

F
O
R
S
C
H
U
N
G
A
K
T
U
E
L
L

HK
KA
A

2021

Liebe Leserinnen und Leser,

ich freue mich, Ihnen die „Forschung aktuell 2021“, das Wissenschaftsmagazin der Hochschule Karlsruhe, im neuen Corporate Design und in neuer Gestaltung vorzustellen. Durch eine anregende und attraktive Darstellung der einzelnen Beiträge wird die Qualität unserer Forschungsleistungen noch sichtbarer. Als eine der forschungsstärksten Hochschulen für Angewandte Wissenschaften in Deutschland adressieren wir in unserer Forschung selbstverständlich auch die drängenden Herausforderungen der Gegenwart. Entsprechend groß ist die Bandbreite der in dieser Publikation vorgestellten Beiträge.

Im Zentrum unserer Forschungsanstrengungen stehen die Bedürfnisse der Menschen, denn die angewandte Forschung von heute stellt die Weichen für eine zukunftsfähige Gesellschaft. Gerade in diesen schweren Zeiten setzen wir damit ein Signal für Aufbruch und Optimismus.

In dieser Ausgabe nimmt die Energiewende einen breiten Raum ein, sowohl in Gestalt internationaler als auch nationaler Forschungsprojekte im Kontext von Nachhaltigkeit und Klimawandel. Die Hochschule Karlsruhe ist stolz, dass Karsten Pinkwart, Professor für Elektrochemie und Energiespeicher an unserer Fakultät für Elektro- und Informationstechnik, als einer von nur 25 Experten in den Nationalen Wasserstoffrat der Bundesregierung berufen wurde. Ein ausführliches Interview mit Prof. Pinkwart finden Sie in dieser Ausgabe.

Zusätzliche Schwerpunkte der „Forschung aktuell 2021“ sind die Themen Digitalisierung, Mobilität der Zukunft und Ökonomie der Zukunft, zu denen wir ausgewählte Beiträge aus erfolgreichen Forschungsprojekten veröffentlichen. Die abschließende Rubrik „Schlaglichter“ stellt Ihnen zwei weitere aktuelle Forschungsprojekte vor.

Die weitere Stärkung unserer Forschungsaktivitäten ist und bleibt eines der wichtigsten strategischen Ziele im Rahmen der Profilbildung der Hochschule Karlsruhe. Die nun seit drei Jahren etablierte Serviceeinrichtung zur Förderung der Forschung, das Center of Applied Research (CAR), leistet



dazu einen wichtigen Beitrag und unterstützt die wissenschaftlichen Institute unserer Hochschule bei den Antragsstellungen, der administrativen Durchführung der Projekte und der Vermarktung der Forschungsergebnisse.

Mein Dank gilt allen Kolleginnen und Kollegen, die Beiträge eingereicht und so die gute Qualität dieser Publikation ermöglicht haben. Ganz besonders bedanken möchte ich mich auch bei allen Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern, die redaktionell, gestalterisch und organisatorisch an der Erstellung der „Forschung aktuell 2021“ mitgewirkt haben.

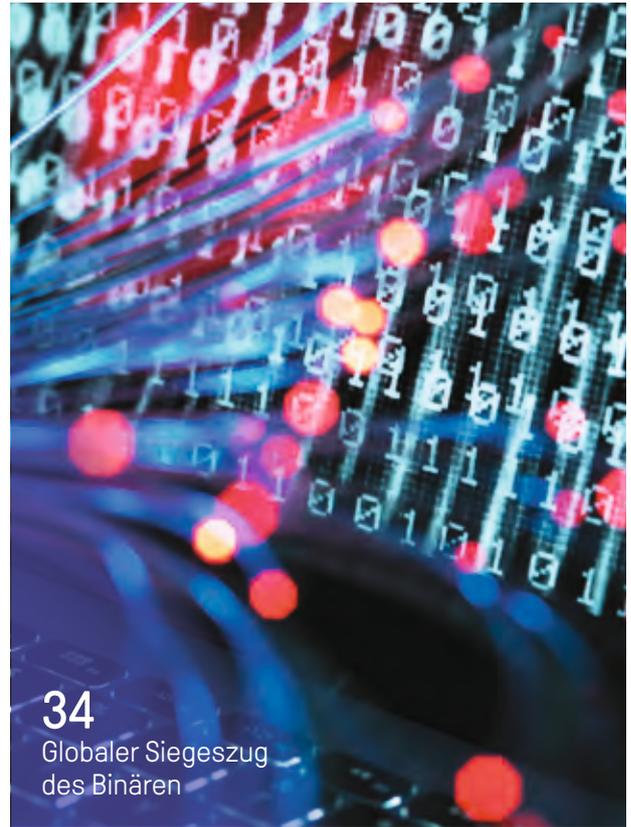
Unseren Leserinnen und Lesern wünsche ich bei der Lektüre interessante Einblicke in die Forschungsaktivitäten der Hochschule Karlsruhe. Lassen Sie sich von den Beiträgen inspirieren und ermutigen. Vielleicht sind sie ja auch ein Anlass, künftig Kooperationen zu beginnen oder gemeinsam Forschungsprojekte durchzuführen.

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



8

Wasser –
Lebenselixier und
Schlüsselressource



34

Globaler Siegeszug
des Binären

Überblick über die Forschung an der Hochschule Karlsruhe

Franz Quint und Elena Stamm

Energiewende

- 10 Intelligente Bewässerung für nachhaltige Landwirtschaft in Nordafrika
Ulrich Hellriegel, Edgardo Cañas Kurz und Jan Hoinkis
- 14 Innenstädte innovativ kühlen
Bernhard Lenz
- 19 **Interview:** Wasserstoff – mobiler Energiespeicher der Zukunft
Karsten Pinkwart
- 24 GenLab goes Hydrogen
Philipp Baltschun und Maurice Kettner
- 30 View-BW: Visualisierung der Energiewende
Mathias Trefzger, Naemi Gerst und Thomas Schlegel

Digitale Welt

- 36 Was ist Digitalisierung?
Thomas Morgenstern
- 40 KIWI: Artificial Intelligence for Secure Web Infrastructures
David Monschein, José Antonio Peregrina Pérez,
Tim Piotrowski, Zoltán Nochta, Oliver P. Waldhorst und
Christian Zirpins
- 44 Kleine Bausteine mit großer Wirkung
Aron Kneer, Anastasia August, Michael Wirtz, Christoph
Herrmann, Daniel Schneider und Britta Nestler



52

Innovative
Automatisierung
in Produktion und
Logistik schreitet
weiter voran



72

Klima- und
umweltbewusste
Fortbewegung
gewinnt an Fahrt

Ökonomie der Zukunft

- 54 Additive Fabriken
Carsten Schmidt, Florian Finsterwalder und
Rainer Griesbaum
- 60 Industrielle Roboteranipulation
Felix Heel, Jochen Sobov, Nadja Geppert, Luisa Hornung, Moritz
Weisenböhler, Christian Wurl und Björn Hein
- 68 Finanzierung 4.0 im Mittelstand
Marcel Kehler, Stefanie Regier und Ingo Stengel

Mobilität der Zukunft

- 74 SensorBike – Die Vermessung der
Radfahrenden
Jule Merk und Jochen Eckart
- 78 Energie im Quartier – mit Elektromobilität in
die Zukunft
Elke Häußler und Jan Riel
- 82 Die letzte Meile bildet – autonome
Gütermobilität für eine bessere Zukunft
Philipp Reichenbach, Franziska Stoffel und Reiner Kriesten

Schlaglichter

- 88 Miniaturisiertes optisches Analysesystem
Thilo Pudleiner, Jörg Knyrim und Christian Karnutsch
- 92 Bei uns schneit's Pulverschnee
Rouven Otto und Michael Kauffeld
- 95 Impressum



WIR SIND WAHNSINNIG STOLZ ...

... AUF UNSERE INNOVATIONEN

Spülen ohne Wasser – ist das überhaupt möglich?

„Diese Vision treibt uns seit mehr als 15 Jahren an. Es geht um ein möglichst ressourcenschonendes Spülen – das heißt, mit so wenig wie möglich Wasser, Chemie und Energie, aber auch mit so wenig wie möglich Kosten, Zeit und Platz. Für die Küchenchefs ist Spülen eine Anstrengung, denn es ist ja nicht ihr Kerngeschäft. Spülen ist für sie Mittel zum Zweck. Wir haben verstanden, dass unsere Kunden den Vorgang so effizient wie möglich, mit wenig Aufwand, wenig Lärm und geringen Betriebskosten ausführen wollen.“

HARALD DISCH

52 Jahre, Dipl. Ingenieur, Mitglied der Geschäftsleitung

Sei wie Du bist und komm in ein starkes Team.

Arbeite bei HOBART – dem Weltmarktführer für gewerbliche Spültechnik!

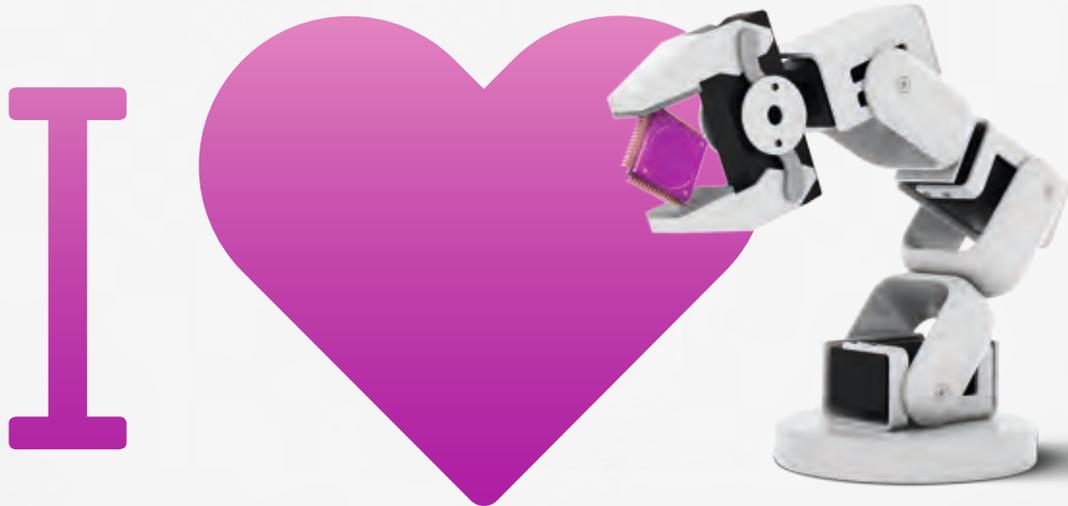
#SPÜLENDEINFACH

**PERFEKTE
PERSPEKTIVEN**

HOBART.DE

WEIL ZUKUNFT PLATZ BRAUCHT

→ Bei uns finden technologieorientierte Unternehmen moderne Gebäude, flexibel erweiterbaren Raum und erstklassige Serviceleistungen. Die nötige Ruhe für erfolgreiches Arbeiten gibt's gratis dazu – und das seit über 20 Jahren. Wir bauen weiter. Aus Liebe zum Park und für Sie. Willkommen im TPK – Ihr Standort für Wachstum und Entwicklung. Jetzt informieren unter www.techpark.de



Überblick über die Forschung an der Hochschule Karlsruhe



10

qualitätsgesicherte und zentrale
Forschungsinstitute

Institut für Angewandte Forschung

Sprecher: Prof. Dr. Christian Wurl

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 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 Sensor- und Informationssysteme

Sprecher: Prof. Dr. Christian Karnutsch

Institut für Ubiquitäre Mobilitätssysteme

Sprecher: Prof. Dr. Thomas Schlegel

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 kommt es verstärkt zu Kooperationen und Forschungsaufträgen mit Unternehmen der freien Wirtschaft sowie mit Institutionen der öffentlichen Hand. Unsere Forschung und ihre Ergebnisse fließen in die Ausbildung unserer Studierenden ein und bereichern die Lehre an der Hochschule auf vielfältige Weise, z. B. mit Studienprojekten zu aktuellen Themen. Somit können die potenziellen zukünftigen Arbeitgeber unserer Absolventinnen und Absolventen indirekt von unseren Forschungsaktivitäten profitieren.

Energie, Mobilität und Infrastruktur

Im Fokus des Forschungsschwerpunkts „Energie, Mobilität und Infrastruktur“ stehen Energie- und Ressourceneffizienz von Gebäuden, Infrastrukturen, Fahrzeugen und Mobilität. Forschungsgegenstände sind u. a. Heizung und Klimatisierung, die nachhaltige Gestaltung von Mobilität, Fahrzeugdiagnose und -sicherheit, Planung und Erhalt von Infrastruktur, oder Wasseraufbereitung.

Intelligente Systeme

Der Forschungsschwerpunkt „Intelligente Systeme“ beschäftigt sich mit der Entwicklung und Anwendung von Sensorsystemen, Maschinensehen, autonomer Navigation, Maschinellern, Mensch-System-Interaktion, Sozio-technik oder Learning Analytics in allen Bereichen von Wirtschaft und Gesellschaft.

Materialien und Prozesse

Aktivitäten im Schwerpunkt „Materialien und Prozesse“ konzentrieren sich thematisch auf die Erforschung von Modellierungs- und Simulationstechniken für Hochleistungswerkstoffe sowie auf die Entwicklung neuer Fertigungs- und Produktionsverfahren für Bauteile, u. a. in der Medizin-, Luft- und Raumfahrttechnik.



91

laufende kooperative Promotionsvorhaben

Unsere Professorinnen und Professoren betreuen Ende 2020 insgesamt 91 Doktorandinnen und Doktoranden kooperativ in Form einer Individual- oder einer strukturierten Promotion. Zusammen mit dem Karlsruher Institut für Technologie (KIT) führen wir strukturierte Promotionsvorhaben im Rahmen des vom Land Baden-Württemberg unterstützten kooperativen Promotionskollegs durch. Über unser Doktorandenkonvent vernetzen sich unsere Doktorandinnen und Doktoranden untereinander. Wir gratulieren unseren 14 Doktorandinnen und Doktoranden, die ihre Promotion 2020 erfolgreich abgeschlossen haben.



344

Forscherinnen und Forscher

Ohne das Engagement der 66 Professorinnen und Professoren und ihren insgesamt 278 Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern, Stand Ende 2020, in den oben genannten Forschungsinstituten wäre unsere Forschung nicht möglich. Bei ihnen und unseren Kooperationspartnern möchten wir uns herzlich bedanken. Wir freuen uns auf neue spannende Forschungs-ideen zur Lösung der von uns angestrebten Bedarfssfelder zur Sicherung der Zukunftsfähigkeit unserer Gesellschaft.



€ 9,8 Mio.

Drittmittleinnahmen

Unsere Forscherinnen und Forscher haben im Jahr 2020 in insgesamt 193 Projekten ca. 9,8 Mio. Euro forschungsbezogene Drittmittel eingenommen. Damit setzen wir die Entwicklung und Ausweitung unserer Forschungsaktivitäten weiter fort, siehe Abb. 1. Der Bund und das Land Baden-Württemberg sind dabei in den letzten drei Jahren unsere größten Mittelgeber gewesen, siehe Abb. 2. Bei all unseren Mittelgebern bedanken wir uns für deren Förderung und das damit entgegengebrachte Vertrauen in unsere Forschungsleistungen.

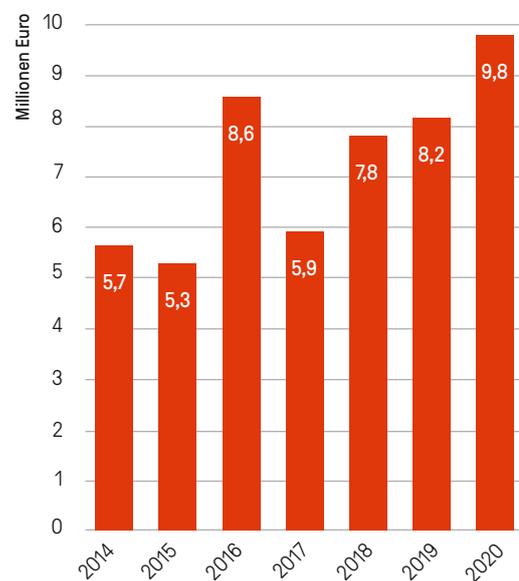


Abb. 1: Umsatzentwicklung Forschung 2014 bis 2020

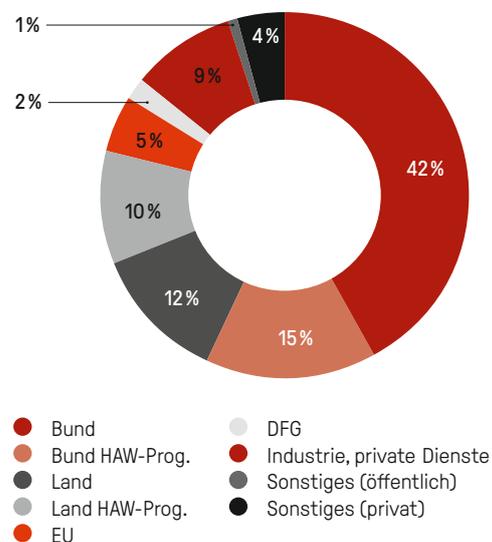


Abb. 2: Drittmittelgeber nach Höhe der Drittmittleinnahmen in den Jahren 2018–2020



Energiewende

Intelligente Bewässerung für nachhaltige Landwirtschaft in Nordafrika

Ulrich Hellriegel, Edgardo Cañas Kurz und Jan Hoinkis

DE Im Juni 2020 startete das EU-PRIMA Projekt „Smart irrigation cube for sustainable agriculture in the Mediterranean region“ (SmaCuMed) mit dem Ziel, ein integriertes Konzept für die landwirtschaftliche Bewässerung in Mittelmeerländern zu erstellen. Die Innovation von SmaCuMed besteht darin, eine All-in-one Bewässerungsbox zu entwickeln und vor Ort in Marokko zu pilotieren. Diese mobile Entsalzungseinheit, „Smart Cube“ genannt, wird mit hocheffizienten Photovoltaik Panels und einer auf dem Internet-of-Things (IoT)-basierten Echtzeitüberwachung ausgestattet. Das Projekt wird durch Seminare und Trainingskurse vor Ort begleitet, um eine möglichst hohe Akzeptanz in der Bevölkerung und bei den lokalen Stakeholdern zu erreichen.

EN In June 2020, the EU-PRIMA project „Smart irrigation cube for sustainable agriculture in the Mediterranean region“ (SmaCuMed) started with the goal of developing an integrated concept for agricultural irrigation in Mediterranean countries. The innovation of SmaCuMed is to develop an all-in-one irrigation box and to test it on site in Morocco. This mobile, desalination unit, or “Smart Cube”, will be equipped with high-efficiency photovoltaic panels and a real-time IoT-based sensor system. The project will be accompanied by seminars and training courses on site in order to increase acceptance among the population and local stakeholders.

Die globale Klimaveränderung wird vor allem in den heißen und wasserarmen Regionen der Erde besonders einschneidende Folgen verursachen. Die Wasserknappheit geht proportional einher mit der Temperaturerhöhung und lässt flächendeckend trockene Agrarböden entstehen, wodurch Länder in eine Versorgungsknappheit für Lebensmittel und wirtschaftliche Krisen geraten^[4].

In diesen Regionen herrscht jedoch ebenfalls zumeist eine hohe Sonneneinstrahlung, die zur regenerativen Energiewandlung verwendet werden kann. Der sogenannte Wasser-Energie-Nahrungs-Nexus spielt in diesen Gebieten demnach eine große Rolle: Regenerative Energie kann zur Wasserbehandlung und Nahrungsmittelproduktion genutzt werden.

Um unter anderem den negativen Auswirkungen der globalen Erderwärmung entgegenzutreten, startete im Juni 2020 das im Rahmen des Verbundprojekts „Partnerschaft für Forschung und Innovation im Mittelmeerraum“ (engl. PRIMA; www.prima-med.org) das von der EU geförderte Projekt „SmaCuMed“ mit dem Ziel, ein integriertes Konzept für die landwirtschaftliche Bewässerung in Mittelmeerländern und vor allem für Nordafrika zu entwickeln (www.smacumed.eu).

Das internationale Projekt wird unter der Betreuung von Prof. Dr.-Ing. Jan Hoinkis von der Hochschule Karlsruhe koordiniert. Partner aus Nordafrika sind die Universität Cadi Ayyad in Marrakesch und die Moulay Ismail Universität in Errachidia sowie das Forschungs- und Wassertechnologiezentrum CERTE in Tunesien. Zudem wird das interdisziplinäre Konsortium von den Industriepartnern RAACH Solar GmbH, Erolzheim und Aquagri IIM, LDA, Lissabon, Portugal, unterstützt und zunächst in Marokko pilotiert.

Die besondere Innovation von SmaCuMed besteht in der Entwicklung der All-in-One Box. Diese mobile, würfelförmige Entsalzungseinheit, „Smart Cube“ genannt, wird mit hocheffizienten Photovoltaik (PV) Panels und einer IoT-basierten Echtzeitüberwachung ausgestattet um energieautonom und wassersparend Argan- und Olivenbäume sowie Dattelpalmen auch dezentral und an abgelegenen ländlichen Orten zu bewässern (durch Tröpfchenbewässerung). Dabei greift die Anlage auf versalzenes Grundwasser zurück, das ohne

[1] Al Marzooqi, F.A., Al Ghaferi, A.A., Saadat, I., Hilal, N., 2014. Application of capacitive deionisation in water desalination: A review, *Desalination*, 342, 3 – 15.

[2] Behnassi, M., Shahid, S.A., Mintz-Habib, N., Eds., 2014. *Science, Policy and Politics of Modern Agricultural System*, Springer, p. 87.

[3] Jeong, K., Yoon, N., Park, S., Son, M., Lee, J., Park, J., Cho, K.H., 2020. Optimization of a nanofiltration and membrane capacitive deionization (NF-MCDI) hybrid system: Experimental and modeling studies. *Desalination* 493, 114658.

[4] UN Water, 2020. *Weltwasserbericht der Vereinten Nationen 2020 WASSER UND KLIMAWANDEL - Zusammenfassung*. United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization.

Aufbereitungsanlage nicht zur Bewässerung genutzt werden könnte. Somit werden neue Wasserressourcen erschlossen und dessen Verfügbarkeit erhöht, was nicht nur für die Ernährung der Bevölkerung, sondern auch für die Landwirtschaft als hochrelevanter Wirtschaftsfaktor in den nordafrikanischen Ländern von großer Bedeutung ist.

Die Entsalzungsanlage des „Smart Cube“ besteht aus einer kapazitiven Entionisierungseinheit mit Membranen (engl. MCDI) und einer Niederdruck-Umkehrosiose-Anlage (engl. LPRO), die parallel oder im Zusammenschluss betrieben werden.

Die MCDI-Technologie ist ein relativ neues elektrochemisches Entsalzungsverfahren, das poröse Kohlenstoffelektroden zur Adsorption von Ionen verwendet^[1]. Dabei werden Salz-Ionen von elektrisch geladenen Elektroden angezogen und das Wasser somit entsalzt. Die generellen Vorteile der MCDI-Technologie gegenüber der konventionellen RO-Technologie lassen sich wie folgt zusammenfassen:

- + hohe Energieeffizienz, insbesondere bei der Brackwasserentsalzung (typischerweise $<1 \text{ kWh m}^{-3}$, bezogen auf produziertes Frischwasser)
- + da die reine Entsalzung Gleichstrom im geringen Spannungsbereich benötigt, kann sie direkt mit PV betrieben werden
- + hohe Ausbeute an produziertem Frischwasser
- + durch Prozessparameter einstellbarer Entsalzungsgrad
- + kompakte und robuste Anlagen sind ideal für dezentrale Anwendungen zur Bewässerung geeignet.

Je nach Salzgehalt des Grundwassers werden die MCDI- und LPRO-Anlagen jeweils einzeln oder in Kombination verwendet, um verschiedene Wasserqualitäten zu produzieren. Die drei Anwendungsmöglichkeiten sollen im Projekt SmaCuMed untersucht und verglichen werden, sodass die energieeffizienteste Variante für die jeweilige Umgebungsbedingung eingesetzt werden kann. Die Konzentrat-Ströme der Entsalzungseinheiten werden in angelegte Verdunstungsbecken geleitet, in denen reines Salz für die Weiterverarbeitung in der Industrie produziert werden kann.

Die MCDI-Technologie wurde bereits von der Arbeitsgruppe von Prof. Jan Hoinkis in Vietnam in einem vom BMBF geförderten Projekt „WaKap“ (www.wakap.de) zur Produktion



Abb. 1: Projektregion bei Ouarzazate, Marokko (Foto: Jan Hoinkis)

von Trinkwasser in kleinem Maßstab (Produktion von 0,5 bis 3 m³ am Tag) für Privathaushalte untersucht. Die Erfahrungen aus diesem Projekt sind vielversprechend und dienen als Grundlage für die Forschungsarbeiten im SmaCuMed-Projekt. Hier wird die Produktionsmenge für die Bewässerung auf 20 bis 30 m³ am Tag erhöht und die Produktqualität angepasst. Vorversuche zeigten bereits, dass der spezifische Energiebedarf (SEC) bei der Trinkwassererzeugung aus Modellwasser mit einer NaCl-Konzentration von 1 g l⁻¹, durch die zehnfache Vergrößerung des Wasservolumendurchsatzes von 0.6 kWh pro m³ erzeugten Trinkwassers auf ca. 0.3 kWh m⁻³ fast halbiert werden konnte.

Im Projekt SmaCuMed werden zunächst Entsalzungsversuche im Labor der Hochschule Karlsruhe mit Modellwasser durchgeführt. Verschiedene Wasserqualitäten werden durch Kombinationen von MCDI und LPRO Modulen getestet und systematisch einzelne Betriebsparameter für den optimalen Betriebspunkt festgelegt. Weiterhin werden die Schnittstellen zu den Wasseraufbereitungstechnologien, wie PV-Anlage

„Eine intelligente Bewässerungsbox gegen die Folgen des Klimawandels“

Ulrich Hellriegel

sowie Sensor- und Steuerungssystem, untersucht und auf das SmaCuMed-Konzept angepasst. Wetterdaten werden vor Ort gesammelt und ausgewertet. Diese dienen als Grundlage zur Erstellung des Energieversorgungsplans der Entsalzungsanlage. Die Laborergebnisse sind die Grundlagen für die Auslegung der Pilotanlage und schließlich die Konzeptentwicklung der Versuche, die vor Ort in Marokko getätigt werden.

Das Konzept wird an zwei unterschiedlichen Standorten in Marokko pilotiert. Zunächst, ab Juni 2021, in einer semi-ariden Region an der Atlantikküste bei Essaouira in Abstimmung mit einer Argan Genossenschaft von Douar Foulouste in der ländlichen Gemeinde Sidi Kaouki.

Ein Jahr später wird der „Smart Cube“ in ein arides Gebiet bei Errachidia im Osten des Landes transferiert, wo das Vordringen der Sahara-Wüste viele landwirtschaftlich genutzte Flächen unwirtschaftlich gemacht hat. Hier kann die Bewirtschaftung weiterhin helfen die Wüstenausbreitung einzudämmen.

Neben der Entsalzungseinheit enthält der Smart Cube eine auf dem Internet of Things (IoT) basierende Echt-

zeit-Sensor- und -Steuereinheit, um eine effiziente, robuste und kostengünstige Entsalzungs- und Bewässerungsstrategie zu erzielen. Mit den Sensoren des portugiesischen Partners Aquagri werden die Bereiche Energieverbrauch, Wasser- und Wetterdaten überwacht, aufgenommen und ausgewertet. Die Herausforderung in diesem Projekt besteht darin, den Brunnenwasserverbrauch mit den Anforderungen der Bewässerung unter Berücksichtigung einer angemessenen Wasserqualität zu harmonisieren, um die gesamte Pflanzenproduktion zu maximieren. Die Sensordaten sind die Grundlage einer computerbasierten Optimierung des gesamten Wasser-, Energie- und Düngerhaushalts und der weiteren Entwicklung eines Entscheidungshilfesystems, um einen möglichst hohen Ernteertrag für die untersuchten Produkte – Arganfrüchte, Oliven und Datteln – zu erzielen.

SmaCuMed konzentriert sich auf die Sensibilisierung der Bevölkerung sowie der lokalen und regionalen Gebietskörperschaften für die Dringlichkeit der Bekämpfung der

Abb. 2: All-in-One Box: Schematischer Überblick des SmaCuMed Konzepts (Grafik: SmaCuMed-Konsortium)

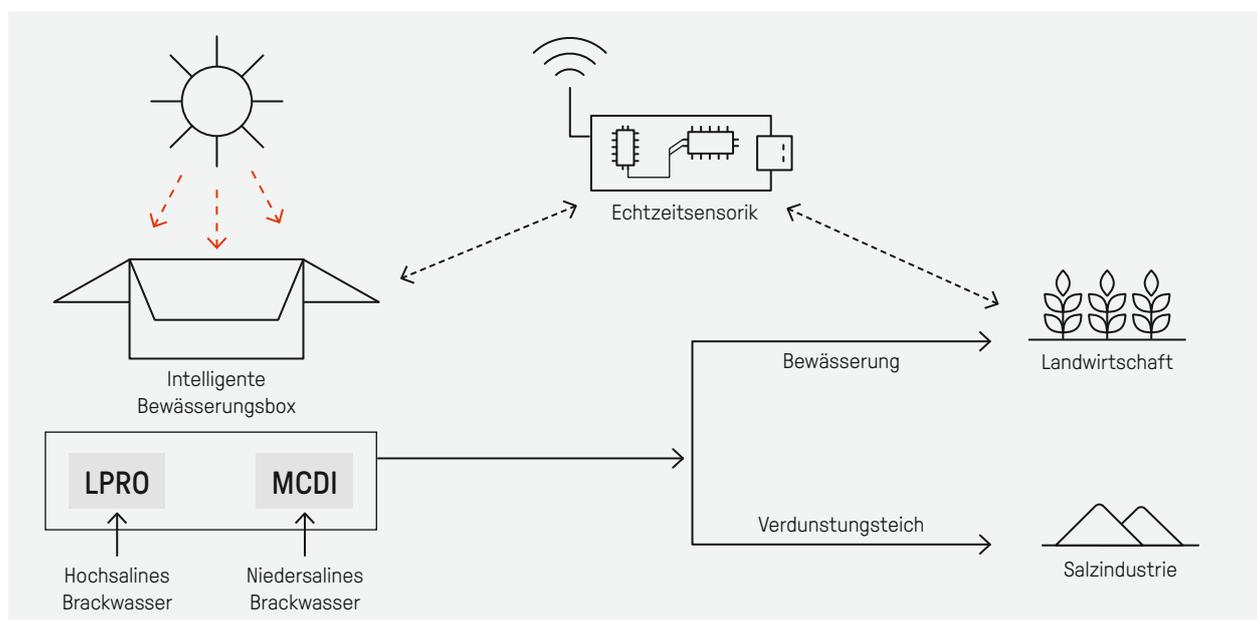




Abb. 3: Abmessungen auf einem Feld mit neu gepflanzten Dattelpalmen in Errachidia, Marokko (Foto: Fatima Jaiti)

Umweltauswirkungen des Klimawandels auf die zukünftige Ernteproduktivität. Dafür ist eine Bewertung der ökologischen, wirtschaftlichen und sozialen Nachhaltigkeit des integrierten Systems notwendig, wobei der Kontext der lokalen Umwelt sowohl in Marokko als auch in Tunesien als Beispiel für den Mittelmeerraum betrachtet wird. Durch den tunesischen Projektpartner CERTE und dem Fraunhofer IBP wird das Projekt mit einer Lebenszyklusanalyse (engl. LCA) unterstützt. Das Hauptziel hierbei ist die Verbesserung des regulatorischen Rahmens für Wasserversorgung und -management sowie die Schaffung wirtschaftlicher Unterstützungsinstrumente für wichtige Interessengruppen und Entscheidungsträger in nordafrikanischen Ländern.

Bei einem anwendungsorientierten Projekt wie SmaCuMed ist die Einbringung der lokal beteiligten Personen im direkten Umfeld der Anlage an den Pilotstandorten sehr wichtig. Aus diesem Grund wird das Projekt durch Seminare und Trainingskurse vor Ort begleitet, um



Abb. 4: Bewässerter und unbewässerter Arganbaum bei Essaouria, Marokko (Foto: Abdelilah Elabbassi)

eine möglichst hohe Akzeptanz in der Bevölkerung und bei den lokalen Stakeholdern zu erreichen. Weiterhin wird SmaCuMed einen besonderen Schwerpunkt auf die Integration von Frauen in den Wassersektor legen (z. B. stark vertreten durch Frauen in Argan-Genossenschaften). Nach Projektende soll durch eine Spin-off-Firma in Marokko der „Smart Cube“ langfristig vertrieben und betreut sowie die Zusammenarbeit der Industriepartner zwischen Europa und Nordafrika verstärkt werden. ✕

Autoren

Ulrich Hellriegel M.Sc.

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

Edgardo E. Cañas Kurz M.Sc.

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

Prof. Dr.-Ing. Jan Hoinkis

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

Kontakt

Prof. Dr.-Ing. Jan Hoinkis
Hochschule Karlsruhe
Fakultät für Elektro- und Informationstechnik
Projektleiter „Wassertechnologie“
am Institut für Kälte-, Klima- und Umwelttechnik
Moltkestraße 30
76133 Karlsruhe
E-Mail: jan.hoinkis@h-ka.de
Telefon: +49 (0) 721 925-1372

Innenstädte innovativ kühlen

Bernhard Lenz

DE Insbesondere Bäume kühlen durch Verdunstung und Schatten, lassen sich jedoch in Innenstädten nicht überall pflanzen. Bäume benötigen außerdem Wasser, Licht und viel Zeit zum Wachsen. Ein schneller Weg zur Lösung des städtischen Klimatisierungsproblems sind sie also leider nicht. Deshalb müssen neben botanischen Lösungen auch neue Formen der Anpassung für den urbanen Raum entwickelt und sukzessive umgesetzt werden. Wie die Verdunstungsfunktion analog der von Bäumen technisch umsetzbar wäre, ist Gegenstand dieses Beitrags, der innovative Ideen für alternative Verdunstungssysteme vorstellt. Es wurden räumlich kompakte Lösungen entwickelt, die sich zudem attraktiv ins Stadtbild integrieren lassen.

EN Trees in particular cool by evaporation and shade, but cannot be planted everywhere in city centers. Trees also need water, light and a lot of time to grow. Unfortunately, they are not a quick way to solve the urban air conditioning problem. Therefore, in addition to botanical solutions, new forms of adaptation for urban space must be developed and gradually implemented. How the evaporation function analogous to that of trees could be technically implemented is the subject of this article, which presents innovative ideas for alternative evaporation systems. Spatially compact solutions were developed, which can also be integrated attractively into the cityscape.

Ausgehend von einer globalen Erderwärmung von bis zu 2 °C kann dies in typischen Sommern zu einer Temperaturerhöhung von bis zu 5 °C in Innenstadtbereichen führen – mit allen negativen Folgen wie größerer gesundheitlicher Belastung, erhöhtem Energiebedarf und damit zusätzlichem CO₂-Ausstoss für die Klimatisierung der Gebäude. Experten rechnen damit, dass ohne die konsequente Umsetzung verschärfter Klimaschutzmaßnahmen die durch menschliches Handeln und Verhalten verursachte globale Erwärmung bis zum Ende des 21. Jahrhunderts sogar um 4 bis 5 °C steigen wird, was das Problem für die Städte, insbesondere die Großstädte, noch erheblich verschärft. Hinzu kommt, dass bereits jetzt etwa 55 % aller Menschen in Städten leben und die Urbanisierung weiter zunimmt.

Alternative Verdunstungssysteme für die Innenstädte

Als probates Mittel gegen die Hitze gilt unter Experten die Begrünung der Städte. Ein Baum trägt auf zweierlei Weise zu einer Temperaturniedrigung in seiner unmittelbaren Umgebung bei: zum einen dadurch, dass er einen Teil des Sonnenlichts absorbiert und Wasser transpiriert, das dann verdunstet, wodurch aufgrund des Wärmeentzugs dieses Prozesses die Umgebung unmittelbar abkühlt und zum anderen, indem er Schatten spendet. Verdunstung und Schatten sind die wichtigsten Abkühlungsfaktoren an einem heißen Sommertag. Hinzu kommt noch, dass ein Baum, wie jede grüne Pflanze, im Zuge der Photosynthese CO₂ aus der Umgebung aufnimmt und Sauerstoff freisetzt und damit auch dem Treibhauseffekt entgegenwirkt. So sehr also eine „grüne“ Stadt wünschenswert ist, lässt sich die Pflanzung neuer Bäume und damit einhergehend die Entsiegelung von Flächen in vielen Stadtbereichen nur unzureichend oder gar nicht realisieren. Häufig und zunehmend findet sich dort unterirdische Infrastruktur wie Abwasser-, Strom- oder Gasleitungen. Auf solchen Flächen einfach Bäume einzusetzen würde dazu führen, dass die Wurzeln früher oder später die unterirdischen Leitungen beschädigen. Außerdem wird entsprechender Platz benötigt: Ein ausgewachsener Ahornbaum oder eine Eiche breitet ihr Blätterdach in jede

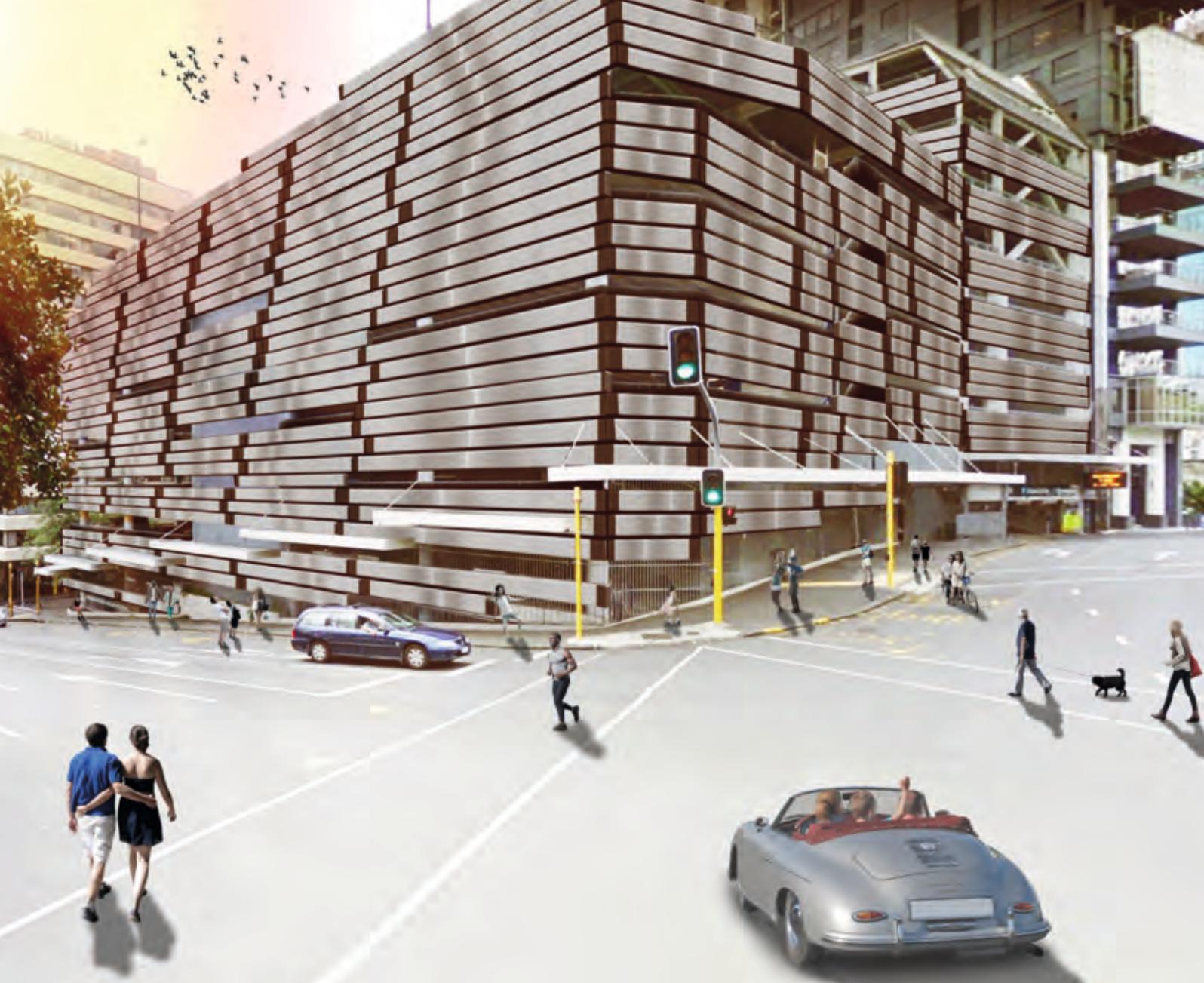


Abb. 1: Die Fassaden von Parkhäusern lassen sich mit Verdunstungselementen nachrüsten (Grafik: Lena Knoblauch und Jonas Haug)

Richtung über viele Meter aus – gleiches gilt für das Wurzelwerk. Bäume benötigen Wasser, Licht und viel Zeit zum Wachsen. Ein schneller Weg zur Lösung des städtischen Klimatisierungsproblems sind sie also nicht. Hinzu kommt, dass ein Baum als Organismus auf Photosynthese angewiesen ist. Hierfür braucht er eine große Krone, in der die Blätter der Sonne ausgesetzt sein müssen, eine Voraussetzung die ebenfalls in vielen Innenstadtbereichen nicht gegeben ist. Also müssen neben botanischen Lösungen auch neue Formen der Anpassung für den urbanen Raum entwickelt und sukzessive umgesetzt werden.

Wie die Verdunstungsfunktion analog der von Bäumen technisch umsetzbar wäre, ist Gegenstand dieses Beitrags, der innovative Ideen für alternative Verdunstungssysteme vorstellt. Es wurden Lösungen entwickelt, die ohne Photosynthese auskommen und damit auch räumlich deutlich kompakter sind: eine technische Verdunstungseinrichtung, die sich beispielsweise auch an bestehende Straßenlaternen anknüpfen lässt (siehe Abbildungen 2 und 4). Dieses

„cooling device“ besteht aus nach außen geschlossenen Ringelementen, deren Innenseiten eine spezifische dreidimensionale Struktur aufweisen, angelehnt an die Struktur des menschlichen Darms. So schafft man mit geringen Abmaßen eine große Oberfläche für die Verdunstung von Wasser. In diesen Verdunstern – so die Idee – wird Wasser über die innenliegenden Oberflächen geführt. Im Unterschied zu Düsen kann auch weniger reines Oberflächenabflusswasser genutzt werden (siehe Abbildung 3). Photovoltaisch betriebene Lüfter saugen Umgebungsluft oben an und führen diese so an den feuchten Oberflächen vorbei. Der Grad der Verdunstung lässt sich dabei über die Luftgeschwindigkeit, also die Lüfter, regeln. Dadurch gibt das „cooling device“ kühle und feuchte Luft an die Umgebung ab, ähnlich wie sein biologisches Vorbild. Das System würde sich erst einschalten, wenn eine Schwellentemperatur überschritten ist und sich ausschalten, sobald eine gewisse relative Luftfeuchtigkeit erreicht ist. Auf diese Weise ist sichergestellt, dass kein tropenartiges Klima entsteht.

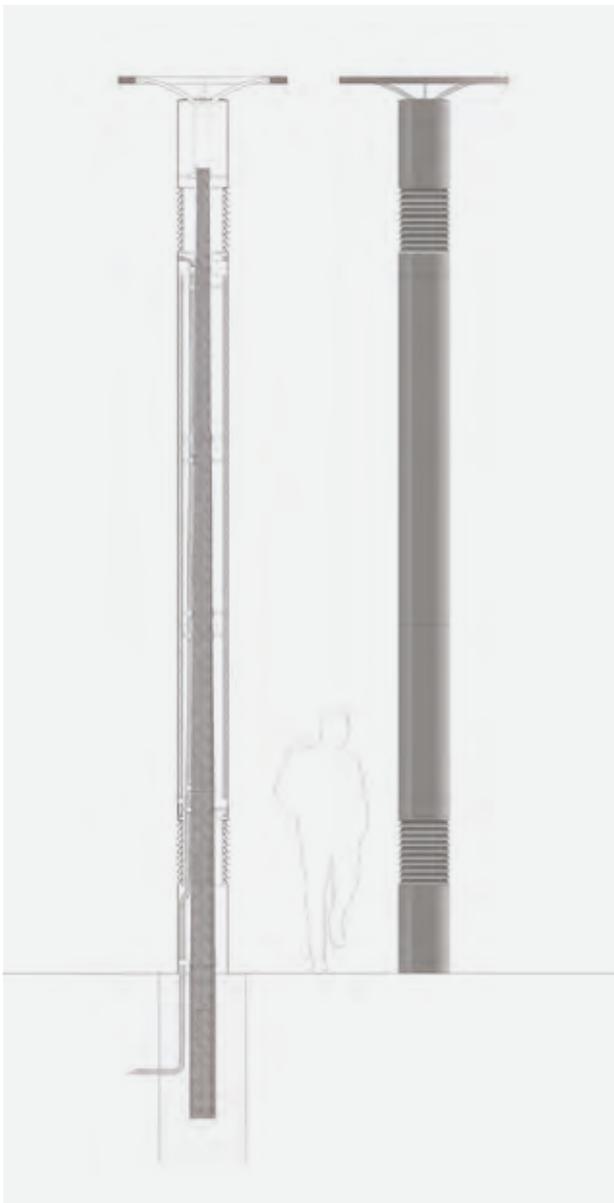


Abb. 2: An der Hochschule Karlsruhe könnte eine Verdunstungseinrichtung entwickelt werden, die sich auch an bestehende Straßenlaternen anknüpfen lässt (Grafik: Bernhard Lenz)

Ein weiteres innovatives Verdunstungssystem besteht in der Nachrüstung bereits vorhandener Fassaden mit Verdunstungselementen, etwa als Fassadenelemente für Parkhäuser, wie Abbildung 1 illustriert. Auf diese Weise könnte ein zusätzlicher Beitrag geleistet werden, die Städte im Sommer herunterzukühlen.

Weshalb führen Verdunstungsprozesse eigentlich zu Abkühlung?

Dass Verdunstungsprozesse Wärme entziehen und dadurch Abkühlung bewirken, leuchtet den mit Thermodynamik nicht vertrauten Lesern allenfalls phänomenologisch (Abkühlung durch Schwitzen etc.) ein. Verdunstung bedeutet den Phasenübergang von flüssigem Wasser in den gasförmigen Aggregatzustand, das in die Atmosphäre entweicht. Dieser Prozess erfolgt „freiwillig“ (exergonisch), obwohl dafür Energie in Form von Wärme aufgewendet werden muss (endothermer Prozess), da durch den Prozess die Gesamtentropie S_{Gesamt} zunimmt ($\Delta S_{\text{System}} + \Delta S_{\text{Umgebung}} > 0$) – die fundamentale Triebkraft aller Prozesse, beschrieben durch den zweiten Hauptsatz der Thermodynamik.

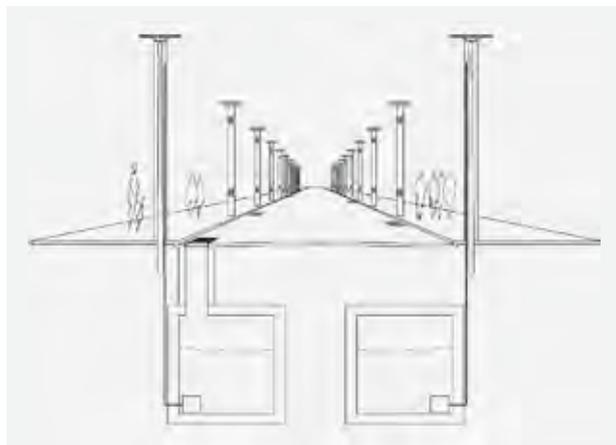


Abb. 3: Kombination von Zisternen und Straßenlaternen als Verdunstungssäulen mit großer Verdunstungsfläche (Grafik: Bernhard Lenz)

„Mit einem innovativen
„cooling device‘ wird eine
große Oberfläche für
die Wasserverdunstung
geschaffen.“

Niederschlagsveränderungen

Durch das wärmer werdende Klima rechnen Wissenschaftler mit einer weiteren Veränderung: Vielerorts werden im Sommer die Niederschläge ab- und im Winter zunehmen. Im Sommer fehlt es damit nicht nur zunehmend an Wasser, sondern auch das Überschwemmungsrisiko steigt in den Wintermonaten an. Auch hierfür wurde ein innovativer Lösungsansatz entwickelt: Überschüssiges Wasser sollte im Winter lokal gespeichert und saisonal versetzt über die Verdunster im Sommer freigesetzt werden. Die Zisternen müssten nicht wie Wurzeln direkt unter oder in unmittelbarer Nähe der Verdunster liegen, sondern könnten über eine Rohrleitung mit diesen verbunden werden. ✕

Autoren

Prof. Dr.-Ing. Bernhard Lenz
Professor für Energieoptimiertes Planen und
Nachhaltige Gebäudetechnologie an der Fakultät für
Architektur und Bauwesen der Hochschule Karlsruhe

Kontakt

Prof. Dr.-Ing. Bernhard Lenz
Hochschule Karlsruhe
Fakultät für Architektur und Bauwesen
Moltkestraße 30
76133 Karlsruhe
E-Mail: bernhard.lenz@h-ka.de



Abb. 4: Blick in die Zukunft: Innovative Straßenbeleuchtung mit speziellen Verdunstungsflächen sorgen für eine Verbesserung des innerstädtischen Klimas und fügen sich attraktiv ins Stadtbild ein (Grafik: Lena Knoblauch und Jonas Haug)

**FORSCHEN UND
GLEICHZEITIG INDUSTRIENAH
ARBEITEN GEHT NICHT?**

DOCH.

Ob Studierende*r oder Absolvent*in, ob Informatik, Ingenieur- oder Naturwissenschaften: Bei uns gestalten Sie die Zukunft mit – und sammeln Erfahrungen, die für Wissenschaft und Wirtschaft relevant sind.

Wir bieten:

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

www.iosb.fraunhofer.de/karriere



**MAKE
IT
AWESOME.**

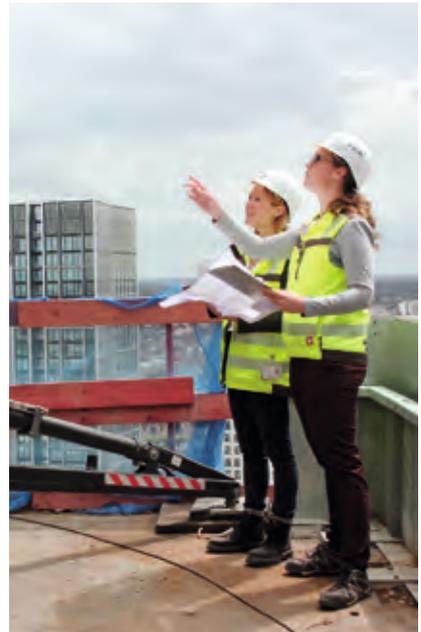
Praktikumsplatz? Werkstudenten-Job? Bachelorarbeit?
Für Zukunftsmacher*innen wie Dich ist immer Platz.

bluehands
//_softwareentwicklung()

bluehands GmbH & Co.munication KG
Kontakt: Lars Kaufmann _ +49 721 1610873
kaufmann@bluehands.de
www.bluehands.de

REALISIEREN SIE IHREN PLAN. BEI UNS.

 **Schüßler-Plan**



Berlin · Düsseldorf · Frankfurt am Main · Darmstadt · Dortmund · Dresden · Erfurt · Halle (Saale)
Hamburg · Hannover · Karlsruhe · Köln · Leipzig · Ludwigshafen · München · Neustrelitz · Nürnberg
Potsdam · Stuttgart · Warschau www.schuessler-plan.de

Zum
Schüßler-Plan
Imagefilm



Wasserstoff – mobiler Energiespeicher der Zukunft

Interview mit Karsten Pinkwart



Karsten Pinkwart im Gespräch mit Hendrik Hunsinger aus der Redaktion „Forschung aktuell“ der Hochschule Karlsruhe (alle Fotos im Interview: Tobias Schwerdt)

Dr. rer. nat. Karsten Pinkwart

ist seit 2015 Professor für Elektrochemie und Energiespeicher an der Fakultät für Elektro- und Informationstechnik der Hochschule Karlsruhe und stellvertretender Leiter des Bereichs Angewandte Elektrochemie am Fraunhofer-Institut für Chemische Technologie in Pfinztal. Im Juni 2020 wurde er als einer von 25 Experten zum Mitglied des Nationalen Wasserstoffrats der Bundesregierung ernannt. Die Nationale Wasserstoffstrategie ist von übergeordneter politischer Bedeutung. Dies zeigt auch das Ergebnis des Koalitionsausschusses vom 3. Juni 2020, das im Rahmen des Zukunftspakets 7 Mrd. Euro für den Markthochlauf von Wasserstofftechnologien in Deutschland und weitere 2 Mrd. Euro für internationale Partnerschaften im Kontext von Wasserstoff vorsieht. Bis 2030 sollen in Deutschland Erzeugungsanlagen von bis zu fünf Gigawatt Gesamtleistung entstehen.

Herr Professor Pinkwart, Sie sind seit Juni 2020 Mitglied im Nationalen Wasserstoffrat der Bundesregierung, die eine sehr ambitionierte Nationale Wasserstoffstrategie beschlossen hat. Was konkret sind die Aufgaben dieses Gremiums?

PROF. KARSTEN PINKWART: Die Regierung erwartet, dass diese Strategie inhaltlich vom Wasserstoffrat begleitet wird. An der Nationalen Wasserstoffstrategie sind viele Bundesministerien beteiligt – Wirtschaftsministerium, Ministerium für Bildung und Forschung, Verkehrsministerium, Umweltministerium, Verteidigungsministerium, Ministerium für wirtschaftliche Zusammenarbeit –, das Kanzleramt und andere Ressorts. Die Strategie verfolgt das Ziel, unsere Gesellschaft fit für den Wandel in das Wasserstoffzeitalter zu machen. Der Nationale Wasserstoffrat, Kurzbezeichnung NWR, setzt sich dementsprechend aus Vertretern zusammen, die die unterschiedlichsten Bereiche der Gesellschaft widerspiegeln: unter anderem Vertreter der Industrie, der Forschung, der Umwelt- und Arbeitnehmerverbände. An den Sitzungen des NWR nehmen auch immer Vertreter der Bundesländer teil. Es nehmen aber nicht 16 Vertreter an den Sitzungen teil, sondern die Länder teilen sich untereinander auf. Aktuell nimmt das Land Baden-Württemberg, das zusammen mit Bayern einen gemeinsamen Sitz im NWR hat, durch Vertreter des Umweltministeriums an den Sitzungen teil. Durch diese Zusammensetzung ist der NWR imstande, die Bundesregierung in allen Aspekten, die im Rahmen der Umsetzung der Strategie auftreten, zu beraten und Handlungsempfehlungen auszusprechen. Dabei geht es um gesetzgeberische wie technologische Belange – immer unter dem Aspekt eines weiten Blickwinkels. Die Aufgabe, die sich Deutschland gestellt hat, ist äußerst herausfordernd. Die Umsetzung der Strategie bedeutet nicht weniger als eine industrielle Revolution. Vor allem aufgrund des zunehmenden Klimawandels muss der CO₂-Ausstoß deutlich reduziert werden. Deshalb müssen die fossilen Energieträger ersetzt werden, zumal sie in wenigen Jahrzehnten ohnehin aufgebraucht sein werden, wenn wir sie weiterhin im gegenwärtigen Ausmaß verwenden und teilweise auch verschwenden. Deshalb müssen jetzt zügig die Voraussetzungen für den Markthochlauf von Wasserstofftechnologien in Deutschland geschaffen werden.



Beinhalten die Empfehlungen des NWR auch, wie die Ziele technisch umgesetzt werden können?

Ja. Eine Vielzahl an Demonstrationsprojekten gab es ja schon in der Vergangenheit, teilweise mit Grundlagencharakter, teilweise mit Anwendungscharakter. Im Zentrum steht unter anderem die Realisierung großtechnischer Elektrolyseanlagen, die regenerativ gewonnenen elektrischen Strom zur Wasserspaltung und damit zur Wasserstoffherzeugung nutzen. Nun geht es um die Fragen: Wann ist die Industrie in der Lage diese auf den Markt zu bringen? Welche Schritte sind noch für eine industrielle Umsetzung zu gehen? Wir sprechen unsere Empfehlungen mit einem technologieoffenen Blick aus.

Welche Expertise bringen Sie persönlich in den NWR ein?

Ich bin ja beruflich in einer Doppelfunktion tätig: Seit 1996 bin ich am Fraunhofer-Institut für Chemische Technologie in Pfinztal und dort seit 2003 stellvertretender Leiter des Bereichs Angewandte Elektrochemie. Seit den 70er-Jahren beschäftigt sich dieser Bereich mit der Wasserstoffbereitstellung, dessen Speicherung und Wandlung, aber auch mit dessen sicherem Umgang und dies vielfach in speziellen Anwendungen. Die Wasserstoffhistorie ist hier also schon lange angelegt und dieses Wissen bringe ich in den NWR ein. Auf der anderen Seite bin ich als Professor und Prodekan an der Fakultät für Elektro- und Informationstechnik der Hochschule Karlsruhe tätig. Dort gebe ich dieses anwendungsnahe Wissen an die Studierenden weiter, die nach ihrem Abschluss in den neuen Industriezweigen der Wasserstofftechnologien, in Forschungs- oder auch Umwelteinrichtungen sehr gebraucht und nachgefragt sein werden. Ohne eine ausreichende Anzahl von Fachpersonal aus den kommenden Absolventenjahrgängen wird die Umsetzung der Wasserstoffstrategie nicht möglich sein. Auch diese Aspekte aus der Hochschullehrerperspektive bringe ich in den NWR ein.

Worin liegt Ihrer Meinung nach der entscheidende Vorteil der Wasserstofftechnologien?

Viele verbinden ja mit dem Thema die Wasserstoffexplosion. Wasserstoff ist aber in Wahrheit eine sehr sichere Chemikalie und kann zum Beispiel einfach und kontrolliert in einer Turbine verbrannt werden. Schon in den 90er-Jahren hat

BMW Wasserstoffverbrennungsmotoren hergestellt und auf dem Markt angeboten. Ich kann Wasserstoff auch in einer sogenannten kalten Verbrennung in einer Brennstoffzelle umsetzen und dabei elektrische Energie gewinnen. In der chemischen Industrie ist Wasserstoff seit vielen Jahrzehnten eine unverzichtbare Grundchemikalie, zum Beispiel bei der Ammoniakherstellung, einem wichtigen Grundstoff für Düngemittel und andere Folgeprodukte. Der entscheidende Vorteil von Wasserstoff für die umzusetzenden Technologien aber ist die Tatsache, dass er als mobiler Energiespeicher dienen kann

„Wasserstoff ist die ideale Ressource für die Energieprobleme der Zukunft.“

Karsten Pinkwart

und zwar besonders vorteilhaft als Speicher für erneuerbare Energien, die fluktuierend Strom erzeugen, wie es zum Beispiel in der Photovoltaik und der Windkraft der Fall ist. Der erzeugte Strom wird zur elektrolytischen Wasserstoffherzeugung durch Wasserspaltung verwendet: Die elektrische Energie wird also in chemische Energie des Wasserstoffmoleküls H_2 transformiert und dadurch gespeichert. Man spricht hier auch von „grünem Wasserstoff“. Ein weiterer wichtiger Anwendungsbereich ist die Stahlindustrie: Bisher wird ja Eisen gewonnen, indem Eisenoxid mithilfe von Koks und Kohlenstaub reduziert wird. Dabei entsteht eine riesige Menge an CO_2 . Wenn wir diesen CO_2 -Ausstoß vermindern wollen, brauchen wir Wasserstoff – denn er ist ein ideales Reduktionsmittel für Eisenoxid. Betrachten wir auch die chemische Industrie: Wenn wir irgendwann nicht mehr wirtschaftlich auf Erdöl oder Kohle zurückgreifen können, dann müssen unsere Grundchemikalien anders hergestellt werden. Mit Wasserstoff und CO_2 kann ich eine Vielzahl an Kohlenwasserstoffen produzieren – gasförmige, aber auch



flüssige. Deshalb ist es eine industrielle Revolution, vor der wir stehen, weil die Anwendungen der Wasserstofftechnologien so übergreifend und umfassend sind. Sie betreffen die chemische Industrie, die Stahlindustrie, die Energieerzeuger, die Energiewandlungsindustrie und die Mobilität.

Stichwort Mobilität: Wird Wasserstoff beim Transportverkehr, vom Pkw- bis zum Flugzeugverkehr, eine große Rolle spielen?

Im Bereich der privaten Mobilität wird sich zeigen müssen, wie schnell sich das Ganze wirtschaftlich umsetzen lässt und wie schnell in Europa eine Wasserstoffinfrastruktur realisiert wird. Für den Flug-, Fern-, Schwerlast- und Schiffsverkehr sehe ich aus heutiger Sicht für die nächsten Jahrzehnte keine batterieelektrische Lösung, die uns vorwärtsbringen kann. Die Energie dafür wird aus dem Wasserstoff – ob als synthetischer Kraftstoff oder direkt – kommen. Mit der Wasserstofftechnologie basierend auf erneuerbaren Energien kann ich in Bezug auf die Mobilität drei Wege einschlagen. Man kann den Wasserstoff direkt in einem Motor warm verbrennen. Als Abgas habe ich bei richtiger Auslegung und Steuerung nur Wasser. Ich kann aber auch den Wasserstoff in einer Brennstoffzelle kalt verbrennen und stelle damit elektrische Energie für einen Elektromotor zur Verfügung und produziere dabei ebenfalls nur Wasser als Abgas. Die dritte Einsatzmöglichkeit beruht auf der chemischen Umsetzung mit Kohlendioxid zu synthetischen Kraftstoffen, die dann wiederum auch warm in einem Motor verbrannt werden. Das Abgas wäre jetzt zwar wieder Kohlendioxid, dieses wurde aber bei der Herstellung bereits der Umgebung entnommen und somit wäre auch dieser Prozess CO₂-neutral. Diese drei Möglichkeiten gilt es mit unterschiedlichen, auch gesellschaftlichen und arbeitsmarktpolitischen Blickwinkeln zu analysieren und zu bewerten, um dann Empfehlungen auszusprechen – ein komplexes Unterfangen. Zwei Beispiele: Baden-Württemberg ist ein

Land der Motorenbauer. Würde ein kompletter Wechsel auf die Elektromobilität erfolgen, müssten für sehr viele Arbeitnehmer:innen im Motorenbau neue Arbeitsplätze geschaffen werden, denn in einem durch einen Verbrennungsmotor betriebenen Fahrzeug sind ca. hundertmal mehr Bauteile verbaut als in einem Elektrofahrzeug. Die Betrachtung möglicher Fahrzeugklassen zeigt, dass im PKW-Bereich alle drei genannten Antriebsarten möglich sind. Wenn aber der Schwerlastbereich in den Fokus rückt, dann wird dies mit einer Batterie nur schwer darstellbar sein. Dann kommen der synthetische Kraftstoff und die Brennstoffzelle in die engere Wahl. Wenn ich zwischen diesen beiden entscheiden muss, sind Fragen nach der aktuellen und zukünftigen Verfügbarkeit, der Infrastruktur und vielem mehr zu stellen.

„Die Vielfalt klimafreundlicher Anwendungen von Wasserstoff ist enorm.“

Karsten Pinkwart

Was sind gegenwärtig die größten Probleme für die Umstellung auf Wasserstofftechnologien?

Elektrolyseanlagen kennt man zwar seit vielen Jahren – man kennt die Verfahren – aber eine großtechnische Produktion dieser Anlagen gibt es noch nicht. Wir benötigen entsprechende Produktionstechnologien. Ein weiteres Thema ist die Infrastruktur. Mit Blick auf die erneuerbaren Energien sind wir bei der Solarenergie überall gut aufgestellt. Bei der Windkraft ist der Norden besser bestückt als der Süden. Deshalb sollte man entsprechende Infrastrukturen schaffen. Ich muss Elektrolyseanlagen,

mit denen ich Wasserstoff herstellen kann, vor Ort haben. Den Energieträger Wasserstoff muss ich dann weiterverteilen. Das kann über die Gasnetze erfolgen oder ich speichere ihn vor Ort in Form von komprimiertem oder flüssigem Wasserstoff und bereite ihn auf diese Weise für den Weitertransport vor. Eine weitere Möglichkeit wäre, ihn in Kohlenwasserstoffe umzuwandeln, die ich dann ebenfalls als Gas oder Flüssigkeit weiterverteilen kann. Hierzu braucht es die entsprechenden industriellen Anlagen. Hinter dieser Frage steckt aber noch mehr: Wie soll die geographische Verteilung der Standorte für



erneuerbare Energien aussehen? Setzt man auf bestimmte Regionen und sorgt dann für die Verteilung oder werden lokale Erzeuger geschaffen, um auch einen höheren Grad der Unabhängigkeit zu erreichen? Gerade letzteres hat in den vergangenen Jahrzehnten in Bezug auf die fossilen Energieträger sehr gut funktioniert. So hat Deutschland aus mehr als 20 Ländern weltweit fossile Energieträger bezogen. Auch in Bezug auf Wasserstoff wird sich die Gesellschaft darauf einstellen müssen. In diesem Zusammenhang gilt es dann zu klären, wie und in welcher Form kommt der Wasserstoff dann zu uns. Diese Vielfalt an Alternativen mögen einen zwar zu erschlagen drohen, bieten aber der Gesellschaft große Chancen. Diese müssen nun genutzt werden und hier werden sich neue Allianzen und neue Markttreiber platzieren. An dieser Stelle ist wiederum dann auch der NWR gefragt: Sind alle Möglichkeiten betrachtet und richtig bewertet worden? Außerdem gibt es an einzelnen Stellen noch Optimierungsbedarf bei der Effizienz. Dafür muss die gesamte Kette von der Stromerzeugung, über Wandlung, Lagerung, Logistik bis hin zur Verwendung betrachtet werden. Zum Beispiel die Speicherung: Aus Wasserstoff kann ich Methangas erzeugen; das Methangas kann ich ganz klassisch in das Erdgasnetz einspeisen und benötige dafür keine neue Infrastruktur. Wenn ich aber langfristig Methan speichern will, brauche ich große Erdgasspeicher, ehemalige Salzstöcke zum Beispiel. Beim Einspeichern muss ich das Methan komprimieren, dabei entstehen Verluste, ebenso wenn ich es wieder dekomprimiere. Also lautet die Frage: Was kann ich besser machen? In Elektrolyseanlagen stecken wichtige Edelmetalle, wie Iridium, Platin und Palladium. Das Gleiche gilt auch für die Brennstoffzelle. Also muss ich mich fragen: Wie kann ich diese Stoffe recyceln, wenn die Altersgrenze der Anlage erreicht ist? Oder noch besser: Wie kann ich von Anfang an ein System so aufbauen, dass es sich später leicht recyceln lässt?

„Durch klimafreundlich hergestellten Wasserstoff wird die Energiewende gelingen.“

Karsten Pinkwart

Wo steht der Industriestandort Deutschland gegenwärtig im internationalen Vergleich bei der Wasserstofftechnologieforschung?

Alle großen Industrienationen haben eine nationale Wasserstoffstrategie aufgestellt und setzen diese um. Da können wir gut mithalten, müssen aber am Ball bleiben, denn die Pläne der Nationalen Wasserstoffstrategie sind ehrgeizig: Deutschland soll eine weltweite Vorreiterrolle im Bereich der Wasserstofftechnologie einnehmen. Auf der Forschungs- und Entwicklungsseite haben wir gute Teams in Deutschland, und auch auf industrieller Seite sind wir gut aufgestellt: Das gilt für Großunternehmen und kleine bis mittlere spezialisierte Unternehmen, die Komponenten zuliefern. Und wir sind nicht in dem Maße von Importen abhängig wie bei der Produktion von Lithium-Ionen-Akkus, zumal die Gewinnung von Lithiumsalzen immer kostspieliger wird. Das Alkalimetall Lithium hat an der Erdkruste einen Anteil von etwa 0,006 % und seine Gewinnung ist durch die starke Verteilung schwierig.

Für die Elektrolyseanlagen zur Wasserstoffherzeugung sind wir umso weniger auf Importe der oben genannten Edelmetalle angewiesen, je effizienter wir diese aus den Anlagen wieder recyceln können. In Deutschland gibt es keine nennenswerten Vorkommen dieser Edelmetalle. Aber alle anderen Komponenten stehen uns zur Verfügung. Im Maschinen- und Anlagenbau, aber auch in anderen Bereichen sind umfangreiche Kompetenzen in Deutschland vorhanden, die es mit Forschung und Technologie zu stärken gilt, um auch im internationalen Wettbewerb mit vorne dabei zu sein.

Vielen Dank für das Gespräch!

KTE

Kerntechnische
Entsorgung Karlsruhe



Starte jetzt Deine spannende Karriere in der Nuklearbranche

Gemeinsam mit uns die Zukunft gestalten!

Die KTE ist im Bereich Rückbau und Entsorgung kerntechnischer Anlagen tätig. Wir bieten Dir eine langfristige Zusammenarbeit mit guten Rahmenbedingungen - z. B. im Bereich Technik und Ingenieurwesen mit einzigartigen und anspruchsvollen Tätigkeiten oder im Rahmen eines Dualen Studiums.

Interesse?
Jetzt bewerben!
www.kte-karlsruhe.de/karriere

**Wir setzen Maßstäbe.
Mit Sicherheit.**



GenLab goes Hydrogen

Philipp Baltschun und Maurice Kettner

DE Wasserstoff hat großes Potenzial zur Speicherung von regenerativ erzeugtem Überschussstrom („Power-to-Gas“). Die Forschungsgruppe GenLab der Hochschule Karlsruhe baut deshalb die Wasserstoffinfrastruktur in seinen Laboren stetig weiter aus. Der Aufbau eines Elektrolyseurs (H_2 -Erzeugung), einer Verdichtereinheit inkl. Hochdruckspeicher sowie Gasmotoren unterschiedlicher Leistungsklassen ermöglichen dem GenLab, neuartige Brennverfahren und innovative Zündsysteme zu entwickeln, um Wasserstoff im Gasmotor effizient und sauber einsetzen zu können. Dieser stellt die Hauptkomponente eines Blockheizkraftwerks zur dezentralen Energieversorgung dar.

EN Hydrogen has great potential for storing surplus electricity generated from renewable sources (“power-to-gas”). The GenLab research group at Karlsruhe University of Applied Sciences is therefore constantly expanding the hydrogen infrastructure in its laboratories. The construction of an electrolyser (for H_2 generation), a compressor unit including high-pressure storage as well as gas engines of different power classes enable GenLab to develop novel combustion processes and innovative ignition systems in order to use hydrogen efficiently and cleanly in a gas engine. The gas engine represents the main component of a combined heat and power plant for decentralised energy supply.

Die Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien (EE) wird in Deutschland neben Wasserkraft und Biomasse zum Großteil aus Wind- und Sonnenergie gedeckt^[1]. Diese sind naturgemäß sehr volatil, weshalb sie eine große Herausforderung für die Sicherstellung der Stromversorgung darstellen.

Die Wochenübersicht zur Stromerzeugung in Deutschland (s. Abb. 2) zeigt beispielhaft, dass ein erhöhter Anteil erneuerbarer Energien (42 % in 2019^[1]) sogar im Sommer stark schwankende Residuallasten (Differenz zwischen Lastnachfrage und Stromerzeugung durch erneuerbare Energien) zur Folge hat. Es treten u. a. negative Residuallasten auf. Diese entsprechen einem EE-Anteil von über 100 % (Abbildung 2, blau-gestrichelt), womit die starken Schwankungen um den Jahresmittelwert von 42 % deutlich werden. Da das Stromnetz nur eine begrenzte Speicherfähigkeit besitzt, müssen diese Volatilitäten durch zusätzliche Stromspeicher und flexible Kraftwerke ausgeglichen werden^[3].

Für das GenLab der Hochschule Karlsruhe stellen chemische Speichertechnologien einen wichtigen Baustein dar. Grund dafür sind die langfristige Speichermöglichkeit, die Transportmöglichkeit in der vorhandenen Infrastruktur und die hohe Energiedichte. Insbesondere Wasserstoff bietet nach Meinung der zehnköpfigen Forschungsgruppe die Möglichkeit, sektorübergreifend auf eine klimaneutrale Energieversorgung umzustellen. Die Agenda zur „Nationalen Wasserstoffstrategie“ des Industriestandorts Deutschland bestätigt diese Ansicht, auch weil die Bundesrepublik das ambitionierte Ziel ausgerufen hat, bei den Wasserstofftechnologien eine globale Führungsrolle einzunehmen^[4].

Überdies hat der deutsche Verein des Gas- und Wasserfaches e.V. (DVGW) zusammen mit 33 Industrieunternehmen eine Transformationsstrategie für eine klimaneutrale Gasversorgung in Deutschland entwickelt. Diese sieht eine schrittweise Einführung von Wasserstoff im gesamten Gasverteilnetz vor, sodass im Jahr 2050 Netzabschnitte mit 100 % H_2 , Bio-/EE-Methan in Reinform oder mit Beimischung von Wasserstoff zu Bio-/EE-Methan parallel betrieben werden^[5].

Der im Wasserstoff chemisch gespeicherte Strom kann in Kraft-Wärme-Kopplungsanlagen (KWK) effizient wieder verstromt und die Abwärme genutzt werden. Die dort eingesetzten Gasmotoren sind zeitlich flexibel einsetzbar, weshalb sie

[1] „Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi): Erneuerbare Energien,“ November 2020. [Online]. Available: <https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Dossier/erneuerbare-energien.html>.

[2] Eigene Darstellung mit Daten von: „Fraunhofer: Energy Charts,“ Dezember 2020. [Online]. Available: <https://energy-charts.info/charts/power/chart.html?de&c=DE>.

[3] „Integration erneuerbarer Energien in das Stromversorgungssystem,“ Energie.de: Das Portal der Energiewirtschaft, Nr. Energiewirtschaftliche Tagesfragen 61. Jg., Heft 8, 2011.

[4] „Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF): Nationale Wasserstoffstrategie,“ November 2020. [Online]. Available: <https://www.bmbf.de/de/nationale-wasserstoffstrategie-9916.html#:~:text=Im%20Rahmen%20der%20Nationale%20Wasserstoffstrategie,allein%20aus%20dem%20Klimafonds%20bereit..>

für den kurzfristigen Leistungsausgleich und damit für den Regelenergiemarkt eine wichtige Rolle spielen. Eine hohe Flexibilität wird fortan immer mehr an Bedeutung gewinnen, wenn aufgrund steigender EE-Anteile nicht mehr nur auf die Nachfrage-, sondern auch auf die Angebotsseite reagiert werden muss. Dank angepasster Gasmotoren wird in Zukunft auch der variable Betrieb mit Erdgas und/oder Wasserstoff möglich sein, um auf diese Weise den schrittweisen Ausbau der Gasinfrastruktur mit wachsenden H₂-Anteilen voranzutreiben. Die örtliche Unabhängigkeit der KWK-Anlagen macht es möglich, Energie am Ort des Bedarfs zu produzieren und somit Verluste beim Transport zu minimieren. Prominente Beispiele wie das Kieler Gasmotoren-Küstenkraftwerk zeigen, dass mit dem Ansatz der dezentralen Energieversorgung konventionelle Kohlekraftwerke ersetzt werden können^[6].

Die H₂-Infrastruktur im GenLab

Das GenLab hat das Potenzial von Wasserstoff erkannt und intensiviert seine Forschungsaktivitäten auf dem Gebiet dieser vielversprechenden Zukunftstechnologie. Das Ziel ist, die Vorteile der Kraft-Wärme-Kopplung und der Wasserstofftechnologie im Verbund optimal einsetzen zu können. Aus diesem Grund baut die Forschungsgruppe die Wasserstoffinfrastruktur in seinen Laboren stetig weiter aus, um die gesamte Wasserstoffkette darzustellen. Diese umfasst die Erzeugung in einem Elektrolyseur (Wasserstoffgewinnung aus Wasser und elektrischer Energie), die Speicherung unter hohem Druck (Speicherung mit hoher Energiedichte) und die Rückverstromung inkl. Abwärmennutzung (Erzeugung von Strom, Wärme und Kälte, s. Abb. 3).

Elektrolyseur

Das Elektrolyseverfahren ist eine effiziente Technologie, um Wasserstoff aus überschüssigem Strom und Wasser herzustellen (bis zu 80 % Wirkungsgrad)^[7]. Durch Anlegen einer elektrischen Spannung wird eine Redoxreaktion erzwungen, bei der Wasser in seine Bestandteile Wasserstoff und Sauerstoff zerlegt wird^[7]:

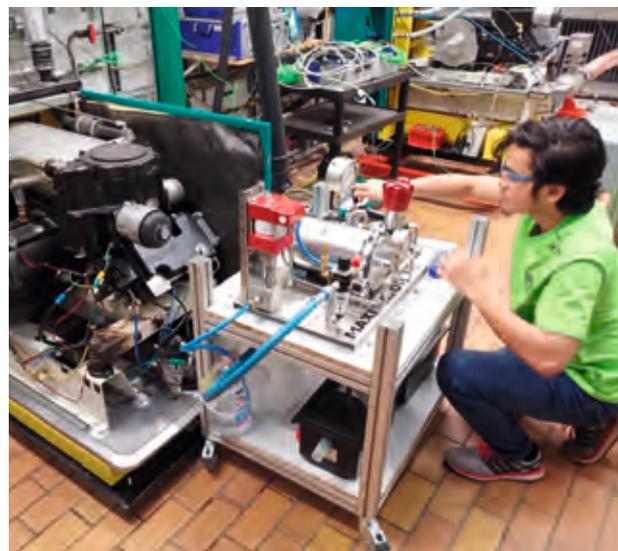
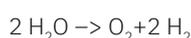


Abb. 1: Experimentelles Arbeiten am GenLab-Prüfstand für BHKW-Antrieb (Foto: Maurice Kettner, Hochschule Karlsruhe)

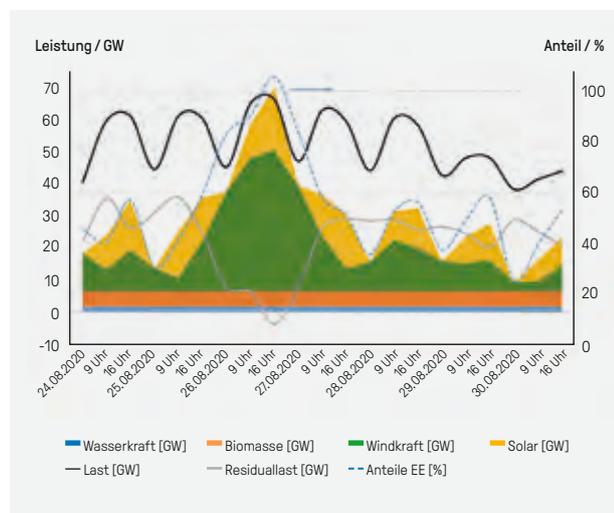


Abb. 2: Stromerzeugung durch erneuerbare Energien in Deutschland, 24.08.2020 – 30.08.2020^[2]

„Im Anfang war der Wasserstoff“

Hoimar von Ditfurth

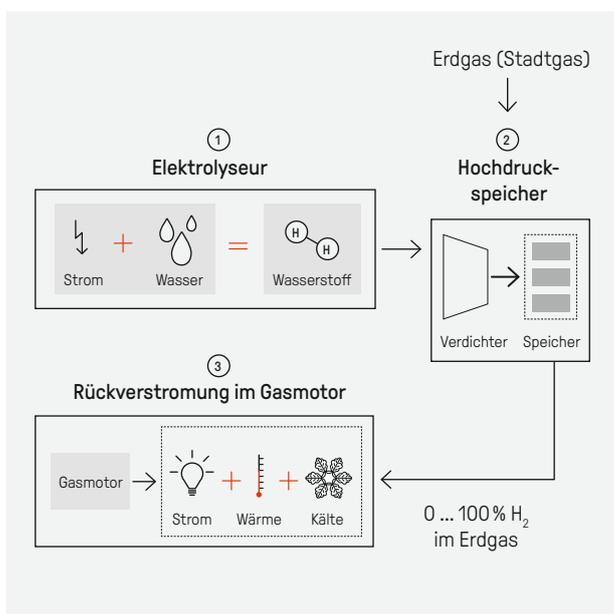


Abb. 3: Übersicht der Wasserstoffinfrastruktur im GenLab der Hochschule Karlsruhe

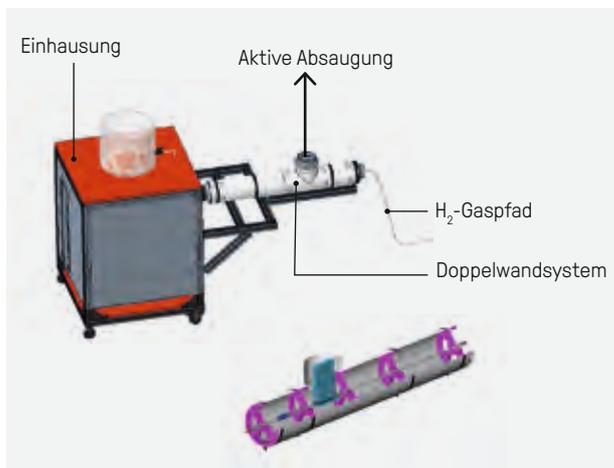


Abb. 4: Übersicht der Elektrolyseeinheit im GenLab der Hochschule Karlsruhe (links) sowie Detailansicht des Doppelwandsystems (rechts)

Das GenLab betreibt eine Proton-Austausch-Membran (PEM)-Elektrolyseur der Firma SyLaTech – Variante HE 5000^[8]. Diese erzeugt Wasserstoff mit einer Gasreinheit von > 99,9995 % (Gasreinheitsklasse 5.0)^[9] und erreicht einen H₂-Volumenstrom von maximal 0,3 m³_N/h bei einem variablen Ausgangsdruck von bis zu 10 bar/Ü^[8].

Um den erhöhten Sicherheitsanforderungen von Wasserstoff gerecht zu werden, ist die Elektrolyseeinheit mit einem ex-geschützten Absaugsystem ausgestattet. Dazu ist der Elektrolyseur vollständig eingehaust und die wasserstoffführenden Leitungen mit zusätzlichen Abluftleitungen ausgestattet (Doppelwandsystem). Im Falle einer Leckage wird so ein Austreten des leichtentzündlichen Gases in die Laborumgebung verhindert. Eine aktive Absaugung im Doppelwandsystem sorgt dafür, dass ausströmender Wasserstoff sofort ins Freie abgeleitet wird. Eine Übersicht der gesamten Elektrolyseeinheit sowie eine Detailansicht des Doppelwandsystems sind nachstehend gezeigt (s. Abb. 4).

In Ergänzung zum Elektrolyseur bietet das Gesamtsystem die Möglichkeit, Wasserstoff in Gasflaschen zuzukaufen und zu integrieren. Auf diese Weise kann der maximal mögliche H₂-Volumenstrom deutlich erhöht werden.

Hochdruckspeicher

Eine der wichtigsten Anforderungen an einen Energiespeicher ist eine hohe gravimetrische und volumetrische Energiedichte. Für Wasserstoff ist erstgenannte sehr hoch (ca. 33 kWh/kg). Die volumetrische Energiedichte ist mit ca. 3 kWh/m³_N vergleichsweise klein^[10], weshalb es nahe liegt, diese zu erhöhen. Eine Möglichkeit stellen u. a. Druckgaspeicher dar. Aktuell installiert das GenLab einen Hochdruckspeicher inkl. Verdichtereinheit für seine Labore (s. Abb. 5).

Mit diesem System ist es möglich, sowohl Erdgas als auch Wasserstoff (u. a. vom Elektrolyseur erzeugt) zu verdichten und in Gasflaschenbündeln zu speichern (300 bar, 600 l)^[11]. Die realisierbaren Erdgasleistungen werden dank der Speichereinheit auf ca. 450 kW angehoben (vorher 110 kW), was dem GenLab die Erforschung neuartiger und innovativer Brennverfahren ermöglicht. Neben der Opportunität, fortan Untersuchungen an BHKW-Anlagen mit bis

[5] „DVGW: H2 vor Ort,“ November 2020. [Online]. Available: <https://www.dvgw.de/themen/energiewende/wasserstoff-und-energiewende/h2vorort/>.

[6] „Stadtwerke Kiel: Küstenkraftwerk,“ Dezember 2020. [Online]. Available: <https://www.stadtwerke-kiel.de/ueber-uns/kuestenkraftwerk>.

[7] „Thyssenkrupp AG: Technologien für die Energiewende – Wasserelektrolyse,“ November 2020. [Online]. Available: <https://www.thyssenkrupp.com/de/unternehmen/innovation/technologien-fuer-die-energiewende/wasserelektrolyse.html>.

[8] „Sygastec GmbH,“ Dezember 2020. [Online]. Available: <https://www.sygastec-gmbh.com/electrolysis.html>.

[9] „Gasetechnik24: Gasreinheit,“ November 2020. [Online]. Available: <https://www.gasetechnik24.de/gasreinheit>.

[10] „Quintech Brennstoffzellen Systeme,“ Dezember 2020. [Online]. Available: <http://www.brennstoffzelle-energie.de/index.php/wasserstoff/>.

[11] „www.maximator-gassolutions.de,“ Maximator Gas Solutions GmbH, 2020. [Online]. Available: www.maximator-gassolutions.de.

zu $140 \text{ kW}_{\text{el}}$ (vorher $35 \text{ kW}_{\text{el}}$) durchführen zu können, lassen sich die Forschungsaktivitäten auf dem Gebiet der Gemischbildungssysteme signifikant ausbauen. Bisher konnten nur Niederdrucksysteme, die auf dem Venturiprinzip basieren, verwendet werden. Mit der neuen Anlage können sowohl Niederdrucksysteme mit einem erforderlichen Druckniveau von vier bis acht bar (zylinderselektive Einblasung inkl. Luftaufladung) als auch Zylinderdirektinblasseysteme mit 30 bis 250 bar eingesetzt werden. Insbesondere für Wasserstoff ist die Direktinblasung interessant, da mit ihr der Gemischheizwert (und damit der effektive Mitteldruck) gegenüber einer externen Einblasung deutlich erhöht wird. Zudem erlaubt das hohe Druckniveau den Betrieb von aufgeladenen Motoren. Weitere mögliche Vorteile sind eine erhöhte Zylinderfüllung sowie eine zylinderselektive Verbrennungsregelung, welche für eine weitere Emissionsreduzierung bei gleichzeitiger Motorwirkungsgraderhöhung wichtig sind. Somit ist die Verdichter- und Speichereinheit für die zukünftigen Arbeiten der Forschungsgruppe von zentraler Bedeutung.

Rückverstromung im Gasmotor

Im letzten Schritt der „Wasserstoffkette“ (s. Abb. 3) geht es um die individuelle Nutzung für unterschiedliche Anwendungen, wie z. B. um die Bedarfsdeckung von Strom und Wärme für einzelne Mehrfamilienhäuser, Krankenhäuser etc. (Kraft-Wärme-Kopplung). Für diesen Ansatz der dezentralen Energieversorgung forscht das GenLab an der effizienten und emissionsarmen Rückverstromung des Wasserstoffs in Gasmotoren. Das GenLab verfügt aus Kooperationen mit Industriepartnern über einen 4-Zylinder-Gasmotor ($50 \text{ kW}_{\text{el}}$) und über zwei Einzylindergasmotoren (je $5,5 \text{ kW}_{\text{el}}$). Der Aufbau eines 6-Zylinder-Gasmotors (ca. $100 - 120 \text{ kW}_{\text{el}}$) ist in der Vorbereitung.

Im Kern der GenLab-Forschung geht es zum einen darum, die Verbrennung im Gasmotor mit flexiblen Wasserstoffanteilen im Erdgas (0 bis 100 % H_2) möglich zu machen. Zum anderen liegt ein großer Fokus darauf, die besonderen Eigenschaften des Wasserstoffs für neuartige motorische Brennverfahren nutzbar zu machen, sodass der Motorwirkungsgrad weiter steigt und die Emissionen sinken. Zum

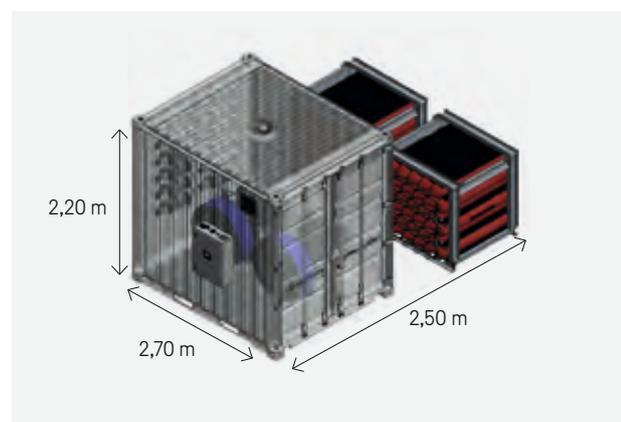


Abb. 5: Gasverdichter- und Hochdruckeinheit^[11]

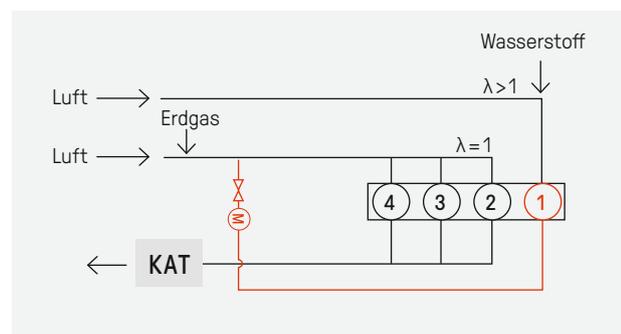


Abb. 6: Schematischer Aufbau des 4-Zylinder-Gasmotors mit Spenderzylinder – AGR

Erreichen dieses anspruchsvollen Ziels arbeitet das Team derzeit an den folgenden Forschungsthemen.

- + Auslegung und Entwicklung eines wasserstofftauglichen Motors mit variablen Wasserstoff-Erdgas-Mischungen: eine Anpassung des effektiven Verdichtungsverhältnisses (Motordrehzahlvariation, Einlassventilschließzeitpunktvariation) und eine Ladungsverdünnung mit getrocknetem CO_2 - und H_2O -armem Abgas stellen Maßnahmen zur Eliminierung des kraftstoffbedingten Leistungsabfalls (gegenüber dem reinen Erdgasbetrieb) dar.

- + Auslegung und Entwicklung eines 4-Zylinder-Erdgasmotors mit innovativer Abgasrückführung (AGR) und $\lambda=1$ -Konzept: Die Besonderheit besteht darin, einen Zylinder mit 100 % Wasserstoff zu betreiben und gleichzeitig als Spenderzylinder auszuführen (das Abgas dieses Zylinders wird den restlichen Zylindern zurückgeführt; s. Abb. 6). Bei der Rückführung wird das Abgas getrocknet, indem es mit Hilfe eines Wärmeübertragers so weit abgekühlt wird, bis Wasser auskondensiert. Dies bewirkt thermodynamisch wirkungsgradgünstige Eigenschaften und damit eine höhere Ausbeute des eingesetzten Kraftstoffs. Eine gleichzeitige Emissionsreduzierung ist durch die Verwendung eines Dreiwegekatalysators realisierbar.
- + Auslegung und Entwicklung eines 4-Zylinder-Erdgasmotors mit innermotorischer H_2 -Erzeugung und $\lambda=1$ -Konzept: ein Zylinder wird unterstöchiometrisch betrieben. Bei dieser Verbrennung stehen weniger Sauerstoffmoleküle zur Verfügung als für eine vollständige Umsetzung aller Kraftstoffmoleküle nötig wären. Durch die partielle Oxidation des Erdgases entstehen hoch reaktive Spezies wie Wasserstoff und Kohlenmonoxid. Das Abgas dieses Zylinders wird gekühlt und zu 100 % den anderen drei Zylindern zugeführt (ähnlich Abb. 6). Die Kühlung des Abgases bewirkt eine kältere und dennoch wirkungsgradfördernde schnelle Verbrennung, die geringere Wandwärmeverluste und thermische Bauteilbelastungen zur Folge hat.

Außerdem wird intensiv an innovativen Zündsystemen zur Entflammung variabler Wasserstoff-Erdgas-Mischungen geforscht. Dies stellt eine besondere Herausforderung für das Zündsystem dar, weil es die große Spreizung der Kraftstoffeigenschaften zwischen Erdgas und Wasserstoff abdecken muss. Im Fokus steht die Kompensation der durch Ladungsverdünnung verursachten verschleppten Verbrennung, sowie die Bereitstellung des erforderlichen Zündbedarfs. Ein schnelles Durchbrennen soll die Klopfneigung senken und eine Wirkungsgraderhöhung möglich machen. Der zunehmenden Neigung erhöhter Wasserstoffanteile zur Vorentflammung soll durch eine gezielte thermische Auslegung des Zündsystems entgegengewirkt werden.

Ausblick

In den Forschungsprojekten arbeitet das GenLab sowohl mit experimentellen Untersuchungen als auch mit numerischen Methoden („digitaler Zwilling“). Das Ziel ist, digitale Abbildungen für neue Anlagen und Brennverfahren aufzubauen, um tiefgehende Detailuntersuchungen zu ermöglichen und die Entwicklungsprozesse durch weitgehend prototypenfreie Arbeitsweisen zu beschleunigen. Auf diese Weise hat die Forschungsgruppe weitreichende Kenntnisse in den Teilgebieten Thermodynamik, Gasdynamik, Reaktionskinetik und der Mehrkörper- sowie der thermischen FEM-Simulation aufgebaut und ist dank dieser Kenntnisse in der Lage, neuartige Brennstoffe wie Wasserstoff zu untersuchen. Das GenLab hat das Potenzial von Wasserstoff für eine erfolgreiche Energiewende früh erkannt und Forschungsprojekte gestartet. Zusammen mit dem Ansatz der dezentralen Energieversorgung ist die Forschungsgruppe davon überzeugt, dass Wasserstoff einen wichtigen Beitrag zum Klimaschutz leisten kann. Um Wasserstoff marktreif und konkurrenzfähig zu machen, besteht allerdings noch ein großer Forschungs- und Entwicklungsbedarf. Aus diesem Grund ist das GenLab für weitere Kooperationen mit der Industrie bereit, um gemeinsam innovative und erfolgsversprechende Projektideen umzusetzen. ✘

Autoren

Philipp Baltschun M.Sc.
Akademischer Mitarbeiter am Institut für Kälte-, Klima- und Umwelttechnik (IKKU) der Hochschule Karlsruhe

Prof. Dr.-Ing. Maurice Kettner
Professor an der Fakultät für Maschinenbau und Mechatronik der Hochschule Karlsruhe

Kontakt

Prof. Dr.-Ing. Maurice Kettner
Hochschule Karlsruhe
Fakultät für Maschinenbau und Mechatronik
Institut für Kälte-, Klima- und Umwelttechnik (IKKU)
Moltkestraße 30
76133 Karlsruhe
E-Mail: maurice.kettner@h-ka.de



**ENERGIEWENDE MACHEN,
WÄHREND ANDERE NOCH
DARÜBER REDEN?
Sie können das.**

Bei TransnetBW haben wir ein Ziel:
die Herausforderungen der Energiewende
meistern – zum Wohle des Landes und der Region.

www.transnetbw.de/karriere



TRANSNET BW

SCHLEITH BAUT KARRIEREWEGE.

PRAXIS BAUT AUF THEORIE

Wir bieten das perfekte Umfeld, damit du deine Fachkenntnisse im Bauwesen anwenden kannst: Setze dein Wissen in einem Praxissemester bzw. als Werkstudent (m/w/d) um oder schreibe deine Bachelor- bzw. Masterarbeit bei uns.

Selbstverständlich freuen wir uns, wenn du nach deinem Abschluss bei uns bleibst oder dich bei uns bewirbst!

Infos findest du unter: www.schleith.de/karriere

Fragen beantwortet Marc Jacobshagen gerne unter: +49 7751 887752

Werde Teil der SCHLEITH-Familie – mit deiner Bewerbung@schleith.de!



www.schleith.de/karriere

View-BW: Visualisierung der Energiewende

Mathias Trefzger, Naemi Gerst und Thomas Schlegel

DE Die Energiewende zu erreichen, hin zu erneuerbaren und damit nachhaltigen Energieträgern, ist eine der wichtigsten Herausforderungen der heutigen Zeit. Damit eine erfolgreiche Wende von fossilen zu nachhaltigen Energiequellen gelingen kann, ist es besonders wichtig das Interesse an diesem Thema in der Bevölkerung zu wecken sowie Informationen verständlich aufzubereiten und zu visualisieren. Im Projekt View-BW soll Bürgerinnen und Bürgern ein spielerischer und intuitiver Einblick in die Energiewende ermöglicht werden. Dafür wird an neuen Visualisierungen, Interaktionen und Einsatzmöglichkeiten von Augmented und Virtual Reality geforscht.

EN Achieving the energy transition to renewable and thus sustainable energy sources is one of the most important challenges of our time. In order to achieve a successful transition from fossil to sustainable energy sources, it is particularly important to generate interest in the topic among the population and to present and visualize information in a comprehensible way. The View-BW project aims to provide citizens with a playful and intuitive insight into the energy transition. Therefore, new visualizations, interactions and possible applications of augmented and virtual reality are being researched.

Um dem Klimawandel entgegenzuwirken, wird die Energieversorgung in Deutschland Schritt für Schritt auf Erneuerbare Energien umgestellt, damit die anvisierten Klimaziele erreicht werden können. Bereits heute werden ganz unterschiedliche Energieanlagen eingesetzt, wie Photovoltaikanlagen, Windräder und Kernkraftwerke, die zusammen das Energiesystem bilden. Um interessierten Bürgerinnen und Bürgern (fortan: Nutzer) einen intuitiven Einblick in die Zusammenhänge im Energiesystem der Zukunft zu vermitteln, erarbeiten im Rahmen des Projekts View-BW fünf Karlsruher Projektpartner neue interaktive Visualisierungsmöglichkeiten. Gefördert wird das Forschungsprojekt View-BW (Visualisierung der Energiewende in Baden-Württemberg) durch das Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg.

Ziel des Projekts ist es, eine spielerische und realitätsnahe Interaktion zu schaffen. Damit sollen auch Energiesystem-Laien einen anschaulichen Zugang zu Zusammenhängen von Energieanlagen untereinander bzw. mit der Umwelt sowie den damit verbundenen Auswirkungen erhalten. Hierfür bieten Technologien wie Virtual Reality (VR), Augmented Reality (AR) sowie haptische Interaktionsmöglichkeiten die große Chance, Interesse zu wecken und Zusammenhänge anschaulich darzustellen.

In einer Online-Umfrage wurden bereits Anfang des Jahres die Zugänglichkeit und die Qualität des vorhandenen Informationsangebots zum Thema „Erneuerbare Energien“ analysiert sowie die Wünsche der potenziellen Nutzer im Hinblick auf die Informationen und Technologien ermittelt. Die Ergebnisse geben dabei einen guten Einblick in die Bedürfnisse der Teilnehmer. Besonders der Vergleich der Stromerzeugung von verschiedenen Anlagen, die Vorstellung der Anlagen und Informationen über bestehende Anlagen werden gewünscht. Die Menge, die Qualität und die Verständlichkeit der Informationen über Erneuerbare Energien könnte laut Probanden noch verbessert werden. 70 % der Probanden kennen die Begriffe AR und VR und sind der Meinung, dass diese Technologien bei der Veranschaulichung von Informationen helfen. Der Einsatz und die Weiterentwicklung der Technologien wird ebenfalls unterstützt.



Abb. 1: Tangibles des Interaktiven Tisches

Interaktiver Tisch

Das Institut für Ubiquitäre Mobilitätssysteme (IUMS) der Hochschule Karlsruhe entwickelt einen Interaktiven Tisch mit einer Fläche von ca. 2,5 auf 1,4 Metern. Über der Tischfläche sind ein Beamer sowie eine Tiefenbildkamera installiert. Der Beamer projiziert die Anwendung auf den Tisch, die beispielsweise eine Karte sowie eine Fläche für Diagramme und weitere Informationen enthält. Mithilfe haptischer Steuerungselemente (Tangibles) können die Nutzer mit dem Tisch interagieren. Damit die Projektion und die Erkennung der richtigen Position der Tangibles exakt funktioniert, ist es erforderlich Kamera, Projektor und Tisch genau aufeinander auszurichten. Dies wurde gelöst, indem sogenannte ArUco-Marker auf vordefinierte Positionen in den Ecken des Tisches platziert wurden. Deren Positionen werden im Kamerabild erkannt und anschließend die Anwendung auf den Tisch kalibriert. Der Tischfläche liegt ein Koordinatensystem zugrunde. Im Programmcode wird definiert, welche Funktionen aufgerufen werden sollen, wenn ein Marker an einer bestimmten Stelle erkannt wird. Dies ermöglicht zum Beispiel, dass durch Platzieren eines Windrad-Tangibles in der Karte Informationen zur Stromerzeugung angezeigt werden (s. Abb. 3).

Im Verlauf des Projekts werden zwei Prototypen des Interaktiven Tisches entwickelt. Der erste Prototyp ist an die Anforderungen der Bürgerinnen und Bürger angepasst. Der zweite richtet sich an Planer und Kommunen. An diesen Prototypen werden die Bedienmöglichkeiten des Tisches mit Hilfe von Tangibles sowie der Einsatz von AR und VR untersucht. Eine wichtige Aufgabe im Forschungsprojekt ist es, die optimale Kombination verschiedener Technologien herauszufinden und nutzerfreundlich umzusetzen. Dazu sind im Projekt unterschiedliche Nutzerstudien geplant. In diesen soll unter anderem die Interaktion der Nutzer mit dem Tisch

evaluiert werden. Ebenso wird untersucht werden, ob sich die Informationsaufnahme der Nutzer durch den Tisch im Vergleich zu etablierten Medien verbessert.



Abb. 2: Gesamtansicht Interaktiver Tisch

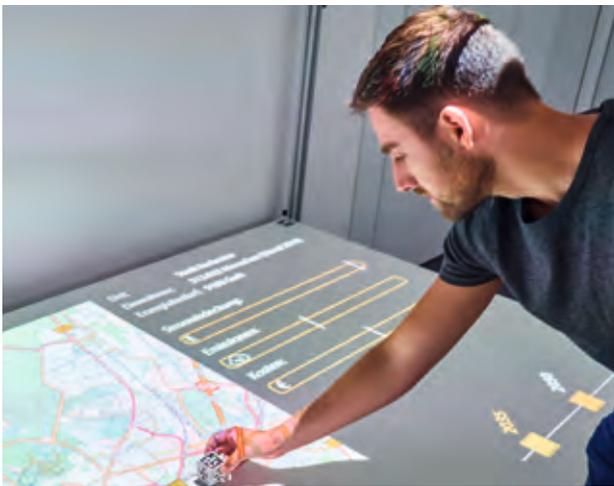


Abb. 3: Platzierung eines Windrad-Tangibles auf dem Tisch

Für Energiesystem-Laien wurde ein Planspiel entwickelt. Der Nutzer kann zu Beginn einen gewünschten Stadt- oder Landkreis in Baden-Württemberg auswählen, z. B. die eigene Heimatstadt. Anschließend zoomt die Karte auf den ausgewählten Ort und es wird der Strombedarf angezeigt. Ziel des Spiels ist es, diesen Bedarf möglichst emissionsarm und innerhalb eines vorgegebenen Budgets zu decken. Für alle Arten von Energieanlagen wie Windrädern, PV-Anlagen, aber unter anderem auch für fossile Kraftwerke gibt es eigenständige Tangibles. Diese können dann in der Anwendung platziert werden, wodurch die Stromabdeckung, die Emissionen und Kosten um die jeweiligen Werte der Anlagen ansteigen. In das Spiel ist ein einfaches Levelsystem integriert, das sich an den Klimazielen der kommenden Jahre orientiert und Grenzwerte für Emissionen und Kosten vorgibt, die nicht überschritten werden dürfen.

Darüber hinaus ist der Tisch an die VR-Simulationsumgebung des Projektpartners „Institut für Informationsmanagement im Ingenieurwesen (IMI)“ angeschlossen. Dadurch ist es möglich durch das Platzieren eines Tangibles, z. B. eines Windrads, auf dem Tisch einen digitalen Zwilling in der Simulation zu erstellen. Der Tisch bietet dabei einen Gesamtüberblick; eine realitätsnahe Ansicht wird durch die

Ansicht in der dreidimensionalen VR-Umgebung bereitgestellt. In der Simulation können dann verschiedene Parameter eines Windrads wie Nabhöhe, Rotorlänge und Generator eingestellt werden, die sich dann auf die erzeugte Energiemenge auswirken.

Auf dem Grundgerüst des ersten Prototyps wird der zweite Prototyp aufgebaut, der primär Planer und Kommunen bei Planungsprozessen, Bürgerversammlungen und vergleichbaren Veranstaltungen unterstützen soll. Hierfür soll ein konkretes Energie-Projekt visualisiert und dabei die involvierten Parteien miteinbezogen werden.

Anhand der durchgeführten Studien soll abschließend auch untersucht werden, wie hoch die Akzeptanz der Nutzer für die Interaktion mit dem Interaktiven Tisch ist. Im Rahmen des Projekts werden viele neue innovative Visualisierungen und Technologien getestet, die in Zukunft von immer mehr Menschen genutzt werden. Durch eine anschauliche und unterhaltsame Informationsaufbereitung kann das Interesse der Bürgerinnen und Bürger geweckt und das Verständnis über die Energiewende verbessert werden. ✘

Autor:innen

Mathias Trefzger M.Sc.

Akademischer Mitarbeiter am Institut für Ubiquitäre Mobilitätssysteme der Hochschule Karlsruhe

Naemi Gerst M.Sc

Akademische Mitarbeiterin am Institut für Ubiquitäre Mobilitätssysteme der Hochschule Karlsruhe

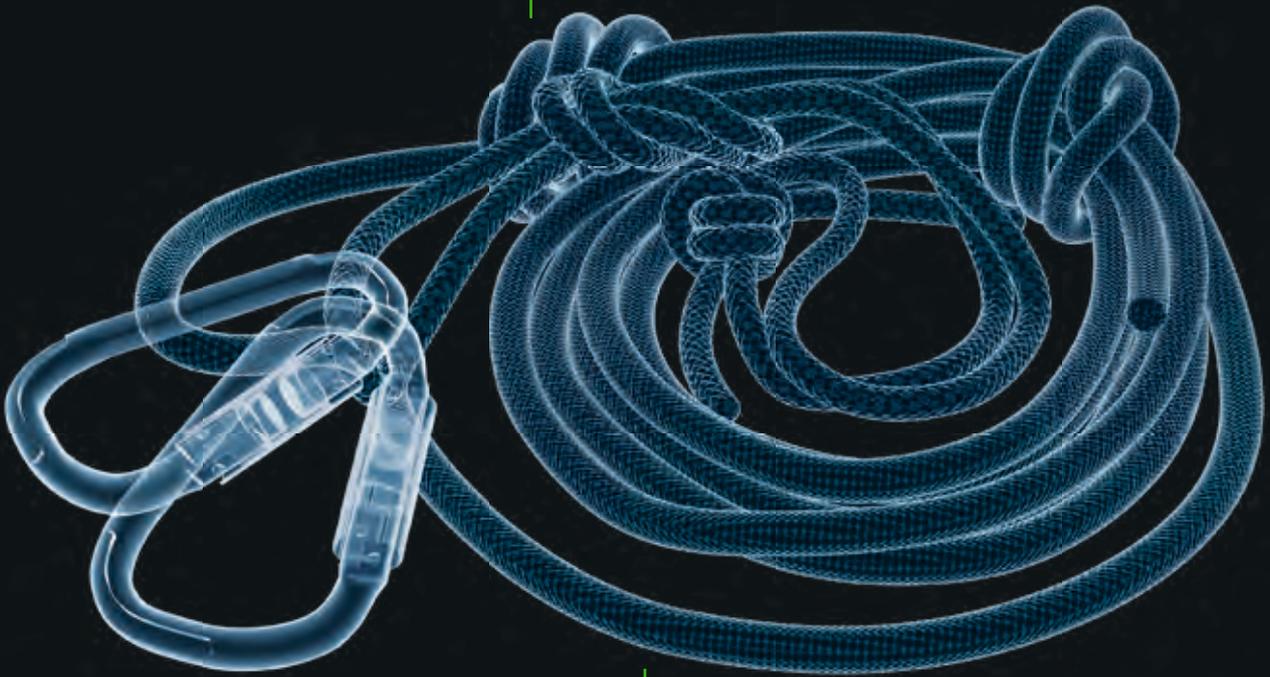
Prof. Dr.-Ing. Thomas Schlegel

Professor an der Fakultät für Informationsmanagement und Medien der Hochschule Karlsruhe und Sprecher des Instituts für Ubiquitäre Mobilitätssysteme

Kontakt

Prof. Dr.-Ing. Thomas Schlegel
Hochschule Karlsruhe
Fakultät für Informationsmanagement und Medien
Moltkestraße 30
76133 Karlsruhe
E-Mail: thomas.schlegel@h-ka.de

-4°C erzeugen BITZER Verdichter
in Produkttests, um sicherzustellen, dass
Kletterhaken nicht brechen.



PERFEKT, UM WEITERZUKOMMEN:
DEINE ZUKUNFT BEI EINEM MARKTFÜHRER.

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



DAS HERZ DER FRISCHE



Digitale Welt

Was ist Digitalisierung?

Thomas Morgenstern

DE Das Phänomen der „Digitalisierung“ ist gesellschaftlich bedeutsam und kann nicht rein technologisch verstanden werden. Wir betrachten die Geschichte des Buchdrucks, die Linguistik der Schriftsprache, die Philosophie der Information und die Soziologie der Moderne und können Parallelen entdecken, die ein weitergehendes Verständnis ermöglichen.

EN Digitalization is important for society and cannot be understood in technical terms only. If we consider the history of printing, the linguistics of written language, the philosophy of information and the sociology of modernity we can discover similarities helping to develop a deeper understanding of the phenomenon.

Digitalisierung ist in aller Munde. „Die Digitalisierung ist eines der Zukunftsthemen für Deutschland“ schreibt die Bundesregierung im Internet. Die Bundesregierung hat ein Digitalkabinett, eine Staatsministerin für Digitalisierung, einen Digitalrat, eine Bundeszentrale für Digitale Aufklärung, ... und eine nationale Digitalisierungsstrategie. Weiter schreibt die Bundesregierung: „Die Digitalisierung berührt heute nahezu alle Lebensbereiche der Bürgerinnen und Bürger“ und „Digitalisierung verändert alles“; sie schreibt aber auch: „Bei manchen digitalen Themen und Begrifflichkeiten ist nicht jedem klar, was sich dahinter verbirgt.“

Der Begriff ‚digital‘ wird offensichtlich nicht immer gleich verstanden; dies zeigt auch folgende Begebenheit: In der Essensschlange erzählte ich meinem Kind, seine neue Casio Digitaluhr sei genau das Modell, das ich mir vor 40 Jahren für die Schule gewünscht hätte; hinter uns reagierte eine Frau, die bisher nur auf ihr Smartphone geschaut hatte: „Das nennt doch heute keiner mehr digital!“ Aber nur durch ein richtiges Verständnis des Phänomens ‚Digitalisierung‘ lassen sich auch die richtigen Dinge in Technik, Wirtschaft und Politik tun – theoretisches Wissen stabilisiert praktisches Handeln.

Technische Sicht

Zur Klärung von unklaren Begriffen nimmt der Ingenieur eine Norm zur Hand. Die Begriffe der Informations- und Kommunikationstechnik sind im Standard ISO/IEC 2382 normiert. Mit dem Adjektiv *digital* bezeichnet man die Darstellung von Daten durch numerische Werte wie auch Prozesse und Prozessoren, die solche Daten verwenden; allgemeiner die Darstellung von Information durch unterschiedliche Zustände oder diskrete Werte. *Information* ist die Kenntnis über Objekte wie Sachverhalte, Ereignisse, reale oder abstrakte Gegenstände einschließlich Begriffe, die in einem gegebenen Zusammenhang eine bestimmte Bedeutung haben. *Daten* sind rückinterpretierbare und zur Kommunikation, Interpretation oder Verarbeitung geeignete formalisierte Darstellungen von Information. Ein *Signal* ist ein physikalisches Phänomen, dessen Vorhandensein, Abwesenheit oder Änderung als Darstellung von Information betrachtet wird. *Übertragung* ist die Übermittlung von Information von einem Punkt zu einem

oder mehreren anderen Punkten mit Hilfe von Signalen. Damit ist klar: Das Signal in der Abbildung unten ist ein digitales Signal – wie auch dieser gesamte gedruckte Text.

Historische Sicht

Will man ein Phänomen verstehen, dann sollte man aus vergleichbaren Vorgängen lernen. Die Erfindung der Schrift und des Buchdrucks waren technische Hilfsmittel zur Übertragung von menschlicher Sprache über weite Entfernungen und Zeiträume mit Hilfe der Zeichen des Alphabets – die Verschriftlichung ist eine frühe digitale Technisierung der menschlichen Rede [1, S. 167 ff].

Mathematische Zeichen, wie Kerben auf Knochen, Ästen (beispielweise Kerbhölzern) und in Ton, gibt es seit 20 000 und mehr Jahren. Die Schrift ist jünger, beispielweise die ca. 4000 Jahre alte phonographische Buchstabenschrift. Schrift ermöglicht die Erstellung von Urkunden, die Veröffentlichung von Gesetzen und das Schreiben persönlicher Briefe – aber auch die Dichtung und das Verfassen heiliger Schriften. Schon zu Platons Zeiten liegt die Erfindung der Schrift weit zurück und wird als Mythos von Theuth erzählt, der dem ägyptischen König Thamus die Schrift schenkt, um die Ägypter erinnerungsfähiger und weiser zu machen. Gleichzeitig geht Platon auf die Gefahren dieses Werkzeugs ein: Im Vertrauen auf die äußeren Zeichen könne man die eigene Erinnerungsfähigkeit vernachlässigen. Schrift könne zudem nicht auf den Adressaten eingehen. Es bleibe nicht kontrollierbar, wer was damit machen wird und ob sie falsch verstanden oder nur auswendig gelernt wird – dann erlange man nur den Schein von Weisheit.

Der Buchdruck mit beweglichen Lettern entstand aus ökonomischen Gründen – als neues Geschäftsmodell. Weil es teuer war Lettern herzustellen, beschränkten sich die Drucker auf die kleinste Menge diskreter Zeichen mit der ein Text zu schreiben war – möglichst Standardtypen und nur wenige Sondertypen (beispielsweise Ligaturen und Abkürzungszeichen). Selbst die Orthografie entstand aus den technischen Notwendigkeiten der Drucker. Wie radikal revolutionär der Buchdruck als Massenmedium war, kann man heute nur annähernd nachvollziehen – jeder der Technik des Lesens Fähige konnte die heiligen Schriften lesen und eigene



Abb. 1: Barcode (Grafik: Thomas Morgenstern)

Lesarten entdecken. Das hatte Folgen: eine Katastrophe für die soziale Ordnung und Orientierung, eine enorme Steigerung der gesellschaftlichen Komplexität und der Unsicherheit – Karikaturen, Polemik, Hass und „Fake News“ verbreiteten sich auch damals schon wie im Flug von Hand zu Hand.

Philosophische Sicht

Die Analyse der Sprache beinhaltet die Gefahr von Irrtümern, beispielweise wenn wir durch Reifikation dauerhafte Gegenstände bilden – sie gar materialisieren – und uns dieser Vergegenständlichung und ihrer Folgen nicht bewusst sind. Beispiele sind: „es regnet“ wird zu „Regen fällt“, „informieren“ wird zu „Information“ und „Einsatz digitaler Geräte“ zu „Digitalisierung“.

Bei der Analyse von Kommunikation in Syntax – Semantik – Pragmatik kann die systematische Ordnung dieser Analyse verloren gehen und sowohl Verstehen als auch Handeln naturalistisch auf die Syntax äußerer Zeichen reduziert werden, wie in der Kommunikationstheorie von Shannon und Weaver. Die zweckorientierten menschlichen Handlungen des Kommunizierens und Informierens im wechselseitigen Dialog wird naturalisiert zu einem Rauschen von Molekülen, und die technische Leistung von Maschinen wird stattdessen zu Intelligenz. Wem sollten diese Handlungen zugerechnet werden – den Maschinen? (s. [1])

Soziologische Sicht

Digitalisierung ist ein soziales und auch ein soziologisches Phänomen. Die soziologische Funktion der Digitalisierung ist die Entdeckung von zuvor unsichtbaren Regeln und Mustern, die die moderne Welt verständlich und ihre Strukturen und

Ordnung transparent machen – eine digitale Entdeckung der Gesellschaft. Der große Erfolg der Digitalisierung erklärt sich durch die Notwendigkeit, neue Techniken der Informationsverarbeitung für eine zunehmend komplexe moderne Welt zu finden.

Die Muster der Gesellschaft werden statistisch in Daten entdeckt, die permanent als Metadaten anfallen. Die Einfachheit der Daten und die fast unsichtbar funktionierende Oberfläche des Mediums Computer als Kommunikationsmittel sind der Schlüssel für seine große Wirksamkeit. Wie andere Medien auch (Zeitung, Fernsehen, Geld, ...) erzeugen Computer jedoch eine eigene Realität (eine Datenwelt), die streng an das Medium gebunden ist und die rückwirkend die gesellschaftliche Realität verändert – dem Medium Computer kommt so eine Kulturbedeutung zu^[2].

Schlussfolgerung

Die Aufgabe der Wissenschaft ist es, das Phänomen „Digitalisierung“ besser zu verstehen – wir alle müssen aber auch selbst das richtige Maß im Umgang mit der ‚Digitalisierung‘ finden, das auch unsere sozialen und physischen Dimensionen angemessen berücksichtigt. ✘

Autor

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

Kontakt

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

Anzeige



Teamplayer gesucht!

#TEAMSWORK

Weil Erfolg nur miteinander entstehen kann.

Jetzt durchstarten mit einem **Praktikum, Traineeprogramm** oder auch mit einem **Direkteinstieg**. Wir freuen uns auf Dich!



www.karriere.zueblin.de



ZÜBLIN
TEAMS WORK.

Ed. Züblin AG, Direktion Karlsruhe, Human Resources,
An der Tagweide 18, 76139 Karlsruhe/Deutschland

STEINBEIS – TRANSFERPARTNER DER HOCHSCHULE KARLSRUHE

Eine Unternehmensgründung ist Vertrauenssache. Steinbeis ist ein starker Partner für junge Gründer wie auch Professoren und Hochschulangehörige, die neben der eigentlichen Lehre ihre Expertise gemeinsam mit Partnern in Wirtschaft und Industrie in die Praxis bringen wollen: Davon profitieren Hochschule und Wirtschaft gleichermaßen – die Praxisnähe sichert die Aktualität der Lehre, der wissenschaftliche Fortschritt der Hochschule fördert direkt den Marktvorsprung der Unternehmen. Mit diesem Konzept hat sich Steinbeis seit Beginn der 1980er-Jahre zu einer der größten Start up-Plattformen in Europa entwickelt.

Die Hochschule Karlsruhe und Steinbeis verbindet eine Jahre lange 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.



GRÜNDEN
mit Steinbeis

Steinbeis-Stiftung | Vor Ort in der Region Karlsruhe: www.steinbeis-karlsruhe.de

136678-2020-12-07



TechnikWeltBeweger



WorkLifeBalanceSchaffer



SicherheitsSystemInnovator

Erfolgserlebnis sucht Wegbereiter!

Für deinen Einstieg als Student, Absolvent oder Professional bieten wir:

- Technikwelt für Weltbeweger
- Work-Life-Balance für Balanceschaffer
- Sicherheitssysteme für Systeminnovatoren

www.wika-mc.com/karriere

KIWI: Artificial Intelligence for Secure Web Infrastructures

David Monschein, José Antonio Peregrina Pérez, Tim Piotrowski, Zoltán Nochta, Oliver P. Waldhorst und Christian Zirpins

DE Methoden des Maschinellen Lernens (ML) werden zunehmend eingesetzt, um Sicherheitsangriffe gegen Web-Infrastrukturen zu erkennen. Da bösartige Aktivitäten oft auf mehrere Subsysteme abzielen, kann die Kombination von ansonsten unabhängig voneinander eingesetzten Detektoren sowie zugehörigen Eingabedaten die Effektivität der Angriffserkennung potenziell erhöhen. Im Verbundprojekt KIWI entwickeln wir Ansätze, um Detektoren miteinander zu kombinieren, ML-Modelle in einer föderierten, datenschutzfreundlichen Weise zu trainieren und einen durchgehenden Governance-Prozess für alle zugehörigen Datenartefakte zu etablieren.

EN Machine Learning (ML) methods have been increasingly used to detect security attacks threatening web infrastructures. Since malicious activities often hit multiple subsystems, the combination of independently deployed detectors and related input data is likely to increase the effectiveness of attack recognition. In the collaborative research project KIWI we develop approaches to combine detectors, train ML models in a federated, privacy preserving manner, and to establish an end-to-end governance process for all related data artefacts.

Modern web-based services are important drivers and a prerequisite for the ongoing digitization of our society. To provide users with trustworthy services, underlying systems must ensure the highest possible level of data protection, while at the same time being secured against an increasing number of malicious attacks. In current web infrastructures, that often serve millions of users and process very large amounts of data, the automated detection of ongoing or even past illicit activities is a challenging task.

Utilizing artificial intelligence, especially machine learning (ML) methods, is a promising way to build and continuously improve detectors, mainly due to their capability to recognize complex relationships, hidden correlations and patterns in large amounts of data, that may indicate security-related anomalies^[1, 2]. In this context, an effective data governance process is required to ensure the overall quality and security of ML related data artefacts along their entire life cycle. Security attacks often affect different components at various technical layers of the targeted system. Accordingly, it can be a meaningful strategy to combine specialized ML-based detectors with each other, and to federate different data sources to improve the accuracy of ML models as well.

For example, a bank may observe payment transactions of mobile users at different sub-systems using specialized ML-based detectors in combination, and it can also combine respective training datasets to create better ML models. Furthermore, the bank may also collaborate with other banks and contribute to the joint creation of even better models based on training data of multiple institutions. In practice, the combination of such diverse sources of training data can be problematic in many cases, e.g., due to legal restrictions, competitive risks, conflicting user interests, etc. Accordingly, it is important to find safe and efficient ways for training ML-models without the need to reveal business critical data.

In the research project KIWI (funded by the German Federal Ministry of Research and Education (BMBF), RefNr. 16KIS1142K), together with partners (1 & 1 Mail & Media GmbH, adesso SE, adesso as a service GmbH, secuvera GmbH, Karlsruhe Institute of Technology, Braunschweig University of Technology, Karlsruhe University of

[1] Jacob Sakhnini et al. "AI and Security of Critical Infrastructure". In: Handbook of Big Data Privacy. Ed. by Kim-Kwang Raymond Choo and Ali Dehghantanha. Springer, 2020, pp. 7 – 36.

[2] Robin Sommer and Vern Paxson. "Outside the Closed World: On Using Machine Learning for Network Intrusion Detection". In: 31st IEEE Symposium on Security and Privacy, S&P 2010, 16-19 May 2010, Berkeley/Oakland, California, USA. IEEE Computer Society, 2010, pp. 305 – 316.

[3] Andrew Hard et al. "Federated Learning for Mobile Keyboard Prediction". In: CoRRabs/1811.03604 (2018). arXiv: 1811.03604.

[4] Abhijit Guha Roy et al. "BrainTorrent: A Peer-to-Peer Environment for Decentralized Federated Learning". In: CoRRabs/1905.06731 (2019). arXiv: 1905.06731.

Applied Sciences) we address the development and combination of ML-related approaches to improve the security of web infrastructures, see Figure 1.

Federated ML model training interconnects multiple local ML training processes to generate a single higher quality model. It combines local training datasets of participants, while preserving privacy, see Section II. Data governance in general ensures quality and protection of data artefacts. It helps ensure that ML training datasets and models meet quality standards, and that no sensitive information is leaked. Thus, it directly affects the performance and applicability of ML methods, see Section III. We use both concepts to devise novel authentication schemes that help to secure web applications with mobile users, see Section IV.

Federated ML Model Training

Federated Learning was originally developed by Google [3] with the intention to improve training of machine learning models on a large number of mobile devices, aided by a central server. The server gathers model weights from all connected participants, builds a global model and sends it back to the client devices. In a scenario involving multiple financial institutions, trusting such a server can be seen as a risk: The owner of the server could infer the training data by reverse engineering the received model weights. Therefore, model training should rather be conducted in a decentralized manner. In KIWI we are developing and evaluating approaches to realize decentralized machine learning in a secure and efficient way without the need to involve any central entity in the computation [4].

Figure 2 shows two possible example implementations of decentralized model training. In the first approach a participant (P1) creates and pre-trains the model by using its own private datasets. Afterwards, P1 passes the resulting model weights to the next participant (P2), for further training. These steps are repeated until each participant trained the model multiple times and the model converges. In the other setup, participants simultaneously train a model based on their private data and exchange model weights, after completing a number of training rounds locally. Considering "curious" participants, the application of

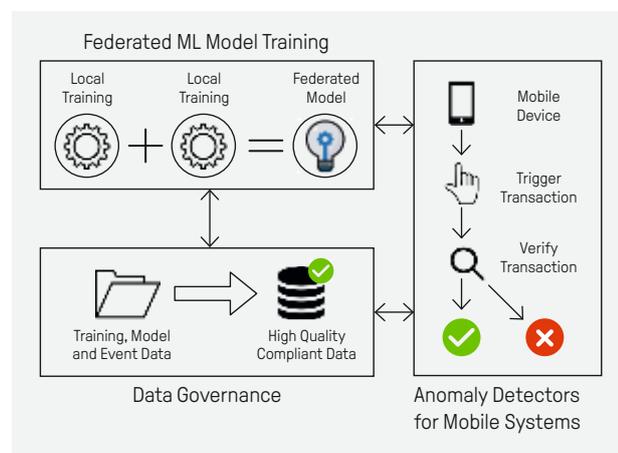


Fig. 1: Overview of KIWI research areas and their relationships

secure multi-party computation (MPC) methods can help improve secrecy and privacy protection of training data. For example, it is possible to collaboratively compute the average of model weights without revealing the actual values to other participants. To adopt such a peer-to-peer system in practice, many challenges have to be dealt with: How could overall communication and computation costs be reduced? How can participants be on- and off-boarded in a secure way, and, what happens in case of a malfunction during the training process? Answering these questions paves the way towards a secure federated model training platform to solve complex problems, such as the misuse of credit cards.

Federated ML Data Governance

KIWI focuses on the federation of organizations that jointly train and operate ML-models to increase the performance of web-based security mechanisms. Data underlying ML-training and -inference originates from the individual organizations and is often highly sensitive. Its sharing, even for derivative artefacts (e. g., metadata, models, decisions) in the federated context needs to follow strict rules and regulations.

To this end, data governance has emerged as a means to leverage data assets while ensuring legislative (and business) compliance^[5]. It involves organizations defining, applying and monitoring the processes for data life cycle management within and across organizations, as well as defining responsibilities for such processes^[6].

Our vision is to apply data governance a) to a ML-related data life cycle and b) to a federated context. Thus, we leverage current approaches of AI-data governance [6], refine

them for ML-methods and add a dimension of federation. The ML-data life cycle involves capturing operational data, sampling training data from it and deriving models used to detect security-related patterns. These data assets and their metadata are validated and provisioned for compliant (re) use and sharing in the federation. In KIWI, this especially relates to sharing partial models for federated learning.

Our approach (see Figure 3 derived from [6]) divides the ML-data life cycle into training (lower branch) and inference (upper branch). Both originate from respective data sources (blue) and build on assessment of data quality and compliance (green) while training and applying models (purple) in a federated way (red). Initially, data assessment ensures to meet quality standards and prevent bias that could affect derived models or decisions. Whilst (federated) training, the validity of derived models is assessed to ensure performance. During inference, operational data is monitored for changes of patterns and retraining is triggered in case. Finally, monitoring experiences of federated partners with AI-induced decisions allows adjustments if problems occur.

While federated ML-data governance promises to leverage AI for improved web-based security mechanisms, open challenges remain for compliant sharing and federated assessment of ML-data assets.

ML Detectors for Secure Mobile Systems

Customers frequently carry out transactions such as credit card payments or purchases at online stores using mobile devices. This creates novel security issues, e.g., credential loss for instance due to eavesdropping in wireless networks or stolen mobile devices. Currently, multi-factor authentication is a popular way to deal with these problems, e.g., by requiring an additional confirmation of a transaction via an email or a phone call. However, studies have shown that this reduces usability^[7].

We propose an ML detector-based authentication scheme for mobile devices that exploits various sources of information, such as location data, sensor data (e.g., accelerometer) and interaction data (e.g., order and frequency of clicks). The

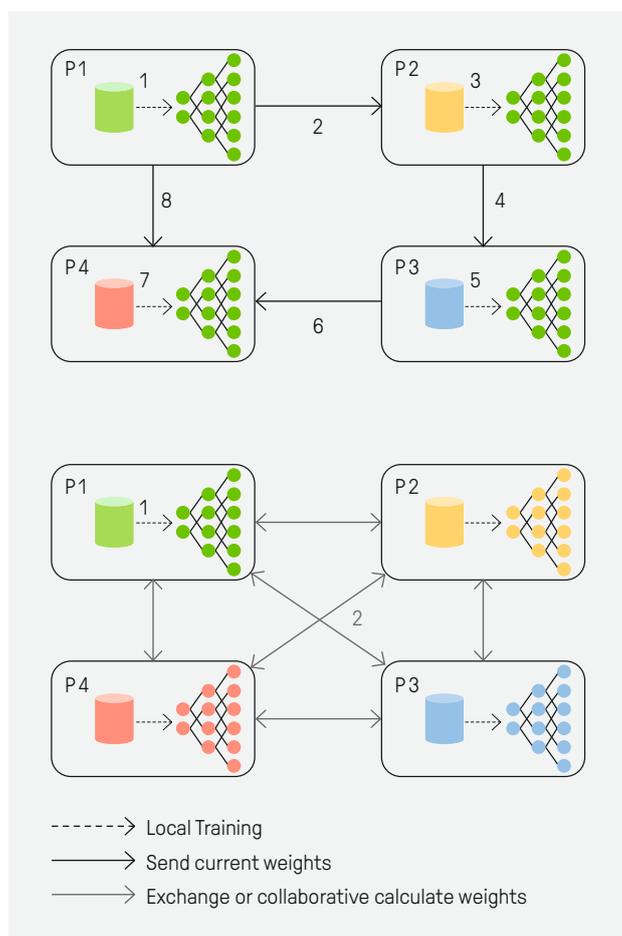


Fig. 2: Example means of decentralized federated learning

[5] Vijay Khatri and Carol V. Brown. “Designing data governance”. In: Communications of the ACM 53 (1 Jan. 2010), pp. 148 – 152.

[6] Marijn Janssen et al. “Data governance: Organizing data for trustworthy Artificial Intelligence”. In: Government Information Quarterly 37 (3 July 2020).

[7] Stephan Wiefing, Markus Dürmuth, and Luigi Lo Iacono. “More Than Just Good Passwords? A Study on Usability and Security Perceptions of Risk-based Authentication”. In: 36th Annual Computer Security Applications Conference. ACSAC ’20. Austin, USA: ACM, Dec. 2020, pp. 203 – 218.

[8] Mihir Bellare et al. “Format-Preserving Encryption”. In: Selected Areas in Cryptography. Ed. by Michael J. Jacobson, Vincent Rijmen, and Reihaneh Safavi-Naini. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2009, pp. 295 – 312.

authentication scheme provides a risk estimation based on the recognition of anomalous behavior, for example unusual movement patterns that are reflected in the location data. For scalability reasons, we use centralized detectors based on different types of neural networks, which are trained using data from all users of a company. This approach can be combined with federated training across multiple companies as described in Section II.

With respect to data governance as described in Section III, we pay special attention to privacy aspects, since the data collected on mobile devices is usually very sensitive and must be treated accordingly. Therefore, our approach transforms the data on the user’s device in such a way that it can still be used for training machine learning models, but all personal information is masked by methods such as format preserving encryption^[8]. Consequently, it is possible to combine data from different users and devices to train comprehensive models without privacy issues.

Conclusion and Outlook

Securing web applications against misuse and attacks gets increasingly more difficult due to the rising complexity of web infrastructures and the immense amounts of data that are emerging. We tackle these problems by combining federated training of machine learning models with a rigid data governance to secure applications with mobile users against misuse of identities. Within the research project KIWI, we will implement and evaluate these concepts together with industrial partners in a real-world setting. ✕

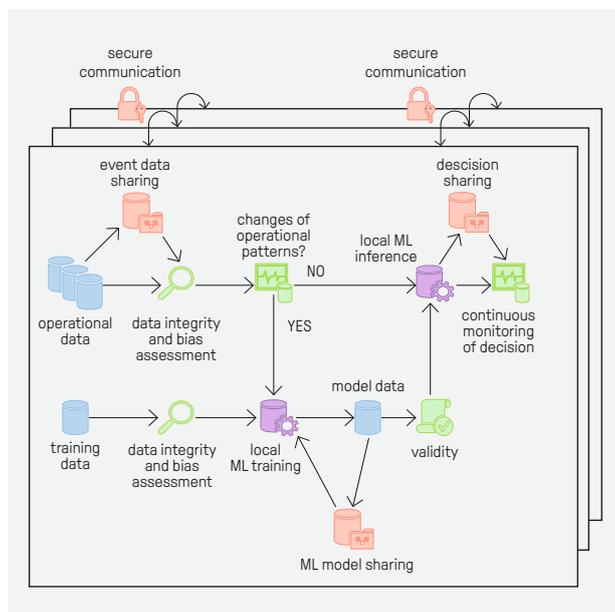


Fig. 3: Federated ML data governance architecture

Authors

David Monschein M.Sc.

José Antonio Peregrina Pérez M.Sc.

Tim Piotrowski M.Sc.

Data Centric Software Systems Research Group
Institute of Applied Research – Karlsruhe University
of Applied Sciences

Prof. Dr.-Ing. Zoltán Nochta

Prof. Dr. rer. nat. Oliver P. Waldhorst

Prof. Dr. rer. nat. Christian Zirpins

Professors at the Faculty of Computer Science
and Business Information Systems at Karlsruhe
University of Applied Sciences

Data Centric Software Systems Research Group
Institute of Applied Research – Karlsruhe University
of Applied Sciences

Contact

Prof. Dr. rer. nat. Oliver P. Waldhorst

Karlsruhe University of Applied Sciences

Faculty of Computer Science and Business

Information Systems

Moltkestraße 30

76133 Karlsruhe

E-Mail: oliver.waldhorst@h-ka.de

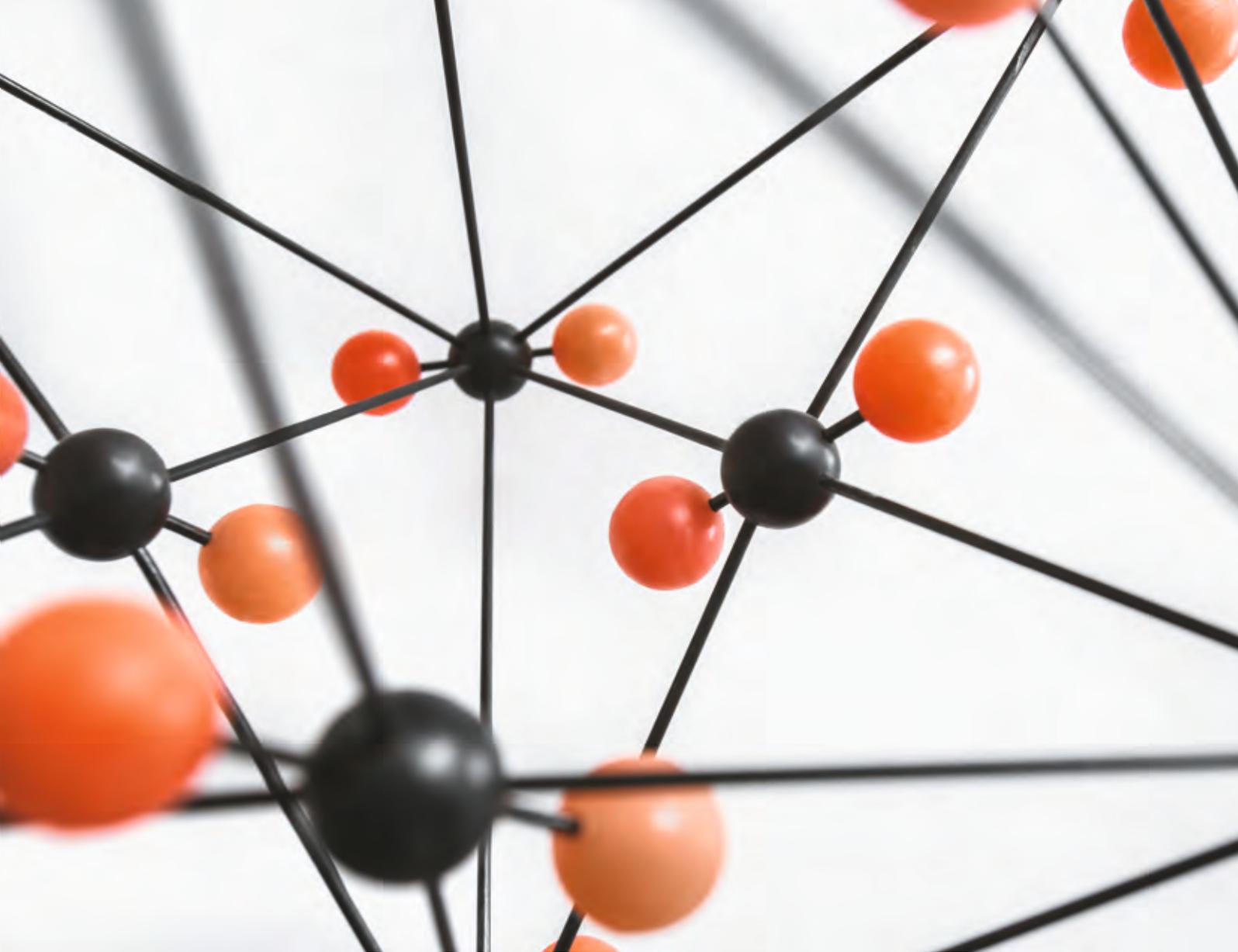
Kleine Bausteine mit großer Wirkung

Aron Kneer, Anastasia August, Michael Wirtz, Christoph Herrmann, Daniel Schneider und Britta Nestler

DE Oft sind Materialien, z. B. metallische Legierungen, in ihrem Inneren inhomogen: Sie sehen aus wie ein Mosaik aus unterschiedlichen Elementen, den sogenannten Phasen. Die charakteristischen Merkmale einzelner Phasen setzen sich zu makroskopisch effektiven Eigenschaften des Materials zusammen. Die geometrische Anordnung, die Form und die Größe einzelner Phasen, also die Mikrostruktur des Stoffs, spielen dabei eine entscheidende Rolle. Diesen Zusammenhang experimentell zu ergründen ist eine große Herausforderung. Computersimulationen können die Experimente unterstützen oder gar ersetzen. In diesem Artikel wird ein simulativer Ansatz zur Bestimmung effektiver Stoffeigenschaften vorgestellt.

EN Materials, e. g. metallic alloys, are often inhomogeneous in their interior: they look like a mosaic of different elements, the so-called phases. The characteristic features of individual phases combine to form macroscopic effective properties of the materials. The geometric arrangement, shape and size of individual phases, the microstructure of the materials play a decisive role in this context. To explore this relationship experimentally is a great challenge. Computer simulations can support or even replace the experiments. In this article a simulative approach to determine effective material properties is presented.

Unter einem Stück Materie wird in der klassischen Physik ein Körper verstanden, der eine bestimmte Masse und eine bestimmte Form besitzt und damit ein Volumen ausfüllt. Dabei wird nicht unterschieden, ob die Materie in fester, flüssiger oder gasförmiger Form vorliegt. In der modernen Physik werden die Atome und Moleküle, aus denen sich Materie zusammensetzt, als zusammengesetzte physikalische Systeme verstanden, die aus noch kleineren Bauteilen wie den Elektronen und Quarks zusammengesetzt sind. Wenn wir also von Materialeigenschaften sprechen, dann stellt sich die Frage, wie die Atome oder Moleküle miteinander in Verbindung stehen bzw. welche Kräfte diese in Verbindung halten. Anziehungskräfte, die ihrer Natur nach Gravitationskräfte sind, können Teilchen gegenseitig fixieren, wie es z. B. bei einem regelmäßigen Kristallgitter eines Festkörpers der Fall ist. Sind die Teilchen allerdings relativ weit voneinander entfernt, also die Dichte genügend klein, so sind sie voneinander unbeeinflusst. In diesem Fall liegt eine statistische Bewegung infolge ihrer thermischen Energie vor, die bei Gasen als Brownsche Molekularbewegung bekannt ist. Sind die Teilchen relativ nahe beieinander, ist also die Dichte hinreichend groß, so beeinflussen sie sich gegenseitig. In diesem Fall treten intermolekulare, sogenannte Van-der-Waals-Kräfte auf. Im Fall der regellosen Bewegung (relativ weit entfernte Teilchen) sind diese intermolekularen Kräfte vernachlässigbar, und dies führt zu dem Aggregatzustand Gas, wohingegen wir es mit einem Fluid zu tun haben, wenn die Zufallsbewegung nicht unbeeinflusst von den Nachbarpartikeln ist. Wenn Teilchen durch die intermolekularen Kräfte festgehalten werden, liegt ein fester Aggregatzustand vor. Alle drei Aggregatzustände stellen im Allgemeinen eine Materie dar, wobei für jeden Aggregatzustand das Ergebnis infolge einer äußeren Belastung, also die Deformation durch eine Formänderung, durch Kontinuums-Mechanik beschrieben wird. Bei Festkörpern führt eine äußere Belastung zu inneren Spannungen, die durch die mit der Belastung einhergehende Dehnung des Materials korreliert sind. Bei Fluiden kann eine äußere Belastung auch eine punktuelle Temperaturerhöhung sein, die dann zu einer Dichte- und Druckänderung mit einhergehender Verdrängung des Gases oder zu einer Geschwindigkeitserhöhung führt. Diese Bewegung



Kugel-Stab-Modell des inneren Aufbaus eines Festkörpers (Foto: DEEPOL by plainpicture/Vladimir Godnik)

induziert Scherkräfte ganz ähnlich wie bei dem Festkörper. Allerdings ist die damit verbundene Scherspannung proportional zur Schergeschwindigkeit, während beim Festkörper die resultierende Spannung nur vom Scherwinkel abhängt. Somit umfasst die Kontinuums-Mechanik im Grunde das Zusammenspiel von Zustandsgrößen, die voneinander abhängig sind und damit ein Kontinuum bilden.

In dieser Ausarbeitung beschäftigen wir uns ausschließlich mit Festkörpern, die einer mechanischen bzw. einer thermischen Belastung ausgesetzt sind. In der Praxis wird der Einfluss des mikrostrukturellen Aufbaus bei o.g. Belastungen nur indirekt berücksichtigt, da z.B. bei experimentellen Untersuchungen zur Ermittlung des E-Moduls lediglich festgehalten wird, dass es sich um eine bestimmte Legierung



Abb. 1: Zeitliche Entwicklung der Erstarrungsfront mit einhergehender Phasenausrichtung (von links nach rechts)

handelt und das Ergebnis des Experiments dementsprechend dieser Legierung zugeordnet wird. Damit wird eine effektive Materialeigenschaft der Legierung zugeordnet, ohne den mikrostrukturellen Aufbau des Materials zu berücksichtigen. Die Mikrostrukturen inklusive möglicher Defekte haben jedoch einen entscheidenden Einfluss auf die effektiven Eigenschaften der Materialien. Daher werden die Prozessparameter bei beispielsweise der Erstarrung aus der Schmelze oder möglicher Nachbehandlungen der Materialien für den optimalen mikrostrukturellen Aufbau numerisch ermittelt. Bei der Modellierung mikrostruktureller Evolutionsprozesse hat sich die Phasenfeldmethode etabliert^[1] und wird innerhalb der PACE3D Softwareumgebung, die am IDM der Hochschule Karlsruhe entwickelt wird, eingesetzt. Somit liegt die mikrostrukturelle Information der meisten optimierten Materialien mit einer hohen Genauigkeit vor und kann zur Ermittlung effektiver Materialeigenschaften herangezogen werden.

Wenn wir stoffliche Parameter wie das E-Modul oder die Wärmeleitfähigkeit numerisch vorhersagen möchten und dies mit hoher Genauigkeit, dann muss die Mikrostruktur in die Berechnung der effektiven Materialeigenschaften einfließen. Hierzu werden Simulationstechniken benötigt, die das Ausbilden der Phasenverteilung und der Mikrostruktureigenschaften abhängig von dem Erstarrungs- und Bearbeitungsprozess abbilden. Diese Art der Materialsimulation basiert auf der Phasenfeldmethode und wird für ein beschleunigtes Materialdesign an der Hochschule Karlsruhe in Kooperation mit dem IAM-CMS des KIT eingesetzt.

Simulationsstudien zum mikrostrukturellen Aufbau

Der mikrostrukturelle Aufbau der Materialien hat einen entscheidenden Einfluss auf die effektiven Materialeigenschaften. So ergeben sich beispielsweise durch die Deformation des Materials zusätzliche Scherspannungen an den Korn- und Phasengrenzen. Die Lage und Evolution der Korn- und Phasengrenzen können mit der Phasenfeldmethode vorhergesagt werden. Abb. 1 zeigt für eine NiAl-34Cr-Legierung die berechnete Morphologie und Topologie der Phasen einer Erstarrungsfront während einer Phasenumwandlung von der flüssigen Schmelze in das zweiphasig eutektische Material.

Der Anteil von Cr liegt bei 34 % und bleibt aufgrund der Massenerhaltung natürlich während des Erstarrungsvorgangs konstant. Die „grünen Lamellen“ stellen hierbei den Chromanteil dar, der in NiAl eingebettet ist. An den Korngrenzen findet somit ein Materialsprung statt. Dies bedeutet, dass sich sprunghaft die Materialeigenschaften ändern. Somit stellen die Korngrenzen singuläre Flächen für die Berechnung der effektiven Materialeigenschaften dar. Ein dreidimensionales Beispiel der Mikrostrukturvariation ist in Abb. 2 zu sehen. Dargestellt sind mögliche Mikrostrukturvariationen von Grauguss mit Lamellengraphit. Obwohl der Volumenanteil von Graphit in den numerisch erzeugten Strukturen gleich ist, ist die Ausprägung der Graphitpartikel und dadurch die Lage und Verteilung der singulären Flächen nicht vergleichbar.

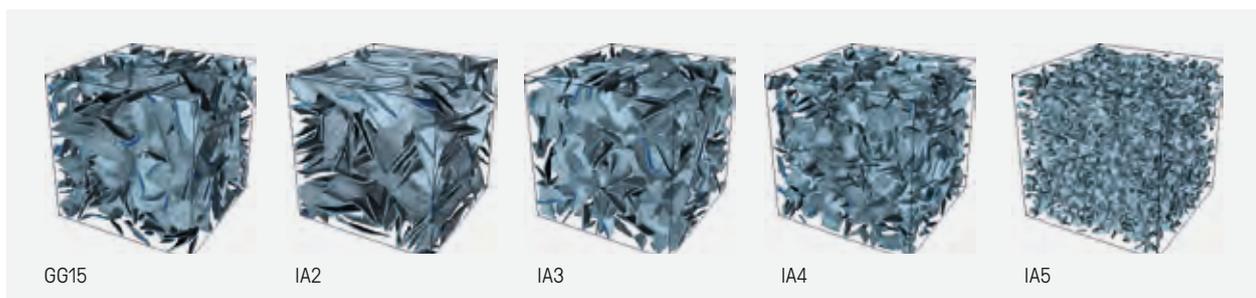


Abb. 2: Numerisch erzeugte Mikrostrukturvariationen von Gusseisen mit Lamellengraphit mit einem Graphitvolumenanteil von 10 %.

„Optimiertes Materialdesign durch die Phasenfeldmethode“

Anastasia August

Effektive mechanische Materialeigenschaften

Beim Voigt/Taylor-Ansatz (VT) wird postuliert, dass im Falle der mechanischen Beanspruchung eines mehrkörnigen mehrphasigen Materials die Gesamtdehnungen im Übergangsbereich zwischen verschiedenen Phasen, trotz unterschiedlicher Materialeigenschaften, als gleich angenommen werden können^[2]. Wird allerdings von mechanischen Bilanzgleichungen an singulären Flächen ausgegangen, so liefert diese Annahme einen effektiven Steifigkeitstensor für eine eindimensionale parallele materielle Kette, die in der Abb. 4 (rechts) dargestellt ist. Die Folgerung dieser Annahme für die Berechnung des effektiven Steifigkeitstensors ist die lineare Interpolation

$$C^{VT}(\Phi^\alpha) = \sum_{\alpha} C^{\alpha} \cdot \Phi^{\alpha} \quad (1)$$

Dabei ist C^{α} der Steifigkeitstensor der Phase α und Φ^{α} die entsprechende Volumenfraktion dieser Phase. Dem gegenüber steht das Homogenisierungsschema nach^[3], das im Folgenden als Reuss/Sachs-Schema (RS) bezeichnet wird. Die grundlegende Annahme des RS ist, dass die Spannungen im Übergangsbereich zwischen unterschiedlichen Phasen als gleich angenommen werden können. Dies entspricht einer seriellen materiellen Kette. Dies resultiert in der harmonischen Interpolation des Steifigkeitstensors

$$C^{RS}(\Phi^\alpha) = \left[\sum_{\alpha} (C^{\alpha})^{-1} \cdot \Phi^{\alpha} \right]^{-1} \quad (2)$$

Abb. 3 zeigt exemplarisch das nach VT bzw. RS ermittelte E-Modul eines Materials in Abhängigkeit des Volumenanteils einer Legierungskomponente. Für einen definierten Volumenanteil VF ergeben sich somit mehrere Lösungen, die alle zwischen den beiden Schranken der VT- und RS-Modelle liegen.

Zur Vorhersage des für eine Legierung effektiven E-Moduls bedarf es der Ermittlung des Gewichtungsfaktors zwischen dem Ergebnis bei Annahme einer rein parallelen und einer rein seriellen Anordnung der Phasen. Zur Verdeutlichung des parallelen bzw. seriellen Prinzips mit Krafteinwirkung ist Abb. 4 sehr nützlich. Die Lage der Phasen im

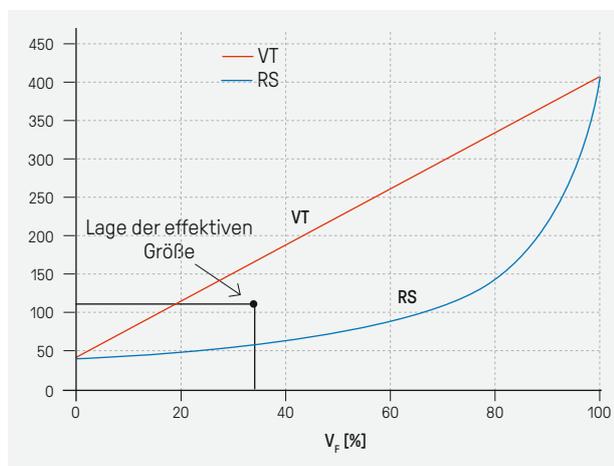


Abb. 3: VT- und RS-Schranke am Beispiel des E-Moduls

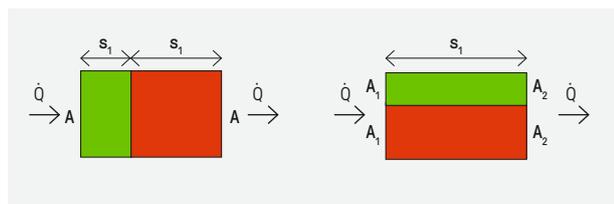


Abb. 4: Zugversuch: Phasenordnung seriell, Zug senkrecht zu Phasen (Bild links), Phasenordnung parallel, Zug parallel zu Phasen (Bild rechts)

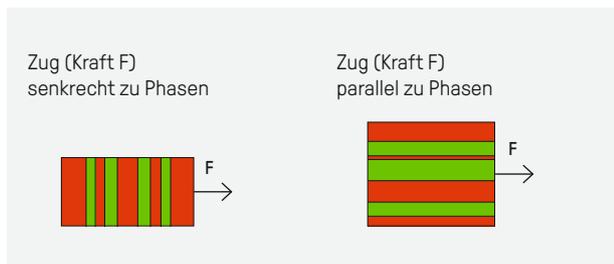


Abb. 5: Wärmeleitversuch: Phasenordnung seriell, Reihenschaltung der Widerstände (Bild links), Phasenordnung parallel, Parallelschaltung der Widerstände (Bild rechts)

[1] Nestler, B., & Choudhury, A. (2011). Phase-field modeling of multi-component systems. Current opinion in solid state and Materials Science, 15 (3), 93 – 105.

[2] Voigt W., Theoretische Studien über Elastizitätsverhältnisse der Kristalle I, Abhandlungen der Königlichen Gesellschaft der Wissenschaften zu Göttingen 34 (1887), 3 – 52.

[3] Reuss A., Berechnung der Fließgrenze von Mischkristallen auf Grund der Plastizitätsbedingung für Einkristalle, ZAMM – Zeitschrift für Angewandte Mathematik und Mechanik 9 (1929), no. 1, 49 – 58.

[4] Bhattacharya A.; Calmidi V.V. and Mahajan R.L., Thermophysical Properties of high porosity Metal Foams, International Journal of Heat and Mass Transfer 45 (2002), 1017 – 10310.

Volumenfraktion (Phase)	Wärmeleitfähigkeit [W/m/K]			E-Modul [GPa]		
	λ_p	λ_{VT}	λ_{RS}	E_p	E_{VT}	E_{RS}
NiAl	94	81,28	80,37	210	236,1	230,9
34Cr	75			289		

Tab. 1: Verwendete Stoffeigenschaften für die Legierungsanteile und effektive Materialwerte nach VT und RS

Graphitausprägung	Eff. E-Modul in [GPa]	Eff. Querkontr.	Eff. Dehngrenze in [MPa]	Eff. Wärmeleitfähigkeit in [W/m/K]
GG15	196,99	0,246	286,89	48,83
IA2	196,76	0,247	291,86	56,40
IA3	196,92	0,248	284,42	46,35
IA4	199,92	0,254	277,56	40,59
IA5	201,29	0,257	268,59	36,63

Tab. 2: Berechnete effektive Materialparameter

Effektive Wärmeleitfähigkeit λ_e in y-Richtung	Effektiver E-Modul E_e in y-Richtung
Stoffeigenschaften wie in Tab. 1 Randbedingungen b) aus Abb. 6: Länge $s = 9 \mu\text{m}$ Querschnitt $A = 0,135 (\mu\text{m})^2$ Temperaturdifferenz $\Delta T = 80 \text{K}$	Stoffeigenschaften wie in Tab. 1 Randbedingungen a) aus Abb. 6: $\epsilon_y = 0,001$ $\epsilon_x = 0$
Wärmestrom $Q = 9,6985 \cdot 10^{-5} \text{W}$	Spannung $\sigma_y = 253,21 \text{MPa}$ Spannung $\sigma_x = 71,80 \text{MPa}$
Eff. WLF: $\lambda_e = Q \cdot s / (A \cdot \Delta T) = 80,82 \text{W/m/K}$	Eff. Querkontraktionszahl: $\nu_e = \sigma_x / \sigma_y = 0,28356$ Eff. E-Modul: $E_e = (1 - \nu_e^2) \cdot \sigma_y / \epsilon_y = 232,85 \text{GPa}$
Gewichtungsfaktor $f_{Ay} = 0,495$	Gewichtungsfaktor $f_{Ay} = 0,375$

Tab. 3: Berechnete effektive Materialparameter von Strukturen ähnlich wie in Abb. 2

dreidimensionalen Raum ist natürlich erheblich komplexer, aber verdeutlicht dennoch, dass sich unter der Voraussetzung einer VT- bzw. RS-Annahme unterschiedliche Spannungszustände bei gleicher äußerer Kraft ergeben müssen.

Effektive thermische Materialeigenschaften

Im Zusammenhang mit der Wärmeleitfähigkeit von Legierungen ergeben sich völlig analoge Ansätze wie bei der Bestimmung des E-Moduls. Betrachten wir einen thermisch eingespannten Verbundwerkstoff, so sind die Leitungslängen und die Leitungsquerschnitte einzelner Phasen sowie deren Anordnung maßgeblich für die effektive Wärmeleitfähigkeit. Ersetzen wir in den Gleichungen 1 und 2 den Steifigkeitstensor C durch die Wärmeleitfähigkeit λ , so ergeben sich die analogen Beziehungen für die VT- und RS-Formulierungen. Auch hier gilt, dass die effektive Wärmeleitfähigkeit bei einem Verbundmaterial innerhalb der beiden Schranken VT und RS für eine bestimmte Volumenfraktion liegt. Abb. 5 verdeutlicht den völlig analogen Ansatz von Reihenschaltung zu Parallelschaltung von Wärmewiderständen.

Bestimmung der effektiven Materialeigenschaft

An dieser Stelle sei erwähnt, dass die exakte Lage der effektiven Größe nicht eindeutig vorhersagbar ist, es sei denn, dass experimentelle Untersuchungen von definierten Probenkörpern herangezogen werden. Unter der Annahme, dass die effektive Materialgröße durch eine Gewichtung zwischen dem parallelen und seriellen Wert der Materialgröße zu berechnen ist, kann die folgende vereinfachte Darstellung von Bhattacharya^[4] hilfreich sein:

$$\vec{\Psi}_e = \vec{f}_A \cdot \Psi_{VT} + (1 - \vec{f}_A) \cdot \Psi_{RS} \quad (3)$$

Die Variable Ψ stellt einen Platzhalter für eine Materialeigenschaft dar, wie z. B. die Wärmeleitfähigkeit. Die Gewichtung zwischen dem VT und dem RS Anteil erfolgt durch den phasenabhängigen vektoriellen Gewichtungsfaktor \vec{f}_A . Somit

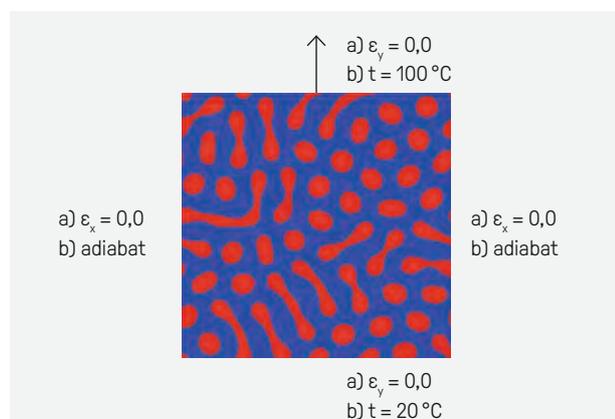


Abb. 6: Randbedingungen für das numerische Experiment

ist die effektive Materialeigenschaft $\vec{\Psi}_e$ ebenfalls ein Vektor. Dies liegt darin begründet, dass Verbundwerkstoffe in der Regel ein anisotropes Verhalten aufweisen und somit der Gewichtungsfaktor in verschiedene Koordinatenrichtungen unterschiedlich ist. Zur Bestimmung der effektiven Materialgröße bzw. des Gewichtungsfaktors wird im nächsten Abschnitt eine numerische Berechnungsmethode vorgestellt.

Das numerische Experiment zur Bestimmung effektiver Stoffgrößen

Durch Materialsimulationen auf Grundlage der Phasenfeldmethode und unter Verwendung des Softwarepakets Pace3D können die räumliche Lage und Form der Volumenfraktionen (Phasen) in einem dreidimensionalen Raum nach erfolgter Erstarrung berechnet werden. An dem Beispiel der Legierung NiAl-34Cr ist in Abb. 1 die Lage und Form der Phasen während der Evolution bis zum Erstarrungszustand dargelegt. Wird aus dem Berechnungsergebnis eine horizontale x-y-Ebene ($9\ \mu\text{m} \times 9\ \mu\text{m}$) extrahiert, so kann für diese Ebene unter der Annahme, dass sich die Phasenordnung und -form in den darunterliegenden Ebenen nicht ändert, ein ebenes Modell extrahiert und für das numerische Experiment herangezogen werden. Für die Untersuchung wurde Bild 1 aus Abb. 1 ausgewählt. Folgende Randbedingungen wurden festgelegt:

- Für die Berechnung des effektiven E-Moduls wurde der Ausschnitt bei -y eingespannt und bei +y eine Verschiebung in y-Richtung angenommen. Die beiden Seiten -x und +x wurden ebenfalls eingespannt.
- Für die Berechnung der effektiven Wärmeleitfähigkeit wurde analog verfahren. Bei -y wurde die Temperatur bei 20°C fixiert und bei +y wurde diese auf 100°C gesetzt, während an den Seiten -x und +x eine adiabatische Randbedingung definiert wurde.

Die Materialgrößen und Stoffeigenschaften für die einzelnen Phasen sind in Tabelle 1 jeweils unter Berücksichtigung einer reinen VT- bzw. RS-Anordnung der Phasen dargelegt. Abb. 6 fasst die Randbedingungen für a) und b) nochmals zusammen. Tabelle 1 verdeutlicht, dass der effektive Materialparameter zwischen den beiden Schrankenwerten VT und RS liegen muss. Zudem wird deutlich, dass je näher die Werte für die jeweilige Phase zusammenliegen, umso geringer der Einfluss der Parallel- bzw. Reihenschaltung auf den effektiven Materialparameter ist. Als Poissonzahl für die beiden Stoffanteile wurde $\nu_{NiAl} = 0,3$ und $\nu_{34Cr} = 0,25$ verwendet. Während bei der Verschiebungsberechnung die effektive Kraft und damit die effektive Spannung aus der Auswertung der mittleren Knotenkräfte an den Rändern ermittelt werden konnte, erfolgte dies bei der Thermalrechnung durch die

Auswertung des mittleren Wärmestroms über die Ränder. Die Ergebnisse für die durchgeführten numerischen Analysen sind grafisch in Abb.7 dargestellt. Abb.7 zeigt links die berechnete Temperaturverteilung (Cr-Phase ausgeblendet) und rechts die berechneten Spannungen im Sinne der Mises-Vergleichsspannung. Durch Unterschiede der Materialparameter der einzelnen Phasen entstehen Temperatur- bzw. Spannungsverläufe, die ungleichmäßig verteilt sind und keinen rein linearen Verlauf aufweisen. Mit den effektiven Spannungen bzw. dem effektiven Wärmestrom an den Rändern ausgewertet, kann daraus eine effektive Materialkenngröße und damit der im Beispiel vorkommende Gewichtungsfaktor f_{Ay} (für die y-Richtung) ermittelt werden.

Die Ergebnisse der Berechnungen zur Ermittlung der effektiven Materialparameter sind in Tab.2 dargestellt. Im Falle der Thermalrechnung führt die Auswertung des effektiven Wärmestroms zwischen den Seiten mit der aufgeprägten konstanten Temperaturdifferenz von 80 K zur Bestimmung einer effektiven Wärmeleitfähigkeit von $\lambda_e = 80,82 \text{ W/m/K}$ in y-Richtung. Dieser Wert liegt wie erwartet zwischen λ_{RS} und λ_{VT} (siehe Tab.1) und es ergibt sich ein Gewichtungsfaktor für die y-Richtung von $f_{Ay} = 0,495$. Bei der Verschiebungsberechnung ergibt sich eine effektive Querkontraktionszahl von $\nu_e = 0,28356$ und ein effektives E-Modul von $E_e = 232,85 \text{ GPa}$

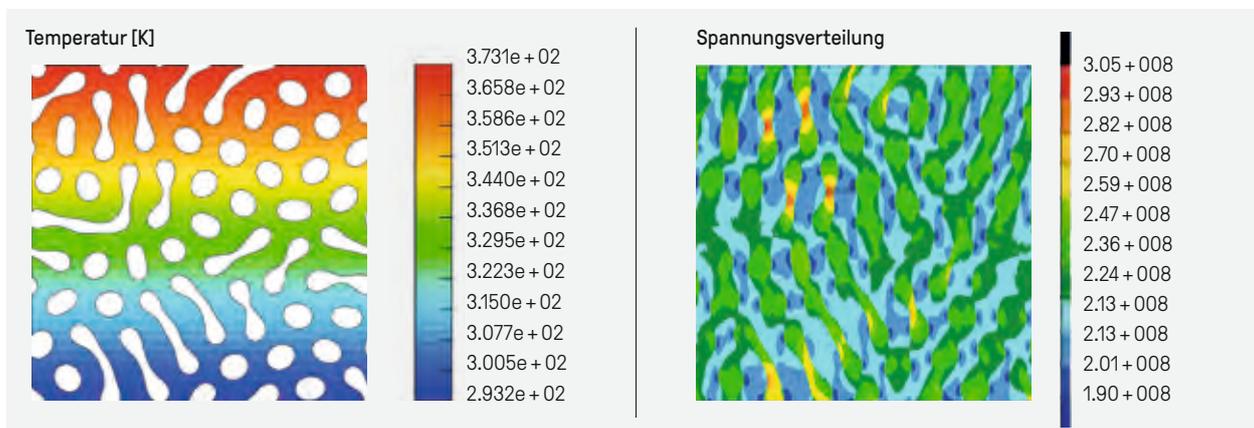


Abb. 7: Berechnete Temperaturverteilung (links) und Spannungsverteilung (rechts)

Danksagung:

Die Autoren danken für die finanzielle Unterstützung durch das vom BMBF geförderte Projekt „Ultra-Skalierbare Multiphysiksimulationen für Erstarrungsprozesse in Metallen (SKAMPY)“. Weiterhin wurden Methoden der Datenauswertung zu

thermischen Eigenschaften über das Programm EMR der Helmholtz Gemeinschaft und zu mechanischen Eigenschaften aus Mitteln der Exzellenzstrategie/KIT Future Fields: „Karlsruher Daten Infrastruktur für die Materialwissenschaften - Kadi4Mat“ finanziert.

in y-Richtung. Dies entspricht einem Gewichtungsfaktor (für die y-Richtung) von $f_{Ay} = 0,375$.

Die Ergebnisse der Berechnung effektiver mechanischer und thermischer Materialkennwerte der Strukturen, ähnlich wie in Abb. 2, anhand von Statistischen Volumenelementen (SVE) sind in Tab. 3 dargestellt. Die SVE enthalten einen Graphitvolumenanteil von 12 % und eine homogene perlitische Matrix. Alle Kennwerte gelten bei RT und wurden bei einer Druckdehnung von 0,1 % unter der Annahme eines isotropen Materialverhaltens der Volumenelemente bestimmt.

Zusammenfassung und Ausblick

Effektive Materialparameter können aus Multiphysik-Materialsimulationen vorhergesagt werden. Durch eine dem Herstellungs- bzw. Bearbeitungsprozess vorangestellte Materialsimulation auf der Grundlage der Phasenfeldmodellierung kann für Legierungen die Lage und die Form der Phasen im dreidimensionalen Raum bestimmt werden. Diese Simulationstechnik wurde erfolgreich in^[5] validiert. Wird das Ergebnis der Mikrostruktursimulation durch eine geeignete Konvertierung des extrahierten Gefügemusters aus der Mikrostruktursimulation in ein Finite-Element bzw. Finite-Volumen Modell transferiert, kann eine nachgeschaltete Thermal- bzw. Spannungsanalyse zur Ermittlung des effektiven Wärmestroms bzw. der effektiven Spannung an den Rändern durchgeführt werden. Basierend auf diesen effektiven Größen lassen sich dann die effektiven Materialparameter ableiten, die sich aus einer Kombination einer VT- bzw. RS-Anordnung ergeben. Der Gewichtungsfaktor, der die beiden Anteile gemäß Gleichung 3 verknüpft, lässt sich darüber hinaus ebenfalls berechnen. Somit kann neben dem effektiven Materialparameter, der zwischen dem VT- und RS-Schrankenwert liegt, auch der Gewichtungsfaktor vorhergesagt werden. Durch gezielte Simulationsstudien für alle Achsenrichtungen bzw. für den 3D-Raum und für verschiedene Legierungsanteile besteht mit diesem Workflow die Möglichkeit, den exakten Verlauf der effektiven Materialgröße in Abhängigkeit der Volumenfraktion zu bestimmen. Nach einer entsprechenden experimentellen Validierung kann die vorgestellte Methodik als Werkzeug für die Bestimmung von Materialparametern etabliert werden. ✘

Autor:innen**Dr.-Ing. Aron Kneer**

TinniT Technologies GmbH und Institut für Digitale Materialforschung (IDM), Hochschule Karlsruhe

Dr. rer. nat. Anastasia August

Akademische Mitarbeiterin am Institute of Materials and Processes (IMP) der Hochschule Karlsruhe und am Institut für Angewandte Materialien – Computational Material Science (IAM-CMS) des Karlsruher Instituts für Technologie (KIT)

Dr. Michael Wirtz

TinniT Technologies GmbH

Christoph Herrmann

Institut für Digitale Materialforschung (IDM), Hochschule Karlsruhe

Dr.-Ing. Daniel Schneider

Projektleiter am Institut für Digitale Materialforschung (IDM), Hochschule Karlsruhe

Prof. Dr. rer. nat. Britta Nestler

Professorin an der Fakultät für Informatik und Wirtschaftsinformatik der Hochschule Karlsruhe sowie am Lehrstuhl für Mikrostruktursimulation in der Werkstofftechnik des Karlsruher Instituts für Technologie (KIT) und Sprecherin des Instituts für Digitale Materialforschung (IDM) der Hochschule Karlsruhe sowie Direktorin des Instituts für Angewandte Materialien – Computational Materials Science (IAM-CMS) des Karlsruher Instituts für Technologie (KIT)

Kontakt

Prof. Dr. rer. nat. Britta Nestler
Hochschule Karlsruhe
Fakultät für Informatik und Wirtschaftsinformatik
Moltkestraße 30
76133 Karlsruhe
E-Mail: britta.nestler@h-ka.de



Ökonomie der Zukunft

Additive Fabriken

Carsten Schmidt, Florian Finsterwalder und Rainer Griesbaum

DE Die additive Fertigung ermöglicht als werkzeuglose Technologie innovative Fabrikkonzepte, die eine kundennahe und -individuelle Massenproduktion („Mass Customization“) erlaubt. Im Additive Design and Manufacturing Lab der Hochschule Karlsruhe werden derartige Konzepte (weiter-) entwickelt und analysiert. Dieser Artikel berichtet über die Forschungsaktivitäten des Labors und stellt einige bereits erreichte Ergebnisse vor. Hierbei wird insbesondere auf die Konzeption sowie die Kostenstruktur additiver Fabriken eingegangen. Zudem wird die Umsetzung einer automatisierten Bauplattenbestückung vorgestellt, die eine dauerhafte Produktivität sicherstellt.

EN Additive manufacturing requires no tools and thus enables innovative factory concepts allowing an individualized mass production near to the customer (“mass customization“). Within the Additive Design and Manufacturing Lab at Karlsruhe University of Applied Sciences, such concepts are further developed and analyzed. This article summarizes the research activities of the lab at a glance and presents some of the achieved results. In particular, the design and the cost structure of additive factories are discussed. In addition, the implementation of an automated build plate assembly is presented ensuring a permanent productivity.

Additive Fertigungsverfahren bringen durch die Möglichkeit der werkzeuglosen Fertigung erhebliche Flexibilitätsvorteile mit sich. Die additive Fertigung hat sich während der Corona-Krise als prompte und robuste Alternative zu konventionellen Fertigungs- und Lieferketten entpuppt. Sie sorgte beispielsweise mit dem Druck von Gesichtsvisieren für Krankenhäuser für Aufmerksamkeit. Allen additiven Verfahren gemeinsam ist die relativ niedrige Produktivität (meist kleiner als 0,1 l/h). Dieses Defizit kann durch Fabrikkonzepte, die ein paralleles Betreiben mehrerer additiver Anlagen ermöglichen, kompensiert werden. Man bezeichnet sie deshalb häufig als „Druckerfarmen“ oder schlicht als „additive Fabriken“. Additive Fabriken werden bereits industriell genutzt. Ein Beispiel ist das aus dem Harvard Innovation Lab gegründete Unternehmen MakerFleet^[1]. Jedoch werden derartige Konzepte bislang nur zögerlich umgesetzt, nicht zuletzt wegen fehlender Informationen zur Organisation, zum Investitionsvolumen und zur Produktivität bzw. zur Gesamtanlageneffektivität derartiger Fabriken. Das Additive Design and Manufacturing Lab (ADM-Lab) der Hochschule Karlsruhe liefert Beiträge zu diesen Aspekten, um die Industrialisierung der additiven Fertigung voranzutreiben sowie den Wandel der additiven Fertigung von einer Prototypentechnologie hin zur additiven Massenfertigung zu ermöglichen.

Forschung am ADM-Lab der Hochschule Karlsruhe

Das ADM-Lab verfolgt die Forschungsschwerpunkte Technologie, Applikationen und Wirtschaftlichkeit unter den Randbedingungen Nachhaltigkeit und Resilienz. Es ist auch fakultätsübergreifender Dienstleister für Labore, Lehrveranstaltungen und studentische Projekte, beispielsweise für das Robogistics Labor, das Wahlfach Lernfabrik 4.x oder die Hochschulgruppe High Speed Karlsruhe, die am Formula-Student-Wettbewerb teilnimmt. Die Vorteile der eingespielten und gut vernetzten Prozesskette des ADM-Labs wurden während der Corona-Krise erkennbar, in der zusammen mit dem KIT zeitnah Schutzmasken unter anderem für das Städtische Klinikum Karlsruhe und die ViDia Kliniken Karlsruhe gedruckt und montiert werden konnten^[2].

[1] H. GULATI, „MakerFleet’s Mission“, MakerFleet Blog, 21. Feb. 2019, 2019. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.makerfleet.com/blog/makerfleet-day-one-we-hate-lil-jimmy>. Zugriff am: 28. Oktober 2020.

[2] Presseinformation: Schutzmasken für Krankenhäuser, Hochschule Karlsruhe (Zugriff am: 20. August 2020).

[3] P. Hehenberger, Computerunterstützte Produktion: Eine kompakte Einführung, 2. Aufl., 2020.

Im Mittelpunkt der Forschungsaktivitäten steht die Industrialisierung der additiven Fertigungskette. Dabei ist die CAD/CAM-Prozesskette, die sich von der Produktentwicklung über die Fertigung bis zur Qualitätskontrolle erstreckt, im Labor vollständig abgebildet^[3, s. 119]. Verschiedene additive Herstellungsverfahren und Materialien kommen zum Einsatz, darunter neben thermoplastischen Kunststoffen (PLA, PETG, ABS) auch Harze, faserverstärkte Kunststoffe und Sintermetalle.

Einen wichtigen Baustein bildet die Kostenidentifikation und -berechnung additiver Verfahren^[5] sowie die Konzeption, Analyse und Realisierung innovativer Fabrikansätze^[6]. Dies beinhaltet produktivitätssteigernde Herstellungsstrategien, wie beispielsweise das Hülle-Kern-Verfahren bei der Materialeextrusion^[4]. Für die Fabrikkonzeption wurden Schlüsselparameter herausgearbeitet, eine (Stück-)Kostenskalkulation entwickelt und eine Teilautomatisierung der Bestückung und Entnahme realisiert. Mithilfe einer Simulation lassen sich Szenarien testen und Störfaktoren analysieren, um die Robustheit und Regenerationsfähigkeit der additiven Produktion am Anwendungsfall zu überprüfen und zu optimieren.

Analysegegenstand additive Fabrik

Aktuell gibt es keine allgemein gültige Definition additiver Fabriken oder Druckerfarmen. In diesem Artikel wird von einer additiven Fabrik bzw. Druckerfarm gesprochen, wenn mehrere additive Anlagen innerhalb einer organisatorisch und örtlich zusammenhängenden Betriebsstätte gleichzeitig betrieben werden.

Derweil starten die Prozesse der Fabrik mit dem Erhalt des Kundenauftrags und enden mit der Ausgabe der nach Kundenaufträgen konsolidierten Bauteile über die Systemgrenze. Eine Visualisierung einer additiven Fabrik befindet sich in Abbildung 1. Die Betrachtungen konzentrieren sich auf die Prozesskategorie der Materialeextrusion mit dem Fused-Layer-Modeling-Verfahren (FLM). Im Gegensatz zu pulver- oder laser-basierten Verfahren eignet sich dieses Verfahren aufgrund niedriger Anlagenpreise und geringer Anforderungen an Infrastruktur und Arbeitssicherheit insbesondere für eine kosteneffiziente und flexibel skalierbare

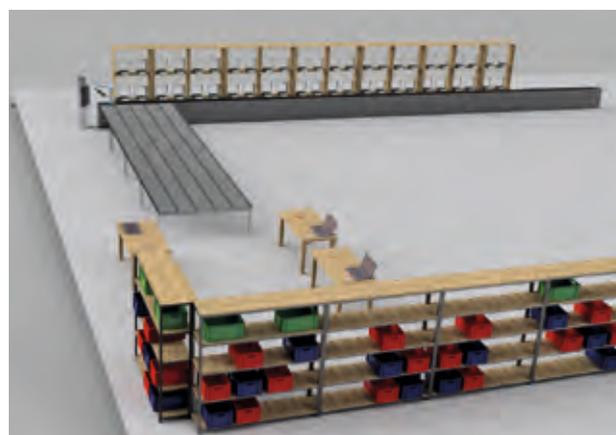
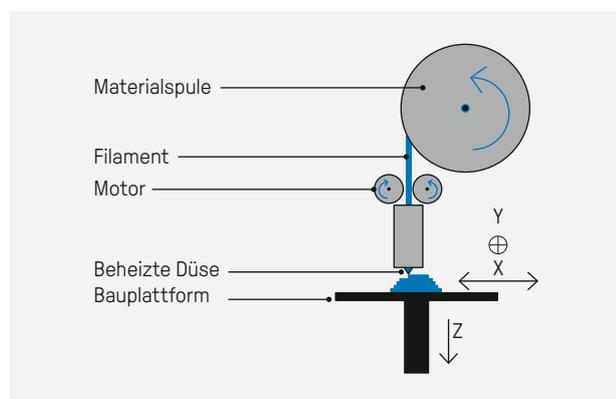
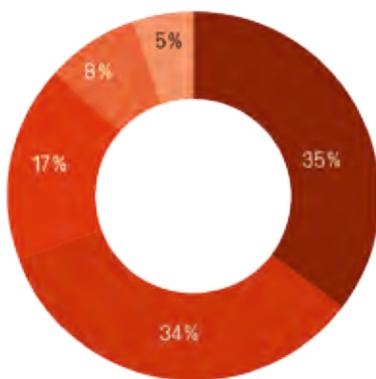


Abb. 1: Prinzipskizze FLM-Verfahren^[6, s. 5] und Visualisierung einer automatisierten additiven Fabrik^[6, s. 37]

„Durch additive Fabriken zur kundenindividuellen Massenfertigung“

Carsten Schmidt



- Materialkosten
- Löhne Planung
- Löhne Nachbearbeitung
- Weitere Lohnkosten
- Sonstiges

Abb. 2: Herstellkostenanteil additiver Fabriken in Prozent

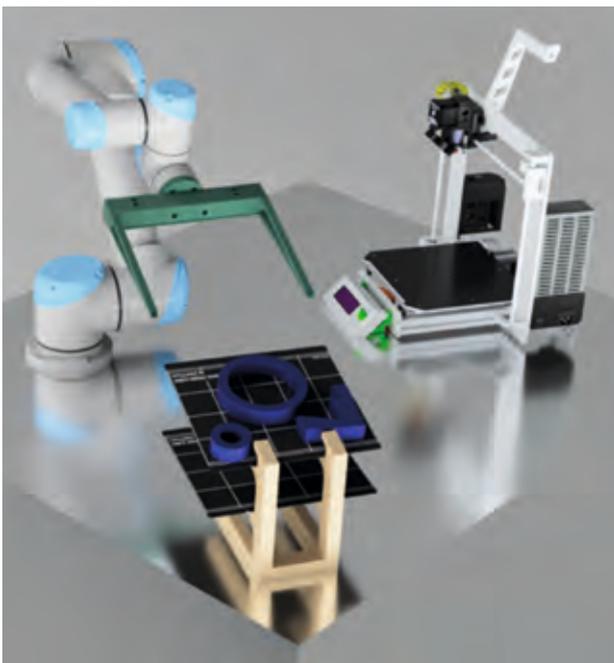


Abb. 3: Demonstrator Bauplattenbestückung und -entnahme des ADM-Labs

additive Fabrik. Bei diesem Verfahren wird ein thermoplastisches Material erhitzt, durch eine ortsgenau verfahrbare Düse gepresst und als Strang Schicht um Schicht abgelegt. Eine dauerhafte Verbindung der Stränge innerhalb und zwischen den Schichten entsteht als Folge der thermischen Energie durch die Verschlaufung der Polymerketten des Materials. Das Bauteil entsteht durch Übereinanderlegen der Schnittebenen, die jeweils durch das Ablegen des Polymerstrangs „ausgemalt“ werden. Je nach Düsendurchmesser und Schichthöhe lassen sich verschieden fein strukturierte und mechanisch belastbare Bauteile herstellen.

Konzeption und Prozesskette

Die Kriterien der additiven Fabrikplanung können anhand der vier Hauptfelder der konventionellen Fabrikplanung erfasst werden. Diese sind Wirtschaftlichkeit, Flexibilität bzw. Wandlungsfähigkeit, Mitarbeiterattraktivität und ökologische Nachhaltigkeit^[7, S. 31]. Im Folgenden werden lediglich die Faktoren Wirtschaftlichkeit und Flexibilität betrachtet, wobei die Wirtschaftlichkeit (bewertet anhand der Kosteneffizienz, d. h. dem Kosten-Nutzen-Verhältnis) das erste Konzeptionskriterium darstellt. Eine hohe Flexibilität zielt darauf ab, kurzfristige quantitative Schwankungen in festgelegten Korridoren (Kapazitätsgrenzen) auszugleichen. Qualitative Schwankungen, beispielsweise Bauteilvarianten, lassen sich aufgrund des werkzeuglosen Charakters der additiven Fertigung gut abdecken. Bei einem Überschreiten der Kapazitätsgrenzen muss das System angepasst werden. Die Wandlungsfähigkeit beschreibt dafür den Lösungsraum. Dieser ist besonders unter dem Gesichtspunkt der additiven Fabrik entscheidend, da die geringen Anschaffungskosten des FLM-Verfahrens eine mit dem Absatz wachsende Produktion ermöglichen. Die Fähigkeit eines Systems, sich wachsenden Ansprüchen an die Leistungsfähigkeit anzupassen, ist als Skalierbarkeit definiert und stellt das zweite Konzeptionskriterium dar. Mithilfe dieser Kriterien können Fabrikkonzepte bewertet und verglichen werden.

Die Prozesskette additiver Fabriken wurde durch eine richtungsorientierte Analyse additiver Fabriken erfasst. Die erfassten Aufgaben können in Aufgabenkomplexe geclustert werden, die durch einen Handlungsträger – dieser kann

[4] S. Lilian, „Ansätze zur Produktivitätssteigerung des Fused Layer Modelling Verfahrens bei gleichbleibender Bauteilqualität“. Masterarbeit, Feb. 2020.

[5] S. Haas, „Kostentool für das Additive Fertigungsverfahren – Fused Deposition Modeling (FDM) –“. Masterarbeit, Mai 2019.

[6] C. Schmidt, „Konzeption, Analyse und Realisierung einer automatisierten additiven Druckerfarm“. Masterarbeit, Hochschule Karlsruhe – Technik und Wirtschaft, Feb. 2020.

[7] M. Möhrle, „Gestaltung von Fabrikstrukturen für die additive Fertigung“. Dissertation, Technische Universität Hamburg-Harburg; Springer-Verlag GmbH; Technische Universität Hamburg.

beispielsweise ein Mitarbeiter, ein Roboter oder ein Schwerkräftförderer sein – ausgeführt werden. Mögliche Umsetzungen wurden innerhalb des ADM-Labs erfasst und mithilfe der Konzeptionskriterien bewertet.

Kostenanalyse additiver Fabrikkonzepte

Die additiven Fabrikkonzepte mit FLM-Anlagen unterscheiden sich hauptsächlich durch die Art des Bauplattenwechsels. Ein zügiger Bauplattenwechsel ist die Voraussetzung für eine dauerhafte Produktivität und beeinflusst maßgeblich die Ausbringungsmenge der Fabrik. Aktuell sind FLM-Anlagen mit integrierten Bauplattenwechsel-Automaten auf dem Markt zu finden. Diese sind jedoch in der Anschaffung teuer, meist nur wenig ausgelastet und konkurrieren mit den separaten robotergestützten Wechselautomaten oder einem manuellen Bauplattenwechsel. Anhand der Konzeptionskriterien konnten vielversprechende Konzepte entwickelt werden, die in folgenden Szenarioanalysen gegenübergestellt wurden.

Additive Fabriken, die einen separaten Roboter zur Bestückung und Entnahme nutzen, weisen dabei im Vergleich zu den anlagenintegrierten und manuellen Konzepten die niedrigsten Herstellungskosten auf. Auch die Anschaffungskosten fallen im Vergleich zu anderen Möglichkeiten der Automatisierung gering aus. FLM-Anlagen mit integriertem Bauplattenwechsel konnten in der Analyse lediglich bei niedrigskalierten Fabriken mit bis zu sechs Anlagen bessere Herstell- und Anschaffungskosten erzielen. Die Herstellkosten der Bauteile additiver Fabriken setzen sich vor allem aus Material- und Lohnkosten zusammen, was auch für automatisierte Fabriken gilt (s. Abbildung 2). Demnach bestehen diese zu einem großen Anteil aus variablen Kosten und die Maschinenstundensätze fallen durch geringe Anlagenkosten im Vergleich zu den konventionellen Fertigungsmethoden gering aus. Deshalb können selbst hohe Auslastungsdefizite verkraftet werden. Durchgeführte Szenarioanalysen zeigen, dass selbst bei einem Auslastungsdefizit von 50 % marginale Herstellkostenerhöhungen (unter 3 %) entstehen, sollten die Lohnkosten der Mitarbeiter anderweitig genutzt

werden können. Das Bauteil beeinflusst die Herstellkosten der additiven Fabrik durch den hohen Materialkostenanteil. Neben der Dimension des Bauteils verändern der Supportstrukturanteil sowie der Füllgrad den Materialverbrauch. Aus diesem Grund können keine bauteilunabhängigen Aussagen über die Kostenhöhe getroffen werden. Es wird deutlich, dass im Falle einer Umsetzung eine Einzelfallbetrachtung notwendig ist. Zudem beeinflusst der Kunde bzw. die Kundenfokussierung des Unternehmens den Druckauftrag. Additive Fabriken ermöglichen eine Vielzahl von Fertigungsstrategien, die von der Einzelfertigung bis hin zur Konsolidierung einer Vielzahl von Kundenaufträgen reichen. Diese sind abhängig vom Kundenwunsch, beeinflussen jedoch das Ausbringungsmaximum, wodurch ein Zielkonflikt entstehen kann. Zudem sind die Wechselzeiten der Bauplatten, die Planungszeit der Druckaufträge und die Druckzeit zu beachten. Die Anschaffungskosten steigen nahezu linear mit der Fabrikgröße an und werden bei zunehmender Skalierung maßgeblich von den Anschaffungskosten der FLM-Anlagen verursacht (bis zu 70 % – je nach Farmskalierung). Deshalb können in der Konzeptionsphase im Voraus Kosten vermieden werden. Hierbei ist zu empfehlen, die Qualitätsansprüche des Anwendungsfalls zu betrachten. Kostengünstige FLM-Anlagen, die bereits industriell genutzt werden, könnten eine optimierende Alternative sein. Zudem können die Anforderungen des Robotersystems durch eine einfache Konzeption und einen individuell angepassten Greifer reduziert werden. Hierdurch können kostengünstige Robotersysteme genutzt werden, wodurch die Höhe der sprungfixen Kosten reduziert wird. Eine Vereinfachung der Abläufe begünstigt zudem die Flexibilität und Skalierbarkeit des Systems durch ein schnelleres Programmieren des Bestückungs- und Entnahmeprozesses.

Teilrealisierung

Im Sinne einer möglichst hohen Auslastung und Gesamtanlageneffektivität ist eine dauerhafte Produktion additiver Anlagen anzustreben. Dies wird unter anderem durch eine automatisierte Bauplattenbestückung und -entnahme ermöglicht. Hierzu wurde im ADM-Lab ein einfacher und flexibler Greifprozess entwickelt und im Labormaßstab realisiert.

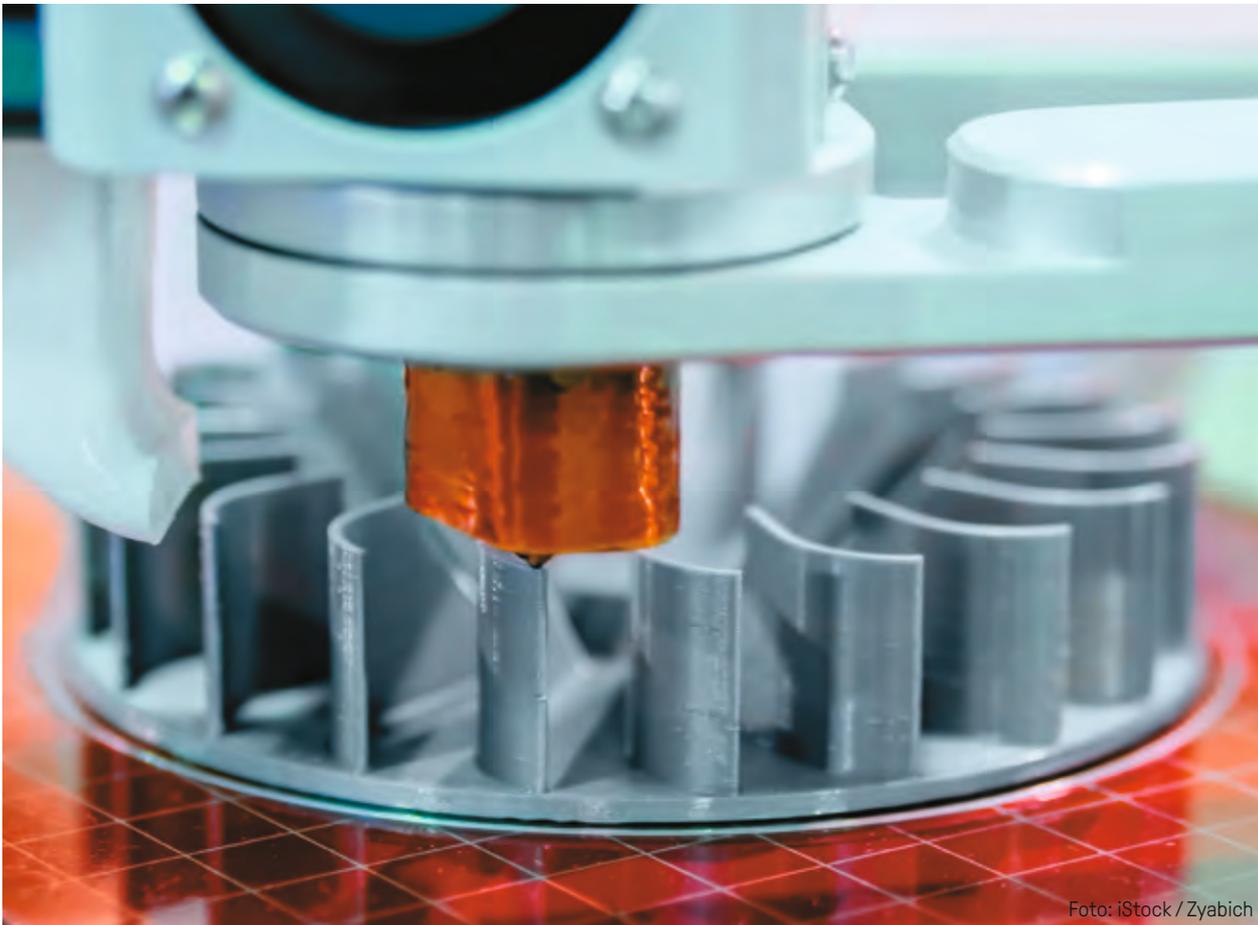


Foto: iStock / Zyabich

Der Greifprozess ist auf unterschiedliche Bauplattengrößen von Anlagen verschiedener Hersteller rasch adaptierbar und einfach einzulernen. Die Bauplatten sind magnetisch und werden mithilfe eines Roboters eingesetzt und entnommen. Der zugehörige Greifer verzichtet auf komplexe Sensorik und Aktorik, um eine einfache Anpassbarkeit an unterschiedliche Anlagen zu unterstützen. Zudem wird der Bauraum und damit das mögliche Bauteilspektrum der Anlage nicht wesentlich reduziert. Die Zykluszeit für die Bestückung und Entnahme einer Bauplatte betrug im Beispiel insgesamt 33 Sekunden.

Ausblick

Die Potenziale additiver Fabriken im Hinblick auf Wirtschaftlichkeit und Flexibilität wurden aufgezeigt. Flexible additive FLM-Farmen ermöglichen Herstellkosten auf einem Niveau in Reichweite konventioneller Fertigungsmethoden, wie z. B. Spritzguss.

Gegenwärtig werden additive Fabrikstrukturen weiterentwickelt und optimiert. Hierzu wird eine Simulationsumgebung ausgebaut, mithilfe derer sich Störfaktoren und das Verhalten der Fabrik bewerten und vorhersagen lassen. Die entwickelte Simulation soll weitere Umsetzungen unterstützen.

Einflüsse sowie Potenziale der additiven Fertigung auf die Nachhaltigkeit und Resilienz werden durch ein Promotionsvorhaben in Zusammenarbeit mit der Ruhr-Universität Bochum analysiert. Damit gehen Fragestellungen in Bezug auf die Industrialisierung des FLM-Verfahrens einher. Des

Weiteren beschäftigt sich das ADM-Lab mit der Automatisierung des Post-Processing, beispielsweise die Entfernung von Stützstrukturen, die zum gegenwärtigen Stand für einen signifikanten Anteil der Herstellkosten der additiven Fertigung verantwortlich sind. ✕

Autoren

Carsten Schmidt M.Sc.

Akademischer Mitarbeiter an der Fakultät für Wirtschaftswissenschaften der Hochschule Karlsruhe und Doktorand an der Ruhr-Universität Bochum

Prof. Dr. rer. nat. Florian Finsterwalder

Professor für Generative Fertigungsverfahren an der Fakultät für Wirtschaftswissenschaften der Hochschule Karlsruhe

Prof. Dr.-Ing. Rainer Griesbaum

Professor für Mathematik, Technische Mechanik und Technische Thermodynamik an der Fakultät für Wirtschaftswissenschaften der Hochschule Karlsruhe

Kontakt

Prof. Dr. rer. nat. Florian Finsterwalder
Hochschule Karlsruhe
Fakultät für Wirtschaftswissenschaften
Moltkestraße 30
76133 Karlsruhe
E-Mail: florian.finsterwalder@h-ka.de



WIR GEBEN JUNGEN MENSCHEN
IN VERSCHIEDENSTEN BEREICHEN

DEN OPTIMALEN EINSTIEG

INS BERUFSLEBEN.



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

Sie suchen für Ihr Praxissemester oder nach Ihrem Studium den richtigen Partner? Dann bewerben Sie sich als

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

an einem unserer Standorte in Deutschland.

Als ausgezeichnete **TOP-Arbeitgeber Bau** bieten wir moderne und attraktive Rahmenbedingungen, in denen Sie Ihre Stärken voll entfalten können. Starten Sie gemeinsam mit uns durch!

Wir freuen uns auf Ihre Online-Bewerbung über unser Job-Portal unter jobs.leonhard-weiss.com.

LEONHARD WEISS GmbH & Co. KG – BAUUNTERNEHMUNG

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



FREUDE
AM BAUEN
ERLEBEN

www.leonhard-weiss.de

Industrielle Roboter manipulation

Felix Heel, Jochen Sobov, Nadja Geppert, Luisa Hornung, Moritz Weisenböhrer, Christian Wurl und Björn Hein

DE Die sichere und flexible Handhabung und Manipulation von Objekten ist eine zentrale Herausforderung vieler industrieller Automatisierungsanwendungen. Zur Lösung solcher komplexen Aufgabenstellungen müssen Roboter befähigt werden, die menschliche Hand zu ersetzen. Dabei kommen innovative und meist objektspezifische Greifsysteme zum Einsatz, mit deren Entwicklung sich die Forschungsgruppe „Robotik und autonome Systeme“ intensiv beschäftigt. In diesem Beitrag wird der generische Entwicklungsprozess robotischer Greifsysteme beschrieben und verschiedene Greifsysteme vorgestellt, die repräsentativ für Industrielle Use-Cases stehen und von Absolvent:innen der Hochschule Karlsruhe entwickelt wurden.

EN The safe and flexible handling and manipulation of objects is a central challenge of many industrial automation applications. To solve such complex tasks, robots must be enabled to replace the human hand. Innovative and mostly object-specific gripping systems are used, and the research group “Robotics and autonomous systems” is intensively involved in their development. This article describes the generic development process of robotic gripping systems and presents various gripping systems that are representative of industrial use cases and were developed by graduates of Karlsruhe University of Applied Sciences.

Das Kommissionieren und Umlagern von Artikeln sowie das sogenannte „Pick and Place“ von Bauteilen und Werkstücken sind zentrale Aufgabenstellungen, die in vielen Logistik- und Produktionsprozessen zu finden sind. Trotz des hohen Automatisierungsanteils in den Bereichen werden diese Aufgaben in der Praxis nach wie vor überwiegend manuell durch Mitarbeiter ausgeführt. Diese Tätigkeiten sind oft kostenintensiv und umfassen eintönige und repetitive Aufgabenstellungen. Übernimmt ein Roboter diese Aufgabe, welche das Lokalisieren, Identifizieren, Greifen und Ablegen der Objekte umfasst, spricht man vom Automated Item Picking (AIP).

Trotz der intensiven Forschung des „Griffs in die Kiste“ ist dieser nach wie vor schwer automatisierbar. Ursachen hierfür sind u. a. die variierenden, komplexen Geometrien und die sich stark unterscheidenden Gewichte und Abmessungen der im gleichen Anwendungsszenario zu greifenden Objekte, wodurch sich diese Aufgabenstellungen als besonders herausfordernd für die Handhabungstechnik gestalten. Durch die steigende Komplexität und Variantenvielfalt der zu greifenden Produkte, muss für ein sicheres und wirtschaftliches Item Picking für nahezu jede Produktart eine anforderungsspezifische und flexible Greiftechnik entwickelt werden, die die verschiedenen Objekte sicher und effizient greifen kann.

Insbesondere durch den ständig wachsenden Anteil des Online-Handels und die fortschreitende Automatisierung der Produktion steigen die Anforderung an die Flexibilität und die Effizienz der zugehörigen Intra- und Extralogistikprozesse. Das Automated Item Picking ist ein zentraler Baustein zur Bewältigung dieser Herausforderung der Logistik der Zukunft.

Greifsystementwicklung an der Hochschule Karlsruhe

Durch die Forschung an robotischen Greifsystemen leistet die Forschungsgruppe „Robotik und autonome Systeme“ einen Beitrag zur fortschreitenden Automatisierung von geeigneten industriellen Logistik- und Produktionsprozessen. Dabei liegt der Forschungsschwerpunkt auf der Konzeption, prototypischen Umsetzung und Evaluierung sowohl von



Abb. 1: Automatisierte Prozesslösung mit mobiler Plattform und kollaborativem Roboter (Cobot) für die Handhabung und den Transport mit Kleinladungsträgern (KLTs) in industriellen Logistikprozessen.

spezifischen Greifsystemlösungen für unterschiedliche reale Anwendungsfälle als auch der Ableitung von generischen Lösungsansätzen.

Im Folgenden wird zunächst eine allgemeine Vorgehensweise bei der Greifsystemkonzeptentwicklung beschrieben. Anschließend werden drei repräsentative Anwendungsfälle für roboterbasiertes Item Picking in den Bereichen Produktion und Logistik vorgestellt sowie deren spezifische Herausforderungen und die entwickelten prototypischen Lösungen vorgestellt.

Allgemeine Vorgehensweise

Um ein möglichst optimales, flexibles und auf den Anwendungsfall abgestimmtes Greifsystem zu entwickeln, werden im Wesentlichen folgende vier aufeinander aufbauenden Schritte durchgeführt:

1. Anforderungsdefinition
2. Konzepterstellung und -auswahl
3. Iterative Entwicklung und Optimierung
4. Erprobung und Evaluation

Die Greifkonzeptentwicklung beginnt mit der Anforderungsdefinition, die durch eine umfassende Anforderungsanalyse des Anwendungsfalls gekennzeichnet ist. Dabei wird der

aktuelle (manuelle) Prozess untersucht, um Muss-, Soll- und Wunschanforderungen zu identifizieren^[1]. Auf Basis der Analyseergebnisse werden die Anforderungen in Form eines Lastenhefts für das zu entwickelnde Greifsystem erstellt.

Auf Basis des Anforderungskatalogs werden im Schritt Konzepterstellung und -auswahl mehrere Greifkonzepte auf Ihre Eignung untersucht und bewertet. Geeignete Methoden zur Identifikation des für den Anwendungsfall optimalen Zielkonzepts stellen (manuelle) Greifversuche und die Durchführung einer Nutzwertanalyse dar, welche den Entscheidungsträgern eine sinnvolle Entscheidungsvorlage bieten^[2].

Im nächsten Schritt, der iterativen Entwicklung und Optimierung, wird das Zielkonzept schrittweise ausgearbeitet, in mehrstufigen Iterationsschleifen (weiter-) entwickelt. Es wird ein prototypisches Greifsystem umgesetzt, wobei insbesondere „Rapid Prototyping“ mittels 3D-Druck-Verfahren eingesetzt wird. Da im Rahmen der Umsetzung neue Erkenntnisse gewonnen werden, wird das System wiederholt getestet und weiter optimiert.

Am Ende der Greifsystementwicklung wird der entwickelte und optimierte Prototyp im Rahmen der Erprobung und Evaluation in realitätsnaher Versuchsumgebung erprobt und final evaluiert. Hierbei werden keine größeren Anpassungen mehr vorgenommen, um die Untersuchung der erreichten Robustheit der Lösung zu ermöglichen.

[1] Pott, A. und Dietz, T. (2019). Industrielle Robotersysteme. Entscheiderwissen für die Planung und Umsetzung wirtschaftlicher Roboterlösungen. Wiesbaden: Springer Vieweg.

[2] Kühnapfel, J. B. (2019). Nutzwertanalysen in Marketing und Vertrieb. Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden.

[3] Geppert, N.: Konzeptionierung und Entwicklung einer Mensch-Roboter-Kollaboration zur Maschinenbestückung in der Qualitätskontrolle. Karlsruhe, Hochschule Karlsruhe – Technik und Wirtschaft. Masterarbeit. 2020

[4] Heel, F.: Konzipierung und Entwicklung eines Greifkonzepts für Anwendungen im Automated Item Picking und Packing innerhalb der Automobilbranche. Karlsruhe, Hochschule Karlsruhe – Technik und Wirtschaft. Masterarbeit. 2020

Anwendungsfall Greifkonzept für das Greifen von Federsäulen [3]

Dieser Anwendungsfall beschreibt eine Handhabungsaufgabe in einer Produktionsumgebung zum Prüfen von Federsäulen.

Manueller Prozessablauf: Im aktuellen Prozessablauf stapelt der Werker die Federsäulen, bestehend aus mehreren Einzelteilen, stellt diese unter eine Prüfmaschine startet die Prüfung per Knopfdruck und entlädt die Prüfmaschine nach Beendigung des Prüfvorgangs. Bei der entwickelten automatisierten Lösung werden die Federsäulen auf Skalierdornen in einem Materialpuffer bereitgestellt. Der Roboter entnimmt diese automatisiert und stellt sie unter der Prüfmaschine ab. Nach der Prüfung wird die Federsäule automatisiert aus der Prüfmaschine gegriffen und wieder im Materialpuffer abgesetzt.

Die zentrale Herausforderung dieses Anwendungsfalls ist die große Varianz an unterschiedlichen Federsäulen, welche mit dem Greifsystem abgedeckt werden müssen. Die Einzelteile sind charakterisiert durch eine häufig sehr flache, runde Geometrie mit einem Loch in der Mitte und werden wechselseitig nach einem bestimmten Muster zu Federsäulen gestapelt. Dabei kann die unterste Federsäule sowohl auf dem Außen- als auch dem Innendurchmesser aufliegen. Die Objekte variieren zudem im Innen- und Außendurchmesser, in der Dicke und in der konischen Ausprägung sowie die

Federsäulen in der Höhe und der Anzahl der gestapelten Einzelteile. Das Greifen der Federsäule aus der Prüfmaschine stellte sich während der Untersuchung als größte Herausforderung heraus, da die Federsäule auf einer flachen Oberfläche gegriffen werden muss. Lag die unterste Federsäule auf dem Außendurchmesser konnte dieses Einzelteil aufgrund der teilweise sehr flachen, schmalen Geometrie nicht gegriffen werden.

Die Lösung lag im Greifprozess: Die Federsäule wird zunächst an den Rand der flachen Oberfläche geschoben und erst dann werden die Greifbacken geschlossen. Dadurch ist eine Greifbacke in der Luft und damit minimal unter dem untersten Einzelteil, wodurch sich die komplette Federsäule sicher greifen lässt (siehe Abbildung 2).

Bei der Lösung des Greifsystems handelt es sich um quaderförmige Greifbacken mit ausgeschnittenem Greifprisma, welche am unteren Ende eine zusätzliche Schräge für einen formschlüssigen Griff aufweisen. Prismen werden häufig für zylinderförmige Greifobjekte verwendet und eignen sich daher für den Anwendungsfall. Zur sicheren Handhabung und zum Schutz gegen Verlust der Federsäule sind die Greifbacken mit Moosgummi beschichtet.

Anwendungsfall Greifkonzept für das Greifen von Ersatzteilen in der Automobilindustrie [4]

Der Anwendungsfall betrifft das Kommissionieren von verschiedenen Ersatzteilen in der Automobilbranche.

Am Arbeitsplatz wird nach dem Prinzip Ware-zu-Person auftragsspezifisch kommissioniert, d.h. sortenreine Quellbehälter werden über Transport- und Förderbänder zum Arbeitsplatz befördert und der Werker packt in jeden Zielbehälter den Inhalt des Auftrags, unter Umständen aus mehreren Quellbehältern. Für diesen Anwendungsfall wurde ein effizientes Greifkonzept für Anwendungen im Automated Item Picking und Packing (AIP²) für das komplexe Spektrum der Ersatzteile entwickelt. Der Roboter übernimmt dabei das Greifen der Produkte aus dem Quellbehälter und packt den Zielbehälter effizient. Die konzeptionierte Lösung kann den Großteil der Ersatzteile im Kommissionierprozess sicher

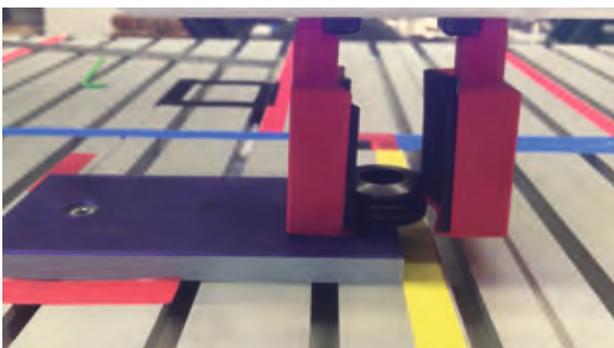


Abb. 2: Greifprozess Federsäulen



ALHO
MODULARE GEBÄUDE

WERKSTUDENTEN (m/w/d) BAUINGENIEURWESEN GESUCHT!

Genauere Informationen
zum Berufseinstieg in die Welt
des Modulbaus erhalten Sie unter
www.alho-gruppe.com/studenten.



ALHO Holding GmbH · Hammer 1 · 51598 Friesenhagen ·
www.alho-gruppe.com/karriere



DÜRR

Welcome to the Fascinationeering Group.

Bewerben Sie sich unter durr.com/karriere

Jetzt bewerben

Gross Karriere machen.

**PETER
GROSS
BAU**

Du bist Student/in des Bauingenieurwesens oder der Architektur?

Wir freuen uns auf deine Initiativbewerbung
über unsere Karriereseite:

www.gross-karriere-machen.de



www.gross-karriere-machen.de

Vermessung
Geotechnik
Geoinformatik
Entwicklung



DEIN NEUER ARBEITSPLATZ.

Wir suchen Geodäten (m/w/d): Vermessungsingenieure,
Werkstudenten, Vermessungstechniker, Azubis, ...

Bewirb dich: intermetric.de/karriere

Folge uns: facebook.com/intermetricGmbH

instagram.com/intermetric

intermetric GmbH | Industriestr. 24 | 70565 Stuttgart | T +49(711)780039-2 | www.intermetric.de

PIONEERING UNDERGROUND TOGETHER

Ingenieure und Ingenieurinnen bei Herrenknecht wirken tatkräftig an bahnbrechenden Infrastrukturprojekten mit, die mit unserer einzigartigen Tunnelvortriebstechnik weltweit gebaut werden. Sie sind in einem spannenden und abwechslungsreichen Umfeld die Garanten für den Projekterfolg unserer internationalen Auftraggeber. Auf junge wie erfahrene Ingenieure warten bei Herrenknecht tagtäglich neue Herausforderungen und es bieten sich echte Entwicklungspotentiale. Abgesichert durch ein professionelles und dynamisch fortschreitendes Familienunternehmen. Werden Sie Teil eines schlagkräftigen Teams technikbegeisterter Pioniere in einem vielversprechenden Zukunftsmarkt.

Bewerben Sie sich unter www.herrenknecht.com/karriere



und wirtschaftlich handhaben und bietet darüber hinaus gewichtige Vorteile gegenüber der Variante der manuellen Kommissionierung (z.B. nicht ausgeschöpfte Potenziale hinsichtlich Zeit, Ergonomie, Wirtschaftlichkeit, usw.). Der umgesetzte Anwendungsfall ist in Abbildung 3 dargestellt.

Die Herausforderungen im Anwendungsfall liegen im breitgefächerten Produktportfolio, das eine hohe Anwendungsvielfalt umfasst. Produkte unterschiedlichster Größen (2 bis 40 cm), Gewichte (x bis yg) und Verpackungsarten (karton- und kunststoffverpackt) müssen dabei mit einem einheitlichen Greifsystem gehandhabt werden.

Die Greiferlösung (siehe Abbildung 4) kann, je nach Produktangriffsfläche, unterschiedlich große und saugstarke Sauggreifer zu einer zielsicheren Produkt-handhabung variabel einsetzen. Insgesamt können vier Saugmodule einzeln und miteinander kombiniert für ein Picking und Packing verwendet werden. Dies macht eine prozesssichere und wirtschaftliche Handhabung der vielfältigen Produktmaße und -gewichte des

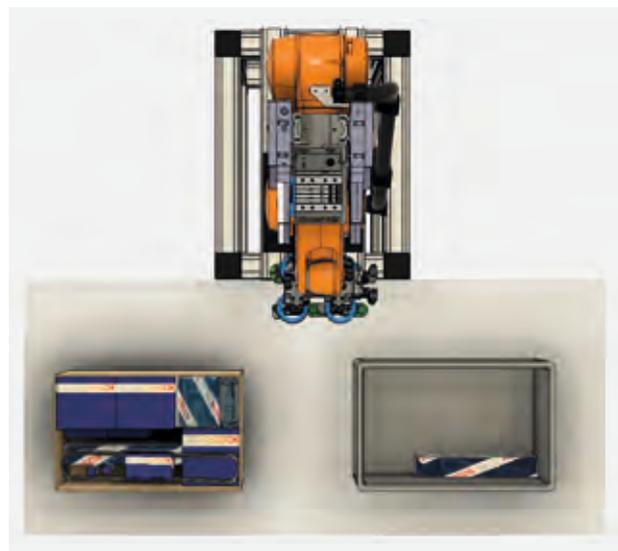


Abb. 3: Anwendungsfall Automobilersatzteile

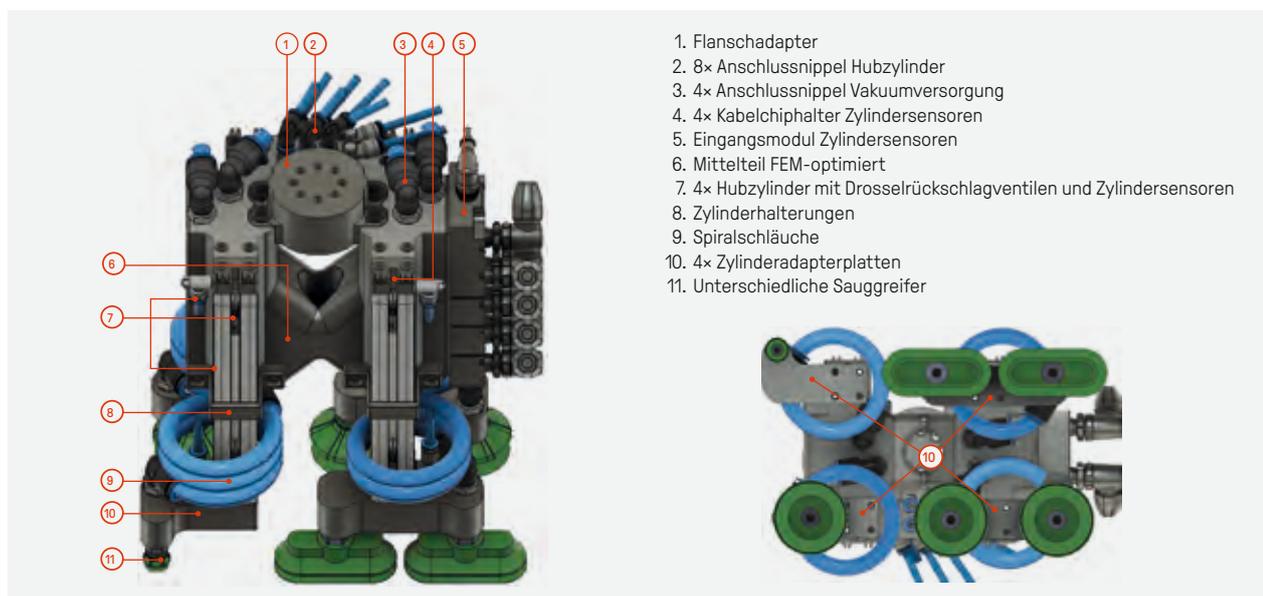


Abb. 4: Greiferlösung für Automobilersatzteile mit kombinierbaren Saugmodulen

Anwendungsfalls möglich. Jedes Modul verfügt darüber hinaus über einen Hubzylinder, der ein tiefes Eintauchen des Greifers in Quell- und Zielkisten sowie Lücken zwischen einzelnen Produkten ermöglicht.

Anwendungsfall Greifkonzept für das Greifen von Kosmetikartikeln [5]

Der Anwendungsfall beschreibt die Kommissionierung von Kosmetikartikeln.

Bei der Einzelkommissionierung entnimmt der Werker die Artikel händisch aus den sortenreinen Quellbehältern und sammelt diese in einem Zielbehälter bzw. Versandkarton. Dabei gibt es abhängig von der Art des Kunden Vorgaben bezüglich Produkte, Packreihenfolge und Füllgrad des Zielbehälters, welche den Ablege- und Verpackungsprozess bestimmen. Im Onlineversandhandel müssen dabei weniger Details beim Verpacken beachtet werden als im Einzel- und Fachhandel. Hier wird die Erreichung eines hohen Füllgrades durch eine hohe Packdichte gefordert. Die Bereitstel-

lung der Artikel findet teilweise durch ein automatisches Ware-zur-Person-Lagersystem statt, hauptsächlich werden jedoch die einzelnen Positionen manuell aus den Durchlaufregalsystemen entnommen, welche von den Mitarbeitern sequenziell angelaufen werden. Bei der entwickelten Lösung übernimmt der Roboter die Entnahme der entsprechenden Artikel aus den Quellbehältern und die Ablage im Zielbehälter.

Auch dieser Anwendungsfall stellt eine Reihe von Herausforderungen an das zu entwickelnde Greifsystem, die es mit einer Lösung zu bewältigen gilt: Die große Vielfalt der Geometrien, Gewichte und Oberflächenmaterialien der Objekte stellen hohe Anforderungen an die Flexibilität des Greifers, insbesondere da eine beschädigungsfreie Manipulation stets notwendig ist. Zudem wirkt sich die fixe Öffnungsweitereinstellung der Klemmelemente des Greifers negativ auf die Prozesssicherheit und die Sorgsamkeitseinhaltung aus.

Zur Bewältigung der Herausforderungen wurde ein Greifkonzept entwickelt, das sich durch den Einsatz von

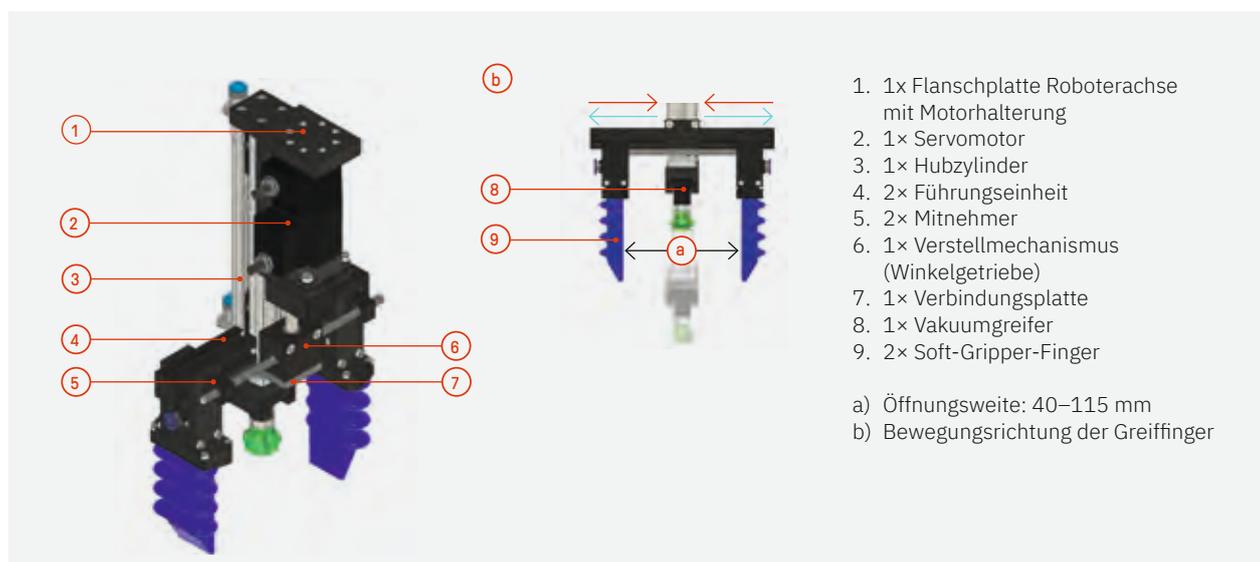


Abb. 5: Greifkonzept Kosmetikartikel mit „Soft-Gripper“-Fingern

„Der Mensch hat die fünfte Schöpfung geschaffen – nämlich die Maschinen.“

Götz W. Werner, Gründer von »dm-drogerie markt«, Unternehmer

pneumatischen Beugefingern (sog. Soft-Gripper-Finger) mit einer variablen Öffnungsweitereinstellung auszeichnet. Der in die Greiferlösung implementierte automatische Verstellmechanismus, welcher die adaptive Anpassung der Öffnungsweite ermöglicht, erlaubt die passende Einstellung der Greiffinger zum Objekt, abhängig von der Objektgröße.

Die Greiferlösung setzt sich aus einem ausfahrbaren Vakuumgreifer und aus zwei Soft-Gripper-Fingern zusammen (siehe Abbildung 5). Durch den Vakuumgreifer können Objekte störrkonturarm von oben angesaugt und aus dem Behälter entnommen werden. Die angesaugten Objekte werden im zweiten Greifschritt durch die Soft-Gripper-Finger mittels Klemmung stabilisiert. Die Klemmung dient dabei als Abstützung und Sicherung des Objekts um den Trägheitskräften, die beim Verfahren des Roboters entstehen, entgegenzuwirken und ein Herausfallen des Objekts aus dem Greifer zu verhindern. Durch die pneumatischen Beugefinger, die sich durch eine sehr hohe Flexibilität auszeichnen und sich besonders gut für variable Objektgeometrien eignen, kommt eine kraftschlüssige Klemmung zustande. Der Einsatz der Soft-Gripper-Finger erlaubt es unterschiedliche Objektgrößen und -geometrien zu handhaben und durch den automatischen Verstellmechanismus kann das Objektgrößenspektrum erweitert und somit der Einsatzbereich der Greiferlösung vergrößert werden.

Fazit

Im Rahmen mehrerer studentischer Abschlussarbeiten wurden für unterschiedliche Industrieanwendungsfälle in den Bereichen Produktion und Logistik Greiferlösungen zur Handhabung von Objekten entwickelt. Trotz des generischen Vorgehens für die Greifkonzeptentwicklung zeigen die drei Anwendungsfälle spezifische Herausforderungen. Das Ergebnis der Greifkonzeptentwicklungen sind drei sehr unterschiedlich konzeptionierte und aufgebaute Prototypen, die optimal auf den jeweiligen Anwendungsfall abgestimmt und ausgelegt sind. Die in diesem Bericht beschriebenen Anwendungsfälle, Vorgehensweisen und Lösungen verdeutlichen die Notwendigkeit von individuellen, auf die Anforderungen des Anwendungsfalls ausgelegten Greiferlösungen.

Die hier vorgestellte Entwicklung der Greifer-Hardware stellt allerdings nur einen Teilbereich der Automatisierung mit Roboteranwendungen dar. Für einen automatisierten Prozess sind darüber hinaus die Steuerung des Roboters sowie die Planung von Greifposen mittels Objekterkennung und zugehöriger Sensorik notwendig. Die Abteilung „Robotik und autonome Systeme“ forscht an solchen ganzheitlichen Lösungen, insbesondere in den Bereichen Bildverarbeitung mit maschinellem Lernen und dem Einsatz von VR- und AR-Technologien zur intuitiven Robotersteuerung. ✕

Autor:innen

Felix Heel M.Sc.

Jochen Sobov B.Sc.

Nadja Geppert B.Sc.

Luisa Hornung M.Sc.

Moritz Weisenböhrer M.Sc.

Prof. Dr.-Ing. Christian Wurl

Prof. Dr.-Ing. habil. Björn Hein

Forschungsgruppe „Robotik und autonome Systeme“
am Institut für angewandte Forschung
der Hochschule Karlsruhe

Kontakt

Prof. Dr.-Ing. Christian Wurl

Hochschule Karlsruhe

Fakultät für Wirtschaftswissenschaften

Leiter der Forschungsgruppe

„Robotik und autonome Systeme“

am Institut für angewandte Forschung

E-Mail: Christian.Wurl@h-ka.de

Finanzierung 4.0 im Mittelstand

Marcel Kehler, Stefanie Regier und Ingo Stengel

DE Industrie 4.0 und die damit einhergehende Entwicklung des Internets der Dinge (IoT) verändern die globale Wirtschaft rasant. Dadurch entstehen unter anderem neue Geschäftsmodelle, wie z. B. Pay-per-Use, bei denen die Abrechnung von Nutzungsentgelten von Maschinen auf Basis der gesammelten Daten erfolgt. Vor diesem Hintergrund wurde ein IoT-Finanzierungsmodell für kleine und mittlere Unternehmen (KMU) entwickelt und bewertet, das auf smarten Daten beruht und sich flexibel an die Auslastung von saisonalen Schwankungen anpasst.

EN Industry 4.0 and the associated development of the Internet of Things (IoT) are rapidly changing the global economy. Among other things, this is supporting the rise of new business models, such as Pay-per-Use, in which usage fees for machines are billed based on the data collected. Therefore, we developed and evaluated an IoT financing model for SMEs that is based on smart data and adapts flexibly to workload and seasonal fluctuations.

Industrie 4.0 ist aktuell in aller Munde und gilt derzeit weltweit als vierte industrielle Revolution. Nach der Erfindung der Dampfmaschine, dem Aufkommen von Elektrizität und Automatisierung sowie der Erfindung des PC führen jetzt die sogenannten „smarten“ Objekte des Internet of Things (IoT) zu einem weiteren Paradigmenwechsel. Kevin Ashton beschrieb das Internet of Things (IoT) als die Möglichkeit, Personen und Objekte zu jeder Zeit, an jedem Ort, mit allem und jedem und im Optimalfall durch jedes Netzwerk oder jeden beliebigen Service miteinander zu verbinden (Ashton 2009). So kommunizieren bereits heute Autos miteinander und mit ihrer Umgebung zur Routenplanung, zum Auffahrschutz oder zur Absetzung von Notfallsignalen. Smarte Kühlschränke können heute schon über eine App während des Einkaufs anzeigen, was sich aktuell noch im Kühlschrank befindet und der neue smarte Fernseher weiß, welche neuen Filme gerne geschaut werden. Doch nicht nur im Privaten spielen smarte Geräte inzwischen eine wichtige Rolle, auch in der Industrie sind smarte Anlagen in vielen Bereichen nicht mehr wegzudenken. Durch das Internet of Things arbeiten sie zuverlässiger, energieeffizienter und ressourcenschonender als herkömmliche Industrieanlagen.

Diese Revolution ist jedoch mit enormen Investitionskosten verbunden, was die Themen Digitalisierung und Vernetzung betrifft. Zusätzlich setzen kürzer werdende Innovationszyklen vor allem kleine und mittlere Unternehmen (KMU) immer mehr unter Druck. Auch im Bankensektor führen die Niedrigzinsperiode, neue Regulatoriken und die Digitalisierung dazu, dass alle Beteiligten ihre Prozesse reflektieren müssen, um weiterhin konkurrenzfähig zu bleiben. Die Industrie 4.0 ermöglicht dabei aber auch neue Geschäftsmodelle – für Banken und Unternehmen gleichermaßen. Nachfolgend soll daher ein Finanzierungsmodell vorgestellt werden, das vor allem die KMU in den Fokus stellt, die das nutzenbasierte Geschäftsmodell „Pay-per-Use“ für ihre Kunden anbieten. Dabei kann die Liquiditätsbelastung von Investitionskrediten mit Hilfe von IoT flexibel auf die jeweilige Situation des KMU angepasst werden, um so unter anderem konjunkturellen und saisonalen Schwankungen verstärkt Rechnung zu tragen.

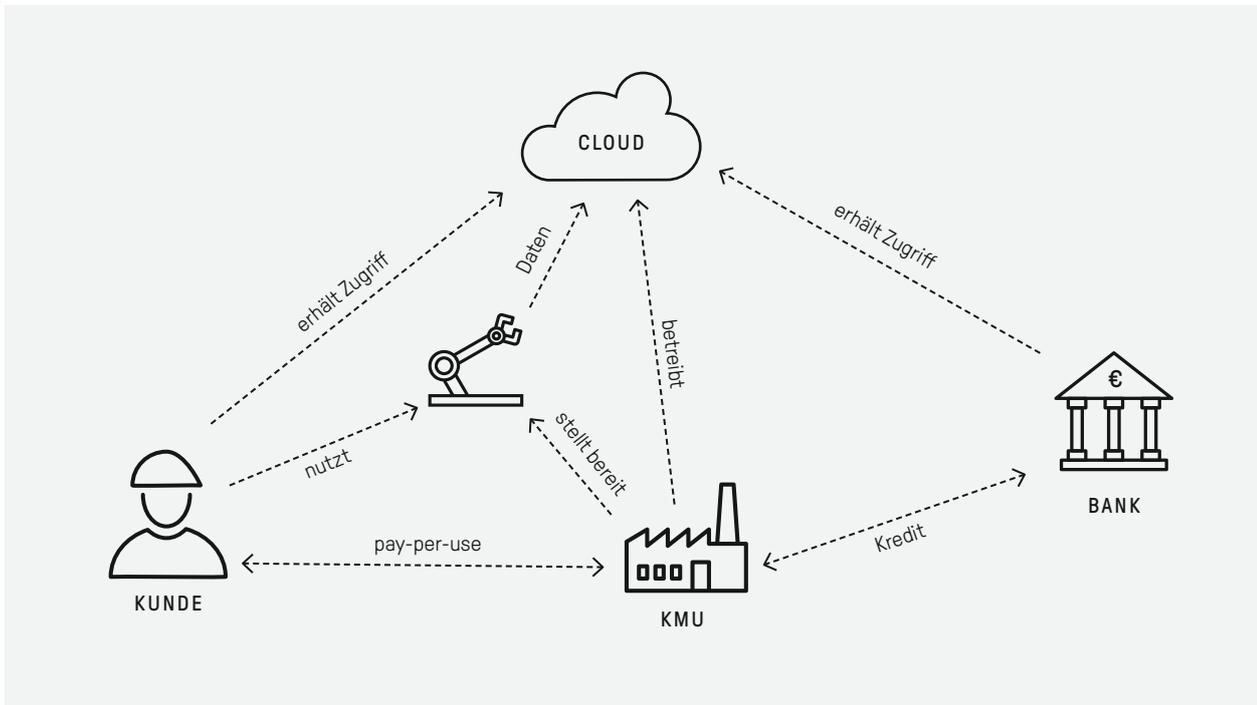


Abb. 1: IoT-Finanzierungsmodell

Die Methode

Als Basis für die Entwicklung und Bewertung eines solchen IoT-Finanzierungsmodells für KMU wurde eine Studie durchgeführt, bestehend aus qualitativen Interviews mit mittelständischen Unternehmen und Bankenvertretern sowie einer quantitativen Befragung unter KMU. Die Interviews mit Entscheidern aus kleinen und mittelständischen Unternehmen hatten das Ziel, neue Erkenntnisse über deren aktuelle Situation und Herausforderungen zu erlangen und Anforderungen an das IoT-Finanzierungsmodell zu erheben. Diese wurden dann mit Experten aus dem Bankenumfeld in weiteren Interviews diskutiert. Hierbei lag der Fokus vor allem auf der Einschätzung zur Umsetzbarkeit und auf dem frühzeitigen Erkennen möglicher Probleme. Das daraufhin entwickelte Finanzierungsmodell wurde anschließend in Form einer standardisierten Befragung Entscheidern aus KMU vorgelegt, die das Konzept evaluieren sollten. Im folgenden Abschnitt soll zunächst das IoT-Finanzierungsmodell vorgestellt werden.

Die Idee:

Das IoT-Finanzierungsmodell

Die Zielgruppe für das entwickelte Finanzierungsmodell sind KMU, die ihren Kunden das Geschäftsmodell „Pay-per-Use“ anbieten möchten, oder dies bereits tun. Firmenkunden setzen in den letzten Jahren verstärkt auf ein

Full-Service-Komplettpaket, das einerseits die Nutzung der Maschine enthält und andererseits auch komplementäre Dienstleistungen wie Service, Reparatur, Wartung und Entsorgung. Bei Pay-per-Use basiert die Abrechnung auf der Nutzung einer Anlage. Das können z. B. Betriebsstunden, eine produzierte Stückzahl oder auch die Auslastung einer Maschine sein. Diese Daten sollen im IoT-Finanzierungsmodell die Basis für die Berechnung der nächsten Tilgungsrate bilden. Je höher die Auslastung, die Betriebsstunden oder die Stückzahl, desto höher auch die Tilgungsrate. Um trotzdem die Anforderung der Planungssicherheit zu gewährleisten, wird eine maximale Finanzierungslaufzeit vereinbart, innerhalb der der Kredit abgezahlt werden muss, auch wenn die Maschine nicht genutzt wird. Je intensiver die finanzierte Anlage also vom Endkunden verwendet wird, desto höher die Tilgung der Hersteller bei seiner Bank und desto kürzer die Laufzeit des Kredits.

Der Ablauf gestaltet sich daher folgendermaßen: Das KMU stellt seinen Endkunden seine Anlagen zur Benutzung zur Verfügung und rechnet diese nutzenbasiert ab. Die smarte Anlage zeichnet dazu über darin verbaute Sensoren unterschiedlichste Daten auf, die in die von dem KMU betriebene Cloud übertragen werden. Das KMU kann diese analysieren und zur Abrechnung verwenden. Durch den Vertrieb über Dienstleistungsverträge generiert das KMU wiederkehrende Einkünfte, die jedoch erst mittel- bis langfristig die entstandenen Kosten decken. Bei Skalierung entsteht dadurch ein

„Um klar zu sehen, genügt oft ein Wechsel der Blickrichtung.“

Antoine de Saint-Exupéry

deutlich höherer Kapitalbedarf, den das KMU mit Hilfe eines Kredits decken muss.

Die Bank stellt dem KMU das benötigte Kapital zur Verfügung und bietet ihm gleichzeitig ein innovatives, flexibles Finanzierungsmodell an, das die Tilgungsrate an die Nutzung des Endkunden anpasst. Hierzu benötigt die Bank ebenfalls den Zugang zu den in der Cloud gespeicherten Nutzungsdaten. So würde zum Beispiel die Nutzlaufzeit direkt in der Maschinensteuerung erfasst und anschließend via Cloud der Bank zugänglich gemacht, wo die Daten zur Errechnung der nächsten Tilgungsrate verwendet werden (s. Abbildung 1).

Die Ergebnisse

Ziel der im April und Mai 2020 durchgeführten Umfrage war eine erste Einschätzung der Akzeptanz des entwickelten Finanzierungsmodells am Markt sowie der Bereitschaft der Unternehmen zur Weitergabe von Kundendaten. Mit knapp 30 Entscheidern aus mittelständischen Unternehmen ist die Stichprobe der Umfrage schon alleine aufgrund der Anzahl nicht repräsentativ, gibt aber durchaus erste Hinweise auf die Akzeptanz sowie mögliche Schwachstellen des Konzepts.

Insgesamt ist festzuhalten, dass das IoT-Finanzierungsmodell bei den befragten Mittelständlern durchweg auf großes Interesse stößt. Im Rahmen einer Befragung mussten die Probanden die Attraktivität des vorgestellten IoT-Finanzierungsmodells auf einer 5er Skala, die von sehr unattraktiv (1) bis sehr attraktiv (5) reicht, beurteilen. 84 % der Befragten bewerteten das Modell als sehr attraktiv oder attraktiv. Lediglich 16 % entschieden sich für die neutrale Mitte. Die Vorteile der Idee, die Tilgungsbeteiligung auf der Basis der IoT-Daten zu berechnen, sehen die Umfrageteilnehmer vor allem in der flexiblen Liquiditätsbelastung.

Bereits 50 % der befragten Unternehmen zeichnen heute schon Daten auf, nutzen diese aber aus den unterschiedlichsten Gründen. 10 % der Befragten nutzen die Daten bereits für die Abrechnung ihrer Services. Weitere 10 % verwenden die Daten im Rahmen von Service- und Wartungsverträgen. Erstaunlich ist, dass 25 % der Probanden zwar Daten aufzeichnen, diese aber (noch) nicht oder lediglich in Einzelfällen verwenden. Die wichtigste Erkenntnis aus dieser

Frage stellt aber das mögliche Potenzial des Finanzierungsmodells dar. Drei von vier Unternehmen halten die Erfassung des Nutzungsverhaltens ihrer Kunden für sinnvoll und kommen daher auch als Zielgruppe für das Finanzierungsmodell in Frage. Viele KMU sind aber noch unsicher, ob sie die Daten aus Datenschutzsicht mit Dritten teilen dürfen und ob sie dafür eine Zustimmung ihrer Kunden benötigen. Hier besteht Aufklärungsbedarf.

Zusammenfassend bleibt zu sagen, dass sich das vorgestellte Modell für Unternehmen eignet, die sich zusätzlich zu ihrem Produktverkauf auch als Serviceanbieter am Markt positionieren möchten. Für Unternehmen, die in Zukunft vollständig als Serviceanbieter auftreten wollen, eignet sich dieses Geschäftsmodell eher weniger, da die Regulatorik der Banken die Risikokosten zu sehr in die Höhe treiben würden. Dies ist vor allem darin begründet, dass es kein passendes Ratingmodell für das Pay-per-Use-Geschäftsmodell gibt. Genau dort könnten weitere Forschungsarbeiten ansetzen. ✘

Autor:innen

Marcel Kehler M. Sc.

Business Consultant bei modern GmbH & Co. KG;
ehemaliger Student der Hochschule Karlsruhe

Prof. Dr. Stefanie Regier

Professorin für Marketing und Marktforschung
an der Fakultät für Informatik und
Wirtschaftsinformatik der Hochschule Karlsruhe

Prof. Dr. Ingo Stengel

Professor für eBusiness und IT-Sicherheit
an der Fakultät für Informatik und
Wirtschaftsinformatik der Hochschule Karlsruhe

Kontakt

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



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

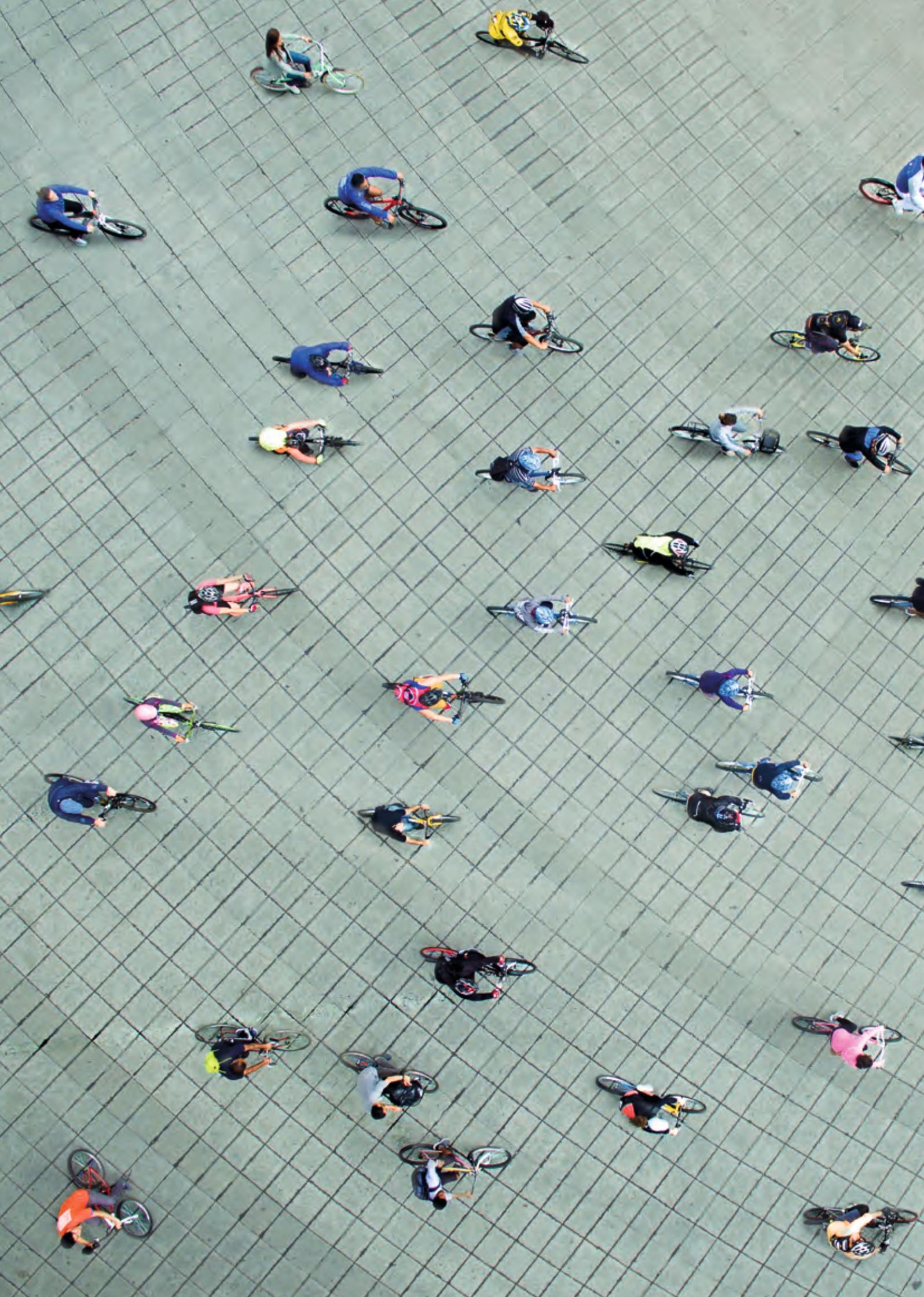


Institut für Wissenschaftliche Veröffentlichungen (IWV)

Finkenstraße 10 · D-68623 Lampertheim

www.institut-wv.de

Telefon 06206 939-0 · info@alphapublic.de



Mobilität der Zukunft

SensorBike – Die Vermessung der Radfahrenden

Jule Merk und Jochen Eckart

DE Mit den an der Hochschule Karlsruhe entwickelten SensorBikes wurde eine neue Methodik für die Analyse des Radverkehrs geschaffen. Ziel ist die Erfassung des Radverkehrs aus der Perspektive der Radfahrenden. Der Einsatz von SensorBikes in der angewandten Forschung wird am Beispiel eines studentischen Projekts zur Messung der Erschütterungen von Babys bei der Mitnahme in Fahrradanhängern illustriert.

EN With the SensorBikes developed at Karlsruhe University of Applied Sciences, a new methodology for analyzing bicycle traffic has been created. The aim is to record bicycle traffic from the perspective of cyclists. The use of SensorBikes in applied research is illustrated using the example of a student project to measure the vibrations of babies when being carried in bicycle trailers.

Radfahren vereint persönliche und gesellschaftliche Vorteile für eine zukunftsfähige und nachhaltige Mobilität in der Stadt und auf dem Land. Bisher erfolgte die Analyse des Radverkehrs durch etablierte Erhebungsinstrumente, wie Nutzerbefragungen oder die Analyse lokaler Verkehrssituationen. Um eine umfassende Messung des Radverkehrs mit Sensoren zu ermöglichen, wurden an der Hochschule Karlsruhe SensorBikes als Messfahräder entwickelt. Durch den Anbau von diversen Sensoren an handelsübliche Trekkingräder und ein Pedelec können eine Vielzahl an Daten zeitgleich erhoben und in der Analyse miteinander verknüpft werden. Die Anwendungsbereiche der SensorBikes umfassen die Einflussgrößen für den Kraftaufwand, die Verkehrssicherheit sowie den Fahrkomfort der Radfahrenden. Die Einflussgrößen, die sich auf den Kraftbedarf beim Radfahren auswirken, wie Längsneigung, Windgeschwindigkeit, Fahrbahnoberfläche, Reifendruck, Gewicht etc. werden erfasst und dem Energieverbrauch der Radfahrenden sowie weiteren Vitalparametern wie z. B. dem Puls gegenübergestellt. Einflussgrößen die sich auf den Fahrkomfort der Radfahrer auswirken, wie Witterung und Klima, Erschütterungen, Luftqualität, Lärmbelastung, Belichtung etc. bilden wichtige Einflussgrößen für die Verkehrsmittelwahl und Routenwahl der Radfahrenden. Die Erhebung der Einflussgrößen der Verkehrssicherheit wie Seitenabstände und Geschwindigkeit des umliegenden Verkehrs, Bremsbeschleunigungen, Verkehrskonflikte etc. ermöglichen neue Ansätze zur Bewertung der Verkehrssicherheit des Radverkehrs.

Die SensorBikes wurden bereits in über 20 studentischen Forschungsprojekten eingesetzt. Für die Entwicklung und Verbesserung von Fahrradrouten hat Röder^[6] Daten wie Geschwindigkeit, Reisezeit, Leistungsbedarf oder Bremsvorgänge für den objektiven Vergleich der Routenalternativen erhoben. Merk^[5] analysierte die subjektive und objektive Verkehrssicherheit und illustrierte, dass auf einer Infrastruktur auf der Fahrbahn häufiger Stressmomente auftreten, als dies im Seitenraum der Fall ist, die subjektive Sicherheit jedoch auch vom Radfahrertyp abhängt. Die Luftschadstoffbelastung von Babys bei der Mitnahme im Auto sowie dem Fahrrad wurde von Sommer et al^[7] verglichen und Maßnahmen zur Reduzierung der Belastungen aufgezeigt. Furtado^[8]

[1] Andriof, Benjamin; Haffelder, Silvio; Vonnieda, Leon (2020): SensorBike: Radfahren mit Baby – Die Belastung von Babys durch Erschütterungen am Fahrrad und Auto. Projekt Hochschule Karlsruhe.

[2] Eberhardt, Hannah; Gering, Anna (2020): Radfahren mit Baby, Ergebnisse, Erfahrungen und Empfehlungen aus fünf Jahren Forschung und Praxis. Heidelberg 2020.

[3] Furtado, Alexandre (2019): SensorBike: Evaluation of Bicycle Ride Comfort – According to ISO 2631-1. Projekt Hochschule Karlsruhe.

[4] Lloyd et. al. (2011): Biomechanical Evaluation of Head Kinematics During Infant Shaking Versus Pediatric Activities of Daily Living.

untersuchte die Erschütterungen beim Radfahren und zeigte, dass eine zuverlässige Erkennung verschiedener Belagsarten sowie Fahrbahnzustände möglich ist. Der Einsatz von SensorBikes wird am Beispiel einer studentischen Studie illustriert.

Studie Erschütterungen von Babys in Fahrradanhängern mit dem SensorBike

Bei Eltern mit Babys ist häufig ein Rückgang der Fahrradnutzung zu beobachten. Im FuE-Vorhaben „Fördern und Stärken der Fahrradnutzung bei jungen Familien nach der Geburt von Kindern“ [2], wurden die Hemmnisse bei der Fahrradnutzung von jungen Eltern untersucht. Eine häufige Sorge junger

Eltern war, dass die Babys bei der Fahrradfahrt im Vergleich zum Kfz erhöhten Erschütterungen ausgesetzt sind, die sich auf die Gesundheit des Babys auswirken. Diese Fragestellung wurde durch studentische Forschung [1] untersucht.

Um eine möglichst konkrete Antwort geben zu können, werden in der Studie zwei verschiedene Aspekte berücksichtigt: Im „standardisierten Vergleich“ werden die Erschütterungswerte von Kindern im Fahrradanhänger und im Kfz auf der gleichen Strecke gemessen und gegenübergestellt. Im „Praxisvergleich“ wird dann eine für das Mobilitätsverhalten junger Eltern repräsentative Strecke betrachtet. Dabei nutzen die beiden Verkehrsmittel nicht die gleiche, sondern jeweils eine für das Verkehrsmittel angemessene Route und eine situationsangepasste Fahrweise (Abbremsen an Schwellen etc.). Da bei einzelnen Messdurchläufen

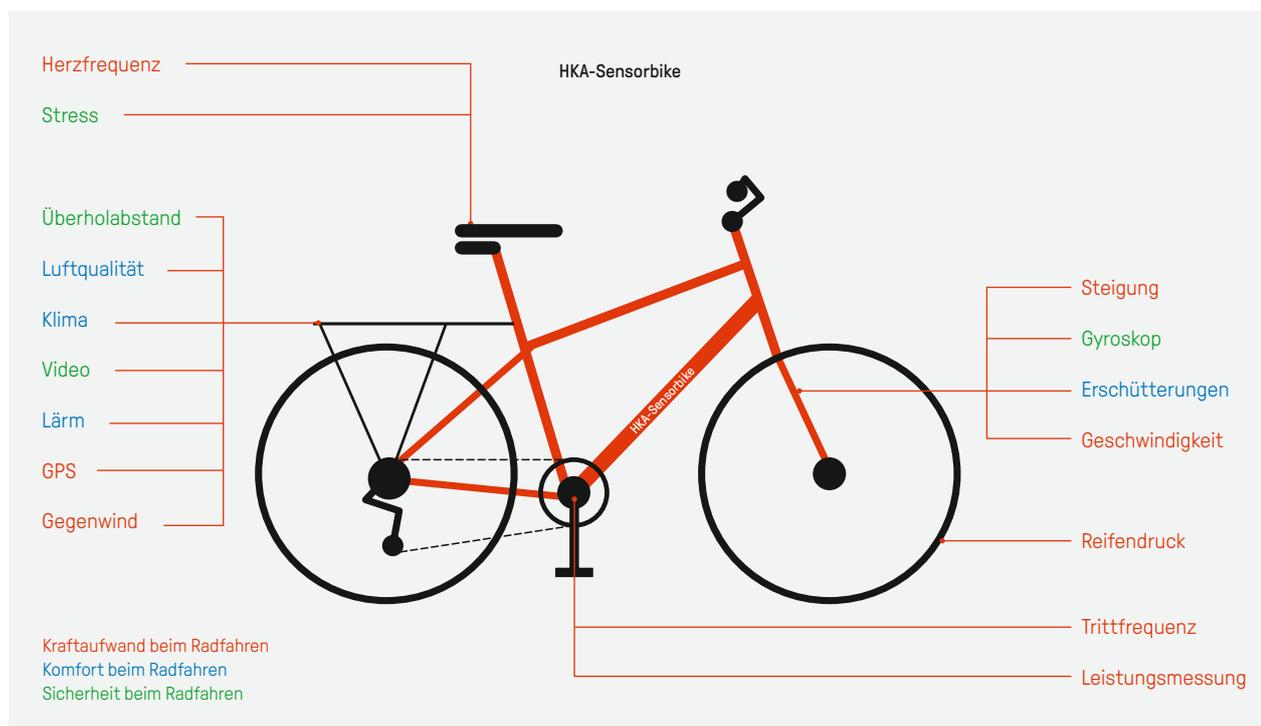


Abb. 1: Die verfügbare Sensorik der SensorBikes (Grafik: Jochen Eckart)

[5] Merk, Jule (2019): Vergleich der objektiven Verkehrssicherheit und des subjektiven Verkehrsstresses bei Schutzstreifen und Radfahrstreifen im Vergleich zu eigenständigen Radwegen. Masterthesis Hochschule Karlsruhe.

[6] Röder, Annika (2020): Optimierung und Vergleich regionaler Radrouten unter Einsatz des SensorBikes – am Streckenbeispiel Karlsruhe – Weingarten (Baden). Bachelorthesis Hochschule Karlsruhe.

[7] Sommer, Anabelle; Prinzing, Benedikt König, Björn (2020): Messung der Feinstaubbelastungen von Babys beim Radfahren und Autofahren. Projekt Hochschule Karlsruhe.

[8] van Driessche, Bart (2019): Improving health aspects and comfort of infants during travel by cargo bike. Masterarbeit TU Delft.

Schwankungen auftreten, werden die Messungen je Route und Verkehrsmittel dreimal wiederholt.

Für die Messung werden die Beschleunigungssensoren des SensorBikes genutzt. Um möglichst realitätsnahe Werte zu messen, wird ein Baby-Dummy (Gewicht 8 kg, Länge 70 cm) verwendet, was einem Baby im Alter von ca. sechs bis neun Monaten entspricht. Die Beschleunigungswerte werden für das Kfz und den Fahrradanhänger an drei Messpunkten bestimmt, am Hinterkopf des Dummies, am Boden des Kindersitzes bzw. des Fahrradanhängers sowie am Fahrzeugboden bzw. an der Vordergabel des Fahrrads. Die Messungen werden mit einem GPS-Tracker aufgezeichnet, um die gemessenen Erschütterungen exakt verorten zu können. Aus den gemessenen Beschleunigungswerten für die drei Dimensionen wird nach ISO-2631-1 die gewichtete Beschleunigung des quadratischen Mittelwerts (rms-Wert in m/s^2) ermittelt.

Die Messfahrten sind durch zahlreiche Messspitzen geprägt, die sich auf einzelne Ereignisse, wie z. B. das Passieren

von Gleisen zurückführen lassen (s. Abbildung 2). Die Ergebnisse der drei Messfahrten werden für die Beschleunigungen am Kopf des Dummies als Vergleichswert zusammengefasst (s. Abbildung 3). Beim „standardisierten Vergleich“ hat der Dummy im Kfz einen Mittelwert von $1,9 m/s^2$. Bei der Mitnahme im Fahrradanhänger ist der Mittelwert $3,5 m/s^2$. Beim „Praxisvergleich“ ist der Mittelwert beim Kfz $0,7 m/s^2$ und beim Fahrradanhänger $3,3 m/s^2$. Bei beiden Versuchsanordnungen kommt es im Fahrradanhänger zu deutlich höheren und stärker schwankenden Beschleunigungen als beim Kfz.

Van Driessche^[8] hat mit einem Lastenrad rms-Werte für Asphaltfahrbahnen von $1,9 m/s^2$, für Betonplatten $5,5 m/s^2$ und für Pflastersteinbelag $5,3 m/s^2$ gemessen. Die Beschleunigungswerte im Fahrradanhänger liegen mit einem Mittelwert von $3,3 m/s^2$ in einem vergleichbaren Bereich. Da die Messung im „Praxisvergleich“ verschiedene Fahrbahnoberflächen umfasste, sind diese zwischen den Werten des Lastenrads auf Asphalt und auf Pflastersteinbelag einzuordnen.

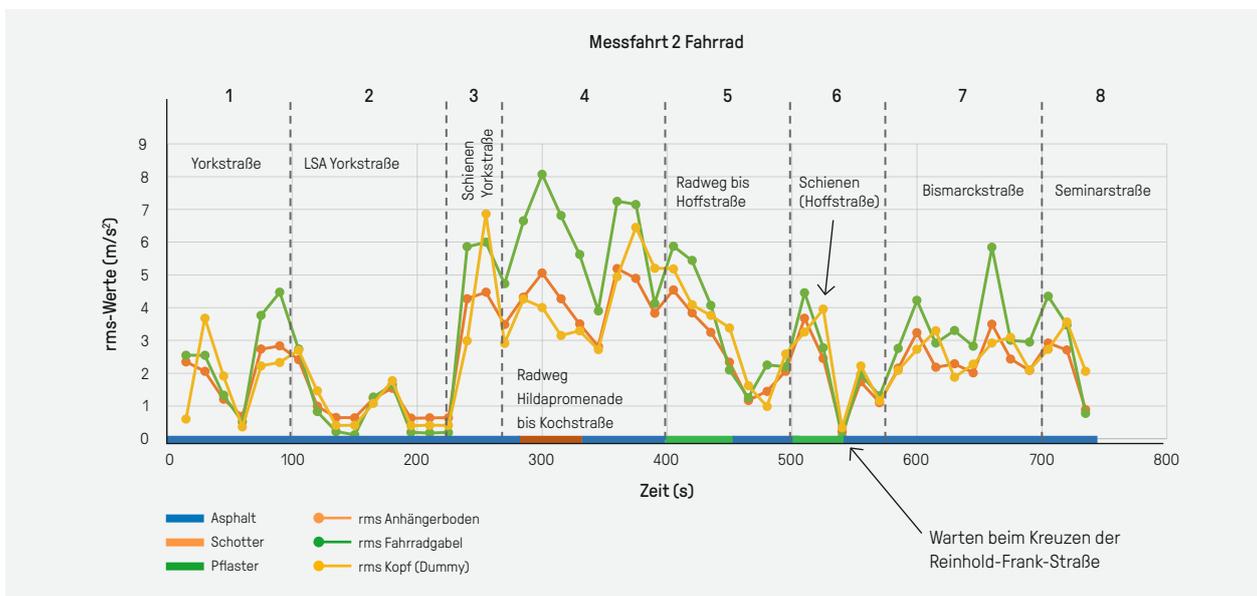


Abb. 2: Erschütterungen im Fahrradanhänger im Praxisvergleich (Grafik: Benjamin Andriof et al. (2020))

Unser Dank gilt dem Verein „Fahrrad & Familie e.V.“, insbesondere Frau Eberhardt, für die Beratung und die Bereitstellung des Fahrradanhängers. Weiterhin danken wir der Dr. Schmidt Stiftung für Verkehr und Umwelt, dem Verbund der Stifter der Hochschule Karlsruhe sowie der Carl-Zeiss-Stiftung für die Anschaffung der SensorBikes.

Der Komfort für die Babys im Fahrradanhänger und im Kfz im „Praxisvergleich“ wird analysiert. Bei der Mitnahme im Kfz sind gut dreiviertel der rms-Werte kleiner als 1 m/s^2 was nach der ISO-2631-1 einem mittleren Komfortbereich entspricht. Beim Fahrradanhänger liegen zwei Drittel der rms-Werte über 2 m/s^2 und werden als „extrem unkomfortabel“ bewertet. Nur ein Viertel der Werte beim Fahrradanhänger liegt unter 1 m/s^2 im mittleren Komfortbereich. Die Erschütterungen bei der Mitnahme im Fahrradanhänger sind dabei unkomfortabler als im Kfz. Die Gegenüberstellung von „standardisiertem Vergleich“ und „Praxisvergleich“ für den Fahrradanhänger mit den Mittelwerten $3,5$ zu $3,3 \text{ m/s}^2$ sowie den Maximalwerten $8,7$ zu $7,9 \text{ m/s}^2$ illustriert, dass die Wahl einer angemessenen Route und eine rücksichtsvolle Fahrweise die Erschütterungen reduziert.

Für die Bewertung der gesundheitlichen Folgen der Erschütterungen für Babys bei der Mitnahme in Fahrradanhängern fehlt ein etablierter Bewertungsmaßstab. Für eine grobe Einordnung der gesundheitlichen Folgen bietet sich ein Vergleich mit den rms-Werten^[4] für verschiedene Aktivitäten an. So können als Maximalwerte im Kinderwagen auf unebenem Belag $30,4 \text{ m/s}^2$, beim Rennen eines Kleinkindes $42,2 \text{ m/s}^2$, bei „Hoppereiter“ $26,5 \text{ m/s}^2$ oder beim aggressiven Schütteln (Shaken Baby Syndrom) 75 bis 97 m/s^2 auftreten. Diese Werten sind allesamt deutlich höher als die Maximalwerte am Kopf des Dummy im Fahrradanhänger von $7,9 \text{ m/s}^2$. Die Werte im Fahrradanhänger sind um den Faktor 10 niedriger als beim gesundheitsgefährlichen Shaken Baby Syndrom. Selbst gesundheitlich unbedenkliche Aktivitäten, wie der Transport im Kinderwagen auf unebenen Wegen, sind um den Faktor 4 niedriger. Nach diesem Vergleich ist die Mitnahme von Babys im Fahrradanhänger nicht mit Gesundheitsgefahren verbunden.

Fazit zur Nutzung von SensorBikes

Die Förderung des Radverkehrs basiert bisher häufig auf der Prämisse „was denken Planer, was die Radfahrenden brauchen“. Um den Radverkehr fortzuentwickeln erscheint ein Verständnis davon „was Radfahrende wirklich brauchen“ erforderlich. Um den zunehmenden Handlungsbedarf für den Radverkehr in den Bereichen Verkehrssicherheit, Leistungs-

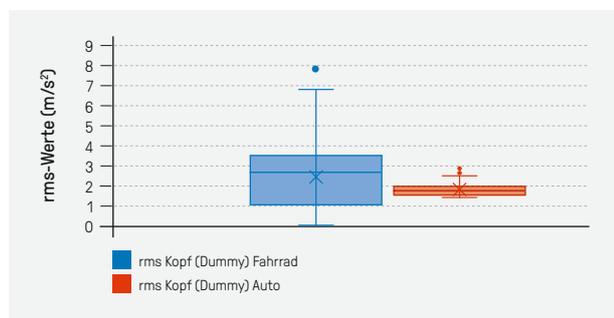


Abb. 3: Erschütterungen Dummy zwischen Fahrradanhänger und Kfz im Praxisvergleich (Grafik: Benjamin Andriof et al. (2020))

fähigkeit und Komfort zu bewältigen, ist verstärkt die radfahrerzentrierte Perspektive zu berücksichtigen, die durch die SensorBikes erfasst werden kann. Das SensorBike wurde bisher überwiegend für Messkampagnen mit kontrolliertem Messdesign und kleinen Teilnehmerzahlen genutzt. Durch die Entwicklung von einfachen und duplizierbaren Sensorsystemen ist geplant, die Anzahl der Probanden deutlich zu erhöhen. ✘

Autor:in

Jule Merk M. Sc.

Akademische Mitarbeiterin

Stiftungsprofessur Radverkehr

Prof. Dr. Jochen Eckart

Professor für Verkehrsökologie an der Fakultät

für Informationsmanagement und Medien der

Hochschule Karlsruhe

Kontakt

Prof. Dr. Jochen Eckart

Hochschule Karlsruhe

Fakultät für Informationsmanagement und Medien

Moltkestraße 30

76133 Karlsruhe

E-Mail: jochen.eckart@h-ka.de

Energie im Quartier – mit Elektromobilität in die Zukunft

Elke Häußler und Jan Riel

DE Zielsetzung des interdisziplinären Forschungsprojekts „NEQModPlus“ ist die Simulation und optimale Vernetzung zentraler und dezentraler Energiesysteme (Gebäude, Speicher und Elektrofahrzeuge) auf Quartiersebene. Unter der Annahme, dass der Kfz-Verkehr in Zukunft überwiegend auf elektrischen Antrieben beruhen wird, tritt die Kfz-Mobilität der Bewohner:innen bzw. anderer Nutzungsgruppen energetisch in Konkurrenz zu weiteren Energieverbraucher:innen des Quartiers. Im Rahmen des Teilprojekts Mobilität der Hochschule Karlsruhe wird ein Tool entwickelt, das die Abschätzung des (elektrischen) Energiebedarfs für die Mobilität in unterschiedlichen Quartierstypen ermöglicht.

EN The objective of the interdisciplinary research project “NEQModPlus” is the simulation and optimal integration of centralized and decentralized energy systems (buildings, storage facilities and electric vehicles) at neighbourhood level. Assuming that motor vehicle traffic will be based mainly on electric drives in the future, the motor vehicle mobility of residents and other user groups will compete with other energy consumers in the neighbourhood in terms of energy. Within the framework of the subproject mobility of the Karlsruhe University of Applied Sciences, a tool is being developed that will enable the estimation of the (electrical) energy demand for mobility in different types of neighbourhoods.

Die Chancen und Herausforderungen im Zusammenhang mit Elektromobilität sind aktuelle und viel diskutierte Themen. Die Anzahl der batterieelektrischen Fahrzeuge und Plug-In Hybride auf den Straßen steigt seit der massiven Förderung der Elektromobilität in den letzten Monaten stark an: Knapp ein Drittel der im Oktober 2020 zugelassenen Neuwagen verfügt über einen Elektromotor^[2]. Verbunden damit ist die Frage, wo die wachsende Zahl der Fahrzeuge laden soll. Untersuchungen zum Ladeverhalten zeigen dabei, dass Nutzer:innen von Elektrofahrzeugen überwiegend privat, d. h. zu Hause oder am Arbeitsplatz laden^[3]. Hier setzt das Forschungsprojekt NEQModPlus („Entwicklung von methodischen Ansätzen und Modellierungswerkzeugen für Niedrigstenergiequartiere“) an, bei dem das Institut für Verkehr und Infrastruktur (IVI) der Hochschule Karlsruhe den Mobilitätsteil übernimmt: In Bezug auf die Elektromobilität wird untersucht, wie deren Energiebedarf in das Energiemanagement eines Quartiers integriert werden kann. Im Fokus steht dabei die Entwicklung von umfassenden Planungstools auf Quartiersebene für verschiedene Energiekonsumenten im Gebäudesektor und der Mobilität. Das über drei Jahre laufende Projekt wird vom Bundesministerium für Wirtschaft und Energie gefördert.

Sektorenkopplung – ein vielversprechender Ansatz

Über die Wechselwirkung zwischen energieoptimierter Quartiersplanung und nachhaltigem Mobilitätsverhalten ist nur wenig bekannt, da die Themen Mobilität, Siedlungsstruktur und Energieversorgung bisher weitgehend isoliert betrachtet wurden. Die Möglichkeit, regenerativ und/oder lokal erzeugte Energie für den Bereich Mobilität einzusetzen, verfügt jedoch über ein noch längst nicht ausreichend genutztes Potenzial. Ziel des Teilvorhabens Mobilität ist daher die integrative Betrachtung von Mobilität und Energieversorgung in Niedrigstenergiequartieren: „Niedrigstenergiequartiere bzw. -gebäude“^[4] weisen eine „sehr hohe [...] Gesamtenergieeffizienz auf. Der fast bei Null liegende oder sehr geringe Energiebedarf sollte zu einem ganz wesentlichen Teil durch Energie aus erneuerbaren Quellen –

[1] Europäische Union (EU) (19.05.2010): Richtlinie 2010/31/EU des Europäischen Parlaments und des Rates vom 19. Mai 2010 über die Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden. 2010/31/EU. In: ABl. (Amtsblatt der Europäischen Union) (L 153/13).

[2] Kraftfahrtbundesamt (04.11.2020): Kraftfahrt-Bundesamt – Fahrzeugzulassungen – Pressemitteilung Nr. 26/2020 – Fahrzeugzulassungen im Oktober 2020. Immen, Stephan. Online verfügbar unter https://www.kba.de/DE/Presse/Pressemitteilungen/2020/Fahrzeugzulassungen/pm26_2020_n_10_20_pm_komplett.html?nn=2562684, zuletzt geprüft am 27.11.2020.

[3] Nationale Leitstelle Ladeinfrastruktur (Hg.) (2020): Ladeinfrastruktur nach 2025/2030. Studie im Auftrag des BMVI. Online verfügbar unter https://www.now-gmbh.de/wp-content/uploads/2020/11/NOW-Factsheet_Ladeinfrastruktur-nach-2025.pdf, zuletzt geprüft am 23.11.2020.

<https://www.hs-karlsruhe.de/ivi/forschungsprojekte/neqmodplus>

einschließlich solchen, die am Standort oder in der Nähe erzeugt wird – gedeckt werden“^[1]. Dies gilt sowohl für Sanierungen im Bestand als auch für die Neukonzeption von Quartieren. Untersucht werden verschiedene Quartiertypen (Wohn-, Misch- und Campus-Quartiere), die in unterschiedlichen Raumtypen (Stadt/Land) zu finden sind. Die Projektergebnisse und die entstehenden Planungstools stehen Entscheidungsträgern – Stadt-, Quartiers- und Energieplanern, Projektentwicklern, Finanziers, Stadtwerken und Energiedienstleistungsunternehmen – zur Verfügung.

Mobilitätsverhalten in verschiedenen Quartiers- und Raumtypen

Die Anzahl und die Verhaltensweisen der Menschen, die in einem Quartier leben oder dieses aus unterschiedlichen Gründen besuchen, bestimmen den Energiebedarf sowie das Verkehrsaufkommen des Quartiers. In bestehenden Quartieren können sowohl aus verkehrlicher als auch aus energetischer Sicht durch geeignete Erhebungen die erforderlichen Kennwerte bzgl. des Energiebedarfs (Heizung, elektrische Geräte inkl. E-Fahrzeuge) gewonnen werden. Für die Planung von Gebieten müssen dagegen die verkehrlichen und energetischen Auswirkungen anhand von geeigneten Kenngrößen abgeschätzt werden: Menschen, unabhängig davon, ob sie in Metropolen oder im dörflichen Raum leben, gehen arbeiten, besuchen Schulen und erledigen Einkäufe. Dabei haben die Lage des Quartiers (städtische oder ländliche Region) und die Siedlungsstruktur großen Einfluss auf die Häufigkeit von Wegen, deren Länge und das gewählte Verkehrsmittel. Eine dichte, kleinteilig nutzungsgemischte Siedlungsstruktur ermöglicht aufgrund der Nähe zwischen Wohnen und anderen Nutzungen kurze Wege für die Bewohner:innen. Entsprechend können viele Wege mit nicht-motorisierten Verkehrsmitteln zurückgelegt werden. Daher ist in Gegenden mit überwiegend Einfamilienhausbebauung, mit ausreichend Stellplätzen, ein anderes Mobilitätsverhalten als in innerstädtischen Gründerzeitvierteln mit guter ÖPNV-Anbindung zu erwarten.

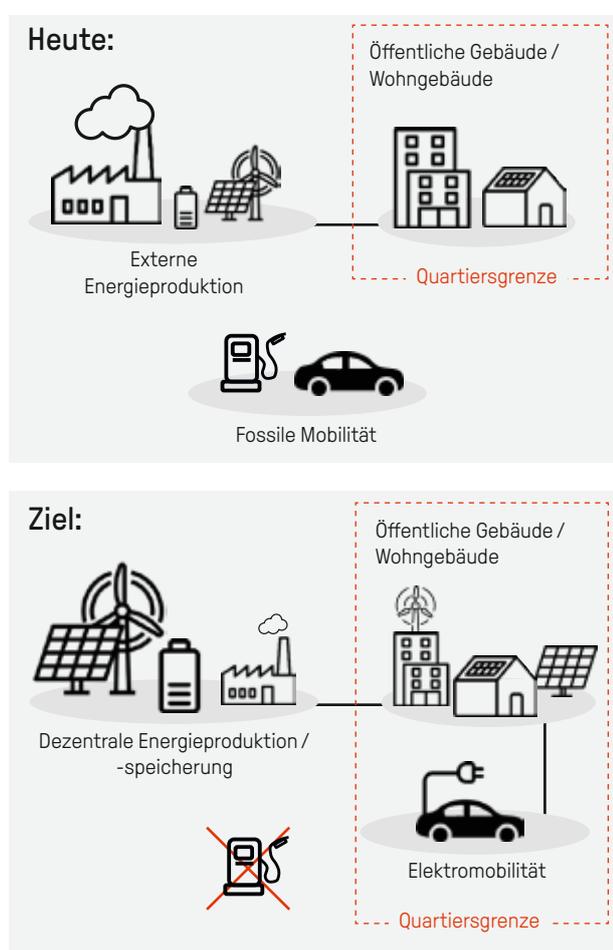


Abb. 1: Energienutzung im Quartier – ein Vergleich zwischen heute und der Zukunft (Grafik: Elke Häußler, Icons by Flaticon)

Um eine Basis für die Abschätzung des Energiebedarfs der Mobilität zu schaffen, wurden Mobilitätsenerhebungen in den verschiedenen im Projekt betrachteten Quartieren durchgeführt. Dabei wurden Bewohner:innen von Wohnquartieren in Karlsruhe, Landshut, Wüstenrot, Geretsried, Freiburg und Tübingen, angelehnt an das Erhebungsdesign der bundesweit durchgeführten Studie „Mobilität in Deutschland“ (MiD), zu ihrer Mobilität befragt. MiD ist eine bundesweite Befragung

„Chance Sektoren- kopplung: Mobilität und Energie gemeinsam denken“



von Haushalten zu ihrem alltäglichen Verkehrsverhalten und wurde 2002, 2008 und 2017 im Auftrag des Bundesministeriums für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMVI) durchgeführt (<http://www.mobilitaet-in-deutschland.de/>). Ziel der Befragungen war es zunächst, das Mobilitätsverhalten der Bewohner:innen und Besucher:innen zu erheben und damit die erforderlichen Kennzahlen für den Energiebedarf der Mobilität zu ermitteln. Darüber hinaus sollten mit den Erhebungen aber auch Anhaltspunkte gewonnen werden, welche siedlungsstrukturellen und infrastrukturellen Eigenschaften das Mobilitätsverhalten beeinflussen. Mit Hilfe des detaillierten Fragebogens ließen sich neben den täglichen Wegen auch Informationen über die persönliche Einschätzung der Mobilitätsoptionen sowie die Verfügbarkeit von Verkehrsmitteln im jeweiligen Quartier gewinnen. Die Ergebnisse liefern die Grundlage für das Tool zur Abschätzung des Energiebedarfs für die Mobilität in unterschiedlichen Quartierstypen. Dieses kann in die Simulationstools der Gebäudeenergie integriert werden und so dazu beitragen, dass die Energieerzeugung und -speicherung im Quartier passend zum Mobilitätsverhalten der Bewohner:innen dimensioniert werden kann. ✕



Abb. 2: Unterschiedliche Voraussetzungen für Mobilität in Abhängigkeit der Siedlungsstruktur (Foto: iStock/acilo; Elke Häußler)

Autor:in

Elke Häußler M.A.

Akademischer Mitarbeiterin am Institut für Verkehr und Infrastruktur (IVI) der Hochschule Karlsruhe

Prof. Dr.-Ing. Jan Riel

Professor für Verkehrsplanung und Verkehrstechnik an der Fakultät für Architektur und Bauwesen und Sprecher des Instituts für Verkehr und Infrastruktur (IVI) der Hochschule Karlsruhe

Kontakt

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



www.ingbw.de

ING BW
 Ingenieurkammer Baden-Württemberg
 voranbringen – vernetzen – versorgen



Profitiere schon
 im Studium von
 einem starken Partner
 an Deiner Seite.

**Denken Sie die Konstruktion Ihrer Bauteile neu -
 Gestalten Sie Ihre Bauteile maximal wirtschaftlich und
 sparen Sie Fertigungsschritte, Zeit und Kosten!**



Entlastungsschnitte um
 Verformungen der Ausschnitte zu
 vermeiden

Automatisierte Fehlererkennung und
 Aufdeckung von
 Optimierungspotential in der
 Herstellung

Schweißen ersetzt durch Biegen



optimize

www.optimize.de
 - Wir stellen ein! -



Hochschule Karlsruhe
 University of
 Applied Sciences



Die neue HKA – mehr als Hochschule



www.h-ka.de

Die letzte Meile bildet – autonome Gütermobilität für eine bessere Zukunft

Philipp Reichenbach, Franziska Stoffel und Reiner Kriesten

DE efeuCampus repräsentiert das erste deutsche Testareal für autonome und urbane Güterlogistik. Auf einem ehemaligen Kasernengelände entsteht eine Stadt, in der autonome Roboterfahrzeuge entwickelt und getestet werden. Mithilfe des Projekts soll sich zeigen, ob und wie eine Versorgung der Bewohner eines solchen Quartiers möglich ist. Wo stecken die Herausforderungen, welche Lösungen gibt es? Für die Kommunikation der Projektentwicklungen ist die 2019 gegründete efeu-Akademie verantwortlich – sie fungiert als Schnittstelle zwischen dem Projekt und der interessierten Öffentlichkeit. Sie kommuniziert alle Informationen zielgruppengerecht auf unterschiedlichen Kanälen mit dem Ziel, Bürger:innen für die Innovationen zu sensibilisieren.

EN efeuCampus represents the first German test area for autonomous and urban freight logistics. On a former barracks site, a city is being created in which autonomous robot vehicles are being developed and tested. The project aims to show whether and how it is possible to supply the inhabitants of such a neighbourhood. What challenges are there, what are the solutions? The efeuAkademie, founded in 2019, is responsible for communicating the project developments – it acts as an interface between the project and the interested public and communicates all the information in a variety of channels, tailored to the target group, with the aim of sensitizing citizens to the innovations.

Der CO₂-Ausstoß lässt sich mit digitalen Technologien um 37 Prozent senken – zu diesem Schluss kommt eine Studie von Bitkom. Der Klimawandel ist eines der drängendsten Probleme unserer Zeit. Ohne die Digitalisierung wird er nicht zu bekämpfen sein. Doch was können Städte, Kommunen und Unternehmen tun, um die Lage zu verbessern? Dieser Frage nimmt sich das Projekt efeuCampus Bruchsal an. Die Abkürzung steht für eco friendly experimental urban logistics campus Bruchsal. Das Projekt, das 2019 ins Leben gerufen wurde, verfolgt das Ziel, umweltfreundliche, autonome Logistiklösungen zu entwickeln und zu erproben, um Innenstädte zu entlasten. Es entsteht auf dem Gelände der ehemaligen Dragonerkaserne in Bruchsal. Gefördert wird das RegioWin Forschungsprojekt aus Mitteln der Europäischen Union und des Landes Baden-Württemberg. Träger ist die Stadt Bruchsal mit ihrer hundertprozentigen Tochter, der efeuCampus Bruchsal GmbH. Das Projektkonsortium setzt sich aus drei Forschungseinrichtungen zusammen:

- + Hochschule Karlsruhe
- + Karlsruher Institut für Technologie (KIT)
- + FZI Forschungszentrum Informatik
- + sowie aus den Unternehmen SEW Eurodrive, PTV Group und big. bechtold-gruppe.

Die letzte Meile schließen

Eines der größten Vorhaben von efeuCampus ist es, die sogenannte „letzte Meile“ zu automatisieren. Dabei handelt es sich um die letzte Etappe eines Pakets – vom Umschlagsplatz zum Empfänger. Für Kurier-, Express- und Paketdienste (kurz KEP) ist diese Phase sehr kostspielig. Denn zumeist bleibt es nicht bei einem einzigen Zustellversuch, da der Zusteller die Paketempfänger nicht zuhause antrifft. Dann muss er die Person entweder noch einmal anfahren oder das Paket zu einem Paketshop liefern – für beide Seiten unbefriedigend. An dieser Stelle setzt efeuCampus an: Künftig sollen KEP-Dienste die Güter nur noch an ein zentrales Depot bringen. Von dort aus liefern autonome Lieferfahrzeuge die Pakete aus. Doch sie können nicht nur Güter zustellen, sondern gleich auch noch Pakete oder Müll mitnehmen. efeuCampus möchte damit nicht nur zu einer Gütermobilität in Städten beitragen – die emissionsfrei und autonom ist –

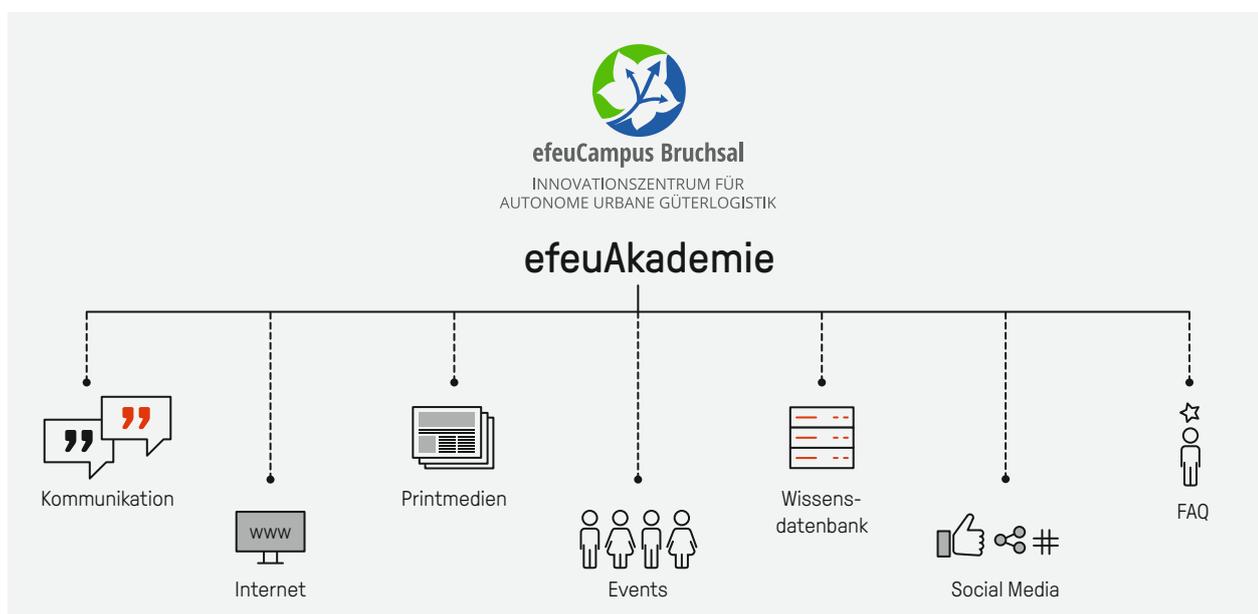
sondern gleichzeitig eine generationengerechte, wirtschaftlich tragfähige Zukunft gestalten.

Die Bestandteile des Projekts

Um dieses Vorhaben in die Realität umzusetzen, basiert efeuCampus auf insgesamt zwei Bestandteilen: aus dem efeuQuartier und der efeuAkademie. Das efeuQuartier umfasst das sogenannte Innovationszentrum efeuCampus mit dem efeuLog-Liefersystem. Das efeuQuartier plant auf dem Testareal den Aufbau und den Betrieb der automatischen Zustellung sowie den automatischen Abtransport von Paketen. Ein Quartiersdepot dient dabei als Zwischenlager für ein- und ausgehende Güter. Vor den Häusern der Anwohner:innen liefern autonome Transportroboter unterschiedliche Güter ab und sammeln sie wieder ein. Dabei können sie mit dem Lieferroboter per App kommunizieren. Damit die Zustellung reibungslos gelingt, sind sogenannte Pick-up-Points geplant, die vor den Häusern der Bewohner:innen platziert werden. Die efeuAkademie ist der zweite Projektbestandteil. Der damalige Projektleiter Prof. Peter Neugebauer startete die efeuAkademie im September 2019 als Teilprojekt am

Institut für Energieeffiziente Mobilität (IEEM) der Hochschule Karlsruhe. Prof. Dr.-Ing. Reiner Kriesten übernahm die Projektleitung im April 2020, nachdem Prof. Neugebauer verstarb. Veränderungen und neue Technologien werfen in den Köpfen der Menschen viele Fragen auf. Aus diesem Grund ist auch die Kommunikation rund um efeuCampus enorm wichtig. Ziel der efeuAkademie ist es, Forschungsinhalte und Fortschritte des Projekts zielgruppengerecht und transparent zu vermitteln. Diese Aufgabe hat Herr Philipp Reichenbach inne, der für die Wissenskommunikation von Smart City Projekten und als Leitung der efeuAkademie eingestellt wurde. Mit seinem Team fungiert er als kommunikative Schnittstelle zwischen dem Projektkonsortium und der Öffentlichkeit. Dazu gehören neben den Anwohner:innen des Testgeländes auch interessierte Bürger:innen, (Fach-) Journalist:innen sowie die (kommunale) Politik.

Abb. 1: Die Aufgabengebiete der efeuAkademie (schematische Darstellung)



„Innovation braucht einen öffentlichen Dialog und gesellschaftliche Partizipation.“

Philipp Reichenbach

Kommunikative Maßnahmen für die Bürgerkommunikation

Um die Entwicklungen festzuhalten und Wissensinhalte an verschiedene Zielgruppen zu vermitteln, greift die efeuAkademie auf verschiedene Maßnahmen zurück. Ein Weg ist der direkte Austausch. Dafür ist die efeuAkademie regelmäßig mit Infoständen auf öffentlichen Flächen anzutreffen. Bei Events wie Fachkongressen, Messen oder bei externen Auftritten – wie dem IHK Karlsruhe Neujahrsempfang 2020 – haben Bürger:innen die Gelegenheit, sich über das Projekt zu informieren und sich mit Expert:innen auszutauschen. Aufgrund von Corona ist dies zurzeit leider nicht möglich. Deshalb nutzt die efeuAkademie derzeit verstärkt digitale Kanäle – wie Social Media sowie Hybrid-Events. Die efeuAkademie verfügt nicht nur über eine eigene Website, sondern ist zudem auf fünf Social-Media-Kanälen (LinkedIn, Xing, YouTube, Facebook und Instagram) präsent. Dort kommuniziert sie aktuelle Entwicklungen und Themen zeitnah an die interessierte Community. Darüber hinaus pflegt die efeuAkademie den Kontakt zur (lokalen) Fachpresse und ist kontinuierlich mit Fachartikeln, Interviews, Podcasts und Pressemitteilungen vertreten.

Künftig ist geplant, eine Wissensdatenbank aufzubauen, die als zentrale Anlaufstelle für Informationen rund um efeuCampus fungiert. Die digitale Wissensplattform ist ab Mitte des Jahres 2021 über alle Internetbrowser abrufbar und per App verfügbar. Des Weiteren ist ein efeuCampus Showroom – in Form einer dauerhaften Ausstellung – am Campus in Bruchsal geplant. Dieser wird zunächst als Virtual Reality-Projekt im Sinne eines digitalen Erlebnisraumes implementiert. Damit erweitert die efeuAkademie den Ausbau des Bildungsangebots ständig. Ziel ist es, Innovationsthemen und Bildungsinhalte so transparent und nachhaltig wie nur möglich zu vermitteln. Denn die efeuAkademie möchte nicht nur Einblicke in das Projekt geben: so sind interessierte Bürger:innen herzlich dazu aufgerufen, das Projekt aktiv mitzugestalten. Sie gilt es zudem für wichtige Innovationsthemen (Smart City, autonome Zustellung durch Roboter etc.) zu sensibilisieren. Hierfür werden unter anderem im Herbst 2021 ein zweiter interaktiver Publikumstag sowie ein Fachkongress in modernem Workshop-Format zu den Themen Smart City und Logistik auf der Letzten Meile durchgeführt.

So geht es weiter

efeuCampus hat zum Ziel, eine globale Vorreiterrolle im Bereich Letzte-Meile-Logistik einzunehmen. Die efeuAkademie plant mittel- und langfristig, die generierten Wissens- und Forschungsinhalte in den Hochschulbetrieb zu übernehmen. Dabei sollen einerseits weiterführende Bildungsangebote und Forschungsbereiche entstehen, andererseits möchte sie als überregionaler Ansprechpartner für die Bereiche urbane und autonome Güterlogistik, LastMile-Logistik sowie Smart City bekannt werden.

Bildungsthemen sollen hierbei auch im Zuge geplanter Entwicklungszyklen des Gesamtprojekts weiterhin innovativ, nachhaltig und interaktiv aufbereitet sowie projektbegleitend an unterschiedliche Interessens-, Bildungs- und Altersgruppen vermittelt werden.

Besuchen Sie efeuCampus auf der Website: www.efeucampus-bruchsal.de, in der Wissensdatenbank oder folgen Sie dem Projekt auf Facebook, Instagram, YouTube, Xing und LinkedIn. ✕

Autor:innen

Philipp Reichenbach M.A.

Wissenskommunikation für Smart City-Projekte und Leitung efeuAkademie

Franziska Stoffel

Wissenschaftliche Hilfskraft der Online-Redaktion efeuAkademie

Prof. Dr.-Ing. Reiner Kriesten

Professor an der Fakultät für Maschinenbau und Mechatronik der Hochschule Karlsruhe

Kontakt

Prof. Dr.-Ing. Reiner Kriesten
Hochschule Karlsruhe
Fakultät für Maschinenbau und Mechatronik
Institut für Energieeffiziente Mobilität (IEEM)
Moltkestraße 30
76133 Karlsruhe
E-Mail: reiner.kriesten@h-ka.de

INGenie

Das Karrieremagazin für Frauen

2021

in Technik
Wirtschaft
und Wissenschaft

- Mentorenmodelle
- Förderprogramme
- Karriereperspektiven
- Berufliche Netzwerke



Eine Initiative des Bundesministeriums
für Bildung und Forschung



Erscheinung
1 x jährlich

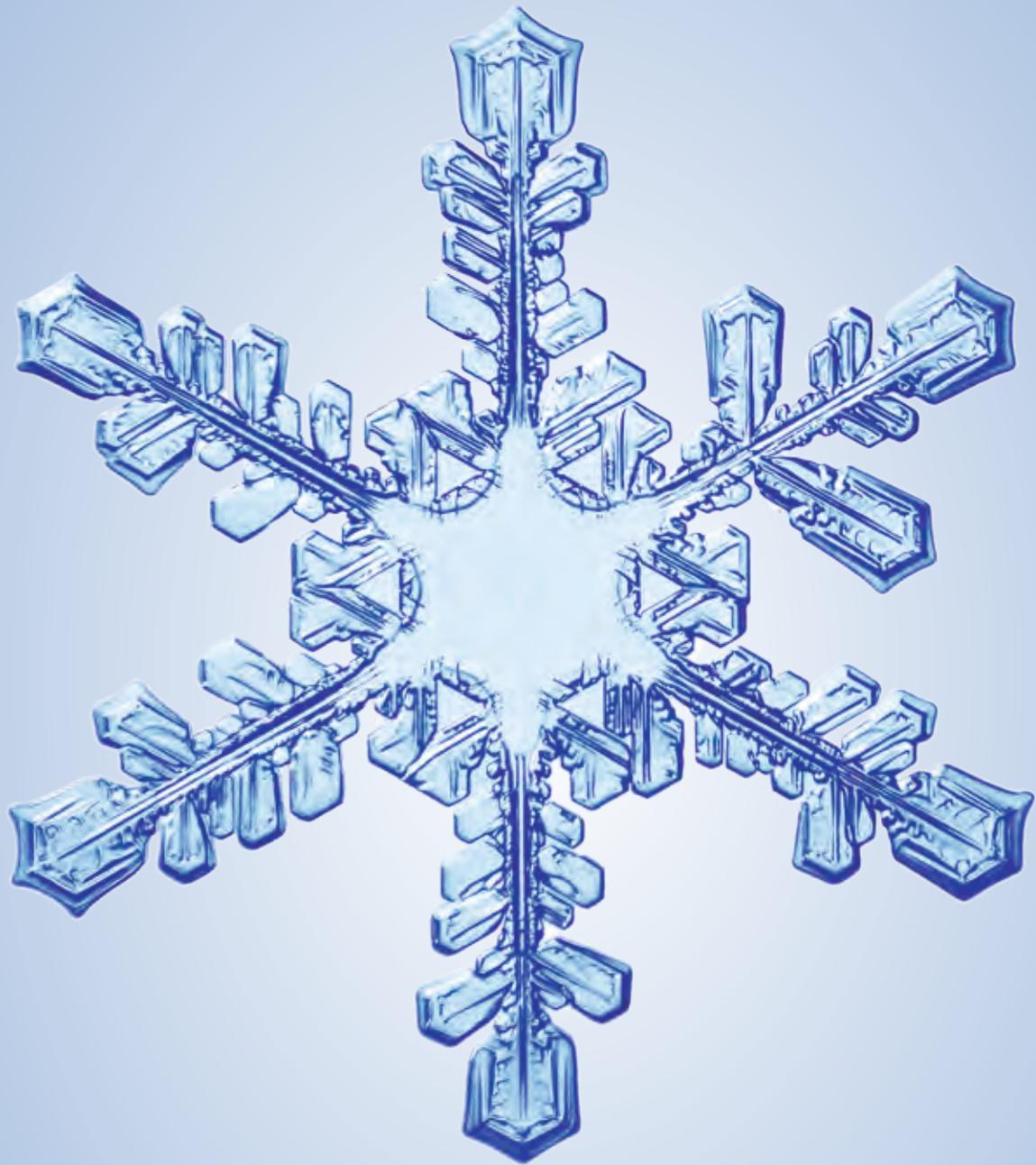
INGENIE DAS KARRIEREMAGAZIN FÜR FRAUEN

Ein Kooperationsprojekt der Informationszentrale des Instituts für Wissenschaftliche Veröffentlichungen (IWW)
mit der ALPHA Informationsgesellschaft mbH



Informationen erhalten Sie unter:
www.institut-wv.de
www.alphapublic.de

Bestellungen kostenfrei
per E-Mail: info@institut-wv.de,
Tel.: 06206 939-0 oder an
ALPHA Informationsgesellschaft mbH,
Finkenstraße 10, 68623 Lampertheim
– mit Angabe Ihrer Adresse möglich.



Schlaglichter

Miniaturisiertes optisches Analysesystem

Thilo Pudleiner, Jörg Knyrim und Christian Karnutsch

DE In der Arbeitsgruppe Integrated Optofluidics and Nanophotonics (IONAS) stehen die Schlüsseltechnologien der optischen Analyseverfahren, die Mikro- und Nanotechnologie im Vordergrund der Forschung. Durch vielfältige Vorarbeiten konnte ein optofluidisches Analysesystem durch die Integration eines Polymer-Lasers in mikrofluidische Strukturen als „Lab on a Chip“ System gebaut und in Betrieb genommen werden. Organische Distributed Feedback Laser (DFB-Laser) zweiter Ordnung, welche auf optisch transparenten Substraten aufgebracht sind, emittieren beidseitig orthogonal zu den Flächen der Schichten. Der Zusammenhang dieser beiden Emissionskanäle wird genutzt, um die emittierte Laserstrahlung zu referenzieren und um ein extrem miniaturisierbares Zweistrahl-Laser-Absorptionsspektrometer aufzubauen – ohne Verwendung aufwändiger optischer Komponenten, wie Strahlteiler und Monochromatoren.

EN In the IONAS working group, the key technologies of optical analysis methods, micro- and nanotechnology are of primary research interest. Through a variety of preliminary work, an optofluidic analysis system could be built and put into operation as a “lab on a chip” system through the integration of a polymer laser into microfluidic structures. Second-order organic distributed feedback lasers (DFB lasers) mounted on optically transparent substrates emit on both sides orthogonally to the surface of the layers. The correlation of these two emissions is used to reference the emitted laser radiation and to build an extremely miniaturizable two-beam laser absorption spectrometer without the use of complex optical components such as beam splitters and monochromators.

Ziel des Projekts ist die Entwicklung eines miniaturisierten optofluidischen Absorptionsspektrometers auf Basis von optisch angeregten organischen Distributed Feedback Lasern (DFB-Lasern). Das in der Arbeitsgruppe Integrated Optofluidics and Nanophotonics (IONAS) entwickelte Analysesystem besteht aus drei Komponenten (s. Abb. 1). Ein organischer Laser als Lichtquelle wird in Sandwichbauweise auf einem optisch transparenten Substrat aufgebracht. Weitere Komponenten sind ein mikrofluidischer Kanal, der ebenfalls in einen transparenten Träger eingebettet ist und eine zweiseitige Detektoreinheit.

Ziel der Analyseeinheit ist der Nachweis der Konzentration eines Analyten durch die optische Absorption nach dem Lambert-Beer'schen Gesetz. Die Abschwächung der optischen Intensität einer den Fluidkanal transmittierenden Strahlung gibt Aufschluss über die Menge des sich darin befindlichen Analyten. Zur spezifischen Detektion wird ein für den Analyten spezifisches Spektralband betrachtet. Die Verwendung eines Lasers mit einem sehr kleinen Spektrum als Strahlquelle ersetzt aufwändige Monochromatoren.

Der Fluidkanal (s. Abb. 1a, unten) ist im Vergleich zu klassischen absorptionsspektrometrischen Verfahren sehr klein. Die Abschwächung des transmittierten Strahls ist abhängig von der durch das Fluid zurückgelegten Strecke. Standard-Küvetten für Absorptionsspektrometer besitzen dabei Dicken von 10 bis 50 mm. Der mikrofluidische Fluidkanal in unserem System hat aber nur eine Dicke (Höhe) von 800 μm . In klassischen Absorptionsspektrometern mit breitbandigen Lichtquellen in Verbindung mit Monochromatoren ist keine große Intensität in einem kleinen spektralen Bereich zu erwarten. Ein Laser dagegen, der aufgrund der Rückkopplung durch den Resonator ein enges Spektrum besitzt, benötigt keinen Monochromator. Die Intensität in einem schmalbandigen Spektrum ist im Vergleich zu breitbandigen Strahlquellen hoch. Eine hohe Intensität erlaubt es, den Absorptionskanal sehr klein zu dimensionieren. Der Laser stellt in der Analyseeinheit das Kernstück dar. Er übernimmt im Vergleich zu klassischen Systemen die Funktion von drei wichtigen Bauteilen: Lichtquelle, Monochromator und Strahlteiler. Dies vereinfacht den Aufbau enorm und ermöglicht es, das System stark zu miniaturisieren.



Als Lichtquelle wird ein organischer DFB-Laser verwendet, der in einer Sandwich-Struktur in dünnen Schichten aufgebaut ist (s. Abb. 2a). Neben dem Hilfssubstrat (Glas; nicht abgebildet), auf dem der Laser aufgebaut wird, und der Verkapselung sind in Abb. 2a die beiden optisch relevanten Schichten dargestellt. Eine strukturierte Substratschicht, die den Resonator bildet, und ein Laser-Farbstoff, der die optische Verstärkung ermöglicht. Der DFB-Laser-Resonator erzeugt eine verteilte Rückkopplung durch die Beugung an einem optischen Liniengitter. Das Liniengitter, das in einem Abformprozess hergestellt wird, besitzt eine Periodizität von $\Lambda = 350 \text{ nm}$ bei einer Strukturtiefe von 40 nm . Die Besonderheit: Es handelt sich um einen DFB-Laser zweiter Ordnung. Neben der Rückkopplung der im Laser oszillierenden Wellen kommt es zu einer Kopplung in Richtung der Flächennormalen der dünnen Schichten. Der Laser agiert so als Oberflächen-Emitter in z-Richtung. Da sowohl das Hilfssubstrat als auch das Substrat optisch transparent sind, ist die Emission sowohl in positiver (Top-Emission) als auch in negativer (Bottom-Emission) z-Richtung zugänglich. Beide Strahlkeulen, sowohl Top als auch Bottom, sind in Abb. 2a zur Verdeutlichung dargestellt. Einer der beiden Emissionskanäle

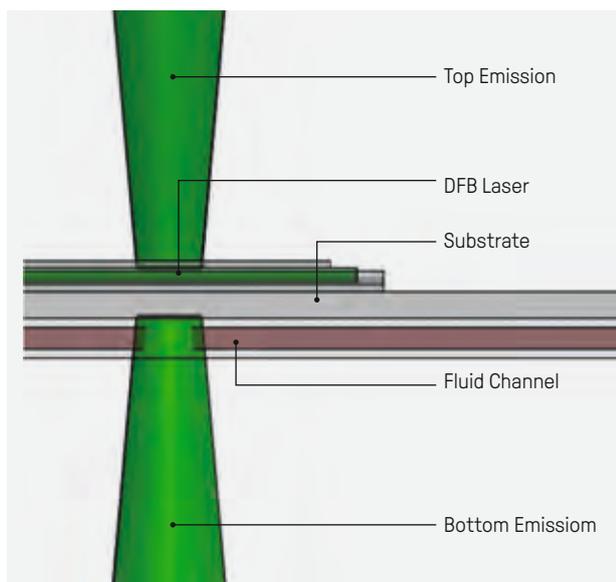
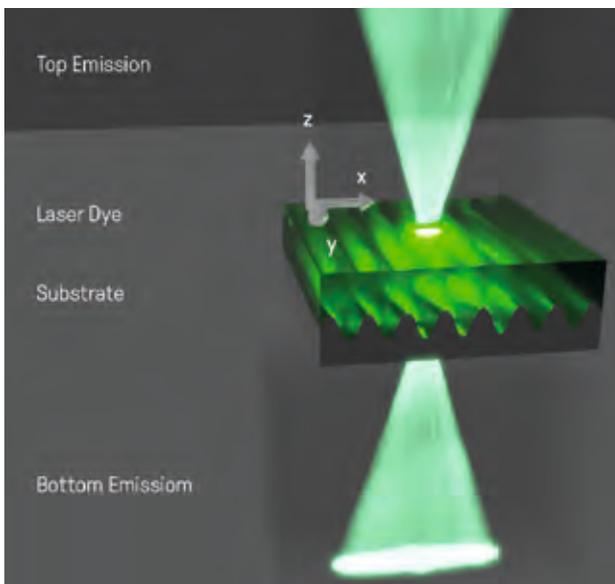


Abb. 1: Aufbau einer Analyseeinheit aus mikrofluidischem Kanal (ibidi μ -Slide Luer) und organischem Laser: a) unten: Querschnitt durch die Analyseeinheit; b) oben: Fotografie des Laboraufbaus



kann dadurch dazu verwendet werden, die jeweils andere Richtung zu referenzieren.

Das Pumpen des Laser-Dye erfolgt optisch. Die organischen Laser werden gepulst betrieben. Ein ultrakurz gepulster Laser regt die organische Schicht an. Der Pump-Puls wird schräg zur Oberflächennormalen des DFB-Lasers eingekoppelt, sodass dessen Emission sowohl in positiver (Top) als auch negativer (Bottom) Ausbreitung zugänglich ist. Neben Neutraldichtefiltern zur Variation der Pump-Pulsenergie und der Detektion derselben enthält der Aufbau eine Fokussierungseinheit. Diese ermöglicht es, die Ellipse des Pump-Pulses in ihrer Zirkularität zu variieren.

Der Aufbau besitzt drei Detektionseinheiten. Diese bestehen aus Photodioden und integrierenden Hochgeschwindigkeitsverstärkern. Eingesetzt werden diese, um die Energie der organischen DFB-Laserpulse separiert für Top- und Bottom-Emission zu erfassen und die Energie des Pump-Pulses zu erfassen.

Typische Emissionseigenschaften sind in Abb. 2b aufgetragen: die spektrale Emission des Lasers mit einer Emissionswellenlänge von $\lambda = 548,2 \text{ nm}$ bei einer FWHM-Bandbreite kleiner $1,45 \text{ nm}$ und eine charakteristische Schwellenleistungsdichte von $38,8 \mu\text{Jcm}^{-2}$.

Top- und Bottom-Emission stehen dabei für unterschiedliche Kanäle der Auskopplung. Sie unterscheiden sich durch unterschiedliche Koppelkoeffizienten, was sich in unterschiedlichen Effizienzen bemerkbar macht. Durch das Festlegen eines Arbeitspunktes (einer konstanten Pumpenergie) werden die beiden Emissionsrichtungen in ein konstantes Verhältnis gesetzt. Dieses Verhältnis entspricht einer Lichtquellen-Kalibration. Die Bottom-Emission wird im Aufbau der absorptionspektrometrischen Messzelle durch den oben erwähnten Fluid-Kanal geführt (s. Abb. 1a, unten). Zeitgleich wird die Top-Emission als Referenz der Bottom-Emission genutzt. Der Laser wird dazu auf den Kanal aufgesetzt. Die Kalibrierung der Lichtquelle mittels der zweiseitigen Emission umfasst dabei keine Kalibrierung einer Referenzgeometrie. Um Streuung und Absorption der Kanalstruktur als auch des Fluids (ohne Analyt) auszuschließen, erfolgt eine weitere Kalibrierung. Hierzu wird in einem ersten Schritt das Fluid ohne Analyt durch die Kanalstruktur geführt und die Intensitäten

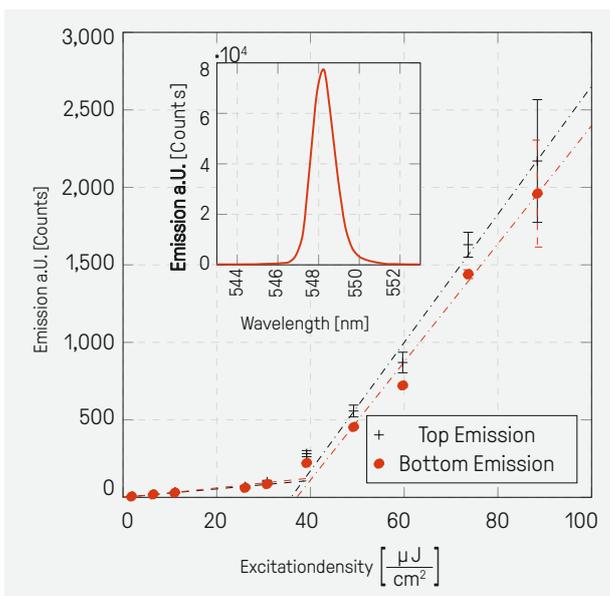


Abb. 2: a) Dreidimensionale Skizze des Aufbaus und der Strahlkeulen eines organischen DFB-Lasers zweiter Ordnung; b) Laseremission in Top- und Bottom-Richtung über die optische Anregungsleistungsdichte

„Ziel ist der Nachweis der Konzentration eines Analyten durch optische Absorption.“

Thilo Pudleiner

in Top- und Bottom-Emission gemessen. In einem nächsten Schritt wird ein Fluid mit einer definierten Konzentration des Analyten durch die Kanalstruktur geführt und die Intensität in Top- und Bottom-Emission gemessen.

Anhand des sich ändernden Verhältnisses der Emissionsmessung zur Referenzmessung kann die Absorption des Analyten nach dem Lambert-Beer'schen Gesetz bestimmt werden. In Abb. 3 sind Ergebnisse der Absorptionsmessungen eines roten Farbstoffs (Acid Red 4) dargestellt. Hierzu werden Kalibrierlösungen mit definierter Konzentration des Analyten verwendet. Zum Vergleich wurde deren Absorption in einem vergleichbaren Spektralband mit einem handelsüblichen Absorptionsspektrometer (Shimadzu UV 1800) gemessen. Für kleine Analytkonzentrationen konnte ein star-

ker linearer Zusammenhang von ermittelter Absorption und Analytkonzentration nachgewiesen werden.

Der erste mikrofluidische Aufbau lieferte erfolgversprechende Messergebnisse. Besonders die zweiseitige Emission eines organischen DFB-Lasers ist bis heute wenig untersucht. Daher haben sich am IONAS bereits einige studentische Arbeiten explizit mit diesem Thema beschäftigt. Es soll nun auch eine Promotion zu diesem Thema durchgeführt werden. Hierzu wurde ein dreijähriges Forschungsvorhaben bei der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG) beantragt. Die bisherige Forschung zum Thema hat bereits zu einem deutschen Gebrauchsmuster sowie einer US-amerikanischen Patentanmeldung geführt. ✘

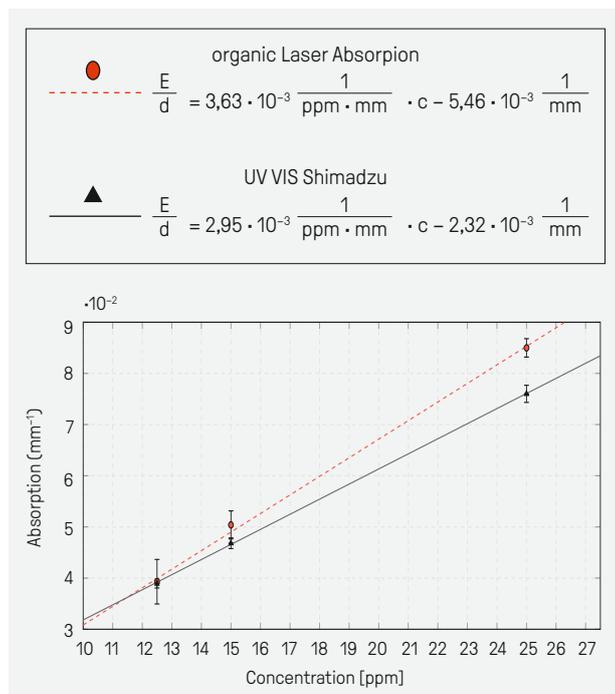


Abb. 3: Messung der Absorption von Acid Red 4 Kalibrierlösungen mit dem mikrofluidischen Aufbau und einem UV-VIS Zweikanal-Absorptionsspektrometer

Autoren

Thilo Pudleiner M.Sc.

Forschungskordinator des Instituts für Sensor- und Informationssysteme und Akademischer Mitarbeiter in der Arbeitsgruppe Integrated Optofluidics and Nanophotonics (IONAS) der Hochschule Karlsruhe

Dr.-Ing. Jörg Knyrim

Akademischer Mitarbeiter in der Arbeitsgruppe Integrated Optofluidics and Nanophotonics (IONAS) der Hochschule Karlsruhe

Prof. Dr.-Ing. Christian Karnutsch

Professor an der Fakultät für Elektro- und Informationstechnik und Sprecher des Instituts für Sensor- und Informationssysteme der Hochschule Karlsruhe Leiter der Arbeitsgruppe Integrated Optofluidics and Nanophotonics (IONAS)

Kontakt

Prof. Dr.-Ing. Christian Karnutsch
Hochschule Karlsruhe – Technik und Wirtschaft
Fakultät für Elektro- und Informationstechnik
Moltkestraße 30
76133 Karlsruhe
E-Mail: christian.karnutsch@h-ka.de

Bei uns schneit's Pulverschnee

Rouven Otto und Michael Kauffeld

DE Perfekte Abkühlung nach dem Saunagang! Auch dafür wurde ein neues Verfahren zur Erzeugung von Schneeflocken entwickelt. Ein wichtiger Faktor ist dabei die Qualität des entstandenen Schnees. Die bisher gängigen Schnee-Erzeugungsverfahren produzieren keine dendritischen Schneekristalle, sondern feine Eispartikel, die meist nur für Spezialanwendungen geeignet sind. Deshalb wird an der Hochschule Karlsruhe ein Verfahren optimiert, dendritische Schneekristalle – so der Fachbegriff für Schneeflocken – zu erzeugen. Die dafür relevanten Faktoren und Abhängigkeiten konnten detektiert werden und aufbauend auf den Ergebnissen wird aktuell ein Prototyp entwickelt. Ziel ist eine ausreichende Schneeproduktion zum Beschneien einer Schneekabine.

EN A new process for the production of real snowflakes is to be developed for perfect cooling after a sauna session. An important factor is the quality of the resulting snow. The current snow production methods do not produce dendritic snow crystals, but fine ice particles, suitable for special applications. Therefore, a process is being developed at Karlsruhe University of Applied Sciences to produce dendritic snow crystals, which is the scientific name for snowflakes. The developed method produces reductibly dendritic snow crystals. The relevant factors and dependencies could be detected and based on the results of a prototype with is currently being developed. The aim is to produce sufficient snow in a snow cabin for example.

Erfrischend und belebend ist es, sich im Winter nach dem Saunagang in frischem Pulverschnee abzukühlen. Das Gefühl von schmelzendem Schnee auf der schwitzenden Haut ist etwas, das im Wellness-Bereich geschätzt und gewünscht wird. Bekannt ist diese Art des Saunierens in Skandinavien oder Russland. Dort ist es im Winter üblich, sich nach einem heißen Saunagang oder Dampfbad zur Abkühlung in den Schnee zu legen.

In Zusammenarbeit mit dem Projektpartner Büchele Lufttechnik GmbH wird ein Verfahren entwickelt, in dem dendritische Schneekristalle für den Wellnessbereich erzeugt werden können.

Da in mitteleuropäischen Breitengraden kein durchgehendes Schneeklima mehr vorherrscht und der Winter nur noch in wenigen ausgewählten Gebieten schneesicher ist, müssen für dieses Saunaerlebnis Schneekabinen verwendet werden. Hierzu begibt sich der Saunafreund in einen Raum, in dem sich künstlicher Schnee befindet: Der schonenden Abkühlung steht nichts mehr im Wege.



Abb. 1: Dendritischer Schneekristall [1]

[1] Kenneth G. Libbrecht (2019): Snow Crystals.

[2] Kenneth G. Libbrecht (2019): Nakaya-Diagramm: Schneekristallformen und deren Entstehung.

[3] Powderguide UG (Hg.). Online verfügbar unter <https://www.powderguide.com/magazin/wetterblog/artikel/wetterblog-5-201617-schneekanonen-freuen-sich-ueber-trockenen-hochdruck-und-kaelte.html>

Das Besondere an diesen Schneekabinen ist der darin enthaltene künstliche Schnee. Der durch spezielle Kühlaggregate erzeugte Schnee wird in einem Raum verteilt und kann sogar von der Decke rieseln. Es entsteht der Eindruck, dass es schneit. Schneekabinen sind eine besondere Gepflogenheit in der Welt der Sauna und sind nur in ausgewählten Saunabetrieben zu finden.

Jedoch haben fast alle Schneeerzeugungsmethoden eines gemeinsam: Der erzeugte Schnee, wie er z. B. von Schneekanonen auf Skipisten eingesetzt wird, weist eine signifikant andere Beschaffenheit auf als der Naturschnee. Diese andere Beschaffenheit stört auch Wintersportler, welche Naturschnee dem Kunstschnee vorziehen: Der Kunstschnee fühlt sich körniger und härter als Naturschnee an.

Die körnige Konsistenz des Kunstschnees hängt mit der Kristallform der einzelnen „Schneepartikel“ zusammen. Bei den gängigen Schneeerzeugungsverfahren wird kein Schnee, sondern feine Eispartikel erzeugt. Ein echtes Schneepartikel besteht aus einem Kern mit Dendriten an der Außenseite^[1].

Die „fluffige“ Konsistenz von Pulverschnee kommt durch die dendritische Form der Partikel zustande, die sich aus der hexagonalen Kristallsymmetrie ergeben. Durch die Dendriten werden die einzelnen Partikel auf Abstand gehalten und Luft wird in den Zwischenräumen eingeschlossen. Der Dichteunterschied von Naturschnee, mit ca. 80 kg/m³, zu Kunstschnee, mit ca. 500 kg/m³, wird auf der Piste und im Wellnessbereich oft unangenehm wahrgenommen^[2]. Durch Alterung verliert der Schnee ebenfalls seine luftige Konsistenz, da durch mechanische Beanspruchung und durch thermische Schwankungen die Dendriten abbrechen und runde Eiskristalle entstehen.

Wann schneit es eigentlich?

In der Natur entsteht Schnee, wenn kalte trockene Luft auf einen feuchten gesättigten Luftstrom trifft. Das in der feuchten Luft gebundene Wasser fällt durch die Abkühlung aus und kristallisiert. Dabei spielen die bei der Kristallisation vorherrschenden Temperaturen eine entscheidende Rolle. Dendritische Schneekristalle in Gestalt sechsstrahlig aggregierter Tafeln können im Bereich von -20 °C bis -10 °C und -5 °C bis 0 °C entstehen. Schnee kristallisiert im hexagonalen



Abb. 2: Tafeliger dendritischer sechsstrahlig aggregierter Schneekristall^[1]

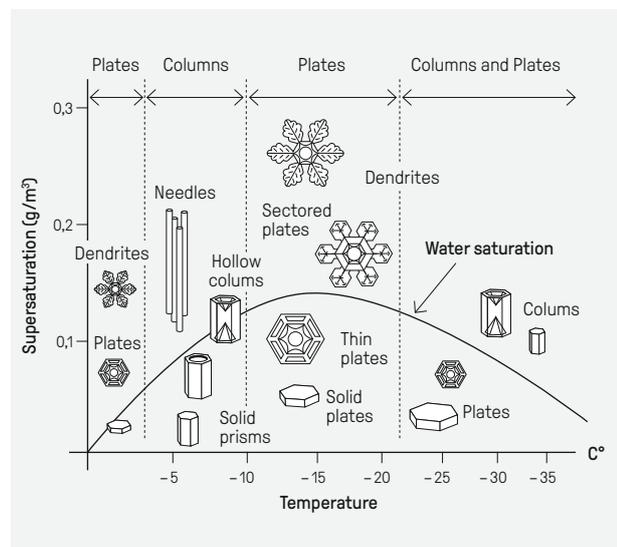


Abb. 3: Nakaya-Diagramm: Schneekristallformen und deren Entstehung^[2]

„Pulverschnee besteht aus dendritischen Schneekristallen, die Luft zwischen sich einschließen.“

Rouven Otto

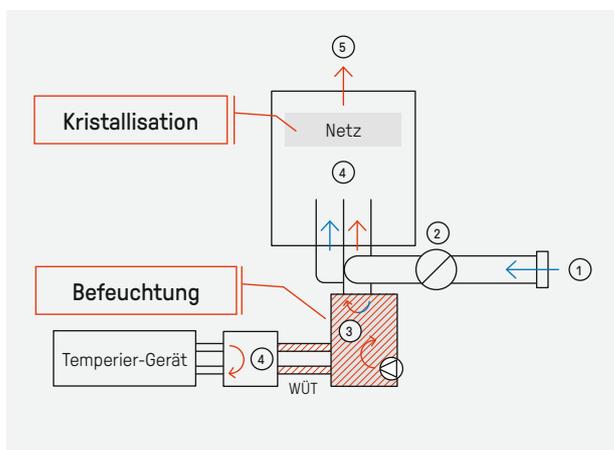


Abb. 4: Schema Prüfstand

Kristallsystem und zwar dihexagonal-bipyramidal. Nachdem sich ein Kristallisationskeim gebildet hat, wachsen Strukturen entlang der sechs [100]-Richtungen der hexagonalen Gitterstruktur, also entlang der Basalebene in einem Winkel von 60° zueinander. Die möglichen Formen und deren Bildungsbereiche sind im Nakaya-Diagramm dargestellt [2].

Wie können die Einflussfaktoren erzeugt werden?

Da die Bildung der dendritischen Schneeflocken von mehreren Faktoren abhängig ist, müssen diese sowie deren Einfluss auf die Kristallisation detektiert werden. Um diese zu untersuchen, wurde in Kooperation mit dem Projektpartner Büchele Lufttechnik GmbH ein Prüfstand entwickelt. Eine Skizze des Prüfstands ist in Abb. 4 dargestellt.

Ein kalter, trockener Luftstrom (1) wird über Drosselklappen (2) geregelt. Ein Teil des angesaugten kalten Luftstroms wird über ein warmes Wasserbad geführt und dabei befeuchtet und erwärmt (3). Die Temperatur des Wasserbads wird über einen Thermostaten geregelt (4). Die warme, befeuchtete Luft wird in einer Kammer mit der kalten, trockenen Luft vermischt. In dieser Kammer ist ein Nylon-Netz gespannt,

um die Kristallisation zu erleichtern (5). Die Abluft wird über einen Ventilator aus der Kammer abgesaugt.

Mit dem Versuchsaufbau konnten verschiedene Faktoren wie Luftvolumenstromverhältnisse, Luftmenge, Temperaturvariationen, Strömungsführung und verschiedene Netzaufbauten untersucht werden. Die gewonnenen Schneemengen bei variierenden Versuchsbedingungen konnten erfasst, die Schneequalität bestimmt und Kreuzabhängigkeiten detektiert werden. Aufbauend auf den gewonnenen Ergebnissen wird ein Prototyp entwickelt und aufgebaut. Mit diesem soll das bisherige Verfahren weiter optimiert und weitere Kristallisations-Effekte untersucht werden. Dadurch wird es möglich, die gewonnene Schneemenge zu erhöhen und den energetischen Energieverbrauch zu senken. ✘

Autoren

Rouven Otto M.Sc.

Akademischer Mitarbeiter am Institut für Kälte-, Klima- und Umwelttechnik (IKKU) der Hochschule Karlsruhe

Prof. Dr.-Ing. habil. Michael Kauffeld

Professor an der Fakultät für Maschinenbau und Mechatronik und Sprecher des Instituts für Kälte-, Klima- und Umwelttechnik (IKKU) der Hochschule Karlsruhe

Kontakt

Prof. Dr.-Ing. habil. Michael Kauffeld
Hochschule Karlsruhe
Fakultät für Maschinenbau und Mechatronik
Institut für Kälte-, Klima- und Umwelttechnik (IKKU)
Moltkestraße 30
76133 Karlsruhe
E-Mail: michael.kauffeld@h-ka.de

Mehr Miteinander mehr Offenheit – das Plus der neuen HKA

K A



Anzeigen

Impressum

Forschung aktuell 2021
Hochschule Karlsruhe

Herausgeber
Rektorat der Hochschule Karlsruhe

**Redaktion und
Wissenschaftslektorat**
Hendrik Hunsinger
Presse und Kommunikation – HKA

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

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

Satz, Anzeigen und Verlag
ALPHA Informationsgesellschaft mbH
www.alphapublic.de

Druck
KRÜGER Druck+Verlag
www.kdv.de

Aufgabe
3.000 Exemplare
April 2021

ISSN 1613-4958

Bildquellen
Titelbild: iStock/peterschreiber.media;
S. 1: Tobias Schwerdt;
S. 2, 8: iStock/snowflock;
S. 2, 34: DEEPOL by plainpicture/
Andrew Brookes
S. 3, 52: iStock/kynny;
S. 3, 72: iStock/Orbon Alija;
S. 19-22: Tobias Schwerdt

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

www.h-ka.de





**Unser
Erfolg
hat viele
Gesichter**

Als Sondermaschinenbauer sind wir Impulsgeber und Technologieführer bei individuellen Verpackungslösungen und bauen unsere Marktposition mit neuen Angeboten aus. Dafür brauchen wir Sie! Ihr topaktuelles Fachwissen, Ihre systematische Vorgehensweise, Ihre hohe Motivation. Gestalten Sie gemeinsam mit über 400 Mitarbeitern an neun Standorten weltweit unseren Erfolg!



www.koch-pac-systeme.com

KOCH
UHLMANN GROUP

**Unsere Zukunft – mit Ihnen!
Wir suchen (m/w/d):**

Absolventen

- Maschinenbau
- Elektrotechnik
- Wirtschaftsingenieurwesen
- Wirtschaftsinformatik

**Bacheloranden
Praktikanten**

Mehr zu Berufsbildern und Bewerbung:
www.koch-pac-systeme.com/karriere

Hochschule Karlsruhe
University of
Applied Sciences



**Vorsprung durch Forschung –
mit der neuen HKA**



www.h-ka.de

Forschung in Produktideen übersetzen. Der Gesellschaft einen Mehrwert bieten.



ZEISS Innovation Hub @ KIT

Chemiestudium, Promotion, Postdoc in Japan. Osteointegration faszinierte sie – und der Gedanke, dass ihre Forschung einmal Einfluss auf die Medizin von morgen hat. Aber wie? Wer übersetzt ihre Erkenntnisse in Produkte, die die Medizin auch wirklich prägen? Heute, einige Zeit später, kennt Sophia die Antwort. Sie ist Innovation Scout am ZEISS Innovation Hub in Karlsruhe, erlebt und gestaltet, wie aus wissenschaftlicher Forschung gesellschaftlicher Fortschritt entsteht: „Es ist einfach unglaublich spannend mitzuerleben, wie aus der Theorie Produktideen hervorgehen, die der Gesellschaft am Ende einen Mehrwert bieten.“

Erfahre mehr über ihre Geschichte und Jobs im Bereich Forschung & Entwicklung:
zeiss.de/karriere



Seeing beyond

Neues in einer digitalen Welt wartet auf Dich!

Bereit für die Zukunft?

Dann steig ein in die facettenreiche
Welt der Antriebstechnologie – mit
Praktikum, Werkstudententätigkeit,
Abschlussarbeit oder **Direkteinstieg.**

**ANTRIEB
BEWEGT
ZUKUNFT**

Klingt interessant?
Jetzt bewerben!

www.sew-eurodrive.de/studenten