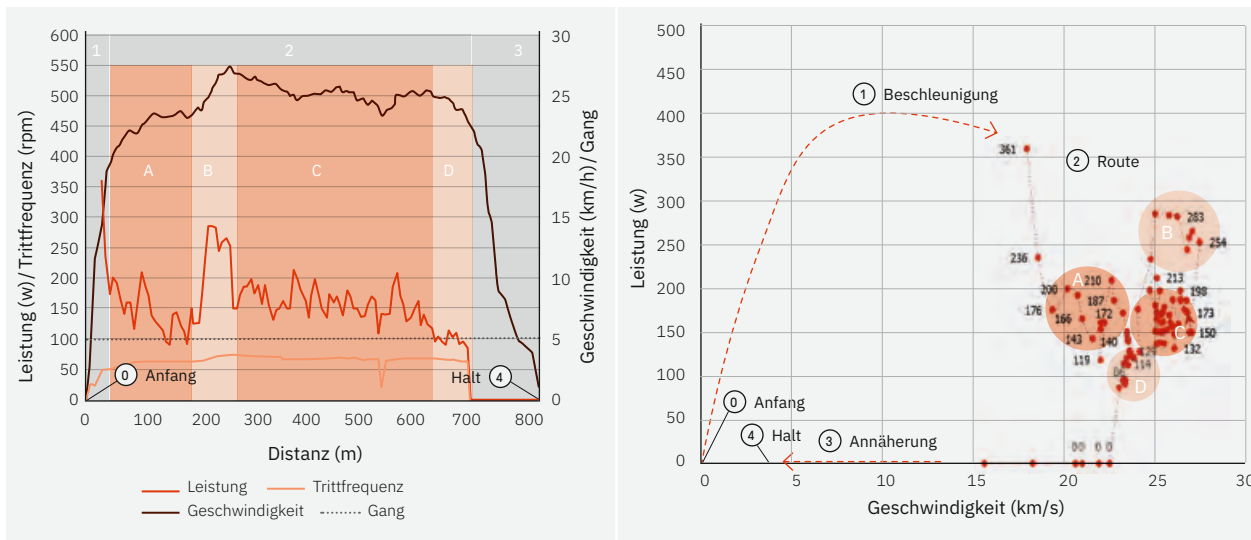


Abb. 3: Streckenprofil eines Teilnehmenden und Darstellung der Geschwindigkeits- und Leistungsanpassung zwischen Stopps. Beispiel für 750 m (Martín Bejarano)

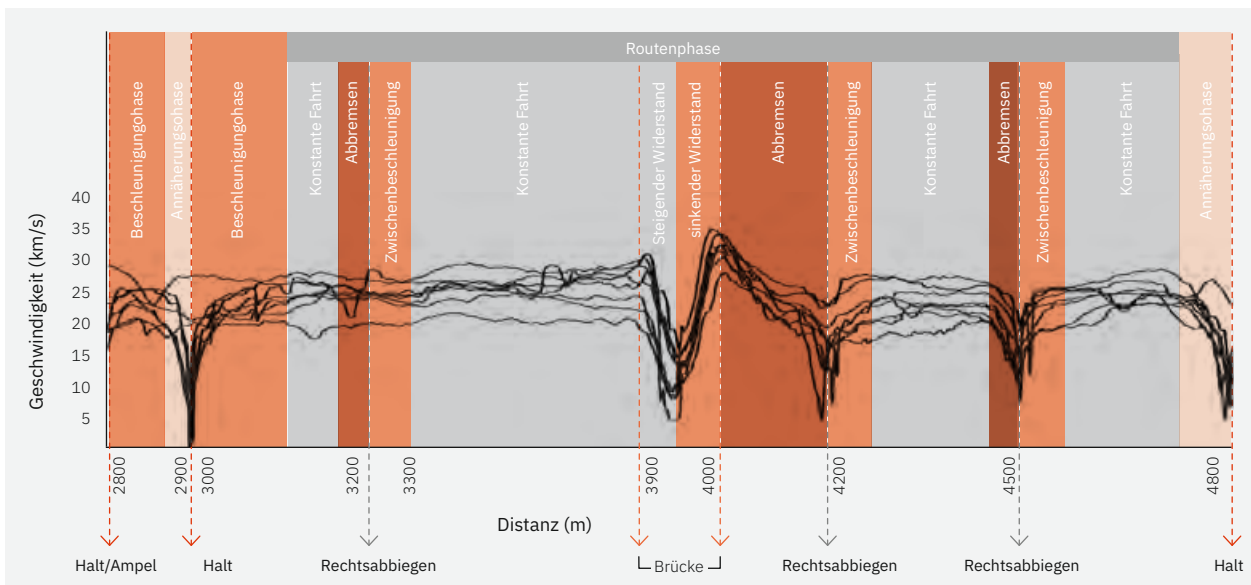


Abb. 5: Phasen einer Radfahrt. Geschwindigkeitsprofil einer Strecke für die 8 Teilnehmenden vom Test I (Martín Bejarano)

grundlegende Variablen bei der Analyse der Dynamik und Effizienz beim Radfahren. Das Beispiel in Abbildung 3 illustriert die Standarddynamik eines Radfahrenden in Abhängigkeit von Geschwindigkeit, Leistung und Trittfrequenz zwischen zwei Stopps. Einerseits werden auf dem Streckenprofil drei Bereiche beobachtet (1, 2 und 3), in denen die Schwankungen der erforschten Variablen bestimmte Muster aufweisen. Andererseits ermöglicht die gleichzeitige Darstellung der Variablen Geschwindigkeit und Leistung die Beobachtung einer Punktwolke, in der bestimmte Dichtewerte erkennbar sind. Die Punkte A, B, C und D stellen die Anpassungen dar, die der Radfahrende aufgrund verschiedener Interaktionen auf seiner Strecke durchführt. Die Bereiche 1 und 3 entsprechen jeweils der erforderlichen Beschleunigung und der Annäherung an den Haltepunkt.

Zyklus beim Radfahren

Bisher besteht für den Radverkehr kein Modell, welches allgemeingültig für Alltagsradler den Fahrtvorgang mit Geschwindigkeit und Leistung beschreibt. Daher wurde im Pro-

jekt ein neues Modell des Fahrtvorgangs entwickelt. So wird die Fahrradfahrt beschrieben als Phasen in einem Fahrtzyklus, die sich anhand der individuellen Fahrstrategien und Fahrdynamiken beschreiben lassen können. Eine Fahrradfahrt lässt sich somit in drei Phasen (bzw. mit Wartephase in vier Phasen) unterteilen, die einen Zyklus von Knotenpunkt zu Knotenpunkt bilden. Die Phasen werden genutzt, um die Präferenz (Wunsch) an Geschwindigkeit, Leistung und Trittfrequenz wiederzugeben, weshalb die Abbildung der Fahrradfahrt anhand der Geschwindigkeitsdynamik deutliche Grenzen zwischen Phasen und Zyklus ermitteln kann (Abb. 5). Ein Zyklus enthält eine bestimmte Abfolge von Phasen:

1. Eine Beschleunigungsphase, in der die Radfahrenden eine Wunschgeschwindigkeit erreichen wollen und daher eine hohe Leistung erbringen müssen.
2. Eine Routenphase, in der die Radfahrenden ihre Wunschgeschwindigkeit und Wunschleistung halten wollen, aber aufgrund von Fahrtwiderständen, Interaktionen oder Störungen Fahrplanpassungen durchführen müssen.

[1] Knoflachner, Hermann:
Fußgeher- und Fahrradverkehr:
Planungsprinzipien. Böhlau Verlag,
Wien, 1995.

[2] Wilson, D. G. S. T. Bicycling Science.
MIT Press. 2020.
[3] Eckart Jochen, Merk Jule: Die
Vermessung der Radfahrenden
Analyse des Radverkehrs mit einem

SensorBike mit ubiquitären Sensoren,
in Lecture Notes in Informatics (LNI),
Gesellschaft für Informatik, Bonn
2020

[4] Gressmann, Michael:
Fahrradphysik und Biomechanik.
Bielefeld: Delius Klasing & Co. KG.
Bielefeld, 2022.

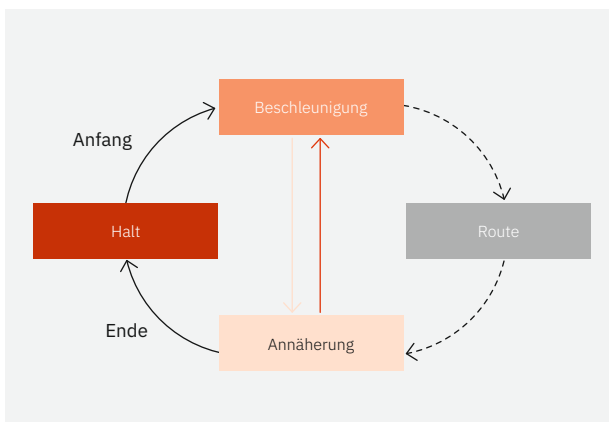


Abb. 4: Zyklus einer Radfahrt und entsprechende Phasen. Abfolge von Phasen beim Radfahren (Martin Bejarano)

3. Eine Annäherungsphase, in der die Leistung üblicherweise 0 ist und die Geschwindigkeit reduziert wird, bevor ein Halt stattfindet.
4. Eine Wartephase, in der V, P und F bei 0 liegen.

Zur Beschreibung der Zyklusmöglichkeiten spielen die Interaktionen, Störungen und Fahrwiderstände eine entscheidende Rolle, weshalb sich die Routenphase in vier Unterteilungen gliedern lässt. Im Vergleich zu den Beschleunigungs- und Annäherungsphasen, ermöglicht die Routenphase eine erweiterte Analyse der verschiedenen Auslöser zur Änderung der erforschenden Kenngrößen. Die Abbildung 5 illustriert die Geschwindigkeitsdynamik und damit verzeichneten Phasen einer Strecke mit zwei Stopps.

Fazit

Es wurde ein neues Modell zur Beschreibung von Fahrradfahrten als Fahrtvorgang entwickelt. Radfahren lässt sich zwischen Stopps (meist zwischen Kreuzungen) beschreiben. Das Zyklus-Konzept führt zu systematischen Analysen je nach Strecke. In diesem Sinn kann eine Route mehrere Zyklen abbilden und sich durch charakteristische Phasen gliedern. Die Umsetzung des Modells wird Bewertungen auf der Grundlage des tatsächlichen Verhaltens von

Radfahrenden in verschiedenen Situationen ermöglichen. Die zweite Phase des Projekts wird eine detailliertere Untersuchung der Verhaltensmuster liefern, einschließlich einer Klassifizierung nach Infrastruktur, Radfahrendenprofil und anderen Faktoren. Das Simulationstool richtet sich an die kommunale Verwaltung, Ingenieurbüros sowie Akteure, welche in die Radverkehrsplanung und Radverkehrsförderung involviert sind. Es kann die Radverkehrsplanung und Radverkehrsförderung bei nachfolgenden Aufgaben unterstützen:

- + Entscheidungsunterstützung für in Planung befindlichen Trassenvarianten für Radrouten/Infrastruktur (Identifikation der Variante zur Minimierung von Reisezeit, Leistungsbedarf usw.)
- + Identifikation von Abschnitten mit Verbesserungspotenzial (hoher Leistungsbedarf, große Reisezeitverluste usw.)
- + Ermittlung der Wirkung von Lückenschlüssen und Ausbaumaßnahmen im Radverkehrsnetz auf Reisezeit und Leistungsbedarf als Basis für Kosten-Nutzen-Betrachtungen ✗

Autoren

Martin Bejarano M.Sc.
Akademischer Mitarbeiter am Institut für Verkehr
und Infrastruktur der HKA

Prof. Dr. Jochen Eckart
Projektleiter des Projekts „Modelo-Rad“
Professor für Verkehrsökologie an der Fakultät für
Informationsmanagement und Medien
Institut für Verkehr und Infrastruktur der HKA

Kontakt

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

Impressum

Forschung aktuell 2024
Hochschule Karlsruhe

Herausgeber
Rektorat der Hochschule Karlsruhe

Redaktion
Prof. Dr.-Ing. Franz Quint,
Prof. Dr. Rose Marie Beck,
Dr. Michael Wolbring

Englischkorrektur
Lynn Beechey-Volz, Institut für
Fremdsprachen – 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 2024

ISSN 1613-4958

Bildquellen
Titelbild: Fotomontage aus
Hintergrund: iStock.com/
eugenesergeev und mittels KI
generiertes Bild. Prompt: weißer
freundlicher Roboter fährt mit dem
Fahrrad auf den Betrachter zu,
Hintergrund transparent oder grau;
S. 3 Tobias Schwerdt

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



Anzeigen

Hochschule Karlsruhe
University of
Applied Sciences

Save
the date
**4. April
2025**

**11. Lange
Nacht der
Mathematik**

www.h-ka.de/LaNaMa →



Hochschule Karlsruhe
University of
Applied Sciences

**20.11.2024
9–15 Uhr**

**Der
Campustag
an der HKA**

Einblick Studium – Ausblick Beruf

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



Zeigen, was ich drauf habe.

Und lernen was wirklich wichtig ist.



Seeing beyond



Dein Start im #teamZEISS

Wir suchen Leute mit Empathie und Leidenschaft, die für ihre Ambitionen und für herausfordernde Themen brennen. Die Spitzenleistungen bringen und die Grenzen des Machbaren verschieben wollen. Die sich kontinuierlich weiterentwickeln möchten, anstreben, Verantwortung zu übernehmen und die Gesellschaft weiterbringen. Im globalen Team von ZEISS.

Bewirb Dich jetzt unter: zeiss.de/karriere

Warum wir sagen, dass wir die Welt bewegen?



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

**ANTRIEB
BEWEGT
ZUKUNFT**

BEWEG
MIT