



Hochschule Karlsruhe
Technik und Wirtschaft
UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES



Forschung aktuell 2020



ISSN 1613-4958



OPTIMA

MISSION: FUTURE

Bei Optima steht Ihnen die ganze Welt offen. Ob als Servicemonteur durch die Welt jetten, Maschinenbaupläne konstruieren oder neue Verpackungslösungen erforschen und entwickeln – Sie entscheiden, wo die Reise hingeht. Welche Stellen wir anbieten und wieso Optima eine gute Wahl ist, erfahren Sie am besten auf unserer Homepage.

- Flexible Arbeitszeiten
- Weiterbildungsprogramme
- Erfolgsbeteiligungen



www.karriere-bei-optima.de

Liebe Leserinnen und Leser,

vor Ihnen liegt die neueste Ausgabe der „Forschung aktuell“, dem jährlichen Forschungsbericht der Hochschule Karlsruhe – Technik und Wirtschaft, einer der forschungsstärksten Hochschulen für Angewandte Wissenschaften in Baden-Württemberg. Die an unserer Hochschule geleistete angewandte Forschung greift die Herausforderungen der Gegenwart beherzt auf und beeindruckt durch eine immense Bandbreite und internationale Vernetzung.

Die angewandte Forschung von heute stellt die Weichen für eine zukunftsfähige Gesellschaft. In diesem Sinne stehen auch die Beiträge der „Forschung aktuell 2020“ im Zeichen dieses Ziels in einer sich rasant verändernden Welt.

Das Titelblatt der diesjährigen Ausgabe illustriert die Forschungsleistung des Instituts für Sensor- und Informationssysteme der Hochschule Karlsruhe im internationalen Forschungsverbund EBIPREP. Dort wird ein neuartiges Verfahren zur Erzeugung von Biogas und enzymatischen Wertstoffen, beispielsweise Hefe, aus organischen, insbesondere Lebensmittelabfällen, unter Einsatz von Presssaft aus Holzschnitzeln entwickelt.

Weitere Artikel der „Forschung aktuell 2020“ verdeutlichen ebenfalls eindrucksvoll, wie sehr Umwelttechnik und der Einsatz intelligenter Systeme die Energieeffizienz immer weiter steigern und Nachhaltigkeit gewährleisten. Letztlich dienen diese Anstrengungen dem Ziel, die durch Klimawandel, Umweltzerstörung und Ressourcenverbrauch bedrohten natürlichen Lebensgrundlagen zu bewahren.

Gesellschaftswissenschaftliche und ökonomische Forschung ist

auch unter diesen Aspekten unverzichtbar, wie die Beiträge der Rubrik „Gesellschaft und Ökonomie“ klar verdeutlichen.

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

- Energieeffizienz und Umwelttechnik
- Intelligente Systeme
- Gesellschaft und Ökonomie
- Verkehr

Die Rubrik „Schlaglichter“ stellt Ihnen weitere hochaktuelle Forschungsprojekte der Hochschule Karlsruhe vor.

Die Stärkung der Forschung ist ein strategisches Ziel zur Profilbildung der Hochschule Karlsruhe und fördert auch die Lehre. Aufgrund des enormen Entwicklungspotenzials dieses Bereichs sowie dem immer stärker werdenden Wettbewerb zwischen den Hochschulen hat die Hochschule Karlsruhe eine Neuordnung der Forschungsstruktur und -organisation vorgenommen. Inhaltliche Kernpunkte waren die Institutsstruktur, die Mitsprache der Forscherinnen und Forscher, die Förderung des wissenschaftlichen Nachwuchses und die Forschungsunterstützung. Gegenwärtig verfügt die Hochschule Karlsruhe über zehn qualitätsgesicherte und zentrale Forschungsinstitute. Der wissenschaftliche Beirat dient als Ideenforum und zur Beratung von Senat und Rektorat bei der strategischen Weiterentwicklung der Forschung an der Hochschule. Für die Förderung des wissenschaftlichen Nachwuchses wurde ein Doktorandenkonvent gemäß Landeshochschulgesetz gegründet. Die Einrichtungen zur



Forschungsunterstützung sind zu einer zentralen, von den Instituten unabhängigen, Einrichtung, dem Center of Applied Research (CAR), zusammengelegt worden.

Mein Dank gilt auch in diesem Jahr allen Kolleginnen und Kollegen, die ihre Ergebnisse in diesem Bericht veröffentlichen. Mein besonderer Dank gilt allen Mitarbeitern, die redaktionell und organisatorisch an der Publikation dieses Forschungsberichts mitgewirkt haben.

Ihnen als Leserinnen und Lesern wünsche ich bei der Lektüre interessante Einblicke in die Forschungsaktivitäten der Hochschule Karlsruhe.

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Franz Quint'. The signature is stylized and cursive.

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

Impressum

ISSN 1613-4958

**Hochschule Karlsruhe – Technik und Wirtschaft
Forschung aktuell 2020**

Herausgeber

Rektorat der Hochschule Karlsruhe
Technik und Wirtschaft

Redaktion und Wissenschaftslektorat

Hendrik Hunsinger
Hochschule Karlsruhe
Hendrik.Hunsinger@hs-karlsruhe.de

Englisch-Lektorat

Lynn Beechey-Volz
Institut für Fremdsprachen der
Hochschule Karlsruhe

Grafik

Erwin Fieber

Layout

Alfons Muntean
Geschäftsstelle für Öffentlichkeitsarbeit
und Marketing der Hochschule Karlsruhe

Titelbilder:

Labor des Instituts für Sensor- und
Informationssysteme der Hochschule Karlsruhe
mit Nourhan Abouelell und Binayak Ojha
(Foto: Tobias Schwerdt); Bildmontage mit
Baum-Ast im Vordergrund
(Foto: Tobias Schwerdt) und
Hintergrundbild sirisak (AdobeStock)

Für den Inhalt der Beiträge sind
die Autoren verantwortlich.

Satz, Anzeigen und Verlag

VMK Verlag für Marketing und
Kommunikation GmbH & Co. KG
Faberstraße 17, 67590 Monsheim
Telefon: 06243/909-0
Telefax: 06243/909-400
E-Mail: info@vmk-verlag.de
www.vmk-verlag.de

Auflage: 3000 Stück, April 2020

Druck

VMK-Druckerei GmbH
Faberstraße 17, 67590 Monsheim
Telefon: 06243/909-110
Telefax: 06243/909-100
E-Mail: info@vmk-druckerei.de

Inhalt

Stand der Forschung an der Hochschule Karlsruhe – Technik und Wirtschaft <i>Franz Quint und Elena Stamm</i>	6
--	---

Energieeffizienz und Umwelttechnik

New Gas-Sensing Concepts for Efficient Biogas Production <i>Binayak Ojha, Nourhan Abouelell and Heinz Kohler</i>	8
Wärmewende in der Industrie <i>Markus Bohlayer, Daniel Bull, Markus Fleschutz und Marco Braun</i>	14
Trinkwasser: Nachhaltige Arsenentfernung und Wasserentsalzung in Vietnam <i>Ulrich Hellriegel, Edgardo Cañas Kurz und Jan Hoinkis</i>	18
Bockbier durch induktive Kristallablösung <i>Rouven Otto und Michael Kauffeld</i>	20

Intelligente Systeme

Robuste modellbasierte Fehlerdetektion für verteilte und dezentrale Systeme <i>Sönke Meynen und Dirk K. Feßler</i>	24
Unterstützung der Security-Entwicklung von Fahrzeugen durch Angriffsanalysen <i>Robin Bolz, Jürgen Dürrwang, Marcel Rumez, Florian Sommer und Reiner Kriesten</i>	28
Automated Item Picking – Einsatz maschineller Lernverfahren in der roboterbasierten Einzelstückkommissionierung <i>Moritz Weisenböhrer und Christian Wurl</i>	34
Smart Packaging: Medikamente intelligent verpackt <i>Jonathan Osterroth, Stefanie Regier und Ingo Stengel</i>	40
Building Information Modelling für das Erhaltungsmanagement von Straßennetzen <i>Markus Stöckner und Manuel Niever</i>	44

Gesellschaft und Ökonomie

Methoden und Prozessportfolio zur Entwicklung von Smart Services und Smart Products <i>Claas Christian Wuttke</i>	48
Vorteile und Rahmenbedingungen einer Einführung von kollaborierenden Robotern in kleinen und mittleren Unternehmen <i>Arndt Schäfer, Tobias Kopp und Steffen Kinkel</i>	52

Inhalt

Mid-size Companies in the Digital Platform Economy –
Building the Hidden Champions of tomorrow? 56
Roman Kerres, Patrick Brecht and Carsten H. Hahn

Sparen und Investieren im 21. Jahrhundert.
Ursachen und Folgen der Niedrigzinsen 60
Hagen Krämer

Familien in gemeinschaftlichen Wohnformen 63
Susanne Dürr, Gerd Kuhn und Nanni Abraham

Digitales Fußballstadion 4.0 – eine Fanbefragung 68
Pascal Pfeiffer, Stefanie Regier und Ingo Stengel

Verkehr

Reallabor GO Karlsruhe –
Angewandte, partizipative Forschung im Fußverkehr 71
Elke Häußler, Robert Blaszczyk und Christoph Hupfer

Bewertung der strukturellen Substanz von Bundesfernstraßen 75
Markus Stöckner und Amina Brzuska

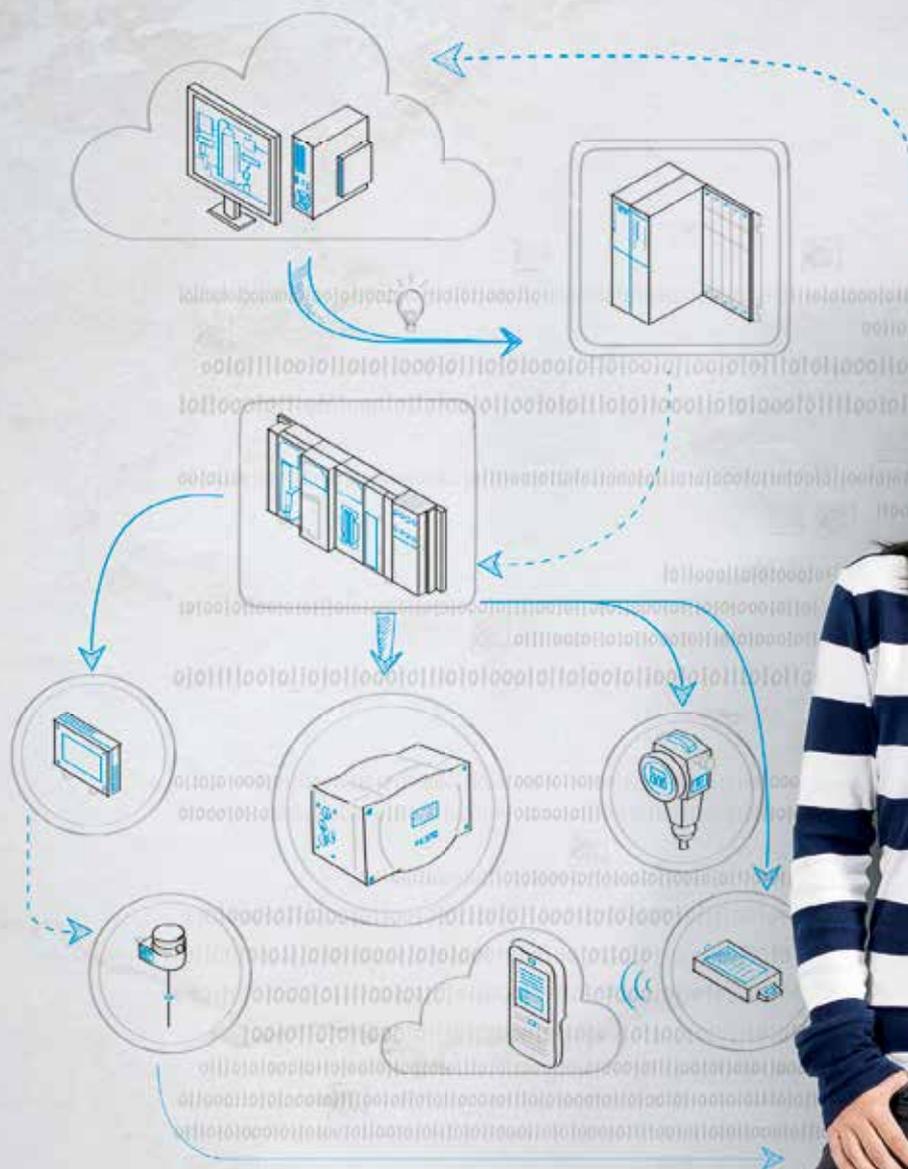
Schlaglichter

Datengetriebene Analyse der Flüssigkeitsausbreitung
in porösen Mikrostrukturen 79
Patrick Altschuh, Willfried Kunz, Michael Selzer, Eckhard Martens und Britta Nestler

Simultaneous measurement of resistance change and temperature
in Wheatstone bridge circuits 84
Klemens Gintner

Internationale Zusammenarbeit bei der Entwicklung
echtzeitgesteuerter cyber-physischer Prüf- und Laborfunktionen 87
Ferhat Aslan, Saiful Anwar Bin Che Ghani, Norazlianie Bintil Sazali und Maurice Kettner

Brauchen Ingenieure, Informatiker und Betriebswirte
eine grundlegende Übersetzungskompetenz? 92
Andrea Cnyrim



Informatik im Blut?

Bei uns fließt es durch den gesamten Entwicklungsprozess.

Festo ist ein unabhängiges Familienunternehmen mit über 20.000 Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern und weltweit führend in der Automatisierungstechnik. Grundlage unseres Erfolgs ist ein gelungenes Zusammenspiel großartiger Ingenieurskunst und ausgezeichneter Software-Entwicklung. Denn: Ohne intelligente Software kein intelligentes Produkt. Als Softwareentwickler m/w/d bei Festo schaffen Sie Produkte zum Anfassen und begleiten mit viel Freiraum den gesamten Entwicklungsprozess. Bewerben Sie sich jetzt. Damit die Welt in Bewegung bleibt.

Stand der Forschung an der Hochschule Karlsruhe – Technik und Wirtschaft

Um ihre Spitzenposition als eine der forschungstärksten Hochschulen für Angewandte Wissenschaften in Baden-Württemberg und Deutschland auch in Zukunft zu sichern, stellt der weitere Ausbau der angewandten Forschung ein strategisches Ziel zur Profilbildung der Hochschule Karlsruhe – Technik und Wirtschaft dar. Anwendungsorientierte Forschung ergänzt gewinnbringend den primären Auftrag der Hochschule: die wissenschaftliche Ausbildung der Studierenden. Durch die breit gefächerten und aktuellen Forschungstätigkeiten an der Hochschule Karlsruhe und den daraus resultierenden Angeboten an Studienprojekten werden Lehre und Studium enorm bereichert. Aufgrund der Anwendungsorientierung sind die Forschungsergebnisse der Hochschule Karlsruhe besonders für Industrie und Wirtschaft interessant.

Aufgrund des hohen Entwicklungspotenzials des Bereichs Forschung an der Hochschule und aufgrund des immer stärker werdenden Wettbewerbs zwischen den Hochschulen hat die Hochschule Karlsruhe im Wintersemester 2017/18 eine Neuordnung der Forschungsstrukturen und -organisation vorgenommen. Im Rahmen dessen wurden zehn qualitätsgesicherte und zentrale Forschungsinstitute gegründet:

- Institut für Digitale Materialforschung (IDM), Sprecherin: Prof. Dr. Britta Nestler
- Institut für Energieeffiziente Mobilität (IEEM), Sprecher: Prof. Dr. Peter Neugebauer
- Institut für Kälte-, Klima- und Umwelttechnik (IKKU), Sprecher: Prof. Dr. Michael Kauffeld
- Institut für Lernen und Innovation in Netzwerken (ILIN), Sprecher: Prof. Dr. Steffen Kinkel
- Institut für Sensor- und Informationssysteme (ISIS), Sprecher: Prof. Dr. Heinz Kohler
- Institut für Ubiquitäre Mobilitätssysteme (IUMS), Sprecher: Prof. Dr. Thomas Schlegel
- Institut für Verkehr und Infrastruktur (IVI), Sprecher: Prof. Dr. Jan Riel
- Institut Intelligent Systems Research Group (ISRG), Sprecherin: Prof. Dr. Astrid Laubenheimer
- Institute of Materials and Processes (IMP), Sprecher: Prof. Dr. Rüdiger Haas
- Institut für Angewandte Forschung (IAF), Sprecher: Prof. Dr. Christian Wurrll

Darüber hinaus werden die Doktoranden in einem 2018 gegründeten Doktorandenkonvent gemäß Landeshochschulgesetz an der Hochschule vertreten.

2019 wurde weiterhin der Wissenschaftliche Beirat des Center of Applied Research als Ideenforum sowie zur Beratung von Senat und Rektorat bei der strategischen Weiterentwicklung der Forschung an der Hochschule konstituiert. Zur strategischen Weiterentwicklung der Forschung können sich die Wissenschaftler seit 2018 in einer jährlich stattfindenden ForschungsstrategieTagung einbringen.

Die Forschungsstärke der Hochschule Karlsruhe spiegelt sich auch in ihrem Drittmittel-, Promotions- und Publikationsaufkommen wider.

1. Drittmittelaufkommen

Die Drittmittelleinnahmen der Hochschule Karlsruhe in der Forschung beliefen sich in 2019 auf insgesamt ca. 8,2 Mio. Euro. Wie in Abbildung 1 zu erkennen ist, setzt sich die stetige Steigerung der Drittmittelleinnahmen der Hochschule in 2019 fort, ausgenommen der durch die Art der Berichtserstellung bedingten Ausreißern in 2015 und 2016. Aktuell arbeiten die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler der Hochschule Karlsruhe an rund 160 Forschungsprojekten.

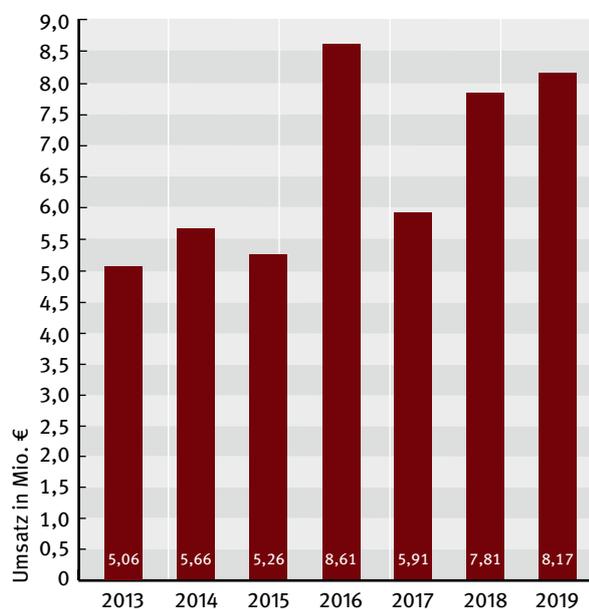


Abb. 1: Umsatzentwicklung Forschung 2013 bis 2019

2. Promotionsaufkommen

Insgesamt 93 laufende Promotionsvorhaben wurden Ende 2019 kooperativ in Form einer Individual- oder einer strukturierten Promotion an der Hochschule Karlsruhe betreut und acht Doktoranden schlossen

ihre Promotion 2019 erfolgreich ab. Zusammen mit dem Karlsruher Institut für Technologie (KIT) werden strukturierte Promotionsvorhaben im Rahmen des vom Land Baden-Württemberg unterstützten kooperativen Promotionskollegs durchgeführt.

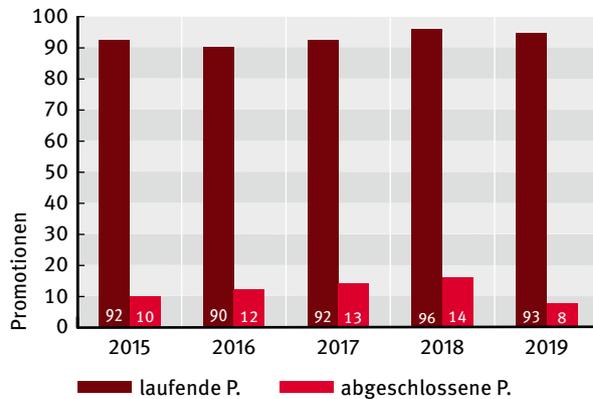


Abb. 2: Entwicklung der kooperativen Promotionen 2014 bis 2019

3. Publikationsaufkommen

Die Professorinnen und Professoren sowie die Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter der Hochschule haben 2019 insgesamt 272 wissenschaftliche Publikationen veröffentlicht, wovon 78 als Zeitschriftenaufsatz oder Dissertation erfolgreich ein Peer-Review-Verfahren durchlaufen.

Das Forschungsprofil der Hochschule Karlsruhe wird durch drei interdisziplinäre Schwerpunkte geprägt. Diese wurden von der Hochschulrektorenkonferenz (HRK) positiv evaluiert und sind deshalb auf der HRK-Forschungslandkarte vertreten. Im Fokus des Forschungsschwerpunktes „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. Der Forschungsschwerpunkt „Intelligente Systeme“ beschäftigt sich in der Entwicklung und Anwendung von Sensorsystemen, Maschinensehen, autonome Navigation, Maschinellem Lernen, Mensch-System-Interaktion, Soziotechnik oder Learning Analytics in allen Bereichen von Wirtschaft und Gesellschaft. Aktivitäten in 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.

Ende 2019 waren 60 Professorinnen und Professoren in den oben genannten Forschungsinstituten tätig, die von insgesamt 305 Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern unterstützt wurden. Diese arbeiteten entweder in den Projekten selbst, in der Forschungsverwaltung oder als wissenschaftliche Hilfskräfte ein. Die Finanzierung der Projektmitarbeiter an den zentralen Forschungsinstituten erfolgt ausschließlich aus Drittmitteln. Zusätzlich stellt die Hochschulleitung Forschungskoordinatoren für die fachliche Organisation der Forschung in den verschiedenen Forschungsbereichen und Personal zur Forschungsunterstützung am Center of Applied Research (CAR) zur Verfügung.

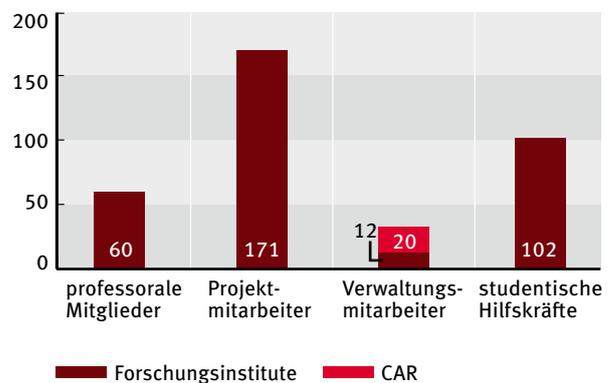


Abb. 3: Anzahl der Professorinnen und Professoren sowie der Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter an den Forschungsinstituten und am CAR 2019

Autoren

Prof. Dr.-Ing. Franz Quint

Prorektor für Forschung, Kooperationen und Qualitätsmanagement

Elena Stamm M.A.

Referentin des Rektorats

New Gas-Sensing Concepts for Efficient Biogas Production

Binayak Ojha, Nourhan Abouelell and Heinz Kohler

Der internationale Forschungsverbund EBIPREP entwickelt ein biotechnologisches Verfahren zur Erzeugung von Biogas und enzymatischen Wertstoffen, beispielsweise Hefe, aus organischen, insbesondere Lebensmittelabfällen, unter Einsatz von Holzpresssaft aus mechanisch ausgepressten Holzschnitzeln. Zur Steigerung der Effizienz spielt die kontinuierliche sensorische Analyse einiger Reaktionsprodukte des Gesamtprozesses eine besondere Rolle. In diesem Artikel wird eine neue Methode zur kontinuierlichen Bestimmung des Teergehalts im Synthesegas aus der Vergasung der Reststoffe und getrockneter Holz-Hackschnitzel vorgestellt und über erste Ergebnisse berichtet. Das Messverfahren ist von hoher Relevanz, da es die Teer-Konzentrationsbestimmung mit hoher Sensitivität unter Verwendung von kommerziell verfügbaren, bewährten Sauerstoff-Gassensoren und einer Kondensationseinheit ermöglicht.

In an international project, the EBIPREP partners are collaborating to develop new solutions for the biotechnological production of valuable materials (e.g. yeast) as well as biogas from organic waste, especially food residue using wood juice, a well-defined mineral salt medium pressed from wood chips, in a mechanical drying process. To enhance the efficiency of the process the continuous monitoring of some reaction products by appropriate sensors is of particular importance. In this paper, the idea of online monitoring of the tar-content in the synthesis gas produced by gasifying of the residuals from biotechnological processes and dried wood chips is introduced and first results are presented. The sensor concept is especially relevant because it enables monitoring of low tar concentrations by use of commercially available, well-established oxygen gas sensors and a gas condensation unit.

Introduction

An interdisciplinary research group is developing new solutions for the use of woodchips and the wood juice obtained by the mechanical drying process for the biotechnological production of valuable materials and biogas as a non-fossil energy carrier. In particular, the researchers will investigate how to enhance and improve the efficiency of the production of biogas through well-controlled biogas reaction processes and subsequent gasifying of the residuals in a conventional gasifier. In Figure 1 the overall biotechnological process is shown and the process steps where monitoring of the key parameters by gas sensors is expected to enhance the efficiency, are indicated.

The contributions of the Institute for Sensor and Information Systems at Karlsruhe University of Applied Sciences to this collaboration project EBIPREP [1] are twofold:

In-situ monitoring of the development of organic acids (acetic, propionic, butyric acid) by operation of a gas carrier probe combined with an array of metal oxide gas sensors. It is well known that using food residues containing sugar as feeding substrate can lead to a high acidification of the substrate in the bioreactor so that the biogas reaction process can be highly inhibited or even irreversibly damaged. In this context, the development of an in-situ monitor for analysis of the status of acidification would enable continuous adaptation of the feeding substrate to keep the acidifica-

tion at a low level (acid concentrations < 2000 ppm) and the biogas reaction process at high rate.

In addition, a new gas sensor system for continuous monitoring of the tar in the synthesis gas produced by gasifying the residuals of the biogas reaction process and mechanically dried wood chips would enable better control of the gasification process. Besides fuel components like (CO, CH₄, H₂, etc.) the synthesis gas typically contains several tar components in different compositions and concentrations like phenol, naphthalene or toluene depending on the operation status of the gasifying process and the composition of the biomass to be gasified. However, condensation of those tar components is responsible for fouling of the process plant and clogging of the combustion unit. Therefore, formation of tar needs to be minimized by optimal control of the gasifying process. However, this is only possible, if tar in the synthesis gas stream can be continuously monitored.

In this work, a new sensor system for tar monitoring is shown. The sensing concept is briefly described and for the demonstration of the concept, the tar containing synthesis gas is replaced by a N₂/CH₄ gas stream that can be saturated by different concentrations of toluene as a model tar. Finally, preliminary results are discussed.

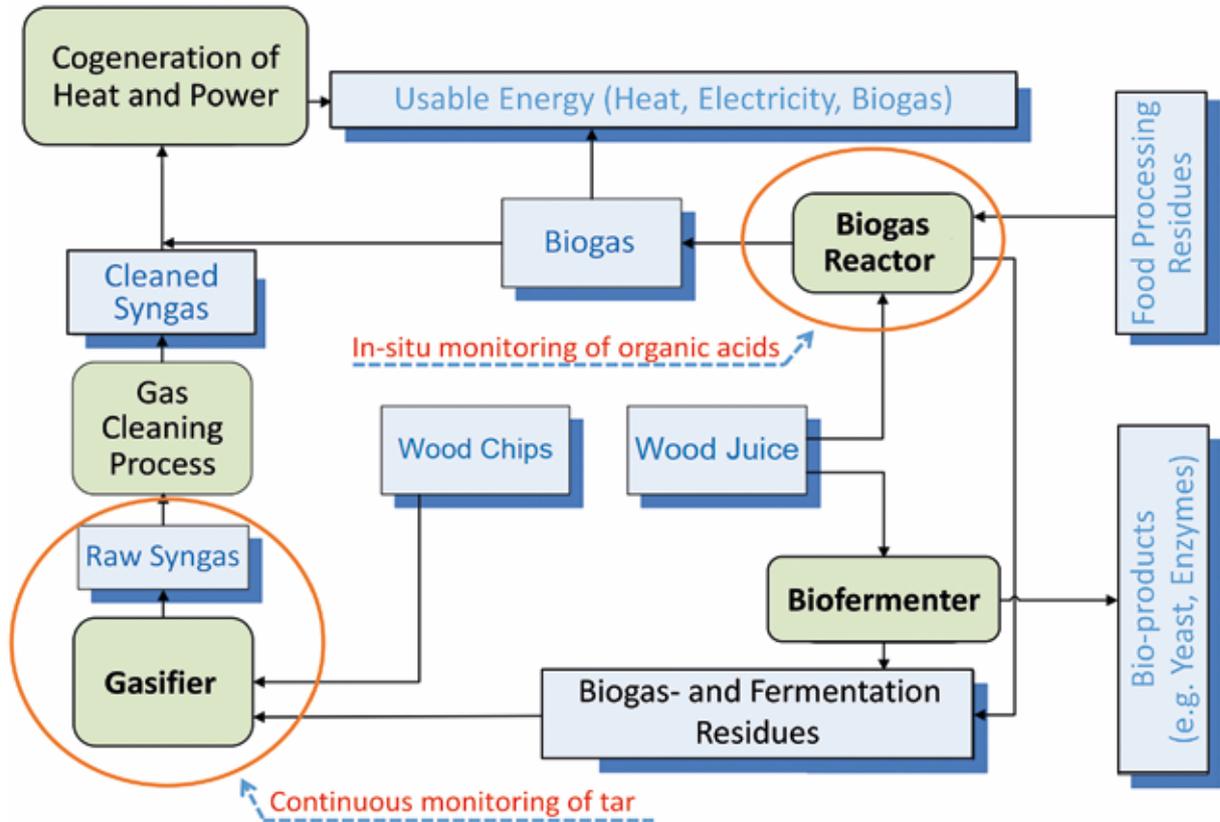


Fig. 1: Overview of the EBIPREP collaboration project [1]. The red circles indicate the process steps to be improved by development and application of new in-situ gas sensing systems

Concept of continuous toluene monitoring in a stream of CH₄/N₂-gas mixtures

The experimental setup for continuous monitoring of toluene (cf. Fig. 2) consists of two parts. The first part (cf. Fig. 2a) is the setup for generating the model syn-

gas (CH₄+N₂). The gas stream is guided either through the toluene evaporation unit to produce toluene saturated gas or the unit is by-passed for tests without toluene. The saturation concentration of the toluene in the evaporation unit is given by Antoine equation and varied by change of the evaporation temperature T.

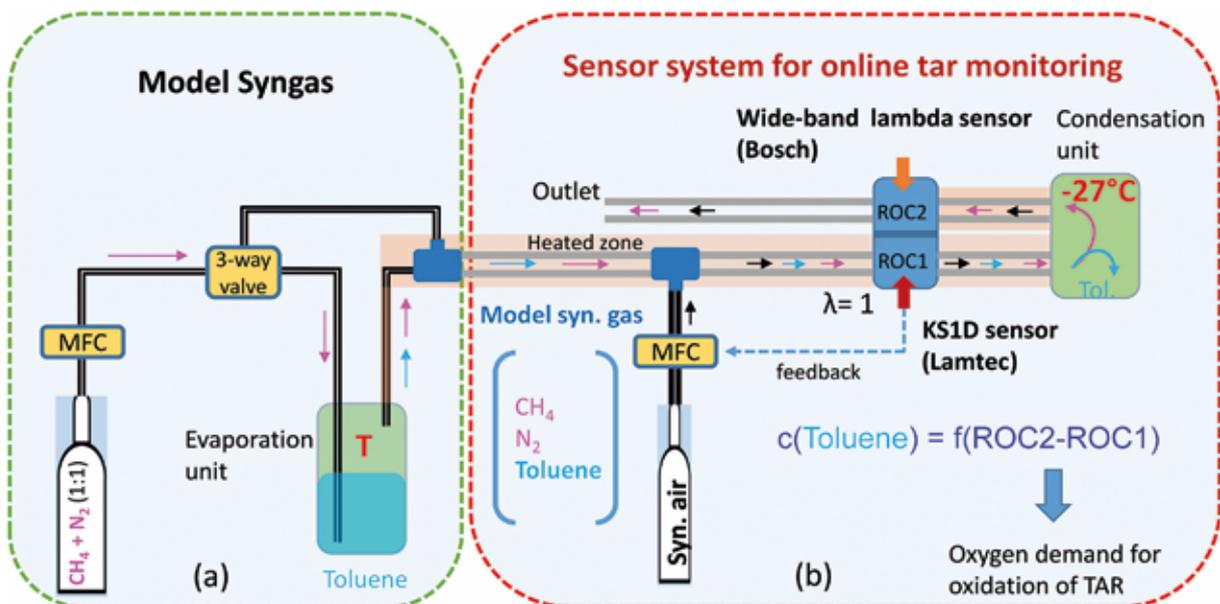


Fig. 2: Lab setup - Concept for continuous monitoring of toluene in CH₄/N₂ gas mixture

The second part of the setup is the sensor system under investigation for online toluene monitoring (cf. Fig. 2b). The concept of this new sensor system is as follows: Model syngas is guided to the heated zone and admixed with synthetic air (80 % N₂, 20 % O₂) using a commercial electronic mass flow controller (MFC) and a commercial Pt/ZrO₂ Nernst-type oxygen sensor (KS1D, Lamtec GmbH, Walldorf) operated in a feedback control loop for adjustment of stoichiometric oxidation conditions ($\lambda=1$). This means, the residual oxygen concentration (ROC) of the admixed gas stream is controlled to a well-defined value (ROC1) with high accuracy. The admixed gas stream is now guided to the condensation unit (cf. Fig. 2b) where the toluene is removed by condensation. Consequently, after condensation of the toluene, ROC2 is expected to be higher than ROC1. A so-called wideband lambda sensor (LSU4.9, Bosch) monitors ROC2. The difference between ROC2 and ROC1 gives an estimate of the demand of oxygen for toluene oxidation, which is well correlated with the concentration of toluene in the model syngas.

Results

In a first step, the sensor response of KS1D and of LSU 4.9 at different ROC is demonstrated (Fig. 3). ROC is varied by changing synthetic air flow while the evaporation unit is by-passed (Fig. 2a) and the model syngas flow (CH₄+N₂, 1:1) without toluene is kept constant (25 ml/min). The KS1D sensor shows typical Nernst-type oxygen sensor behavior with a sharp signal transition at stoichiometric admixture ($\lambda=1$) [2] whereas the signal of the wideband lambda sensor in the range of oxygen excess ($\lambda \geq 1$) depends linearly on ROC as expected [3]. The data confirm that the concept of ROC measurement works very well. However, there are some signal discrepancies between the two sensors observed regarding the synthetic airflow for the condition $\lambda=1$. The KS1D sensor shows the condition $\lambda=1$ (steep voltage change) at 130 ml/min of synthetic air flow whereas LSU 4.9 estimates $\lambda=1$ at 141 ml/min. Additionally, both values are higher than the theoretically required flow, which was calculated to 125 ml/min for 25 ml/min flow of model syngas. This may be due to transport limitations of the oxygen to the sensing Pt-electrodes of the sensor elements separated from the gas stream by a sintered metal plate (pore width: 50 μ m) but does not limit the functionality of the sensing concept.

Finally, the concept of tar monitoring was tested at different toluene saturation concentrations in CH₄/N₂ (50 ml/min) by adjusting different evaporation temperatures (cf. Fig. 2a). The results are shown in Figure 4. For

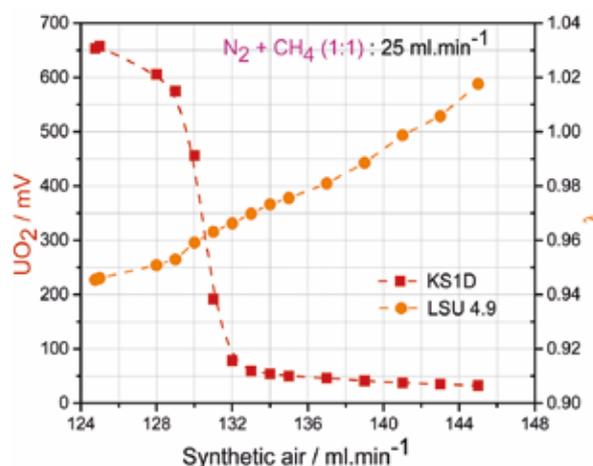


Fig. 3: ROC1-signals of a classical Pt/ZrO₂ Nernst-type oxygen sensor (KS1D) and ROC2-signals (transformed to λ -values) sampled by a wide band lambda probe (LSU 4.9) vs. synthetic air flow at constant synthesis gas flow (25ml/min).

each toluene concentration the condition $\lambda=1$ is maintained by the closed feedback loop (Fig. 2b) and ROC is monitored in the gas stream after condensation of the toluene at a temperature of -27°C. The signal of the LSU 4.9 (pump current (I_p) / 3/) represents ROC2 and shows a linear dependency to toluene concentration between 9000 and 21000 ppm. However, below 9000 ppm, the condensation unit cannot condense toluene anymore and a clear deviation from linearity is observed. This is due to the admixing of synthetic air, which results in a toluene concentration of about 1200 ppm and according to the Clausius-Clapeyron equation this value corresponds to the saturation vapor pressure of toluene at -27°C which is the temperature of the condensation unit and estimates the lower concentration limit of toluene monitoring.

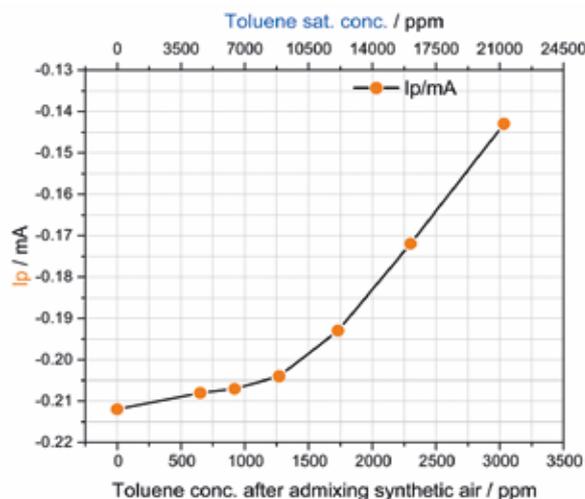


Fig. 4: Proof of concept of toluene monitoring in CH₄/N₂-mixtures using a LSU 4.9 oxygen sensor after passing the condensation unit at a temperature of -27°C.

In view of real tar monitoring it has to be considered, that tar is a multi-composition of organic components (cf. Fig. 5) where each component condensates at a specific condensation temperature. The concentrations of the tar components vary from experiment to experiment, but in every case toluene and naphthalene are the major tar components. Using the Clausius-Clapeyron equation, some specific condensation temperatures (cf. Fig. 5) were calculated, which are required for estimating the tar components at the desired minimum concentration-limit of detection (50 mg/m^3). It is obvious that for detection of such low concentrations of e.g. toluene, styrene or indene very low condensation temperatures are required which may not be practical with respect to an economic field analysis concept. Nevertheless, the tar-monitoring concept introduced here is expected to be capable of monitoring other tar components like naphthalene, phenol or acenaphthylene sensitive enough at condensation temperatures $\geq -10^\circ\text{C}$ to enable continuous monitoring of a representative tar concentration in the synthesis gas stream.

Conclusions

Continuous estimation of tar content in synthesis gas is highly relevant for controlling the gasifying process to keep the tar-content as low as possible. A new sensor system for online monitoring of tar in synthesis gas is described in this article. It was tested in the laboratory by use of a model synthesis gas (toluene in CH_4/N_2 -admixtures). It was clearly shown that the demand of oxygen for toluene oxidation, calculated by the difference $\text{ROC}_2 - \text{ROC}_1$ values related to the stoichiometric admixtures of synthetic air with tar containing CH_4/N_2 (ROC_1) and subsequent estimation of the ROC after toluene condensation (ROC_2), is an accurate method to monitor toluene concentrations at values even as low as 1200 ppm . The lower detection limit for toluene is given by the condensation temperature set to -27°C . These results suggest that tar components like phenol, naphthalene or acenaphthylene which condensate at higher temperatures than toluene, can be expected to be accurately estimated as prominent representatives of tar in synthesis gas even at much lower concentrations. The experimental proof has been already started.

Als Mitarbeiter entwickle ich Messtechnik für die Prozessautomatisierung, die weltweit im Einsatz ist.

LEITER- PLATTE + KARRIERE- LEITER

Als Mensch bietet mir das Familienunternehmen viele Wege, mich fachlich und persönlich zu entwickeln. Das ist meine Formel für Zufriedenheit.

Entdecken auch Sie Ihre Formel für Zufriedenheit

Endress+Hauser ist ein international führender Anbieter von Messgeräten, Dienstleistungen und Lösungen für die industrielle Verfahrenstechnik. So verbindet die Mitarbeit bei uns immer zwei Seiten: die technische plus die menschliche. Das Ergebnis: ein Mehr an Zufriedenheit. Jeden Tag.

Wir suchen regelmäßig Interessenten (m/w/d) für Praktika, Abschlussarbeiten sowie Direkteinstieg in folgenden Fachrichtungen:

- Elektrotechnik
- Informatik
- Wirtschaftsingenieurwesen
- Maschinenbau
- Automatisierungstechnik
- Nachrichtentechnik

Informieren + Bewerben geht am einfachsten unter www.endress.com/karriere

Endress+Hauser SE+Co. KG
Hauptstraße 1
79689 Maulburg
Tel.: +49 7622 28 3000

Endress+Hauser

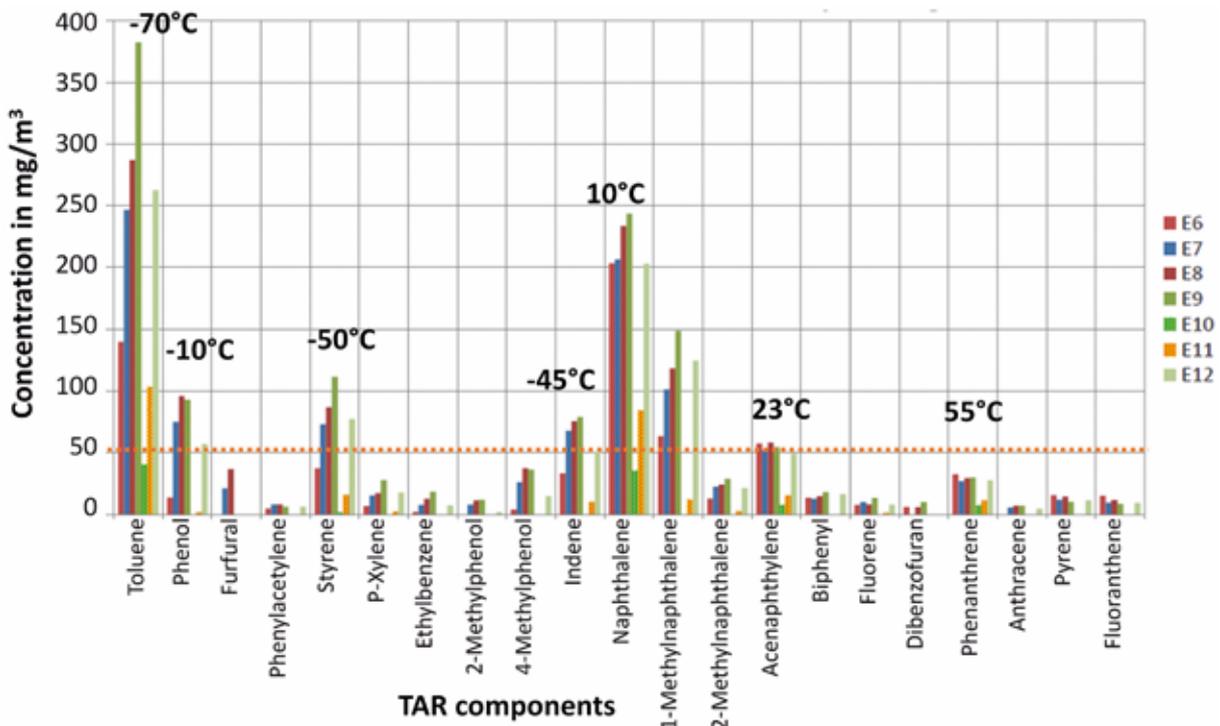


Fig. 5: Tar components analyzed in synthesis gases from different gasifying experiments (E6-E12) [4]. The condensation temperatures of some specific tar components are indicated at a concentration of 50mg/m³.

References

- [1] EBIPREP: www.ebiprep.eu
- [2] J. Riegel, H. Neumann, H.-M. Wiedenmann, *Exhaust gas sensors for automotive emission control*, Solid State Ionics, Vol. 152-153 (2002), pp. 783-800
- [3] T. Baunach, K. Schänzlin, L. Diehl, *Sauberes Abgas durch Keramiksensoren*, Physik Journal 5, 2006, pp. 33-38
- [4] S. Turad, J. Jochum, *Data from our EBIPREP project partner*, University of Applied Sciences Offenburg, Germany.

Acknowledgement

This work was financed by the EU International Program INTERREG V Oberrhein 2014-2020. The authors thank the Lamtec GmbH, Walldorf and the Bosch GmbH, Karlsruhe for providing the oxygen gas sensors.

Authors

Binayak Ojha, M.Sc.

Project Engineer and doctoral student at the Institute for Sensor and Information Systems at Karlsruhe University of Applied Sciences

Nourhan Abouelell, M.Sc.

Institute for Sensor and Information Systems at Karlsruhe University of Applied Sciences

Prof. Dr. rer. nat. Heinz Kohler

Speaker of the Institute for Sensor and Information Systems at Karlsruhe University of Applied Sciences

Contact

Prof. Dr. rer. nat. Heinz Kohler

Karlsruhe University of Applied Sciences

Faculty of Electrical Engineering & Information Technology

Moltkestr. 30

76133 Karlsruhe

E-mail: heinz.kohler@hs-karlsruhe.de



As one of the world's leading analytical instrumentation companies, Bruker covers a broad spectrum of advanced solutions in all fields of research and development. All our systems and instruments are designed to improve safety of products, accelerate time-to-market and support industries in successfully enhancing quality of life.

We've been driving innovation in analytical instrumentation for 60 years now. Today, worldwide more than 7,000 employees are working on this permanent challenge, at over 90 locations on all continents.



At Bruker BioSpin (located in Ettlingen by Karlsruhe), we are specialized in following technologies:

- Nuclear Magnetic Resonance (NMR)
- Electron Paramagnetic Resonance (EPR)
- Compact Nuclear Magnetic Resonance
- Magnetic Resonance Imaging (MRI)
- Magnetic Particle Imaging (MPI)
- MicroCT
- PET/SPECT/CT

We offer you:

- An international and collegial work environment
- Interdisciplinary teams
- Agile ways of working

We welcome:

- Creativity
- Open-mindedness



Contact: career@bruker.com

www.ingbw.de

ING  BW

Ingenieurkammer Baden-Württemberg
voranbringen – vernetzen – versorgen

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



HEBERGER

FROM VISION TO REALITY



- Schlüsselfertiger Industriebau
- Betonfertigteilverk
- Parkhausbau

HEBERGER plant, projiziert und baut Gebäude und Produktionsstätten für Kunden aus Gewerbe, Industrie, Wohnungswirtschaft und öffentliche Institutionen. Seit über 70 Jahren arbeiten wir partnerschaftlich mit ihnen zusammen und begleiten ihre Expansion im In- und Ausland.
HEBERGER Gruppe | Waldspitzweg 3 | 67105 Schifferstadt | www.heberger.com

Wärmewende in der Industrie

Markus Bohlayer, Daniel Bull, Markus Fleschutz und Marco Braun

Ziel dieses Projekts ist es, Verfahren und Lösungen für eine systemdienliche Wärmewende in einem realen Unternehmensumfeld zu erarbeiten, darzustellen und der Allgemeinheit zur Verfügung zu stellen. Dazu wird in Zusammenarbeit mit unterschiedlichen Akteuren der Energiewirtschaft, die als assoziierte Partner eingebunden werden, exemplarisch die Energieversorgung von zehn unterschiedlichen Industriekomplexen systematisch untersucht, wobei der Schwerpunkt auf der Elektrifizierung der Wärmebereitstellung liegt. Für die Analyse werden Simulations-, Optimierungs- und Analysetools eingesetzt, die zum Teil eigens dafür entwickelt werden.

The aim of this project is to develop, present and disseminate procedures and solutions for systemically useful thermal energy transition in a real corporate environment. In cooperation with different actors from the energy industry, who will be involved as associated partners, the energy supply system of 10 different industrial complexes will be systematically investigated, with the focus on the electrification of the heat supply. Simulation, optimisation and analytic tools will be used for the analysis, some of which will be specially developed for this purpose.

Hintergrund

Die Industrie nutzt in Deutschland derzeit ca. 47 % des gesamten produzierten Stroms und ca. 40 % der gesamten produzierten Wärme [1], [2]. Bei gleichbleibender oder steigender industrieller Produktion in Deutschland können die Klimaschutzziele zur Reduktion der Treibhausgase (THG) – bis 2030 um 55 %, bis 2040 um 70 %, bis 2050 weitgehende Treibhausgasneutralität – nicht ohne erhebliche Änderungen der Energieverbrauchsstrukturen der Industrieunternehmen erreicht werden. Durch den bis heute realisierten und zukünftig fest geplanten steigenden Anteil der regenerativen Energien an der Stromerzeugung werden durch diese Stromwende auch die strombedingten THG-Emissionen der Industrie reduziert. Neben dieser Stromwende ist aber auch eine systemdienliche Wärmewende in der industriellen Energieversorgung notwendig. Dabei gilt es einerseits, die Wärmeversorgung zu dekarbonisieren und andererseits, zukünftig auftretende Stromüberschüsse aus der volatilen regenerativen Stromerzeugung zu integrieren und Dunkelflauten zu überbrücken. Eine gleichzeitige Betrachtung dieser beiden Herausforderungen eröffnet durch eine realisierte Sektorkopplung neue Chancen für innovative Akteure auf dem Energiemarkt.

Allgemein

An der Fakultät für Wirtschaftswissenschaften wird, gefördert durch das Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit (BMU) im Rahmen der Deutschen Klimaschutzinitiative im Zeitraum 1. Februar 2019 bis 31. Januar 2022 das Forschungsprojekt „WIN4climate – Wärmewende in der Industrie“ durchgeführt, um Verfahren und Lösungen für diese systemdienliche Wärmewende in einem realen Unternehmensumfeld zu erarbeiten. Dazu wird in Zusammenarbeit mit unterschiedlichen Akteuren der Energiewirtschaft, die als assoziierte Partner eingebunden sind, exemplarisch die Energieversorgung von zehn unterschiedlichen Industriekomplexen (große Industrieunternehmen oder Unternehmensverbände mit einer gemeinsamen Versorgungsstruktur) optimiert. Mit Hilfe mathematischer Modellbildung und Optimierung werden die industriellen Energieerzeugungsstrukturen ermittelt, die im realen Betrieb sowohl die THG-Emissionen reduzieren als auch durch eine Vermarktung der Flexibilität auf Preissignale der Strommärkte reagieren und so zur Stabilisierung des Gesamtsystems beitragen. Dieser Ansatz erweitert den Einsatzbereich des immer notwendiger werdenden Demand Side Managements (DSM) von der Steuerung der individuellen industriellen Produktionsprozesse um die netzdienliche Steuerung der innerbetrieblichen Energieversorgungsstrukturen. Damit können die Ansätze, Prozesse und Lösungen dieses Projekts viel einfacher auch auf andere Unternehmen übertragen werden. Gleichzeitig ermöglicht er, durch zusätzliche Erlöse auf dem Strommarkt, die Energieversorgungskosten für die Unternehmen zu senken.



Wärmewende in der Industrie

Abb. 1: Logo des Projekts „WIN4Climate – Wärmewende in der Industrie“

Projektziel

Ziel des Projekts ist es, die Wärmeversorgung in der Industrie zu dekarbonisieren und auftretende Stromüberschüsse aus der volatilen regenerativen Stromerzeugung zu integrieren und Dunkelflauten zu überbrücken. Eine gleichzeitige Betrachtung dieser beiden Herausforderungen eröffnet durch eine realisierte Sektorenkopplung neue Chancen für innovative Akteure auf dem Energiemarkt.

Ziel dieses Projekts ist es, Verfahren und Lösungen für diese systemdienliche Wärmewende in einem realen Unternehmensumfeld zu erarbeiten, darzustellen und der Allgemeinheit zur Verfügung zu stellen. Dazu wird in Zusammenarbeit mit unterschiedlichen Akteuren der Energiewirtschaft, die als assoziierte Partner eingebunden werden, exemplarisch die Energieversorgung von zehn unterschiedlichen Industriekomplexen (große Industrieunternehmen oder Unternehmensverbände mit einer gemeinsamen Versorgungsstruktur) systematisch untersucht. Mit Hilfe mathematischer Modellbildung und Optimierung werden Betriebsstrategien und Erzeugungsstrukturen berechnet, die sowohl die THG-Emissionen reduzieren als auch, durch eine Vermarktung der Flexibilität, auf Preissignale der Strommärkte reagieren und so einen Beitrag zur Stabilisierung des Gesamtsystems leisten. Auf Grund der niedrigen Grenzkosten erneuerbarer Energien korrelieren Strompreise und CO₂-Emissionsfaktor des jeweiligen Zeitpunkts stark. Durch eine Verschiebung der Last in Zeiten niedriger Kosten wird erneuerbare Energie bevorzugt genutzt und THG-Emissionen vermieden. Die Kopplung der Sektoren über Kraft-Wärme-

Kopplung und Power-to-heat findet hierbei genauso Anwendung wie die Effizienzsteigerung durch die Nutzung von (Niedertemperatur-)Abwärme.

Im Rahmen der integralen Betrachtung (s. Abb. 2) dieses Projekts werden

- eine Methodik zur Identifizierung eines dekarbonisierten und flexiblen Wärmeversorgungssystems mit detaillierten Simulationsmodellen entwickelt und angewendet,
- konkrete Betriebsstrategien zur systemdienlichen Vermarktung der neu geschaffenen Flexibilität entwickelt und angewendet und
- die Diffusion und Verbreiterung dieser Strategie durch den Einbezug und die Vernetzung assoziierter Partner, sowie durch die Entwicklung flexibilitätsbasierter Geschäftsmodelle gewährleistet.

In diesem Projekt hingegen werden diese Aspekte in einem Ansatz zur praktischen Dekarbonisierung der industriellen Wärmeversorgung zusammengeführt und in realen Unternehmen unter den aktuellen energiewirtschaftlichen Randbedingungen angewendet. Dabei baut dieses Projekt auf den Erkenntnissen der Projekte DSM-BW, DSM-Bayern und FlexHKW auf. Im Vergleich zu DSM-BW, DSM-Bayern, Interflex4Climate und SynErgie konzentriert sich das Projekt jedoch bei der Flexibilisierung nicht auf die individuellen Produktionsprozesse, sondern primär auf die flexible Ansteuerung der regenerativen Versorgungsstrukturen der Unternehmen mit Prozess- und Heizwärme und die Energiespeicher im System. Dazu wird von der Energieversorgung der ausgewählten Industriekomplexe

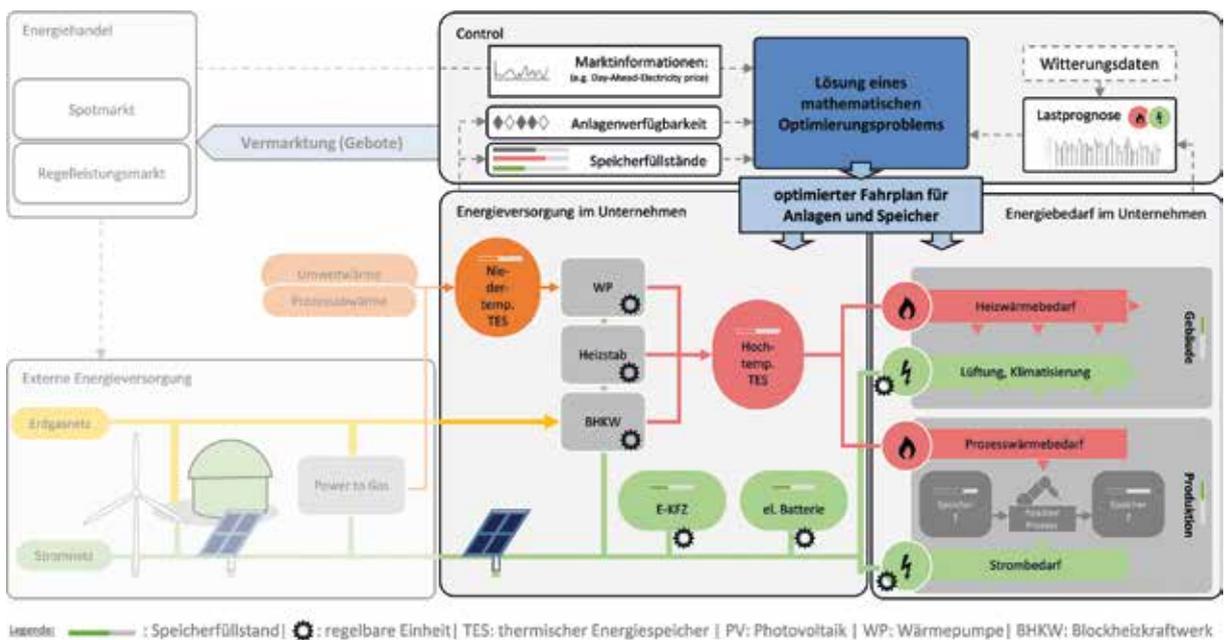


Abb. 2: Schematische Darstellung der integralen Optimierung

jeweils ein individuelles Simulationsmodell erstellt (s. Abb. 1) die industrielle Produktion und die Gebäude des Unternehmens bzw. der Unternehmen den zeitlich zu erzeugenden Wärme- und Strombedarf vorgeben. Dieses Energiesystemmodell wird um geeignete, regenerativ angetriebene und flexibel nutzbare Energieanlagen und Energiespeicher erweitert. Mit der Kopplung der zeitlich abhängigen Kosten und Erlöse auf dem Strommarkt wird das wirtschaftliche Optimum (Investition mit Abschreibungen, Verbrauch und Erlöse) einer weitgehend THG-freien Energieversorgungsstruktur numerisch bestimmt und das so ermittelte Ziel-Energiesystem ebenfalls als Simulationsmodell abgebildet. Das Modell berücksichtigt die Sensitivitäten der Einflussparameter auf Basis der Marktinformationen. So wird für einen laufenden Produktionsbetrieb das jeweilige Energiesystem (Ist-Energiesystem und Ziel-Energiesystem) simuliert und der Einsatz der jeweiligen Anlagen abhängig von den aktuellen Marktinformationen des Energiemarkts (Kosten und Erlöse) geplant. Somit kann der Kostenunterschied des optimierten regenerativen Ziel-Energiesystems und des derzeitigen Ist-Energiesystems dargestellt werden und so die Wirtschaftlichkeit der dekarbonisierten Lösung auch im industriellen Realbetrieb gezeigt werden. Dabei ermöglicht die Steuerung der Energieanlagen anhand der aktuellen Marktpreise die Erlösoptionen, die Speicher wirtschaftlich werden lassen können.

Wirkungskette zur Reduktion der Treibhausgase

Das technische Konzept zur Dekarbonisierung der industriellen Wärmeversorgung ist abhängig von vielen Randbedingungen (z. B. Temperaturniveau, zeitlicher Verlauf des Bedarfs). Im Projekt werden durch Modellbildung, Simulation und mathematische Optimierung die Technologien identifiziert, welche THG-Emissionen vermeiden und gleichzeitig Erlöspotenziale für mögliche Betreiber bieten. Reduziert werden hierbei die Emissionen über unterschiedliche Wirkmechanismen.

Je nach Temperaturniveau des Wärmebedarfs und regionalen Gegebenheiten können fossile Brennstoffe durch Solarthermie, Geothermie oder aber durch biogene Brennstoffe ersetzt werden. Letztere schaffen darüber hinaus durch den Einsatz in Kraft-Wärme-Kopplungs-Anlagen in Verbindung mit Wärmespeichern Flexibilität in der Stromerzeugung, welche die Integration von erneuerbaren Energien im Stromnetz befördert. Durch eine Elektrifizierung der Wärmeversorgung ist es möglich, überschüssige Strommengen aus dem Netz aufzunehmen und so fossile Brennstoffe zu substituieren. Besonders die Wärmeversorgung auf niedrigem Temperaturniveau begünstigt die Nutzung von Niedertemperaturabwärme durch Wärmepumpen. Abbildung 3 gibt eine Übersicht über die technischen Wirkungsketten zur THG-Reduzierung.

Power-to-Gas (PtG) ermöglicht, überschüssige Strommengen mittels Wasserelektrolyse zur Gewinnung von Wasserstoff zu nutzen bzw. durch nachgeschaltete Methanisierung ein Brenngas herzustellen, wobei ein Großteil der eingesetzten Energie als Abwärme freigesetzt wird. Diese Abwärme könnte ganzjährig in industriellen Prozessen genutzt werden und so die Effizienz der PtG signifikant steigern.

Aufbauend auf den Erfahrungen aus dem Projekt Interflex4Climate lassen sich je nach Anforderung an die Amortisationszeit der Unternehmen 30 % bis 80 % der von der Wärmeerzeugung verursachten THG-Emissionen einsparen. Alleine für die zehn untersuchten Industrieunternehmen mit mindestens 5 GWh thermischem Wärmebedarf (durchschnittlich 10 GWh) entspricht dies zwischen 6 000 und 16 000 t THG.

Durch die Wandlung der Energiemärkte ergeben sich neue Erlöspotenziale, die den Wandel hin zu einer THG-neutralen Wärmeversorgung unterstützen können. In diesem Projekt werden diese Potenziale erschlossen,

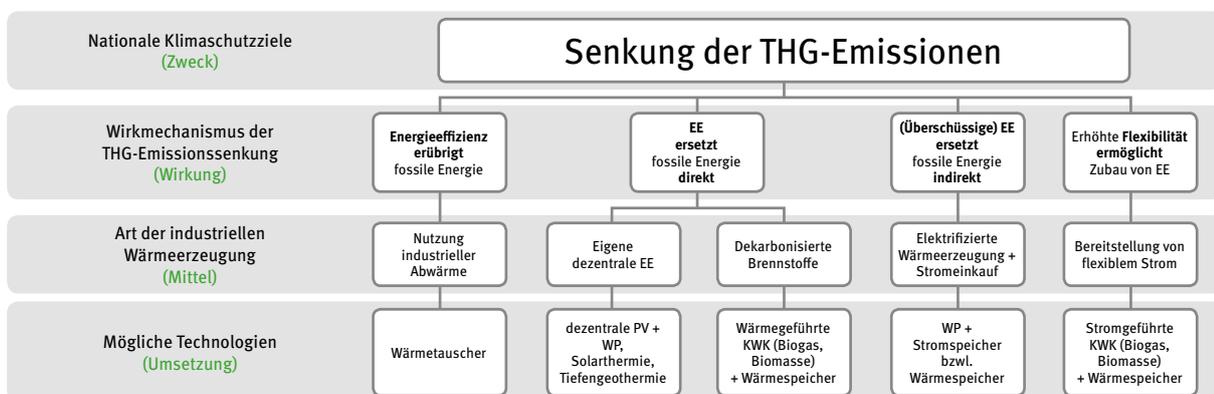


Abb. 3: Schematische Darstellung der technischen Wirkungskette: Möglicher Beitrag verschiedener Technologien der industriellen Wärmeerzeugung zu den nationalen Klimaschutzzielen

mit den assoziierten Partnern neue Geschäftsmodelle identifiziert und so eine Diffusion der Methodik sichergestellt. Die Partner aus dem Handlungsfeld Energiewirtschaft werden hierzu frühzeitig einbezogen, um technische und ökonomische Anforderungen zu identifizieren. Eine Vernetzung der assoziierten Partner und ein bilateraler Wissenstransfer soll hierbei die Umsetzung von Best-Practice-Projekten vorantreiben. Die erarbeiteten Lösungsansätze sollen darüber hinaus durch ein professionelles Kommunikationskonzept Verbreitung finden, dessen Kernaspekte lauten:

- Regelmäßige Workshops mit den beteiligten assoziierten Partnern
- Jahreskonferenzen zur Verbreitung der Erkenntnisse
- Begleitende Publikationen zur Methodik der System- und Betriebsoptimierung
- Leitfaden zur Diffusion und Übertragung des Vorhabens
- Einbezug und Verbreitung der Projektergebnisse über geeignete Verbände

Ausblick

Die Hochschule Karlsruhe und insbesondere die Fakultät für Wirtschaftswissenschaften leisten mit dem Projekt „WIN4climate - Wärmewende in der Industrie“ einen Beitrag zur Erreichung der Klimaschutzziele. Durch die Anwendung wissenschaftlicher Methoden im realen Unternehmensumfeld sollen Handlungsalternativen identifiziert werden, die eine Dekarbonisierung von produktionsbedingten Wärmebedarfen ermöglichen. Im Projekt wird darüber hinaus Software entwickelt, welche künftig Industrieunternehmen und Ingenieurbüros die ökologische und ökonomische

Potenzialbestimmung von Investitions- und Anreizveränderungsmaßnahmen inklusive Lastverschiebungsmaßnahmen ermöglicht und so auch nach der Projektlaufzeit einen Mehrwert schafft.

Literatur

- [1] Umweltbundesamt, 05/2017, *Energieverbrauch für fossile und erneuerbare Energien*
- [2] Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft (BDEW), 02/2017, *Stromverbrauch in Deutschland nach Verbraucherguppen*

Autoren

Markus Bohlayer M.Sc.

Daniel Bull M.Sc.

Markus Fleschutz M.Sc.

Akademische Mitarbeiter an der Fakultät für Wirtschaftswissenschaften

Prof. Dr.-Ing. Marco Braun

Professor an der Fakultät für Wirtschaftswissenschaften der Hochschule Karlsruhe

Kontakt

Prof. Dr.-Ing. Marco Braun

Hochschule Karlsruhe – Technik und Wirtschaft

Fakultät für Wirtschaftswissenschaften

Moltkestraße 30

76133 Karlsruhe

E-Mail: marco.braun@hs-karlsruhe.de

Energieeffiziente Nahwärmerversorgung mit Uponor Ecoflex

Uponor

Wärmerversorgung, Kühlungsnetze und Trinkwasserversorgung von Uponor
www.uponor.de

Trinkwasser: Nachhaltige Arsenentfernung und Wasserentsalzung in Vietnam

Ulrich Hellriegel, Edgardo Cañas Kurz und Jan Hoinkis

In vielen Ländern Südostasiens sind Grundwasserquellen durch Arsen kontaminiert und durch das Eindringen von Meerwasser versalzt. Die Pilotanlagen zur Arsenentfernung und zur Entsalzung von Brackwasser für die Trinkwassergewinnung aus kontaminiertem Grundwasser wurden im Rahmen des Projekts WaKap in Vietnam in Betrieb genommen. Diese zeigen eine hervorragende unterirdische Entarsenierung, eine fast vollständige Eisenentfernung sowie eine energie günstige Entsalzung. Der geringe spezifische Energiebedarf von knapp 1,0 kWh/m³ für die Wasseraufbereitung ermöglicht die Kombination mit erneuerbaren Energiequellen aus z. B. Solar- und Windkraftanlagen. Eine dritte Pilotanlage zur küstennahen Trinkwassergewinnung soll neue Möglichkeiten für die Trinkwasserversorgung stark salzhaltigen Brackwassers eröffnen.

Many water resources of various countries in Southeast Asia are polluted by arsenic and can have high salt concentrations due to seawater intrusion. Pilot plants for the arsenic removal and the desalination of brackish water for the production of drinking water were put into operation in Vietnam under the WaKap project. These plants showed excellent subsurface arsenic mitigation and a near-complete iron removal, as well as an energy-efficient desalination of the saline groundwater. The low specific energy demand of just 1.0 kWh / m³ for the water treatment makes the combination with renewable energy sources such as solar and wind possible. A third pilot plant in coastal areas with high saline brackish water will open up new possibilities for drinking water supply in these regions.

Das Verbundprojekt „WaKap“ - Modulares Konzept zur nachhaltigen Wasserentsalzung mittels Kapazitiver Deionisierung startete im September 2016 mit dem Ziel, technische Lösungen für die autonome Trinkwassergewinnung mit Hilfe von Wasserentsalzung und Arsenentfernung - am Beispiel Vietnam - zu entwickeln. Hier und in vielen Ländern Südostasiens sind Grundwasserquellen durch teilweise sehr hohe, geochemisch bedingte, Arsen-Konzentrationen kontaminiert und zudem durch das Eindringen von Meerwasser versalzt.

Im Rahmen des Projekts „WaKap“ wurden bisher zwei Pilotanlagen zur Arsenentfernung und Entsalzung von Brackwasser entwickelt. Die Behandlung von arsenhaltigem Grundwasser erfolgt durch eine in-situ-Behandlung (SAR = Subsurface Arsenic Removal), die auf einem unterirdischen Oxidationsprozess beruht, der davor nur zur Enteisung und Entmanganung in Europa verwendet wurde. Für die Trinkwassergewinnung

aus Brack- und Grundwasser erfolgt die Entsalzung mittels einer neuartigen Technologie, der „Kapazitiven Deionisierung“ (CDI). Die Pilotanlagen wurden in Zusammenarbeit mit der Vietnamesisch-Deutschen-Universität am Mekong Delta aufgebaut und betrieben.

Die erste Pilotanlage wurde Juni 2017 in An Giang in Betrieb genommen. Neben einer nahezu vollständigen Eisenentfernung konnte die Anfangskonzentration für Arsen von ca. 0,08 mg/l nach der ersten Woche auf unterhalb des WHO-Trinkwassergrenzwerts von 0,01 mg/l gesenkt werden. Der Arsengehalt des aufbereiteten Wassers wurde in Abhängigkeit des Tagesablaufs sowie bei einer Überziehung auf oberhalb der Aufbereitungsgrenze von 2 m³/Tag untersucht. Die maximale Arsenkonzentration blieb stets unterhalb der Trinkwassergrenze von 10 µg/l. Nach zweieinhalbjährigem Betrieb konnten somit die Stabilität des in-situ-Aufbereitungsprozesses und die langfristige Arsenentfernung bestätigt werden. Wesentliche Vorteile des Konzepts sind der abfallfreie Prozess, da das Arsen im Grundwasserleiter gebunden wird sowie der geringe spezifische Energiebedarf von 0,3 - 0,4 kWh/m³ und 0,8 - 1,0 kWh/m³ für die (Netto)-Förderung der Nutzwassermenge und die Wasseraufbereitung.

Juni 2018 wurde die zweite Pilotanlage in Kombination mit CDI zur Entfernung von Eisen, Arsen und die Entsalzung vom Brackwasser in Küstennähe in „Tra Vinh“



Abb. 1: Pilotanlagen im Mekong Delta, Vietnam

im Mekong Delta installiert. Dort weist das Grundwasser neben Eisen und Arsen erhöhte Salzkonzentrationen von >1.5 g/l auf.

Abbildung 2 zeigt das Schema der Anlage. Die Tauchpumpe wird zur Förderung des kontaminierten Grundwassers in Tank T1 benutzt. Der Aufbereitungsprozess wird in zwei Teilprozesse aufgeteilt. Zuerst wird das arsenhaltige Wasser mit einer Booster-Pumpe über einen Injektor belüftet und anschließend vom SAR-Tank mittels Schwerkraft in den Grundwasserleiter zurückgeleitet. Die Eisenoxidation bzw. Arsenadsorption finden unterirdisch statt. Der Vorteil dieses Prozesses ist die hohe Aufbereitungsleistung von bis zu 10 m³/Tag.

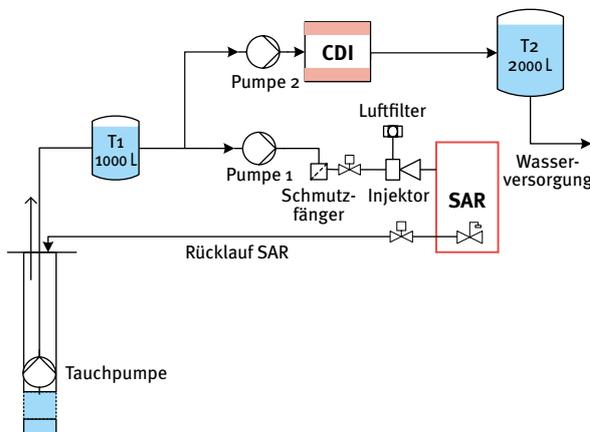


Abb. 2: Schema - Pilotanlage „Tra Vinh“

Zur Senkung der hohen Leitfähigkeit des Grundwassers ($3,5$ mS/cm) unterhalb des Trinkwassergrenzwerts wird das arsenfreie Grundwasser in T1 mittels der CDI weiter aufbereitet. Vorteil der CDI ist der geringe spezifische Energieaufwand. Die Betriebsparameter der CDI werden jedoch derzeit noch optimiert. Das Ziel ist die Ausbeute der CDI auf $>70\%$ zu erhöhen und somit den spezifischen Energiebedarf auf < 1.5 kWh/m³ zu senken.

Der geringe Energieverbrauch ermöglicht außerdem die Kopplung mit regenerativen Energiesystemen wie Solar- und Windkraftanlagen. Die Pilotanlage in Tra Vinh wird deshalb autonom mit Photovoltaik und Windenergie betrieben. Die PV-Anlage mit 3 kWp und die Kleinwindturbine mit 2 kWp (s. Abb. 3) werden zur Versorgung der Anlage sowie zur Aufladung des Batteriesystems verwendet. Das PV-Modul produziert täglich, abhängig von der Wetterlage, etwa $9,3$ kWh. Die Differenz zum theoretischen Energieertrag ist auf Effizienzverluste durch Temperaturerhöhung der Module zurückzuführen. Für das gesamte Konzept werden die Betriebszeiten angepasst, sodass der maximale Verbrauch tagsüber bei solarer Einstrahlung stattfindet.

Somit kann nicht nur die PV-Kapazität, sondern auch die Größe der Batteriespeicher verkleinert werden.



Abb. 3: PV-Anlage und Kleinwindturbine (Foto: Tanvu Luong)

Eine dritte Pilotanlage zur küstennahen Trinkwassergewinnung aus stark salzhaltigem Brackwasser wird zurzeit aufgebaut. Die Kombinationsanlage bestehend aus einem CDI und einem Niederdruck-Umkehrosmose-Modul und wird in Zusammenarbeit mit Vertretern des Can Gio Distrikts im Mekong Delta im November 2019 in Betrieb genommen. Can Gio liegt südöstlich von Ho Chi Minh Stadt und ist aufgrund von Meerwasserintrusion einer hohen Oberflächen- und Grundwasserver-salzung (TDS = $10 - 30$ g/l) ausgesetzt. Das modulare Konzept zur Wasserentsalzung soll neue Möglichkeiten für die Trinkwasserversorgung in dieser Region eröffnen.

WaKap wurde im Zeitraum vom 01.09.2016 bis zum 31.12.2019 unter dem Förderkennzeichen 02WAV1413A vom Bundesministerium für Bildung und Forschung BMBF gefördert. Mehr Informationen zu WaKap finden Sie unter: www.wakap.de

Autoren

Ulrich Hellriegel M.Sc.

Edgardo Cañas Kurz M.Sc

Akademische Mitarbeiter am Center of Applied Research (CAR) der Hochschule Karlsruhe

Prof. Dr.-Ing. Jan Hoinkis

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

Kontakt

Prof. Dr.-Ing. Jan Hoinkis

Hochschule Karlsruhe – Technik und Wirtschaft

Fakultät für Elektro- und Informationstechnik

Moltkestraße 30

76133 Karlsruhe

E-Mail: jan.hoinkis@hs-karlsruhe.de

Telefon: +49 (0) 721 925-2359

Bockbier durch induktive Kristallablösung

Rouven Otto und Michael Kauffeld

Die Herstellung von Eisbock im Gefrierfraktionierungsverfahren ist gemeinhin bekannt. Dabei wird teilweise Wasser im Bier ausgefroren und vom restlichen Fluid getrennt. Inhaltsstoffe wie Aromen, Alkohol etc. werden dabei aufkonzentriert. Die üblichen Verfahren der Gefrierfraktionierung sind energie- und zeitintensiv. Deshalb soll das an der Hochschule Karlsruhe entwickelte Verfahren der induktiven Kristallablösung weiterentwickelt werden. Dabei wird Wasser an einem magnetisierbaren Material angefroren, über Induktion gelöst und vom Fluid getrennt.

A commonly used method for producing ice beer is the process of fractional freezing. The water parts of the beer are frozen and separated from the remaining liquid. Ingredients such as flavors, alcohol, etc. are concentrated. The common methods of fractional freezing are energy and time consuming. For this reason, the process of inductive crystal detachment developed at Karlsruhe University of Applied Sciences is used. Water is frozen on a material which can be magnetized, dissolved by induction and separated from the liquid.

Eisbock ist eine besondere Sorte Bockbier. Es wird hergestellt, indem Bier nach der Vergärung bei Temperaturen von bis zu -4°C gelagert wird. Ein Verfahren zur Herstellung von Eisbock ist die Gefrierfraktionierung, bei der das flüssige Ausgangsprodukt abgekühlt und teilweise ausgefroren wird. Das ausgefrorene Wasser wird anschließend vom Fluid getrennt. Dies führt zur Aufkonzentration der Inhaltsstoffe in der verbleibenden flüssigen Phase. Gegenüber der Destillation hat dieses Verfahren viele attraktive Vorteile (Schonung des Produkts, geringerer Energieeinsatz). Da durch dieses Verfahren nur der Wassergehalt verringert wird, entspricht Eisbock immer noch der Bier-Definition.

Während die Gefrierfraktionierung im Batch-Verfahren seit längerem bekannt ist, ist sie mit dem Nachteil behaftet, dass Eis als guter thermischer Isolator wirkt, der dem Wärmeentzug entgegenwirkt, wodurch der Prozess einen hohen Energie- und Zeitbedarf hat. Zusammen mit der Albert Frey AG, wird ein bestehendes Gefrierfraktionierungsverfahren im Durchlaufverfahren weiterentwickelt. Im bisherigen Verfahren des Projektpartners dient die Außenwandung eines flüssigkeitsdurchströmten Rohrs als Wärmeübertragungsfläche. Im Innern des Rohrs befindet sich ein rotierender Schaber, der die Außenwand nahezu berührt und die oberste Schicht der sich gebildeten Eisschicht abschert und zerkleinert. Eine Eis-/Flüssigkeits-Suspension wird erzeugt - die fließ- und pumpfähig bleibt. Dadurch kann das Eis rasch von der Wärmeübertragungsfläche abgeführt werden, wodurch vermieden wird, dass die entstehende Eisschicht als Isolator wirkt.

Das Verfahren hat den Nachteil, dass durch das mechanische Ablösen mit beweglichen Teilen, hohe

Umwandlungsverluste entstehen und eine hohe Verschleißanfälligkeit (Motor, Lager, Schaber, etc.) gegeben ist. Da im Lebensmittelbereich hohe Anforderungen an Produktionsanlagen gestellt werden, müssen die Anlagen häufiger auf Verschleißerscheinungen überprüft und gewartet werden. Des Weiteren sind die erzeugten Eispartikel sehr klein ($<0,5\text{ mm}$), was deren Separation erschwert [1]. Deshalb soll das an der Hochschule Karlsruhe entwickelte Verfahren der Induktiven Kristallablösung eingesetzt werden, das die Eisablösung ohne mechanisch bewegte Teile ermöglicht: die Kristallablösung durch Induktionserwärmung [2].

Vorteile der Induktionserwärmung, die unter anderem beim Randschichthärten oder bei Küchenkochfeldern eingesetzt wird, sind eine hohe spezifische Heizleistung, kurze Prozesszeiten, ein präziser kontrollierbarer Prozess und ein hoher Gesamtwirkungsgrad [2, 3].

Ein magnetisches Wechselfeld wird durch einen Wechselstrom in einem elektrischen Leiter, dem Induktor, erzeugt [2, 4]. Die induzierte Spannung erzeugt Wirbelströme in der elektrisch leitfähigen Schicht, die in Joule'sche Wärme direkt in dem Werkstück umgewandelt wird [2, 4, 5]. Über die Induktion lassen sich über die Werkstückoberfläche Leistungen von $> 100\text{ MW/m}^2$ übertragen [2, 5, 6]. Temperaturanstiege von $\Delta T > 1000\text{ K/s}$ sind realisierbar [2, 6-8].

Aufgrund der inneren Verluste durch die zeitharmonische Anregung ist im Werkstück die Stromstärke der Wirbelströme ortsabhängig. Es gilt

$$J(z) = J_0 \cdot e^{-\frac{z}{\delta}}$$

mit der orthogonale Entfernung zur Oberfläche z . Die Eindringtiefe δ , auch Skin-Effekt genannt, kann über

$$\delta = \sqrt{\frac{1}{\pi \cdot f \cdot \mu \cdot \kappa}}$$

mit der Permeabilität μ , der elektrischen Leitfähigkeit κ und der Frequenz f berechnet werden.

Mit der Eindringtiefe kann bestimmt werden, in welcher Werkstücktiefe die elektrische Feldstärke auf $\frac{1}{e} \approx 37\%$ gesunken ist. Eine Erhöhung der Frequenz reduziert die Eindringtiefe.

Die in Wärme umgewandelte Leistungsdichte p im Werkstück wird mit

$$p(z) = \frac{J_0^2}{\kappa} \cdot e^{-\frac{2 \cdot z}{\delta}}$$

berechnet.

Die instationäre Wärmeleitung im ortsabhängigen Werkstück wird über

$$c_p \cdot \rho \frac{\partial T}{\partial t} = \text{div}(\lambda \cdot \text{grad}T) + \kappa \cdot E_0^2 \cdot e^{-\frac{2z}{\delta}}$$

mit spezifischer Wärmekapazität c_p , Dichte ρ , Temperatur T , Zeit t und Wärmeleitfähigkeit λ berechnet.

Daraus ergibt sich eine Abhängigkeit der ortsabhängigen Werkstücktemperatur von Magnetfeldparametern, Oberflächenfeldstärke, Frequenz und Materialparametern, der elektrischen und der thermischen Leitfähigkeit und der spezifischen Wärmekapazität. Bei konstanten Materialparametern ist die induktive Eisablösung von der Frequenz, der Oberflächenfeldstärke, der Starttemperatur und der Dauer der Erwärmung abhängig. [2]

Der Aufbau des Eisgenerators ist einem Rohr-in-Rohr-Wärmeübertrager nachempfunden (s. Abb. 1).

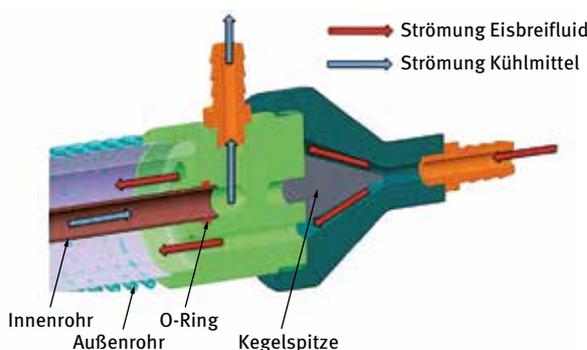


Abb. 1: Eisgenerator [9]

Das Innenrohr besteht aus einem magnetisierbaren, das Außenrohr aus einem nicht magnetisierbaren Werkstoff. Das Kühlmedium fließt durch das Innenrohr, das Fluid durch das Außenrohr. Hat das umströmende Eisbreifluid die Kristallisationstemperatur erreicht, friert Eis am Innenrohr aus. Über induktive Wärmeimpulse wird die unterste Eisschicht abgelöst, der Fluidstrom transportiert das Eis ab. Für die Untersuchungen wird als Substitut für Bier ein 5%iges Ethanol- /Wassergemisch verwendet, das im späteren Verlauf durch echtes Bier ersetzt wird. Der Versuchsaufbau ist schematisch in Abbildung 2 dargestellt.

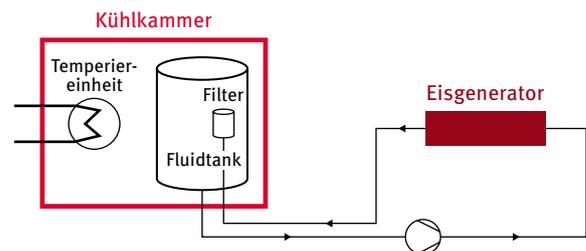


Abb. 2: Schematischer Aufbau Versuchsstand

Um den Wärmeeintrag aus der Umgebung gering zu halten, wird der Tank mit dem zu untersuchenden Fluid in einer Kühlkammer auf knapp unterhalb der Gefrieretemperatur gehalten. Das vorgekühlte Fluid wird in den induktiven Eisgenerator befördert und ausgefroren. Das gebildete Eis wird über Induktion abgelöst und anschließend abfiltriert. Ein wichtiges Maß für die Effizienz dieses Prozesses ist die erzeugte Eismasse pro Zeit in Abhängigkeit des Energieeintrags durch die Induktion.

Ziel des Projektes sind die Untersuchung von Materialien für den induktiven Einsatz im Lebensmittelbereich, die Entwicklung möglicher Eisgenerator-Aufbauten und deren Effizienz sowie der Aufbau eines Prototypen.

Literaturverzeichnis

- [1] Kauffeld, M. ; Kawaji, M. ; Egolf, Peter W.: *Handbook on ice slurries : Fundamentals and engineering*. Paris : Institut international du froid = International institute of refrigeration, 2005
- [2] Schaaf, J.: *Energieoptimierte Trennung von Eis - Aluminiumverbindungen durch induktiv erzeugte Wärmeimpulse*. Berlin : LOGOS Verlag, 2017
- [3] Lupi, S. ; Forzan, M. ; Aliferov, A.: *Induction and Direct Resistance Heating, Theory and Numerical Modeling*. New York : Springer, 2015

- [4] Wrona, E.: *Numerische Simulation des Erwärmungsprozesses für das induktive Randschicht härten komplexer Geometrien*. 1. Aufl. Göttingen : Cuvillier, 2005
- [5] Baehr, H. D. ; Stephan, K.: *Wärme- und Stoffübertragung*. 7. Aufl. Berlin, New York : Springer, 2010
- [6] Pilippow, E.: *Taschenbuch Elektrotechnik: In 6 Bänden*. Wien : Hanser, 1982
- [7] Rudolph, M. ; Schaefer, H.: *Elektrothermische Verfahren : Grundlagen, Technologien, Anwendungen*. Berlin : Springer-Verlag, 1989
- [8] Starck, A.v. ; Mühlbauer, A. ; Kramer, C.: *Praxis-handbuch Thermoprozess-Technik*. Essen : Vulkan-Verlag, 2003
- [9] Brosi, D. ; Siems, L.: *Konstruktionsanpassung und Parameterstudie Eisbreigenerator*. Karlsruhe, Hochschule - Technik und Wirtschaft. 2016

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 der Hochschule Karlsruhe

Kontakt

Prof. Dr.-Ing. habil. Michael Kauffeld
Hochschule Karlsruhe – Technik und Wirtschaft
Fakultät für Maschinenbau und Mechatronik
Institut für Kälte-, Klima- und Umwelttechnik (IKKU)

Moltkestraße 30

76133 Karlsruhe

E-Mail: michael.kauffeld@hs-karlsruhe.de

PROZESSTEMPERIERUNG IN PERFEKTION

Unistate® – Spezialisten für Ihren Reaktor



Inspired by **temperature**

Unistat Prozessthermostate temperieren Ihr Reaktorsystem sicher, schnell und reproduzierbar. Dabei sind Unistate äußerst effizient und einfach in der Bedienung. Über 50 Modelle erlauben ein zuverlässiges Scale-up vom Labor bis zur Produktion.

huber

www.huber-online.com



Robuste modellbasierte Fehlerdetektion für verteilte und dezentrale Systeme

Sönke Meynen und Dirk K. Feßler

Zur Beherrschung stetig zunehmender Systemkomplexitäten werden moderne Systemarchitekturen oftmals in mehrere miteinander verbundene Teilsysteme partitioniert. Hieraus resultieren verteilte und dezentrale Strukturen. Dieser Bericht präsentiert eine neuartige Möglichkeit zur modellbasierten Fehlerdetektion für derartige Systeme. Es werden die Herausforderungen wie auch die Vorteile dieser Methode vorgestellt. Der entwickelte Algorithmus wird am Beispiel des Drei-Tank-Systems demonstriert. Ein Vergleich zwischen globalem und verteiltem Ansatz ist ebenfalls gegeben.

Modern system architectures are often partitioned into several interconnected subsystems in order to deal with increasingly complex systems. This results in distributed and decentralized structures. This report presents a novel possibility for model-based fault detection for such systems. The challenges as well as the advantages of this method are presented. The developed algorithm is demonstrated using the example of the three-tank system. A global and distributed approach are also compared.

Einleitung

Zahlreiche technische Innovationen im Bereich der mechatronischen Systeme haben in den letzten Jahren einen signifikanten Mehrwert hinsichtlich Sicherheit, Komfort, Umweltfreundlichkeit und Effizienz gebracht. Mechatronische Systeme zeichnen sich durch die Interoperabilität der Domänen Mechanik, Elektronik und Informatik aus. Jedoch ist durch die Integration der grundsätzlich eigenständigen Domänen auch die Komplexität und zumeist die Fehleranfälligkeit derartiger Systeme erheblich gestiegen. Folglich ist die Vermeidung von Gefährdungen für Mensch, Maschine sowie Umwelt ein wesentlicher Faktor für die gesellschaftliche Akzeptanz derartiger Systeme und somit entscheidend für den Erfolg eines Produkts.

Für die Realisierung von technischen Innovationen, wie beispielsweise autonomes Fahren oder Industrie 4.0, sind daher funktionale Sicherheitsmaßnahmen als Bestandteil des Gesamtsicherheitskonzepts zwingend erforderlich. Zum Erreichen der funktionalen Sicherheit (FuSi) ist es häufig erforderlich eine Diagnoseeinrichtung in die Systemarchitektur zu integrieren, um sicherheitskritische Fehler, wie z. B. der Ausfall von Systemkomponenten, frühzeitig zu erkennen [1].

Bisher wurde die Diagnose in der Praxis zumeist durch signalbasierte Verfahren realisiert, d. h. mittels einer geeigneten Informationsauswertung, wie beispielsweise Grenzwert- oder Trendüberwachung, der gemessenen Signale. Das Potential der signalbasierten Verfahren ist jedoch begrenzt, da die Messung der Signale räumlich nah an der Fehlerquelle erfolgen muss.

Ferner ist das Verfahren im Wesentlichen auf den stationären Arbeitspunkt des Systems beschränkt. Bei stationär betriebenen Systemen können somit nur fest definierte Schwellwerte überwacht werden. Eine deutlich leistungsfähigere Diagnose bietet der modellbasierte Ansatz. Hierzu wird parallel zum realen System ein quantitatives Modell des Systems geschaltet. Im Gegensatz zum signalbasierten Verfahren können somit auch die im quantitativen Modell enthaltenen Informationen über die Zusammenhänge der Signale genutzt werden. In Anlehnung an die klassische Hardwareredundanz wird dieser Ansatz auch als analytische Redundanz bezeichnet. Abbildung 1 dient zur Veranschaulichung dieser Parallelschaltung. Mit u wird die Eingangsgröße und mit y die Ausgangsgröße des Systems bezeichnet. Ein Fehler wirkt auf das reale System ein, was üblicherweise einen negativen Einfluss auf das Systemverhalten zur Folge hat. Auf Basis der Größen u und y sowie des Systemmodells besitzt der Diagnose-Algorithmus die Aufgabe den Fehler zu detektieren (Fehlerdetektion) [2].

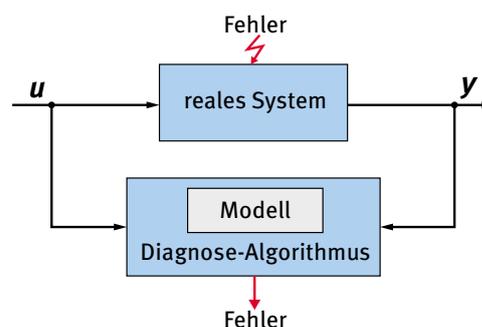


Abb. 1: Prinzip der modellbasierten Diagnose zur Fehlerdetektion.

Konsistenzbasierte Fehlerdiagnose

In dieser Arbeit wird ein konsistenzbasierter Diagnose-Algorithmus zur Fehlerdetektion verwendet. Dieser Ansatz gehört zur modellbasierten Fehlerdiagnose und basiert auf einer Zustandsmengenbeobachtung. Bei diesem Ansatz werden alle Folgezustände rekonstruiert, die von einem betrachteten Systemmodell mit einem Eingangsvektor u mit unbekannter aber beschränkter Unsicherheit („unknown but bounded uncertainty“) erreicht werden können. Des Weiteren kann das verwendete Systemmodell Unsicherheiten, wie beispielsweise Parameterunsicherheiten, aufweisen. Die Anfangszustandsmenge ist ebenfalls unbekannt aber beschränkt. Infolgedessen wird eine Zustandsmenge prädiziert, welche alle erreichbaren Zustandsvektoren enthält, die aus den unsicheren Eingangs- sowie Anfangszustandsmengen resultieren („Prädiktionsschritt“). Da eine exakte Berechnung der prädizierten Zustandsmenge eine große Herausforderung an die Rechen- sowie Speicherleistung darstellt, wird diese meist nur geeignet approximiert. Hierbei muss stets gelten, dass die Approximation eine minimale, äußere Hülle um die exakte Zustandsmenge darstellt. Dies kann durch die Verwendung von Intervallen als äußere Hülle erreicht werden. Ein geschlossenes reales Intervall $[x]$ ist definiert durch

$$[x] = [\underline{x}, \bar{x}] := \{x \in \mathbb{R} : \underline{x} \leq x \leq \bar{x}\}.$$

Durch die einfache Beschreibung als Intervall kann zusätzlicher Rechenaufwand vermieden werden. Aufgrund der Annahme, dass die Messung y ebenfalls eine unbekannte aber beschränkte Unsicherheit besitzt und folglich in eine Messmenge resultiert, kann eine Schnittmenge berechnet werden („Korrekturschritt“). Die Schnittmenge wird aus der prädizierten Zustandsmenge und der resultierenden Messmenge gebildet. Bei einer nicht-leeren Schnittmenge wird diese im nächsten Zeitschritt als Anfangszustandsmenge genutzt um die nächsten Folgezustände zu berechnen [3].

Ferner kann der Korrekturschritt zur konsistenzbasierten Fehlerdetektion eingesetzt werden. Ist die berechnete Schnittmenge eine leere Menge, weist dies auf eine Inkonsistenz zwischen Modell und Messung hin. Sind alle Unsicherheiten des Systems im Diagnose-Algorithmus korrekt erfasst, kann bei einer Inkonsistenz von einem fehlerhaften realen System ausgegangen und dadurch ein Fehler erfolgreich detektiert werden.

Verteilte und dezentrale Fehlerdetektion

In modernen Systemstrukturen müssen mehrere dezentrale und verteilte Plattformen für die Erfüllung eines gemeinsamen Ziels über ein Netzwerk miteinander interagieren. Eine derartige Struktur ist beispielsweise in modernen Kraftfahrzeugen zu finden,

bei denen eine Vielzahl von Steuergeräten miteinander kooperieren müssen. Auch auf dem Weg in die moderne Industrie (Industrie 4.0) werden autarke Plattformen für die Erfüllung eines Zielprodukts miteinander interagieren müssen. Diese Anordnung der Plattformen wird als dezentral und verteilt bezeichnet. Bei einer Dezentralisierung und Verteilung werden die im globalen System vorhandenen Einrichtungen in dezentrale Subsysteme gruppiert. Jedes Subsystem bildet nur die zugehörige relevante Subdynamik aus der globalen Dynamik ab. Jedoch müssen lokal fehlende Informationen, die in den externen Subsystemen verfügbar sind, über ein Netzwerk kommuniziert und in einem lokalen Fusionsschritt im Subsystem zusammengefügt werden [4]. Da aus der Verteilung des Systems die Dezentralisierung folgt, wird im Folgenden nur der Begriff Verteilung verwendet.

Die Herausforderung bei derartigen Systemen ist somit durch die hohe Systemkomplexität, resultierend aus der verteilten Struktur, gegeben. Jedoch bietet der Ansatz verteilter Systeme auch große Vorteile. Durch die jeweils nur lokale Betrachtung des komplexen Gesamtsystems, entstehen mehrere Subsysteme mit meist geringerer lokaler Systemordnung. Folglich werden auf den lokalen Rechnern (z. B. Steuergeräte) Systemressourcen in Form von Rechenleistung und Speicherkapazität eingespart. Diese Vorteile sollen auch bei der verteilten Fehlerdetektion genutzt werden. Die Motivation hierfür ist, dass durch die lokal geringeren Systemordnungen der Subsysteme der Diagnose-Algorithmus deutlich weniger Systemressourcen benötigt [5]. Die hierfür entwickelte Systemarchitektur mit N Subsystemen ist in Abbildung 2 dargestellt. Jedem Subsystem (Sub_i) ist ein lokaler Fehlerdetektor (LFD _{i}) mit $i = 1, \dots, N$ zugeordnet. Jeder Fehlerdetektor basiert auf dem in Abbildung 1 vorgestellten Prinzip.

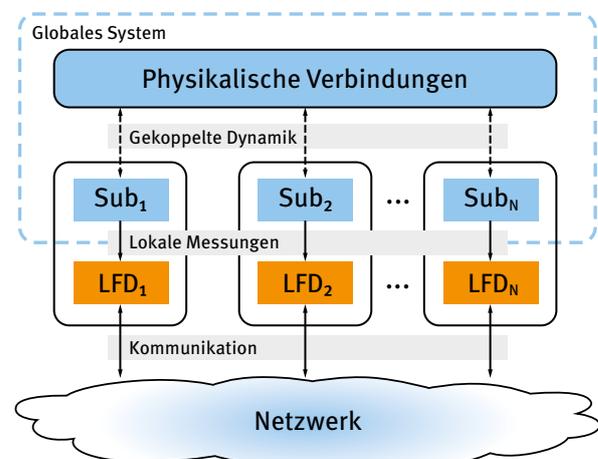


Abb. 2: Architektur zur verteilten Fehlerdetektion mit mehreren Subsystemen Sub_i und zugehörigen lokalen Fehlerdetektoren LFD _{i} [5]

Die Kommunikation zur Interaktion zwischen den einzelnen Plattformen muss jedoch bei der Fehlerdiagnose mitbetrachtet werden. Die Herausforderung ist hierbei, dass die Fehlerdiagnose nicht nur robust gegenüber Störungen und Modellungenauigkeiten sein muss, sondern auch gegen mögliche Übertragungsverzögerungen, Datenverluste, unvollständige Messungen und der Grenzkapazität von Kommunikationskanälen [6].

Eine Verteilung des Systems kann über Transformationsmatrizen erfolgen. Hierbei wird der globale Zustandsraum des globalen Systems in mehrere Subräume unterteilt, die in der Regel eine niedrigere Dimension aufweisen als die globale Betrachtung. Bei nichtlinearen Systemdynamiken ist die Verteilung durch ein heuristisches Prozedere gegeben, das in [4] vorgestellt wird. Der Diagnose-Algorithmus im LFD basiert ausschließlich auf dem Modell des Subsystems. Folglich werden auch nur die lokalen Zustandsmengen des Subsystems prädiiziert und anschließend korrigiert. Jedoch muss der Zustandsmengenbeobachter um einen zusätzlichen Fusionsschritt erweitert werden. Dieser hat die Aufgabe die lokal benötigten Zustände von externen Subsystemen mit den lokal prädiizierten Zuständen zusammenzufügen. Diese Fusion erfolgt im Korrekturschritt des jeweiligen Subsystems. Störungen aufgrund der Kommunikationen können als zusätzliche Unsicherheiten im Fusionschritt mit berücksichtigt werden [5].

Anwendung und Ergebnisse

Um die Funktion und Performance des neu entwickelten Algorithmus zu verifizieren, wurden Simulationen am Beispiel des Drei-Tank-Systems durchgeführt. Das in Abbildung 3 dargestellte Drei-Tank-System ist global betrachtet ein System dritter Ordnung.

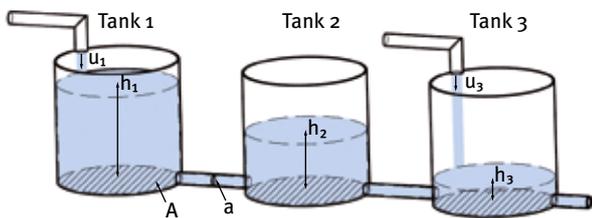


Abb. 3: Schematischer Aufbau des Drei-Tank-Systems [5]

Unabhängig vom füllenden Medium ist solch ein System in der Praxis weitverbreitet. Mit dem Eingang u als Volumenstrom und der Annahme hinsichtlich der Füllstandshöhen lässt sich das Modell wie folgt beschreiben:

$$\begin{aligned} [h_1] &= \frac{[u_1]}{[A]} - \frac{[a]\sqrt{2[g]}}{[A]} \sqrt{[h_1] - [h_2]}, \\ [h_2] &= \frac{[a]\sqrt{2[g]}}{[A]} (\sqrt{[h_1] - [h_2]} - \sqrt{[h_2] - [h_3]}), \\ [h_3] &= \frac{[u_3]}{[A]} + \frac{[a]\sqrt{2[g]}}{[A]} (\sqrt{[h_2] - [h_3]} - \sqrt{[h_3]}), \end{aligned}$$

mit dem zugehörigen Ausgangsvektor:

$$[y] = ([h_1], [h_2], [h_3])^T.$$

Die Mess- sowie Parameterunsicherheiten werden als Intervalle repräsentiert. Für eine Verteilung wird das globale System in drei Teilsysteme partitioniert. Jeder Tank entspricht einem eigenen Subsystem. Für einen Funktionstest der verteilten Fehlerdiagnose wird nach $t_f = 15s$ eine abrupte Rohrverstopfung simuliert. Hierfür wird die Querschnittsfläche α zwischen Tank 1 und Tank 2 abrupt um 30 % reduziert. Die Fehlerdiagnoseresultate aller Diagnose-Algorithmen sind in Abbildung 4 dargestellt.

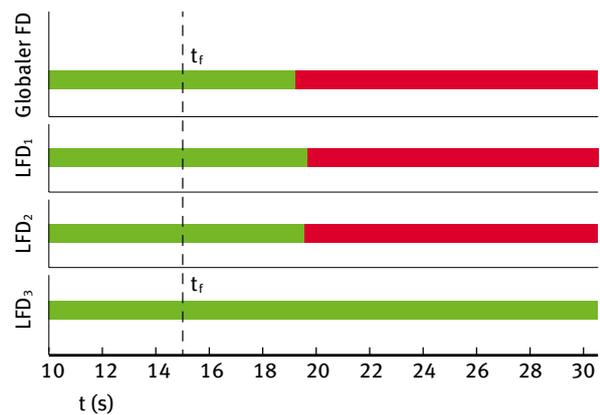


Abb. 4: Fehlerdiagnoseresultate und Performancevergleich für das Drei-Tank-System (grüner Balken: fehlerfreier Fall, roter Balken: fehlerbehafteter Fall). Der abrupte Fehler tritt zum Zeitpunkt $t_f = 15s$ auf [5]

Der globale Fehlerdetektor (FD) erfasst den Fehler erfolgreich nach ca. 4,2 s. Der Verstopfungsfehler beeinflusst im Wesentlichen nur Tank 1 und Tank 2. Folglich erkennen auch nur der LFD₁ und der LFD₂ den Fehler. Da beiden LFDs lokal weniger Informationen zur Verfügung stehen als der globalen FD, werden die Fehler nach ca. 4,5 s erkannt. Somit ist die Funktionalität einer Fehlerdetektion für die verteilte Fehlerdiagnose erfolgreich nachgewiesen. Die benötigten Berechnungszeiten in der Simulation der einzelnen Diagnose-Algorithmen sind in Abbildung 5 dargestellt.

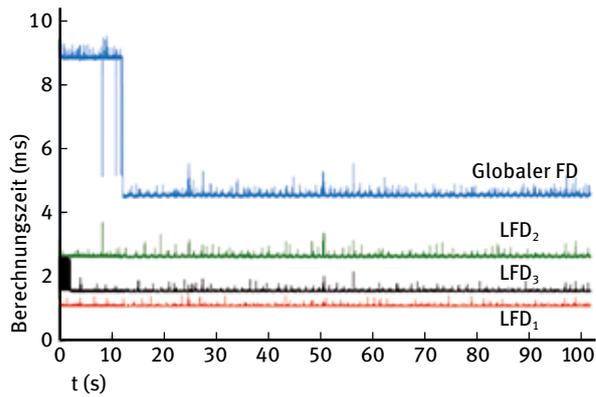


Abb. 5: Vergleich der Berechnungszeit pro Zeitschritt für jeden betrachteten Diagnose-Algorithmus [5]

Jeder Diagnose-Algorithmus ist hierbei in C++ implementiert. Ein MATLAB Mex File wird genutzt um den Algorithmus in MATLAB zu integrieren. Die Berechnungen werden auf einem Intel Core i7-4790 3,6 GHz Computer mit 16 GB Arbeitsspeicher durchgeführt. Die Berechnungszeit während des Übergangs vom Anfangszustand in den stationären Zustand benötigt die meiste Rechenzeit. Über die gesamte Simulationszeit benötigt der globale FD die höchste Berechnungszeit. Aus Abbildung 5 wird ersichtlich, dass der LFD₁ ca. 24 %, der LFD₂ ungefähr 56 % und der LFD₃ ca. 35 % der Berechnungszeit vom globalen FD im stationären Zustand benötigt. Somit kann gezeigt werden, dass die Berechnungszeiten der LFDs deutlich geringer sind.

Bestandteil weiterer Untersuchungen der verteilten Fehlerdiagnose ist die Robustheit gegenüber Ausfall von Messungen sowie die Berücksichtigung von Transportverzögerungen der Daten über das Netzwerk.

Literatur

- [1] M. Martinus, Funktionale Sicherheit von mechatronischen Systemen bei mobilen Arbeitsmaschinen, München: Technische Universität München, 2004.
- [2] J. Lunze, Automatisierungstechnik - Methoden für die Überwachung und Steuerung kontinuierlicher und ereignisdiskreter Systeme, Berlin: De Gruyter, 2016.
- [3] F. Wolff, Konsistenzbasierte Fehlerdiagnose nichtlinearer Systeme mittels Zustandsmengenbeobachtung, Karlsruhe: KIT Scientific Publishing, 2010.
- [4] P. Hilgers, Verteilte Zustandsschätzung nichtlinearer Systeme, Ilmenau: Technische Universität Ilmenau, 2012.
- [5] S. Meynen, D. Feßler und S. Hohmann, „Robust Fault Detection with a Distributed and Decentralized State-Set Observer [in press],“ *Lecture Notes in Control and Information Sciences - Proceedings*, 2019.
- [6] T. Schlage, M. Schwaiger, V. Krebs und J. Lunze, „Vergleich zweier Methoden zur modellbasierten Ferndiagnose technischer Systeme,“ *at - Automatisierungstechnik*, pp. 539-551, 04 12 2009.

Autoren

Sönke Meynen M.Sc.

Akademischer Mitarbeiter an der Fakultät für Elektro- und Informationstechnik der Hochschule Karlsruhe

Prof. Dr.-Ing. Dirk K. Feßler

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

Kontakt

Prof. Dr.-Ing. Dirk K. Feßler

Hochschule Karlsruhe – Technik und Wirtschaft

Fakultät für Elektro- und Informationstechnik

Moltkestraße 30

76133 Karlsruhe

E-Mail: dirk.fessler@hs-karlsruhe.de

Unterstützung der Security-Entwicklung von Fahrzeugen durch Angriffsanalysen

Robin Bolz, Jürgen Dürrwang, Marcel Rumez, Florian Sommer und Reiner Kriesten

In der Informationstechnik sind öffentliche Datenbanken für bekannte Cybersecurity-Angriffe etabliert und werden für die Analyse von Systemen und zur Entwicklung von Sicherheitsmaßnahmen eingesetzt. Bis dato war dies in der Automobilbranche nicht gegeben. In diesem Artikel wird ein mögliches Konzept zur Erstellung einer Automotive-Security-Schwachstellendatenbank und eine umfangreiche Sammlung von Angriffen vorgestellt, die als erster Datensatz für diese Datenbank dienen kann. Des Weiteren werden Anwendungsfälle aus der Fahrzeugdomäne (Bedrohungsanalyse, Security-Testing, Zugriffskontrollen) präsentiert, die am Institut für Energieeffiziente Mobilität (IEEM) in drei Forschungsprojekten bearbeitet werden.

In the field of information technology, public databases are established for known cybersecurity attacks and are used for the analysis of systems and the development of security measures. Up to now this has not been the case in the automotive industry. In this article we show a feasible concept for the creation of an automotive vulnerability database and an extensive collection of attacks which could serve as a first data set for the database. We also present real cases from the vehicle domain (threat analysis, security testing, access control), which are being investigated in three research projects at the Institute of Energy Efficient Mobility (IEEM).

Einleitung

Durch die Zunahme elektronischer Komponenten im Kraftfahrzeug, insbesondere durch die Einführung verschiedener Drahtlostechnologien, wie beispielsweise Bluetooth, hat sich die Komplexität der Vernetzung und der Kommunikation des Fahrzeugs zur Umwelt erhöht. Dadurch hat sich das Automobil von einem geschlossenen zu einem offenen System entwickelt [1]. Durch die Kommunikationsschnittstellen zur Außenwelt ergibt sich gleichzeitig ein höheres Risiko für informationstechnische Angriffe (Security Angriffe) von außen auf das Fahrzeug. In der jüngeren Vergangenheit sorgten mehrere Angriffe auf verschiedene Fahrzeuge für eine erhöhte Medienaufmerksamkeit für das Thema Automotive Security. Dabei wurde von Fahrzeugen berichtet, bei denen die Schnittstellen zur Außenwelt zur unautorisierten Kommunikation ausgenutzt werden konnten. Die Angreifer waren in der Lage auf die fahrzeuginterne Buskommunikation zuzugreifen und Fahrzeuge bei voller Fahrt zum Stillstand zu bringen oder diese zu entriegeln und anschließend zu starten. Solche Angriffe werden vor allem bei Technologien wie dem autonomen Fahren und der Car-2-X-Kommunikation relevant, mit denen sich die Original Equipment Manufacturer (OEM) und Zulieferer aktuell vermehrt beschäftigen. Da bei diesen Systemen der Grad der Vernetzung sowie der internen und externen Kommunikation höher ist als bei konventionellen Fahrzeugen, bieten sich einem Angreifer größere Angriffsflächen. Zudem besteht hierbei ein Einfluss auf die Betriebssicherheit (Safety) des Fahrzeugs, da

insbesondere beim autonomen Fahren eine vermehrte Kommunikation mit der Aktorik des Fahrzeugs stattfindet. Gelingt es einem Angreifer beispielsweise unbefugten Zugriff zu Funktionen des Antriebsstrangs oder der Lenkung zu erlangen, kann er durch Manipulation des Systems ein unvorhersehbares Verhalten des Fahrzeugs auslösen, was im Extremfall zu Unfällen im Straßenverkehr führen kann. Die Realisierbarkeit solcher Angriffe wurde von Forschern bereits veranschaulicht, indem Aktoren wie Bremse oder Lenkung während der Fahrt unautorisiert aktiviert wurden [2]. Da sich im Automotive Security Bereich bisher nur wenige Methoden zur Absicherung gegen solche Angriffe etabliert haben, wird aktuell ein hoher Aufwand in Forschung und Entwicklung von Schutzmaßnahmen, Standards und Prozessen betrieben. Um das Wissen aus bereits bekannten Angriffen zur Ableitung von Sicherheitsmaßnahmen nutzen zu können, sind in der Informationstechnik Datenbanken [3] für bekannte Cybersecurity-Angriffe etabliert. Bis dato war dies in der Automobil-Branche nicht gegeben. In diesem Artikel präsentieren wir ein mögliches Konzept zur Erstellung einer Schwachstellendatenbank sowie eine umfangreiche Sammlung von Angriffen, die als Datensatz für solch eine Datenbank dienen kann. Des Weiteren zeigen wir Anwendungsfälle aus der Fahrzeugdomäne (Bedrohungsanalyse, Security-Testing, Zugriffskontrollen), die am Institut für Energieeffiziente Mobilität (IEEM) in drei Forschungsprojekten bearbeitet werden. Dazu sind in Abbildung 1 die jeweiligen Forschungsprojekte den entsprechenden Entwicklungsstufen im

V-Modell zugeordnet, das sich im Automobilbereich für die Beschreibung des Fahrzeugentwicklungsprozesses etabliert hat. Ein erster Datensatz für die in Abbildung 1 gezeigte Angriffsdatenbank (1) wurde von den hier genannten Autoren erstellt. Die Datenbank enthält 413 bekannte Cybersecurity-Angriffe auf Fahrzeuge und ist öffentlich verfügbar [2]. Synchron zur Erstellung der Datenbank wurde eine Taxonomie entwickelt, die als Beschreibungsmodell für die Datensätze (Angriffe) der Datenbank und die hier beschriebenen Anwendungsfälle dient [2].

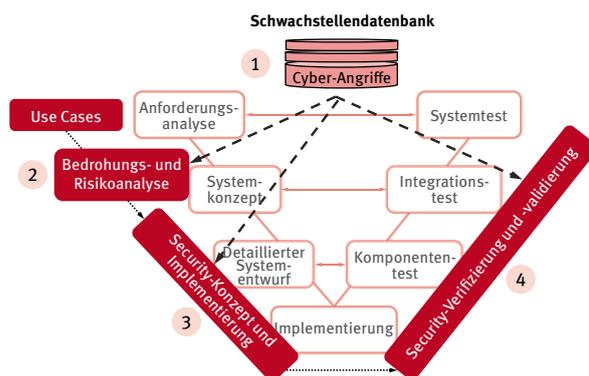


Abb. 1: V-Modell mit Verortung der vier Forschungsprojekte am IEEM

Der linke Teil von Abbildung 1 entspricht den Entwicklungsphasen eines Fahrzeugs. Hier werden Anforderungen an Funktionen und Services festgelegt, die das Fahrzeug besitzen soll. Weiterhin wird analysiert, inwieweit das Fahrzeug die Umwelt gefährden kann (Safety) und ob es durch Cybersecurity-Angriffe von außen manipuliert werden kann. An dieser Stelle muss betont werden, dass Cybersecurity-Angriffe die Betriebssicherheit (Safety) verletzen können. Dieser Umstand ist damit zu erklären, dass Aktoren wie Bremsen oder Airbags durch Steuergeräte mittels digitaler Signale angesteuert werden. Durch Manipulationen dieser Signale lässt sich böswillig das Verhalten des Fahrzeugs verändern und letztlich die Betriebssicherheit verletzen. Der Zusammenhang zwischen einem

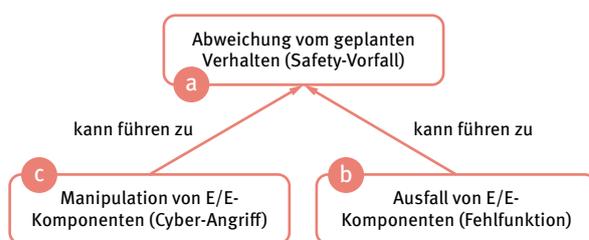


Abb. 2: Zusammenhang zwischen einem ungewollten Fahrzeugverhalten (s. a) und den Ursachen bezogen auf fehlerhafte oder ausfallende Elektrik/Elektronik (E/E)-Komponenten (s. b) sowie durch Cyber-Angriffe ausgelöste Verhaltensabweichungen (s. c)

potenziellen Unfall (Safety-Vorfall) und den zugehörigen Ursachen (Safety und Security) ist in Abbildung 2 verdeutlicht.

Diese Art von Angriffen wurde bereits mehrfach erfolgreich durchgeführt und in verschiedenen Publikationen erläutert, wie die Auswertung in Abbildung 3 hinsichtlich der Verletzung der Betriebssicherheit (Safety) zeigt.

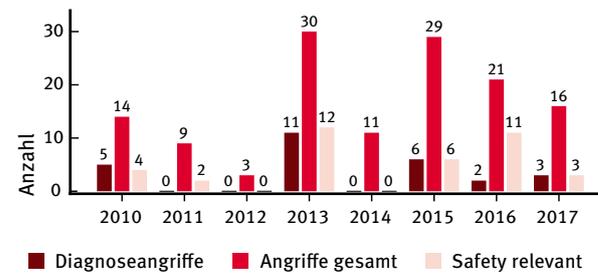


Abb. 3: Auswertung der bekannten Angriffe auf Fahrzeuge im Zeitraum 2010 - 2017, basierend auf [2]

Forschungsthema 1: Kombinierte Bedrohungs- und Gefährdungsanalysen

Wie zuvor erläutert, besteht die Möglichkeit, dass Cybersecurity-Angriffe die Betriebssicherheit(Safety) eines Fahrzeugs gefährden können. Es ist daher von elementarer Bedeutung, während der Entwicklung des Fahrzeugs mögliche Probleme zu identifizieren, um frühzeitig Gegenmaßnahmen ergreifen zu können. Deshalb beschäftigt sich ein Forschungsprojekt am IEEM mit der Entwicklung einer Methode zur Kombination existierender Safety-Analysen mit einer Security-Analyse. Hierzu werden Arbeitsergebnisse der Betriebssicherheitsanalyse (Safety-Analyse) aufbereitet und geprüft, inwieweit die identifizierten Probleme infolge eines Cybersecurity-Angriffs ausgelöst werden können (entspricht den beiden Ursache-Quellen aus Abbildung 2). Ergebnis dieser Bedrohungsanalyse ist eine Liste von Cyber-Bedrohungen, die die Betriebssicherheit des Fahrzeugs gefährden können und potenziell lebensgefährlich sind.

Ein weiterer Aspekt der bei Bedrohungsanalysen betrachtet werden muss, ist die Abschätzung der Eintrittswahrscheinlichkeiten von identifizierten Bedrohungen. Dies ist im Allgemeinen eine anspruchsvolle Aufgabe, da weder empirische Werte noch Ausfallraten –wie bei Bauteilen üblich – zur Abschätzung bekannt sind. Der Lösungsansatz hierzu ist die Erzeugung von sogenannten Angriffsgraphen (s. Abb. 4).

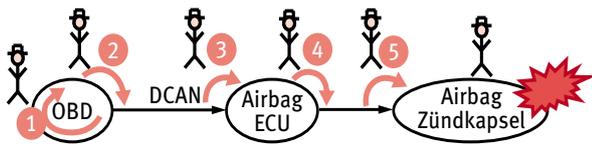


Abb. 4: Beispielhafter Angriffsschritt mit Angriffsschritten eines Angreifers. Dargestellt ist der OBD-Port, bei dem der Angreifer in das Fahrzeugnetzwerk eindringt, und die Angriffsschritte (1-5), die zum Angreifer-Ziel (Airbag-ECU) führen.

Der beispielhafte Graph in Abbildung 4 beschreibt, in welcher Reihenfolge ein Angreifer Schwachstellen in vernetzten Fahrzeug-Systemen ausnutzen kann, um zu seinem Zielsystem (wie beispielsweise einem Airbag-System) zu gelangen. Die Erzeugung dieser Pfade wird durch ein formales Modell der Fahrzeugsysteme, deren Kommunikation und durch die Verknüpfung mit der oben genannten Schwachstellen-Datenbank erreicht. Durch eine anschließende Überprüfung des erzeugten Modells mit Model-Checking-Techniken [4] können Angriffspfade automatisiert erzeugt und Eintrittswahrscheinlichkeiten für identifizierte Bedrohungen abgeleitet werden. Bei einer Evaluierung des entwickelten Ansatzes konnte eine Schwachstelle in einem Airbag-System aufgedeckt werden, die das Auslösen der Airbags durch einen Cybersecurity-Angriff erlaubt [5].

Forschungsthema 2: Security-Testing

Ein wichtiger Aspekt in der Security-Entwicklung ist das Security-Testing, das in Abbildung 1 auf dem rechten Ast des V-Modells dargestellt ist. Dazu gehört neben der Überprüfung der implementierten Sicherheitsmaßnahmen auch das Testen des Fahrzeugs auf Schwachstellen. Zu diesem Zweck werden häufig Penetrationstests eingesetzt, bei denen ein Tester aus der Perspektive eines Angreifers agiert. Der Tester versucht die Sicherheitseigenschaften eines Fahrzeugs durch Angriffe (Tests) zu verletzen, um mögliche Schwachstellen aufzudecken. Penetrationstests können als Black-Box-Tests durchgeführt werden (ohne Informationen über die interne Funktion eines Systems), oder als White-Box-Tests (bei Kenntnis der internen Funktion). Insbesondere bei Black-Box-Tests hängt der Erfolg eines Penetrationstests von der Erfahrung eines Testers ab, da nur wenige Informationen über das zu testende Fahrzeug vorliegen. Der Nachteil dieser Testmethode besteht darin, dass sie erst spät im Entwicklungsprozess eines Fahrzeugs ausgeführt werden kann. Um ein Fahrzeug bereits frühzeitig im Entwicklungsprozess auf mögliche Schwachstellen testen zu können, arbeitet das IEEM im Rahmen des Forschungsprojekts SecForCARs (Security For Connected, Autonomous caRs) [6] an der Entwicklung einer

Testmethodik, die eine frühzeitige Security-Validierung und -Verifikation ermöglicht.

Dazu werden zunächst bereits existierende Security-Angriffe auf Fahrzeuge untersucht. Auf dieser Grundlage sollen Kriterien erarbeitet werden, Fahrzeugsysteme auf Schwachstellen zu testen, die zu solchen Angriffen führen können. Diese Kriterien umfassen vor allem den Aufwand, der für den Angreifer zum Ausnutzen einer Schwachstelle besteht, sowie die Voraussetzungen, die für einen Angriff gegeben sein müssen. Im nächsten Schritt werden Security-Test- und Analysewerkzeuge untersucht. Dabei soll festgestellt werden, inwieweit sich existierende Test- und Analysewerkzeuge für den Einsatz im Automotive-Bereich eignen und auf welcher Ebene des Entwicklungszyklus diese eingesetzt werden können. Um dieses Wissen aus den bereits existenten Angriffen zu nutzen, kann eine Schwachstellendatenbank als Wissensbasis dienen. Je mehr Angriffe innerhalb der Datenbank gespeichert werden, desto mehr Wissen kann zur Generierung von Testfällen genutzt werden. Der wesentliche Vorteil, der hieraus entsteht, ist die Nutzung existenter Angriffe für das Security-Testing auf sämtlichen Teststufen im Entwicklungszyklus.

Da vollständiges Testen nicht möglich ist, müssen abgeleitete Testfälle priorisiert werden, indem Anforderungen mit höherem Risiko berücksichtigt werden. An dieser Stelle kann die Schwachstellendatenbank Informationen über die Kritikalität bekannter Angriffe liefern, die anschließend als Grundlage zur Priorisierung der Testfälle verwendet werden. Hierbei werden weiterhin Kenngrößen identifiziert, die für ein erfolgreiches und umfassendes Testen notwendig sind. Außerdem finden hier die Testziele, Teststufen und die identifizierten Test-Tools Berücksichtigung. Das Ziel hierbei ist die durchgängige Anwendung des Validierungs- und Verifikationsprozesses über das V-Modell hinweg – bis hin zum realen Testobjekt mit Hilfe der Daten, die aus der Schwachstellendatenbank entnommen werden können.

Forschungsthema 3: Automotive Schwachstellendatenbank und zugehörige Meldeprozesse

Um Bedrohungsanalysen zu betreiben und Testfälle abzuleiten, ist eine umfassende Datenbasis über umgesetzte Angriffe auf Fahrzeuge essentiell. Diese muss nicht nur ausreichend detaillierte Informationen zu Angriffsart und -pfad beinhalten, sondern diese Informationen auch in standardisierter, strukturierter Form bereitstellen. Diese Anforderungen können beispielsweise durch eine Beschreibung der Angriffe anhand einer adäquaten Taxonomie erreicht werden, wie sie

am IEEM entwickelt wurde [7]. In Verbindung mit einem intelligenten Zugriffs- und Datenschutzmanagement wird am IEEM deshalb eine Datenbank für Security-Angriffe konzipiert und implementiert. Die Umsetzung dieses Vorhabens geschieht unter Einbeziehung verschiedener im Automotive-Bereich vertretener Stakeholder wie OEMs, Zulieferer, Security-Dienstleister sowie der akademischen Forschung. Dabei stellt sich die Frage nach einem grundlegenden Datenbankkonzept, mit dem eine Taxonomiestruktur mit ausreichender Detailtiefe abgebildet werden kann und gleichzeitig Anforderungen der verschiedenen Stakeholder an Datensicherheit, Anonymität und Vertraulichkeit berücksichtigt werden. So soll ein Maximum an Akzeptanz und Kooperationsbereitschaft aller Beteiligten und damit ein stetiger Zufluss von aktuellen Angriffsinformationen gewährleistet werden. Abbildung 5 zeigt ein vereinfachtes Konzept einer Schwachstellendatenbank, bestehend aus einem Managementsystem, in dem u. a. Zugriffskontrolle und Anonymisierungsalgorithmen ablaufen und der Datenbasis mit Relationen und Attributen.

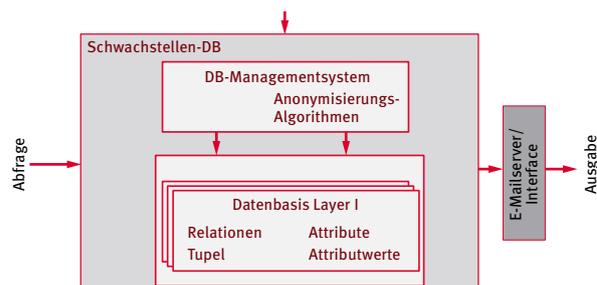


Abb. 5: Vereinfachtes Konzept einer Angriffsdatenbank

Stellt man sich die Datenbank als eine Blackbox vor, so hat diese zwei Eingänge sowie einen Ausgang. Als Eingänge stellt Abbildung 5 zum einen die Datenabfrage der berechtigten Stakeholder, beispielsweise über ein webbasiertes Formular (GUI) dar. Zum anderen zeigt die Abbildung als Eingang den Zufluss von neuen Daten über gefundene, gemeldete und behobene Security-Schwachstellen. Den Ausgang stellt die Ausgabe von abgefragten Daten oder Informationen dar, die beispielsweise über einen E-Mailserver oder aber auch lediglich als Suchfunktion auf einer Webseite realisiert werden kann. Mögliche Stakeholder sind Handelnde in der Automobilindustrie, Security-Dienstleister, die akademische Forschung, freie Werkstätten, Prüforganisationen, Behörden, die Öffentlichkeit und zu gegebener Zeit möglicherweise sogar das vernetzte intelligente Fahrzeug, das sich in noch ferner Zukunft mit Informationen aus einer solchen Datenbank versorgen könnte.

Ein denkbare Konzept für das Innere der Blackbox ist der Aufbau eines verteilten, cloud-basierten Datenbanksystems, das interne Datenbanken verschiedener Stakeholder verknüpft und so den Austausch von Wissen unter streng definierten Zugriffsbeschränkungen (z.B. ACAB [8]), kombiniert mit Anonymisierungs- (Differential Privacy, L-Diversity u.ä. [9]) sowie Datenschutzkonzepten (z.B. PKI [8]) ermöglicht. Die Herausforderung besteht hierbei in der enormen Sensibilität der ausgetauschten Daten sowie der Angleichung der variierenden Datenformate und -strukturen an eine gesamtheitliche Taxonomie. Beides erfordert ein intelligentes Handling der preisgegebenen Detailtiefe von Informationen in Abwägung von Nutzen und Risiko. Das Risiko der Verkettbarkeit eigentlich



Sägen. Lager. Mehr.

KASTO bietet mehr als hochproduktive Sägen und Lager für Langgut und Blech: mehr Engagement, mehr Verantwortung, mehr Ideen, mehr Innovation. Nur qualifizierte und engagierte Mitarbeiter ermöglichen dies. Deshalb bieten wir unseren Bewerbern ein vielseitiges, interessantes Tätigkeitsfeld mit hervorragenden Entwicklungsmöglichkeiten.

Mehr über das „Mehr“ unter www.kasto.com

Sägen. Lager. Mehr. **KASTO**[®]

unkritischer Daten zum Zweck des Rückschlusses auf sensible Informationen stellt ein komplexes Problem dar, da es von Fall zu Fall stark skalieren kann. Diesem Problem sowie der Herausforderung variierender Datenstrukturen kann zusätzlich durch Pseudonymisierung und Abstrahierung von Daten begegnet werden. Die Datenstrukturen aus verschiedenen Datenbanken können in einer einheitlichen Taxonomiestruktur zusammengeführt werden. Aus den bereits in der Struktur einer Taxonomie angelegten hierarchischen Detaillierungsebenen ergibt sich eine Generalisierung und Abstrahierung der Daten auf verschiedenen Detailebenen. Diese Generalisierung und Abstrahierung führt zu einer Pseudonymisierung und verhindert Verkettbarkeit von Daten und Rückschlussmöglichkeiten auf herstellereigene Security-Probleme oder Kundenstrukturen.

In einem weiteren möglichen Konzept einer zentralen, nicht verteilten Datenbank stellt das Zugriffsmanagement eine wichtige Komponente dar. Denkbar wäre die Implementierung eines Interface bzw. einer Abfragemaske mit anwenderspezifisch eingeschränkter Funktionalität, eingeschränkten Abfragerechten und Sichten (Abfrage nutzerspezifisch vordefinierter Datenbankinhalte). Daten können auf diese Weise abgefragt und beispielsweise über E-Mailserver, kryptographisch signiert, bezogen werden.

Forschungsthema 4: Berechtigungskonzepte

Die erhobene Statistik über Angriffe auf Fahrzeuge der letzten Jahre verdeutlicht die Aktualität sowie die Notwendigkeit, die bekannten Angriffe genauer zu analysieren. So können durch die erfassten Angriffe die genutzten Angriffspfade genauer untersucht werden. Benötigte der Angreifer beispielweise einen physischen Zugriff (lokal) oder konnte er den Angriff aus der Ferne (remote), möglicherweise über das Mobilfunknetz, ausführen? Eine Auswertung dieser Klassifikation ist in Abbildung 3 dargestellt. Daraus lässt sich ableiten, dass nach aktuellem Stand etwa 61 % der Angriffe einen physischen Zugriff erforderten. Hingegen konnten 39 % der Angriffe aus der Ferne ausgeführt werden (s. Abb. 6). Jedoch muss davon ausgegangen werden, dass die Zahl der Remote-Angriffe zukünftig weiter ansteigen wird, da die Vernetzung des Fahrzeugs durch Trends wie das autonome Fahren mit der Außenwelt weiter zunehmen wird. Nach einer Studie von pWC [10] werden bis zum Jahr 2025 mehr als 470 Millionen vernetzte Fahrzeuge auf den Straßen weltweit unterwegs sein. Als weitere Veränderung kommt die Tatsache hinzu, dass sich Fahrzeuge zunehmend zu einem fahrenden Rechenzentrum verwandeln und dabei viele Protokolle aus der traditionellen IT-Welt

vereinen [11]. Dies wiederum senkt das Schwierigkeitslevel für potenzielle Hacker, da bereits zahlreiche Werkzeuge und Anleitungen zum Ausnutzen von IT-Protokollen existieren.

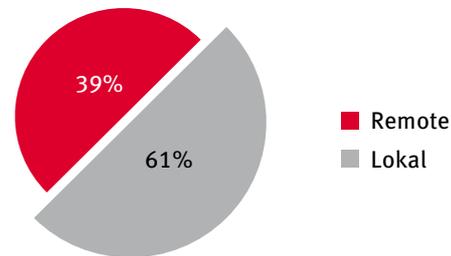


Abb. 6: Einteilung der Angriffe auf zwei Angriffsebenen. Remote-basierte Angriffe sind über das Internet oder über Mobilfunknetze möglich. Lokal-basierte Angriffe erfordern, dass der Angreifer physischen Zugriff zum Fahrzeug hat.

Dadurch ist es unbedingt erforderlich geeignete und effektive Gegenmaßnahmen zu entwickeln, um das Risiko für neue Angriffe minimieren zu können. Betrachtet man beispielsweise die dabei verletzten Sicherheitsziele wird deutlich, dass die meisten Angriffe die Authentizität betreffen (s. Abb. 7). Eine Ursache dafür ist die Tatsache, dass viele Fahrzeuge in der Vergangenheit keine bzw. nur schwache Mechanismen zur Gewährleistung der Authentizität implementiert hatten. Zukünftig werden Fahrzeuge verschiedene Mechanismen zur Gewährleistung der Authentizität besitzen. Jedoch besteht weiterhin die Gefahr von sogenannten „Insider-Angriffen“, bei denen der Angreifer die Kontrolle über ein vorhandenes Steuergerät erlangt hat. Da derzeit kein bzw. nur ein sehr eingeschränktes Rechtemanagement vorhanden ist, kann der Angreifer beliebige Funktionen ausführen. Zudem ist es ihm möglich, Nachrichten mit einer gültigen Authentifizierung an andere Netzwerkteilnehmer zu versenden und dadurch Aktoren anzusteuern. Um die Möglichkeiten des Angreifers in diesem Szenario einzuschränken ist es erforderlich eine weitere Absicherungsstufe in Form einer

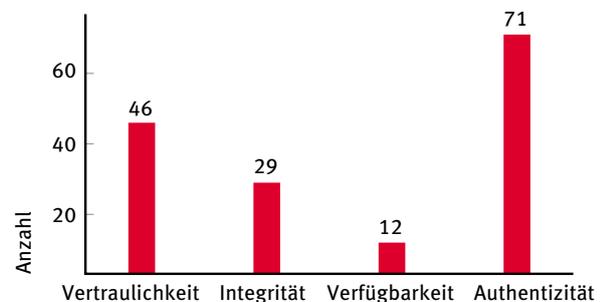


Abb. 7: Übersicht der verletzten Sicherheitsziele bei den analysierten Angriffen auf Fahrzeuge, basierend auf [7]

Zugriffskontrolle zu integrieren, welche die Berechtigungen einer Funktion vor der Ausführung kontextbezogen prüft und darauf basierend eine Entscheidung (erlauben oder blockieren) trifft. Dabei ist es besonders wichtig, dass die jeweilige Zugriffsentscheidung auch den aktuellen Fahrzeugzustand (z.B. Fahrzeug im Stillstand oder in Bewegung) miteinbezieht, um zu verhindern, dass eine Ausführung von Funktionen in kritischen Fahrsituationen erfolgt. Im Projekt AUTO-SIMA (Entwicklung eines automotiven Sicherheitsrichtlinien-Managements und verteilten Firewall-Konzepts für Interconnected Services – FKZ: 13FH006IX6) [12] wird daher ein Ansatz für eine effektive Zugriffskontrolle entwickelt, der die genannten Aspekte berücksichtigt. Zudem wird an einer Methode gearbeitet, die es ermöglicht, aus allgemeinen Anforderungen, konsistente und implementierbare Berechtigungen abzuleiten.

Literaturverzeichnis

- [1] Checkoway, Stephen ; McCoy, Damon ; Kantor, Brian ; Anderson, Danny ; Shacham, Hovav ; Savage, Stefan ; Koscher, Karl ; Czeskis, Alexei ; Roesner, Franziska ; Kohno, Tadayoshi ; others: Comprehensive Experimental Analyses of Automotive Attack Surfaces. In: *USENIX Security Symposium*, 2011
- [2] Florian, Sommer ; Jürgen, Dürrwang: *IEEM-HsKA/AAD : Automotive Attack Database (AAD)*. URL <https://github.com/IEEM-HsKA/AAD> – Überprüfungsdatum 2019-04-01
- [3] NIST: *National Vulnerability Database (NVD)*. URL <https://nvd.nist.gov/> – Überprüfungsdatum 2019-07-31
- [4] Baier, Christel ; Katoen, Joost-Pieter ; others: *Principles of model checking* : MIT press Cambridge, 2008 (26202649)
- [5] Dürrwang, Jürgen ; Braun, Johannes ; Rumez, Marcel ; Kriesten, Reiner ; Pretschner, Alexander: *Enhancement of Automotive Penetration Testing with Threat Analyses Results*. In: 2572-1054 1 (2018), Nr. 2
- [6] Bundesministerium für Bildung und Forschung: *SecForCARS: Sicherheit für vernetzte, autonome Fahrzeuge*. URL <https://www.forschung-it-sicherheit-kommunikationssysteme.de/projekte/sicherheit-fuer-vernetzte-autonome-fahrzeuge> (Accessed on 28th March, 2019)
- [7] Sommer, Florian ; Dürrwang, Jürgen ; Kriesten, Reiner: *Survey and Classification of Automotive Security Attacks*. In: Information 10 (2019), Nr. 4, S. 148
- [8] Kemper, Alfons ; Eickler, André: *Datenbanksysteme : Eine Einführung*. 10., aktualisierte und erweiterte Auflage. Berlin, Boston : De Gruyter Oldenbourg, 2015 (De Gruyter Oldenbourg Studium)
- [9] Johannes Goltz ; Hannes Grunert ; Andreas Heuer: *De-Anonymisierungsverfahren: Kategorisierung und Anwendung für Datenbankanfragen (De-Anonymization: Categorization and Use-Cases for Database Queries)*. In: LWDA, 2017
- [10] strategy&: *The 2017 Strategy & Digital Auto Report : Fast and furious: Why making money in the is getting harder*. URL <https://www.strategyand.pwc.com/media/file/2017-Strategyand-Digital-Auto-Report.pdf> – Überprüfungsdatum 2019-07-26
- [11] Tischer, Mirko: *AUTOSAR Adaptive - Das Rechenzentrum im Fahrzeug*. In: *Elektronik automotive Bordnetz* 2018 (2018), September, S. 30–33
- [12] AEN: *Partner des AEN erhalten Förderung des Bundes zur Entwicklung einer Security-Firewall für Fahrzeuge*. URL <http://ae-network.de/forschungspartner-des-aen-erhalten-foerderung-des-bundesministeriums-fuer-bildung-und-forschung-bmbf-zur-entwicklung-einer-security-firewall-fuer-fahrzeuge/> – Überprüfungsdatum 2019-07-31

Autoren

Robin Bolz M.Sc.

Jürgen Dürrwang M.Sc.

Marcel Rumez M.Sc.

Florian Sommer M.Sc.

Akademische Mitarbeiter am Institut für Energieeffiziente Mobilität (IEEM) der Hochschule Karlsruhe

Prof. Dr.-Ing. Reiner Kriesten

Professor an der Fakultät für Maschinenbau und Mechatronik der Hochschule Karlsruhe

Kontakt

Prof. Dr.-Ing. Reiner Kriesten

Hochschule Karlsruhe – Technik und Wirtschaft

Fakultät für Maschinenbau und Mechatronik

Institut für Energieeffiziente Mobilität (IEEM)

Moltkestraße 30

76133 Karlsruhe

E-Mail: reiner.kriesten@hs-karlsruhe.de

Automated Item Picking – Einsatz maschineller Lernverfahren in der roboterbasierten Einzelstückkommissionierung

Moritz Weisenböhler und Christian Wurl

Systeme für „Automated Item Picking“ (AIP) werden eingesetzt, um das Kommissionieren und die Umlagerung von Objekten zu automatisieren, die Qualität der Prozesse zu erhöhen und die damit verbundenen Kosten zu senken. Es wird eine AIP-Lösung für die Sport-, Bekleidungs- und Kosmetikbranche vorgestellt, die an der Hochschule Karlsruhe entwickelt wurde. Das System besteht aus einem Industrieroboter, einem speziell entwickelten Greifsystem und einer KI-basierten Bildverarbeitungslösung. Es wird ein Convolutional Neural Network trainiert, um verschiedene Sportartikel und Kosmetikprodukte in einer industriellen Anwendung zu lokalisieren und identifizieren.

Automated Item Picking systems can be used to automate order picking processes, to improve their quality and reduce the costs incurred. This work presents an AIP solution for the sports, fashion and cosmetics sector developed at Karlsruhe University of Applied Sciences. The system consists of an industrial robot, a customized gripper and an AI-based perception. A convolutional neural network is trained under industrial conditions for localization and identification of various sports and fashion articles as well as cosmetic products.

Einleitung

Das Kommissionieren und Umlagern von Artikeln sind zentrale Aufgabenstellungen, die sich in vielen Logistik- und Produktionsprozessen wiederfinden. Werden diese Prozesse, bestehend aus Lokalisieren, Identifizieren, Greifen und Ablegen von Objekten, durch Roboter automatisiert, spricht man vom Automated Item Picking (AIP). Häufig liegen die Objekte hierbei in chaotischen Anordnungen vor, wodurch sich diese Aufgabenstellungen als besonders herausfordernd für die Objekterkennung und Handhabungstechnik gestalten.

Obwohl der sogenannte „Griff in die Kisten“ seit vielen Jahren erforscht wird, ist dieser nach wie vor nur schwer automatisierbar und wird in der Praxis nach wie vor überwiegend von Mitarbeitern ausgeführt. Diese Tätigkeit ist oft kostenintensiv und umfasst eintönige und repetitive Aufgabenstellungen. Besondere Aufmerksamkeit erhielt das Thema durch den von Amazon.com, Inc. ausgerufenen Wettbewerb zur Automatisierung des Item Pickings „Amazon Picking / Robotics Challenge“ in den Jahren 2014 bis 2017.

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 zu Bewältigung dieser Herausforderung der Logistik der Zukunft.

Projekt AIP an der Hochschule Karlsruhe

Im kollaborativen Forschungsprojekt „AIP“ wurde an der Hochschule Karlsruhe ein Prototyp für das automatisierte Kommissionieren von Konsumgütern entwickelt [1]. Die Problemstellung mit Sportartikel- und Kosmetikprodukten lieferten die Unternehmen Adidas AG und L'Oréal S.A. Bei diesem Anwendungsfall geht es darum, die einzelnen Artikel durch moderne Kameratechnik und Bildverarbeitung in einem Warenträger zu lokalisieren, sie sicher zu greifen und in korrekter Orientierung auf einem Förderband abzulegen. Besondere Herausforderungen stellen die chaotische Anordnung der Artikel, die möglichen Stöorzustände (z. B. ein geöffneter Deckel eines Schuhkartons) und die sichere Handhabung bei hohen Geschwindigkeiten dar. So müssen die Objekte beispielsweise auch bei starker Überdeckung mit höchster Sicherheit korrekt und präzise lokalisiert und identifiziert werden.

Für den ersten untersuchten Anwendungsfall mit Sportartikeln wird eine Zykluszeit von sechs Sekunden angestrebt (600 Picks pro Stunde). Für den Objekterkennungsprozess ergibt sich ein maximaler Zeitraum von ungefähr einer Sekunde. Die Detektion muss exakt genug sein, um die Toleranzen von wenigen Zentimetern für das Greifen einzuhalten und es sollten pro Ladungsträger mindestens zwei bis drei geeignete Objekte gefunden werden. Nicht handhabbare geöffnete Schuhkartons müssen mit hoher Sicherheit erkannt werden, was eine besondere Herausforderung für das Bildverarbeitungssystem dargestellt. An der Lösung dieser Problemstellung waren bis heute fünf-

zehn Studierende mit ihren Abschlussarbeiten tätig, wobei diese durch Mitarbeiter der Hochschule und die Zusammenarbeit mit den Forschungspartnern Zimmer Group, Roboception GmbH und KUKA AG unterstützt wurden.

Technischer Aufbau

Der AIP-Prototyp (siehe Abb. 1) besteht aus einer Reihe moderner Aktoren und Sensoren, welche an der Hochschule Karlsruhe zu speziell an den Anwendungsfall angepassten Komponenten integriert wurden.



Abb.1: Aufbau des Demonstrators [2]; Foto: Marius Gerlach

Für die Umlagerung der Objekte wird ein KUKA KR AGI-LUS sixx eingesetzt, welcher eine hohe Dynamik mit der notwendigen Traglast von bis zu zehn Kilogramm vereint. Der eingesetzte Greifer basiert auf dem Zimmer Backengreifer GP400 und wurde in zwei Masterarbeiten zu einem spezifischen Greifsystem zur Handhabung von Schuhkarton und plastikverpackten Artikeln weiterentwickelt. Dieses umfasst darüber hinaus einen Sauggreifer mit pneumatischem Teleskopzylinder und formoptimierte Greifbacken mit Gummibeschichtung. Sowohl der Sauggreifer, die Greifbacken als auch alle Halterungskomponenten wurden mittels generativen Designverfahren durch Studierende selbst entwickelt

und mittels 3D-Druck produziert [3]. Zur Steuerung des Roboters und des Greifers wurde eine intuitive und plattformunabhängige Kommunikationsschnittstelle entwickelt, welche auf KUKAs Ethernet KRL Interface (EKI) basiert.

Den Kern der Sensorik bildet eine Roboception rc visard 160 Farb-Stereokamera in Kombination mit einem RandomDot Projektor zur Erhöhung des relevanten Objekttexturreichtums. Diese erzeugt die RGB- und Tiefenbilder, welche durch das Computer Vision System zur Lokalisierung und Identifizierung der Artikel im Ladungsträger eingesetzt wird. In Abbildung 2 ist ein RGB-Beispielbild der Roboception Kamera dargestellt.

Durch das modulare Design der Bilderverarbeitung und den Einsatz des Robot Operating Systems (ROS), ließen sich jedoch auch viele weitere Kamerasysteme ohne großen Aufwand einsetzen. Darüber hinaus umfasst der Prototyp diverse Abstands- und Vakuumsensoren. Diese werden unter anderem zur exakten Lokalisierung des Deckels von Schuhkartons, zum Überprüfen eines erfolgreichen und sicheren Griffs sowie in der Sicherheitstechnik der Zelle eingesetzt. Die Einbindung der Sensoren erfolgt über eine Beckhoff SPS und die Integration direkt in die Robotersteuerung KRC 4.



Abb. 2: Reales Farbbild einer Beispiel-Szene mit der Roboception-Kamera; Foto: Marius Gerlach

Objekterkennung

Das entwickelte Computer Vision System basiert auf einem mehrstufigen Bilderverarbeitungsprozess, bestehend aus einer initialen Ladungsträgererkennung, der Objektlokalisierung und -identifizierung mittels künstlicher Intelligenz sowie einer Tiefenbild-basierenden Verfeinerungs- und Validierungsmethode für alle erkannten Objekte [4, 5].

Während die ersten beiden Schritte aus den aufgenommenen Farb- und Tiefenbildern (RGB-D) jeweils die relevanten Bildausschnitte ermitteln, die sogenannte Region of Interest (ROIs) (s. Abb. 3), werden diese ROIs im letzten Schritt durch den Refinement-Vorgang schließlich in sichere Fahrhinweise und Greifposen für die Aktorik überführt. Falls mehrere sichere Griffmöglichkeiten vorliegen, wird die beste im jeweiligen Zyklus durch verschiedene Kriterien, wie beispielsweise die höchste Lage oder die schnellste Erreichbarkeit, ausgewählt [6].

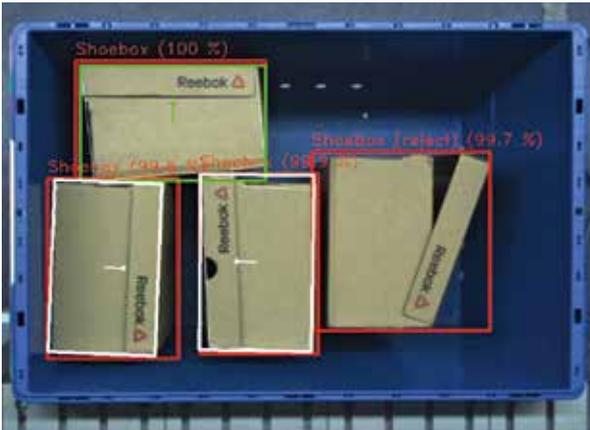


Abb. 3: Szene mit detektierten Objekten und der Darstellung der Region of Interest (ROI); Foto: Philipp Kern

Im Zentrum der Forschung im Rahmen des AIP-Projekts stand die Objekterkennung (Schritt 2) durch den Einsatz von Deep Learning Verfahren. So wurden unterschiedliche Architekturen von Convolutional Neural Networks (CNNs) auf einem Datensatz von mehr als 10.000 gelabelten Bilddaten von fünfzehn unterschiedlichen Sportartikeln mittels Googles Machine Learning Framework TensorFlow trainiert und evaluiert.

Die Bilder wurden von Studierenden der Hochschule Karlsruhe unter Nutzung realer Produkte erzeugt und anschließend einzeln gelabelt. Hierbei wird jeweils ein Positivbeispiel mit der gewünschten Ausgabe für das Training der neuronalen Netze erzeugt. Um die spätere Abhängigkeit von äußeren Einflüssen zu verringern, wurden einstellbare farbige Beleuchtungsmodule, unterschiedliche Kameras mit differenzierender Auflösung sowie stark variierende Szenen und Hintergründe eingesetzt. Das Training erfolgte über mehrere Stunden zunächst auf einem allgemeineren Basisdatensatz, gefolgt von einem Finetuning mit sehr spezifischen Szenen der konkreten Anwendung. Zur Beschleunigung des Trainings und der späteren Anwendung im Live-System (Inferenz) wurden moderne Nvidia Geforce Grafikkarten eingesetzt (GTX 1080 Ti und RTX 2080 Ti).

Aufgrund des hohen Zeitbedarfs und der damit verbundenen Kosten wurde zudem auf verschiedene Methoden zur Übertragung von erlerntem Wissen bei neuronalen Netzen gesetzt (Transfer Learning). Dies betrifft zum einen die Nutzung von, auf anwendungsfremden, aber frei verfügbaren Daten vortrainierter Netze. Zum anderen wurde an der Hochschule Karlsruhe ein System zur Generierung von virtuellen Trainingsdaten in simulierten Szenen umgesetzt. Diese Simulation wurde in der ursprünglich für die Entwicklung von Spielen gedachten Anwendung Unity3D umgesetzt, welche die notwendige Rendering- und Physik-Engine beinhaltet. Für die Erzeugung der Modelle und Texturen aller Objekte wurde zudem die Open-Source-Software Blender eingesetzt. Durch die virtuelle Datengenerierung können, nach einem initialen Aufwand für die Entwicklung der notwendigen CAD-Daten und dem Zusammenstellen der Anwendungsszene, beliebig viele gelabelte Bilddaten flexibel und in kurzer Zeit (ca. sechs Bilder pro Sekunde) erzeugt werden [7]. In Abb. 4 ist ein Beispiel für eine virtuell generierte Szene dargestellt.



Abb. 4: Virtuell generierte Szene; Foto: Moritz Weisenböhler

Ergebnisse

Mit dem an der Hochschule entwickelten AIP-System wurde die Machbarkeit eines automatisierten Item Pickings am Beispiel der Sport- und Kleidungsbranche erfolgreich gezeigt. Die entwickelte Zelle konnte ihre Funktionsfähigkeit in vielen Tests und Präsentation mit den Projektpartnern beweisen. Die Aktorik erlaubt durch ihre hohe Dynamik eine Umlagerung der Objekte innerhalb der geplanten Zykluszeit. Darüber hinaus wurde mit dem Greifsystem ein spezifisches Handhabungswerkzeug entwickelt, das es erlaubt sowohl unverschlossene Schuhkartons als auch diverse kunststoffverpackte Kleidung und kleinere Konsumgüter sicher zu greifen.

Für die Umsetzung des im Fokus stehenden Bilderverarbeitungsprozesses wurde die Netzwerkarchitektur

 Daimler TSS

BE THE HERO



www.daimler-tss.com/karriere



Faster R-CNN in Kombination mit Inception ResNet gewählt. Dieses neuronale Netz erreicht bei der Lokalisierung und Identifizierung mittels sogenannter Bounding Boxen eine sehr hohe Genauigkeit. Die relevante Kennzahl für solche Verfahren, die Mean Average Precision (mAP), lag bei über 92 % auf dem prototypischen Datensatz von fünfzehn Objekten. Auch die Inferenzzeit lag mit unter 0,5 Sekunden bei Nutzung einer Nvidia Geforce GTX 1080 Ti im anvisierten Bereich (ohne GPU mehr als 20 Sekunden). Andere untersuchten neuronalen Netze konnten keine höheren Erkennungsraten erreichen. Beispielsweise lag die Ausführungszeit bei SSD MobileNet zwar unter 0,02 Sekunden, jedoch wurde lediglich eine mAP von unter 42 % erreicht. Auch die Identifizierung von geöffneten Schuhkartons war äußerst sicher, was in dieser Form zunächst nicht unbedingt zu erwarten war. Bei einer Stichprobe von einigen hundert Szenen wurden alle nicht handhabbaren Boxen erfolgreich erkannt.

Ausblick

Auf Grund der erfolgreichen Umsetzung des AIP-Prototyps für den Anwendungsfall der Adidas AG, überführt die Zimmer Group mit Unterstützung der Roboception GmbH und KUKA AG das System nun bis Ende des Jahres 2019 in eine industrietaugliche Zelle. Bei dem geplanten Aufbau in Adidas größtem europäischen Distributionszentrum in Rieste kommen, neben einer weiterentwickelten Version des Greifers, verschiedene Bildverarbeitungs-komponenten der Hochschule Karlsruhe zum Einsatz. Das Forschungsteam der Hochschule agiert hierbei weiterhin als Berater und führt den Transfer des erlangten Know-Hows an die Forschungspartner durch.

Neben der Untersuchung neuer Problemstellungen, wie beispielsweise aktuell aus der Kosmetikbranche [8], fokussiert sich die Forschungsgruppe in Zukunft weiter auf die Bildverarbeitung mittels künstlicher Intelligenz. So sollen unter anderem verbesserte Arten von neuronalen Netzen in den Bereichen Instance Segmentation und Pose Estimation eingesetzt und untersucht werden [9]. Da nach wie vor insbesondere die Erzeugung von Trainingsdaten ein zentraler Kostentreiber für solche Machine Learning Verfahren ist, steht auch das Transfer Learning weiterhin im Mittelpunkt der zukünftigen Forschung an der Hochschule Karlsruhe. So soll beispielsweise die Generierung von virtuellen Bildern weiter vereinfacht und die erzielt Resultate verbessert werden, wobei moderne Rendering-Verfahren oder Generative Adversarial Networks (GANs) zum Einsatz kommen [7].

Literatur

- [1] Weisenböhrer, Moritz ; Walz, Michael ; Wurll, Christian: Automated Item Picking - Machine learning approach to recognize sports and fashion articles. In: Hochschule Karlsruhe - Technik und Wirtschaft (Hrsg.): *The Upper-Rhine Artificial Intelligence Symposium* : UR-AI 2019. Denzlingen, 2019
- [2] Sobov, Jochen: *Entwicklung, Implementierung und Erweiterung von Prozesslösungen zur Steigerung der Prozesssicherheit einer robotergestützten Kommissionierlösung in der Intralogistik*. Karlsruhe, Hochschule Karlsruhe - Technik und Wirtschaft. Bachelorarbeit. 2019
- [3] Deck, Sebastian ; Bochinger Mauritz: *Entwicklung und Evaluierung eines hybriden Greifsystems zur Automatisierung eines Kommissionierprozesses in der Intralogistik unter Einsatz numerischer Verfahren*. Karlsruhe, Hochschule Karlsruhe - Technik und Wirtschaft. Masterarbeit. 2019
- [4] Augenstein, Philipp: *Kameragestützte 3D Lage- und Positionsbestimmung zur Greifpunktplanung in der Intralogistik am Beispiel von Schuhkartons*. Karlsruhe, Hochschule Karlsruhe - Technik und Wirtschaft. Bachelorarbeit. 2019
- [5] Schätzle, Marisa: *Entwicklung eines vollautomatisierten, robotergestützten Kommissionierprozesses für die Logistik*. Karlsruhe, Hochschule Karlsruhe - Technik und Wirtschaft. Masterarbeit. 2018
- [6] Walz, Michael: *Entwicklung eines vollautomatisierten, robotergestützten Kommissionierprozesses für die Logistik : Einsatz von maschinellem Lernen zur Objekterkennung*. Karlsruhe, Hochschule Karlsruhe - Technik und Wirtschaft. Masterarbeit. 2018
- [7] Gerlach, Marius: *Datengenerierung mittels Virtual Reality*. Karlsruhe, Hochschule Karlsruhe - Technik und Wirtschaft. Masterarbeit. 2020
- [8] Diekreiter, Ilona: *Machbarkeits- und Potenzialanalyse von Automated Item Picking in der Kosmetikbranche*. Karlsruhe, Hochschule Karlsruhe - Technik und Wirtschaft. Masterarbeit. 2019
- [9] Mast, Marvin-Micha: *Posenerkennung beim Automated Item Picking mit Hilfe von Deep Learning*. Karlsruhe, Hochschule Karlsruhe - Technik und Wirtschaft. Masterarbeit. 2020

Autoren

Moritz Weisenböhler M.Sc.

Akademischer Mitarbeiter an der Fakultät für Wirtschaftswissenschaften der Hochschule Karlsruhe

Prof. Dr.-Ing. Christian Wurll

Professor an der Fakultät für Wirtschaftswissenschaften der Hochschule Karlsruhe

Kontakt

Prof. Dr.-Ing. Christian Wurll

Hochschule Karlsruhe – Technik und Wirtschaft

Fakultät für Wirtschaftswissenschaften

Moltkestraße 30

76133 Karlsruhe

E-Mail: christian.wurll@hs-karlsruhe.de

BOSCH
Technik fürs Leben

Lieber Impulsgeber statt Nachzügler?
Mit Ihren Ideen in ein vernetztes Morgen.

bosch-career.de

Willkommen bei Bosch. Hier bewegen Sie Großes. Ob Smart Home, Smart City, Connected Mobility oder Industrie 4.0: Bosch treibt die intelligente Vernetzung unserer Gesellschaft entscheidend voran. Dabei haben wir vor allem eines im Blick: Die Lebensqualität der Menschen zu verbessern, indem wir neue Lösungen für das Wohnen, Leben, Fahren und Arbeiten der Zukunft liefern. Das gelingt nur mit einem globalen Netzwerk von über 402.000 hoch engagierten Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern, die vordenken und täglich fachliches Neuland betreten. **Starten auch Sie etwas Großes.**

Let's be remarkable.

Willst Du Software im Automobilbereich entwickeln?
Software-Entwicklung für AUTOSAR basierte Steuergeräte auf höchstem Niveau

Willst Du Teil einer Fahrzeugentwicklung sein und bist motiviert die Herausforderungen anzugehen? SCHEID automotive entwickelt auf Basis von AUTOSAR die Software für Elektronische Steuergeräte im Fahrzeug. Von einzelnen Treiber-Modulen bis zur Konfiguration der gesamten Basissoftware ergeben sich vielfältige Aufgaben, auch für Berufsanfänger.

SCHEID automotive GmbH
Werner-von-Siemens-Straße 2-6
76646 Bruchsal
Telefon: +49 7251-936991-0
info@SCHEID-automotive.com
www.SCHEID-automotive.com



Smart Packaging: Medikamente intelligent verpackt

Jonathan Osterroth, Stefanie Regier und Ingo Stengel

Der Artikel beleuchtet das Thema smarte Verpackungen im Pharmabereich. Hierzu wurde eine Studie durchgeführt, die Einflussfaktoren auf die Akzeptanz dieser neuen Verpackungsmöglichkeiten bei Patienten identifiziert. Dabei stellten sich vor allem die Einfachheit, die wahrgenommene Nützlichkeit und die Einstellung als wichtige Einflussgrößen heraus. Datenschutzrisiken, die mit der Preisgabe persönlicher Gesundheitsinformationen einhergehen, bilden hingegen eines der größten Akzeptanzhemmnisse dieser Technologie.

This article addresses Smart Packaging in the Pharma industry. The study helped to identify the factors that have an influence on patient acceptance of new packaging of pharmaceutical products. The main factors are simplicity, perceived usefulness and attitudes. Data protection risks have their source in the exposure of personal health data, this is the main barrier to patient acceptance of new packaging technology.

Hintergrund und Motivation

Experten zufolge werden bis zum Jahr 2025 insgesamt 75,4 Milliarden Geräte mit dem Internet vernetzt sein [5]. Neben Computern und Smartphones zählen dazu auch ganz alltägliche Gegenstände wie Uhren, Autos oder Kühlschränke. Die Vernetzung dieser Geräte wird häufig als Internet of Things (IoT) bezeichnet. Für Deutschland wird bis im Jahr 2020 gar ein Umsatz von 50,1 Milliarden Euro durch das IoT prognostiziert. In der Industrie und im Handel wollen Unternehmen durch die fortschreitende Vernetzung Echtzeitinformationen erheben und dadurch Produktions-, Lager- und Lieferprozesse optimieren [6]. Auch in der Verpackungsindustrie hat das IoT längst Einzug erhalten: in Form von Smart Packaging. Die so genannten smarten Verpackungen sind beispielsweise in der Lage, die Qualität und Lagerbedingungen verderblicher Waren zu überwachen und ermöglichen neue Formen der Interaktion zwischen den Kunden und dem Hersteller. Die Verpackung „denkt“ sozusagen „mit“.

Die Anwendungsbereiche im Smart Packaging sind vielfältig. Das Unternehmen Inductive Intelligence bietet beispielsweise eine induktive Verpackungslösung an, die Lebensmittel mithilfe einer Ladestation für den Verzehr erwärmt. Die Verpackung übermitteln der Station Angaben zu der jeweils benötigten Energiemenge und erkennt, wenn die gewünschte Temperatur erreicht wird. Dann wird der Erhitzungsvorgang automatisch beendet [1]. Ein anderes Beispiel entstammt der Spirituosenbranche: Das norwegische Unternehmen ThinFilm hat gemeinsam mit Diageo, einem bekannten Spirituosenhersteller (Smirnoff, Johnnie Walker, Captain Morgan) eine „intelligente“ Flasche entwickelt, die den Kunden je nach Situation unterschiedlich anspricht. ThinFilm hat die Flaschen mit extrem dünnen, elektronischen Sensoren (NFC-Tags) ausgestattet, die

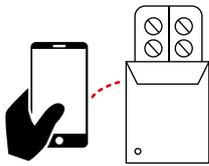
aufzeichnen können, wo die Flasche sich im Lieferprozess befindet und ob die Flasche bereits geöffnet wurde. Nähert sich eine Kunde mit dem Smartphone der geschlossenen Flasche im Supermarkt, so kann er allgemeine Informationen über das Produkt und die Marke auslesen. Ist die Flasche einmal geöffnet, kann dem Kunden stattdessen ein Cocktailrezept oder andere relevante Informationen offeriert werden [2].

Im Wesentlichen unterscheidet man drei Technologien, die Verpackungen smart machen: Sensoren, Indikatoren sowie Datenspeicher- und Übermittlungsmedien. Mithilfe von in die Verpackung integrierten Sensoren und Indikatoren kann z. B. gemessen werden, welchen Temperaturen, mechanischen Belastungen oder welcher Luftfeuchtigkeit ein Produkt ausgesetzt ist. Indikatoren zeigen Abweichungen von den Vorgaben dann häufig visuell durch eine Farbänderung an. Datenspeicher und Übermittlungsmedien reichen von Barcodes bis hin zu Mikrochips auf der Verpackung. Diese speichern – je nach Ausgestaltung – passiv Informationen, die dann ausgelesen werden oder senden aktiv eigene Signale an einen Empfänger.

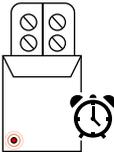
Bei Medikamenten bietet Smart Packaging weitergehende Möglichkeiten. Im pharmazeutischen Sektor können smarte Medikamentenverpackungen die Patienten bei der Einhaltung der Einnahmевorschrift eines Medikaments unterstützen. Aktuelle Schätzungen zufolge sind bis zu 100.000 Todesfälle jährlich auf die Nichteinhaltung dieser Einnahmевorschriften zurückzuführen [3]. Dies zeigt das große Potenzial von smarten Verpackungen in der Pharmabranche. Innovative Konzepte zeigen Verpackungssysteme, die eigenständig die Entnahme eines Medikaments erkennen und Patienten daran erinnern, ein Rezept zu erneuern. Wie eine smarte Verpackung beispielhaft den Patienten

bei der Medikamenteneinnahme unterstützen kann, zeigt die folgende Grafik.

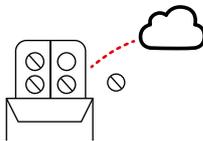
Visualisierung | **Erläuterung**



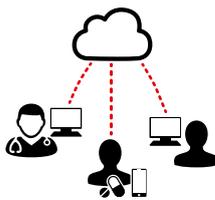
Ein Arzt oder Apotheker überträgt die individuelle Einnahmeverordnung eines Patienten mit dem Smartphone an die Medikamentenschachtel.



Ein Leuchtsignal auf der Verpackung erinnert rechtzeitig an die Einnahme des Medikaments.



Mit Hilfe eines Sensors erkennt die Verpackung, wenn das Medikament eingenommen wird und sendet den Zeitpunkt und die Menge der Einnahme automatisch an ein System.



Der behandelnde Arzt und der Patient (wahlweise auch Familienangehörige) können jederzeit einsehen, ob die Einnahmeverordnung eingehalten wurde. Ist dies nicht der Fall, so wird der entsprechende Personenkreis automatisch durch das System benachrichtigt (z.B. durch einen Telefonanruf, eine SMS oder per App).

Abb.1: Mögliche Funktionsweise einer smarten Verpackung von Medikamenten

Der Erfolg einer solchen Verpackung ist einerseits durch den technologischen Fortschritt und andererseits durch die Akzeptanz der Patienten bedingt. Der Frage, wodurch diese Akzeptanz herbeigeführt werden kann, war Gegenstand einer empirischen Untersuchung.

Methode und Ergebnisse

Die Erhebung der Studiendaten fand im Sommer 2019 in Form einer Online-Befragung statt. Insgesamt konnten 210 Probanden für die Teilnahme an der Befragung gewonnen werden. 65 Prozent der Befragten sind weiblich, 35 Prozent männlich. 40 Prozent der Probanden müssen täglich Medikamente einnehmen, die übrigen nur bei akutem Bedarf.

Zur Identifikation der Einflussfaktoren kam mit der Kausalanalyse ein statistisches Verfahren zur Anwendung, das komplexe Ursache-Wirkungsmodelle analysieren kann. Dabei konnte festgestellt werden, dass einerseits die Einstellung zur Nutzung und andererseits die wahrgenommene Nützlichkeit der

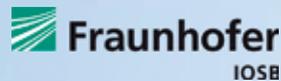
Lösen Sie das F-Gase-Problem in reines Wasser auf.

be the solution. be tomorrow.

Investieren Sie in Kühltechnologie der Zukunft mit dem Kältemittel Wasser (R718). Die weltweit sauberste Lösung, die alle Vorschriften erfüllt.

Mehr unter efficient-energy.de

Efficient Energy we are tomorrow



FRAUNHOFER-INSTITUT FÜR OPTRONIK, SYSTEMTECHNIK UND BILDAUSWERTUNG IOSB

FORSCHEN UND GLEICHZEITIG INDUSTRIENAH ARBEITEN GEHT NICHT?

DOCH.

Ob Studierender oder Absolventin, 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



smarten Verpackung dazu führen, dass der Patient Medikamente die mit dieser neuartigen Verpackung ausgestattet sind, auch eher verwendet. Personen, die eine smarte Verpackung als nützlich erachten, werden ferner mit einer größeren Wahrscheinlichkeit eine positive Einstellung gegenüber dieser Technologie entwickeln und die eigentliche Nutzung beabsichtigen. Die wahrgenommene Nutzerfreundlichkeit beeinflusst darüber hinaus die empfundene Nützlichkeit der smarten Verpackung. Daher spielt schon bei der Produktgestaltung die nutzerfreundliche Verpackung eine wichtige Rolle. Sowohl die Verpackung selbst, als auch die entsprechende App oder Software-Lösung müssen anwenderfreundlich und einfach zu bedienen sein. Nutzenstiftende Funktionen sind z. B. die automatische Erkennung der Entnahme eines Medikaments, eine Erinnerungsfunktion sowie eine Einnahmehistorie, die automatische Rezepterneuerung, die Übermittlung der Einnahmedaten an einen Arzt oder an Verwandte sowie eine Datenlöschfunktion.

Insgesamt erachten Personen, die von sich selbst sagen, dass sie eher Schwierigkeiten haben, ein Medikament regelmäßig nach Vorschrift einzunehmen, die Funktionen einer smarten Verpackung als besonders nützlich.

Datenschutzbedenken im Hinblick auf die eigenen persönlichen Gesundheitsdaten wirken sich erwartungsgemäß negativ auf den wahrgenommenen Nutzen der smarten Verpackung sowie auf die Einstellung zur Nutzung aus. Pharmahersteller müssen den Patienten glaubhaft machen, dass die erhobenen Gesundheitsdaten verantwortungsbewusst verarbeitet werden. Dabei ist es für die Hersteller ratsam, zeitgemäße Maßnahmen zum Schutz der Kundendaten zu ergreifen und diese transparent dem Patienten zu kommunizieren. So kann beispielsweise eine Smart Packaging-App Informationen darüber ausgeben, welche Daten erhoben wurden und wem diese zur Verfügung stehen. Darüber hinaus sollte der Patient jederzeit seine Daten löschen können. Gleichzeitig sollte er die automatische Datenübertragung an Ärzte oder Verwandte jederzeit deaktivieren können.

Insgesamt werden die Herstellungskosten von smarten Verpackungen durch neue Möglichkeiten des digitalen Drucks immer geringer. Der Markt von smarten Verpackungen wächst weiter und soll aktuellen Schätzungen zufolge im Jahr 2024 ein Marktvolumen von 48 Mrd. US-Dollar erreichen (Lohmann 2018).

Literatur

[1] Inductive Intelligence LLC: Our Technology, 2017, URL: <https://www.inductiveintelligence.com/technology-products>, Abrufdatum: 23.9.2019.

[2] J. Kite-Powell, Johnnie Walker Smart Bottle Debuts at MobileWorld Congress, 2015, URL: <https://www.forbes.com/sites/jenniferhicks/2015/03/02/johnnie-walkersmart-bottle-debuts-at-mobile-world-congress/#1e95fode7ca1>, Abrufdatum: 30.9.2019.

[3] F. Kleinsinger, *The Unmet Challenge of Medication Nonadherence*, 2018, The Permanente Journal, Vol. 22, S. 18-33.

[4] F. Lohmann, *Smart Packaging: Wachstumstreiber Printelektronik*, 2018, URL: <https://www.print.de/news-de/smart-packaging-wachstumstreiber-printelektronik/>, Abrufdatum 11.10.2019.

[5] Statista. (2019a): Internet of Things (IoT) connected devices installed base worldwide from 2015 to 2025 (in billions), URL: <https://www.statista.com/statistics/471264/iot-number-of-connected-devicesworldwide/>, Abrufdatum: 10.10.2019.

[6] Statista. (2019b): Prognose zum Umsatz mit dem Internet der Dinge (IoT) in Deutschland von 2010 bis 2020 (in Milliarden Euro), URL: <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/538008/umfrage/prognose-zumumsatz-mit-dem-internet-der-dinge-in-deutschland/>, Abrufdatum: 24.9.2019.

Autoren

Jonathan Osterroth M. Sc.

Master-Student International Management 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

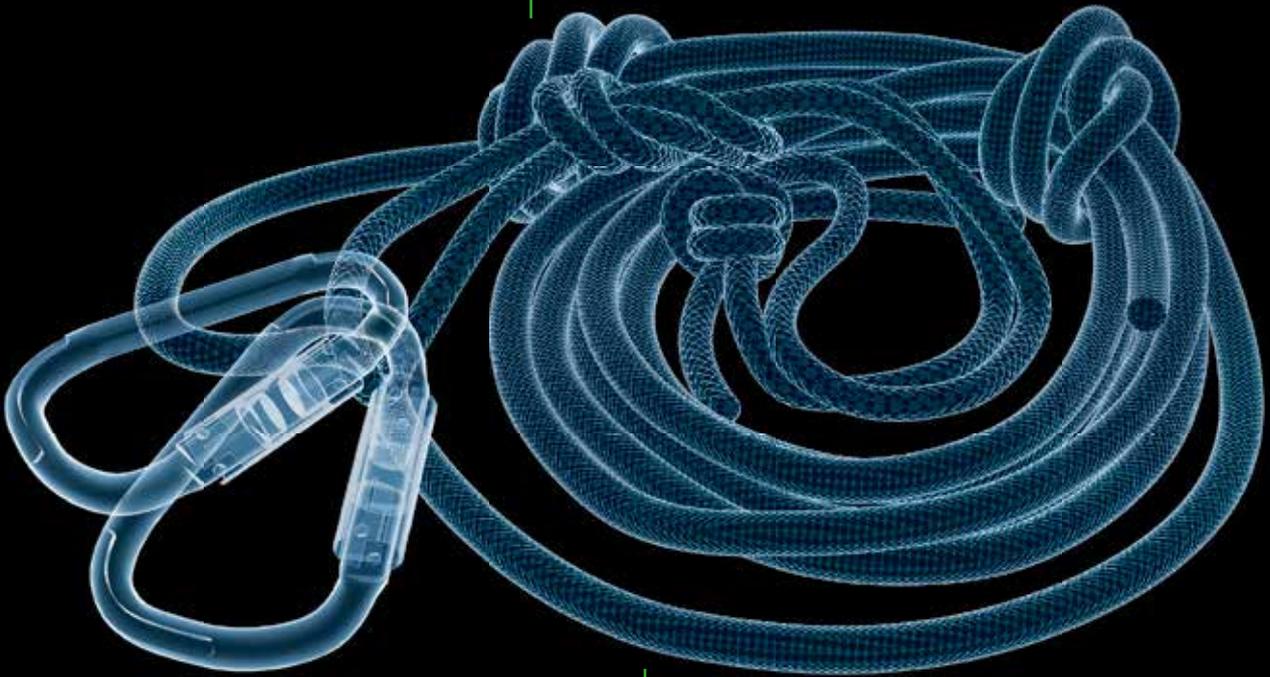
Prof. Dr. Stefanie Regier

Hochschule Karlsruhe – Technik und Wirtschaft
Fakultät für Informatik und Wirtschaftsinformatik
Moltkestraße 30

76133 Karlsruhe

E-Mail: stefanie.regier@hs-karlsruhe.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

Building Information Modelling für das Erhaltungsmanagement von Straßennetzen

Markus Stöckner und Manuel Niever

Aufgrund der wirtschaftlichen Bedeutung einer effizienten Straßeninfrastruktur sollen zukünftig die Möglichkeiten der Digitalisierung durch eine ganzheitliche und flächendeckende Anwendung des Building Information Modeling (BIM) im Erhaltungsmanagement genutzt werden. Für den Betrieb und die Erhaltung der hoch belasteten Straßeninfrastruktur in Deutschland sind moderne und umfassende Methoden des Asset Managements erforderlich. Grundvoraussetzung dafür ist die Verfügbarkeit der richtigen Daten in brauchbarer Qualität. An der Hochschule Karlsruhe wird daher im Forschungsprojekt BIM4ROAD Prozess- und Datenmodelle für einen durchgängigen digitalen Informationsaustausch über den gesamten Lebenszyklus eines Straßennetzes entwickelt.

Due to the economic importance of an efficient road infrastructure, the potential of digitisation will be exploited in the future through a holistic and comprehensive application of Building Information Modelling (BIM) in maintenance management. Modern and comprehensive asset management methods are required for the operation and maintenance of Germany's highly congested road infrastructure. The basic prerequisite for this is the availability of the right data in usable quality. Therefore, the research project BIM4ROAD at Karlsruhe University of Applied Sciences is developing process and data models for a continuous digital exchange of information over the entire life cycle of a road network.

Motivation und Stand der Forschung

Um die Mobilität unserer Gesellschaft zu sichern muss eine leistungsfähige Straßeninfrastruktur betrieben und erhalten werden. Das hoch belastete Straßennetz in Deutschland ist dabei besonders relevant, denn „die Verkehrsinfrastruktur [...] ist eines der wertvollsten Anlagevermögen und Grundlage für die erfolgreiche wirtschaftliche Entwicklung und der Lebensqualität“ [1]. Basierend auf der Erhaltungsbedarfsprognose 2015 des Bundesverkehrswegeplans wird ersichtlich, dass die erforderliche Qualität der Straßennetze ein strukturiertes Erhaltungsmanagement erfordert [2]. Dabei handelt es sich bei der Straßenerhaltung um eine Sammlung von Maßnahmen zur Erhaltung des Substanz- und Gebrauchswerts von Verkehrs- und Nebenflächen sowie deren Umweltverträglichkeit. Diese Sammlung dient der Entwicklung von Abläufen eines praxisorientierten Systems und deren Datenstrukturen zur Optimierung der operativen und strategischen Erhaltungsplanung. [3] Die Grundlagen hierfür liefert die regelmäßige Zustandserfassung und -bewertung (ZEB) des Straßennetzes. Die ZEB liefert detaillierte Kenntnisse über den Zustand des Straßennetzes. Auf dieser Datenbasis kann anschließend im Erhaltungsmanagementsystem Pavement Management System (PMS) eine optimierte Erhaltungsplanung durchgeführt werden. Somit ist die Effizienz und Effektivität der PMS-Modelle hochgradig von der Qualität der Eingangsdaten, d.h. der ZEB-Daten, abhängig [4].

Für den Betrieb und die Erhaltung der hoch belasteten Straßeninfrastruktur in Deutschland sind moderne und umfassende Methoden des Asset Managements erforderlich, dessen erfolgreiche Anwendung wiederum auf der Verfügbarkeit der richtigen Daten in brauchbarer Qualität basiert. Ersichtlich wird, dass die Digitalisierung im Bausektor einen wachsenden Stellenwert erhält [5]. Die Methode Building Information Modeling (BIM) ermöglicht die Zusammenarbeit unterschiedlichster Akteure während Entwurf, Planung, Bau bis hin zum Betrieb eines Bauwerks auf Basis eines gemeinsamen Datenaustauschs und mehrdimensionalen Modellen [6]. Diese softwarebasierten, dreidimensionalen Abbildungen eines Bauwerks mit großer Informationstiefe sowie digitaler Dokumentenverwaltung ermöglicht es, zuerst virtuell zu bauen und erst nach erfolgreicher Überprüfung tatsächlich real zu bauen [2]. Das Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMVI) hat die BIM-Methode folgendermaßen definiert:

„Building Information Modeling bezeichnet eine kooperative Arbeitsmethodik, mit der auf der Grundlage digitaler Modelle eines Bauwerks die für seinen Lebenszyklus relevanten Informationen und Daten konsistent erfasst, verwaltet und in einer transparenten Kommunikation zwischen den Beteiligten ausgetauscht oder für die weitere Bearbeitung übergeben werden.“ [7]

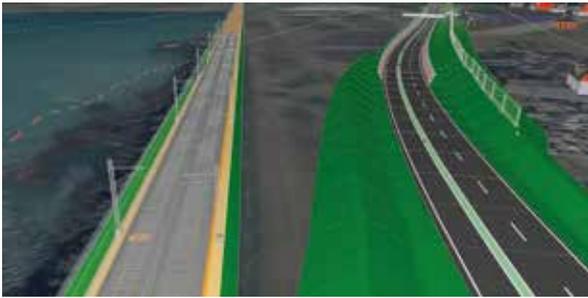


Abb. 1: Digitale Modelle des Pilotprojekt B 87n, Eilenburg – Mockrehna (DEGES)

Festgelegtes Ziel des BMVI ist es, ab dem Jahr 2020 bei allen öffentlichen Infrastrukturbauwerken die BIM Methodik bei Planung, Bau und Betrieb anzuwenden. Besonders wichtig sind dabei die Datenanforderungen, die BIM Qualifizierung sowie Betrachtung der Prozesse. Denn eine transparente Prozessdefinition in Verbindung mit einer systematischen und korrekten Beschreibung, welche Aufgaben von welchen Personen in welcher Reihenfolge zu erledigen sind, unterstützen die Einführung von BIM wesentlich [8]. Mithilfe der formalen Prozessmodellierung werden die Datenaustauschprozesse beschrieben und Anforderungen bezüglich der auszutauschenden Modellinhalte, abgeleitet.

BIM-basiertes Erhaltungsmanagement im Straßenbau

Aufgrund der wirtschaftlichen Bedeutung einer effizienten Straßeninfrastruktur sollen die Möglichkeiten der Digitalisierung durch eine ganzheitliche und flächendeckende Anwendung des Building Information Modeling (BIM) genutzt werden. Daher wurde von der Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt) das Forschungsprojekt BIM4ROAD gefördert, um die Entwicklung eines Datenmodells für einen durchgängigen digitalen Informationsaustausch über den gesamten Lebenszyklus eines Straßennetzes zu erforschen. Gemeinsam mit den Partnern der Ruhr-Universität Bochum und der Technischen Universität München wurden an der Hochschule Karlsruhe die Grundlagen erarbeitet, Prozess- und Datenmodelle entwickelt und an verschiedenen Beispielen getestet.

Die detaillierte Prozessanalyse der einzelnen Aktivitäten und Datenübergabepunkten des aktuellen Erhaltungsmanagements führte zu einer genaueren, formalen Beschreibung der Datenflussprozesse und der Speicherung tatsächlich relevanter Daten. Neben den direkten Vorteilen im Planungs- und Bauprozess, wirkt sich dies insbesondere auch positiv in der späteren Erhaltungs- und Betriebsphase aus. Basierend auf den erzeugten Prozessmodellen konnte aufgezeigt werden, bei welchen Aktivitäten bzw. Datenübergabe-

punkten im Erhaltungsmanagement die BIM-Methode dazu beitragen kann, dass die aktuellen Berechnungen des Pavement-Managements zukünftig auf besseren Datengrundlagen beruhen können [9].

Weiterführend wurde im Projekt ein Datenmodell definiert, welches sich einerseits am internationalen Datenaustauschstandard Industry Foundation Classes (IFC) orientiert und andererseits auch die Möglichkeiten des Objektkatalogs für das Straßen- und Verkehrswesen (OKSTRA) berücksichtigt, um nationale Merkmale festzulegen. Das Datenformat ermöglicht dabei die dreidimensionale Beschreibung von Bauwerken und ihrer Komponenten sowie die Zuordnung von fein aufgelösten semantischen Informationen. Der entwickelte Ansatz wurde durch ein fiktives sowie reales Beispiel eines Straßenabschnitts umfassend validiert.

Ausblick

Die konsequente Integration der BIM-Methode im Lebenszyklus von Verkehrsinfrastrukturen wird zu weitreichenden Vorteilen für alle Beteiligten im Erhaltungsmanagement führen. Neben den technischen Voraussetzungen müssen jedoch auch umfassende organisatorische und rechtliche Rahmenbedingungen geregelt werden.

Die Ergebnisse des Forschungsprojekts BIM4ROAD werden seitens der Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt) für die Positionierung in Normungsgremien als auch die Fortschreibung der eigenen Datendefinitionen verwendet. Dies schafft eine transparente Darstellung des zukünftigen Datenbedarfs und soll zu besseren Datenbanken für die vom Straßenerhaltungsmanagement verwendeten Algorithmen und Berechnungen führen. Die Ergebnisse haben weiterführend zu einem Folgeauftrag auf EU-Ebene geführt, in dem unter Federführung der Hochschule Karlsruhe ein BIM kompatibles Asset Management für die europäischen Straßenbauverwaltungen entwickelt wird.

Literatur

- [1] M. Socina and C. Komma, “Kennzahlen für die gesamtwirtschaftliche Bewertung von Erhaltungsstrategien,” *Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik*, vol. 2015, no. 1113.
- [2] Planen-bauen 4.0 - Gesellschaft zur Digitalisierung des Planens, Bauens und Betreibens mbH, “Konzept zur schrittweisen Einführung moderner, IT-gestützter Prozesse und Technologien bei Planung, Bau und Betrieb von Bauwerken - Stufenplan zur Einführung von BIM: Endbericht,” 2015.

- [3] Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt), *Sträßenerhaltungsplanung: Randbedingungen, Anforderungen, Umsetzung*. [Online] Available: <https://www.bast.de/DE/Strassenbau/Fachthemen/g53-strassenerhaltungsplanung.html>. Accessed on: Nov. 05 2018.
- [4] M. Stöckner, "Bau und Erhaltung von Verkehrsflächen," in *Der Elsner*, 72. Jahrgang (2018), *Der Elsner 2018: Handbuch für Straßen- und Verkehrswesen (Planung, Bau, Erhaltung, Verkehr, Betrieb)*, C. Lippold, Ed., Dieburg: Otto Elsner Verlagsgesellschaft, 2017, pp. 1007–1018.
- [5] M. Stöckner and M. Niever, "Building Information Modeling: BIM im Life Cycle Management," in *FGSV Kongressband Erfurt: Deutscher Straßen und Verkehrskongress 2018*, Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (FGSV), Ed., Köln: FGSV-Verlag, 2018.
- [6] A. Borrmann, M. König, C. Koch, and J. Beetz, Eds., *Building Information Modeling*. Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden, 2015.
- [7] M. Egger, K. Hausknecht, T. Liebich, and J. Przybylo, "BIM-Leitfaden für Deutschland: Information und Ratgeber. Endbericht," 2013.
- [8] M. König, "Prozessmodellierung," in *Building Information Modeling*, A. Borrmann, M. König, C. Koch, and J. Beetz, Eds., Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden, 2015, pp. 57–73.
- [9] M. Niever and M. Stöckner, "Digitalisierung im Erhaltungsmanagement: BIM-basierte Datenmodelle für die Straßeninfrastruktur," in *Tagungshandbuch des 1. Kolloquium Straßenbau in der Praxis*, Technische Akademie Esslingen (TAE), Ed., 2019.

Autoren

Prof. Dr.-Ing. Markus Stöckner

Professor an der Fakultät für Architektur und Bauwesen der Hochschule Karlsruhe

Manuel Niever M.Sc.

Akademischer Mitarbeiter am Institut für Verkehr und Infrastruktur der Hochschule Karlsruhe

Kontakt

Prof. Dr.-Ing. Markus Stöckner

Hochschule Karlsruhe – Technik und Wirtschaft

Fakultät für Architektur und Bauwesen

Moltkestraße 30

76133 Karlsruhe

E-Mail: markus.stoeckner@hs-karlsruhe.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

Methoden und Prozessportfolio zur Entwicklung von Smart Services und Smart Products

Claas Christian Wuttke

Zunehmend leistungsfähigere Technologien der Datenaufnahme (Sensoren), -verarbeitung, -speicherung sowie -vernetzung (Internet of Things IoT) ermöglichen Produkte, die datenbasierte Services anbieten. Beispiele sind Smartphones und -watches, aber auch Maschinen, die ihre Wartung selbst steuern können. Der Beitrag gibt einen Überblick über das in den letzten Jahren erarbeitete Portfolio an Methoden und Prozessen zur Entwicklung datenbasierter Produkt-Service-Systeme (Smart Services und Smart Products).

Increasingly powerful technologies for data collection (sensors), processing and storage as well as networking (Internet of Things IoT) facilitate the production of products like smartphones and -watches as well as machines that in combination with data-based services are able to control their own maintenance. This article gives an overview of the portfolio of methods and processes that has been worked out in recent years for the development of data based product-service-systems – also called smart services and smart products.

Problemstellung

Smart Services und Smart Products sind Produkte mit einem zugehörigen, individuell auf das Produkt abgestimmten Portfolio an datenbasierten Dienstleistungen – wie zum Beispiel Smartphones oder digitalisierte Werkzeugmaschinen oder deren Komponenten. Steht das Sachgut im Mittelpunkt, so spricht man von Smart Products (z.B. ein Smartphone) im anderen Fall von Smart Service (z.B. Navigation auf Basis von Echtzeit-Verkehrsdaten). Dieser Trend zu datenbasierten Produkt-Service Kombinationen ergibt sich aus zwei Gründen, die sich am Beispiel des Maschinenbaus gut erklären lassen: Zum einen zeigt sich insbesondere in dieser Branche, dass produktbegleitende Dienstleistungen oft höhere Rendite und ein höheres Marktwachstum aufweisen als der reine Verkauf der Maschinen selbst. Zum anderen nimmt durch die zunehmende Digitalisierung der Maschinen die Verfügbarkeit und Qualität der Daten kontinuierlich zu.

Die Problemstellung ergibt sich daraus, dass für diese spezifische Konstellation auch spezifische Methoden der Produktentwicklung benötigt werden. Dabei kann durchaus auf bewährte Verfahren und Prozesse zurückgegriffen werden, diese müssen aber spezifisch angepasst werden. Der folgende Beitrag gibt einen Überblick über die Forschungsergebnisse der letzten Jahre. Im Fokus stehen dabei die Entwicklung von Smart Services und Smart Products, die sich bei der Digitalisierung der wertschöpfenden Prozesse sowie der dazu notwendigen Maschinen und Komponenten in der Industrie ergeben – also der Umsetzung der Industrie 4.0.

Anforderungen und Werkzeuge für eine professionelle Entwicklung industrieller Smart Services und Smart Products

Gerade technologieorientierte KMU haben sehr gute Voraussetzungen, schnell neue Dienstleistungen anzubieten: Sie haben in der Regel kurze Entscheidungswege und sind mit ihrer ganzen Organisation nah am Kunden. Dem gegenüber stehen allerdings auch Risiken und Herausforderungen. So können Dienstleistungen nur zusammen mit dem Kunden, seinen Mitarbeitern und/oder seinen Maschinen, Werkzeugen oder sonstigen Ressourcen erbracht werden. Auch bei der Qualitäts- und Kapazitätsplanung sieht sich der Anbieter vor besondere Herausforderungen gestellt. Häufig steht die größte Herausforderung aber zu Beginn des Innovations- und Entwicklungsprozesses: nämlich dann, wenn Unklarheit darüber herrscht, mit welchen aktuell oder in naher Zukunft verfügbaren Daten welcher Nutzen - in Form von Smart Services/Products - erzeugt werden kann.

Um vor dem Hintergrund der oben genannten Anforderungen professionelle, nachhaltige und ertragreiche Smart Services/Products anbieten zu können, wurden folgende Prozesse und Werkzeuge entwickelt:

1. Ein Ideen-Generator für Smart Services und -Products speziell im Maschinenbau [1]
2. Ein individualisierbarer Produktentwicklungsprozess iPEP für Dienstleistungen unter Nutzung spezifischer Dienstleistungs-Entwicklungsmethoden sowie einem Start-up fähigen [2]
3. ein Prozess zur ziel- und risikoadäquaten Integration der Kunden in die Entwicklung neuer Dienstleistungen [3] und

4. eine Vorgehensweise zur Nutzung von Dienstleistungs-Prototypen zur effizienten Kundenintegration und Qualitätsabsicherung [4].

Abbildung 1 gibt einen Überblick über das Zusammenwirken der oben genannte Prozesse und Werkzeuge.

Ideengenerator für datenbasierte Services im Maschinenbau

Eine Organisation, die darauf ausgerichtet ist, Sachgüter wie Maschinen oder Komponenten zu entwickeln, tut sich schwer damit, Ideen für ganz neuartige, datenbasierte Services zu entwickeln. Vorgehensweisen zur Ideenfindung für innovative Geschäftsmodelle sind bereits publiziert und im Einsatz. Um diese noch effektiver zu machen, wurden für das klar abgegrenzte Feld der datenbasierten Services im Maschinenbau unterstützende Werkzeuge entwickelt. Kern ist dabei eine kontinuierlich aktualisierte Liste mit strukturierten Beschreibungen der bereits bekannten Smart Services/Products im Maschinenbau.

Individualisierter Produktentwicklungsprozess iPEP

Ausgangspunkt ist ein generischer Referenz-Produktentwicklungsprozess (PEP) [2]. Dieser strukturiert die Entwicklung industrieller Dienstleistungen mittels Arbeitsphasen, detailliert Entwicklungsumfänge und beinhaltet Methoden zu deren effizienter Bearbeitung sowie Checklisten zur Sicherstellung der jeweils notwendigen Reife.

Zur Konkretisierung von Entwicklungstätigkeiten beinhalten die Arbeitsphasen verschiedene Themenmodule. Diese sind jeweils voneinander unabhängig einsetzbar und ermöglichen eine Prozessindividualisierung. Zur Beschreibung der Themenmodule werden Inhalte des Stage-Gate-Ansatzes und Vorgehensmodellen des Service Engineering aufgegriffen sowie an die Besonderheiten industrieller Dienstleistungen angepasst. Zur Sicherstellung der effizienten Arbeitsausführung enthält der Referenz-PEP zusätzlich phasenspezifische Methodenempfehlungen.

Um auch kleinere Entwicklungsaufgaben effizient abwickeln und steuern zu können, wird der Referenz-PEP in seinem Umfang angepasst. Liegen beispielweise schon konkrete Anfragen/Vorgaben durch Kunden vor, können frühe Projektphasen wie Ideengenerierung, Potenzialanalyse und Anforderungsanalyse übersprungen werden und der Fokus auf die Dienstleistungskonzeption sowie Implementierung und Test gelegt werden. Die Detaillierung dieser verbleibenden Arbeitsphasen orientiert sich an den zu klärenden Fragestellungen und auch am zu erwartenden Umsatzvolumen.

Die Individualisierung des PEP erfolgt im Wesentlichen durch die Formulierung von produkt- und unternehmensspezifischen Checklisten. Dazu gibt es zu jeder Arbeitsphase eine Referenz-Checkliste. Diese ist jeweils in Themenblöcke gegliedert und enthält typische Fragestellungen sowie mehrere Vorschläge für



Abb. 1: Methoden- und Prozessportfolio zur Entwicklung von Smart Services und Smart Products

die jeweiligen Zielausprägungen. So lassen sich zum Beispiel branchenspezifische Regularien oder auch Erfahrungen aus alten Projekten für zukünftige Projekte nutzen.

Start-up orientierter Entwicklungsprozess: PSS-Canvas
Gerade – aber nicht ausschließlich – in kleinen Unternehmen oder gar Start-Up's stehen keine ressourcenstarken Entwicklungsorganisationen zu Verfügung. Neue Angebote müssen mit minimalem Einsatz entwickelt werden. Dazu steht der Produkt-Service System (PSS-) Canvas zur Verfügung. Der PSS-Canvas besteht aus einer großformatigen Wand, auf der der aktuelle Projektstand strukturiert aber einfach – d.h. in der Regel handschriftlich – dargestellt wird. Ausgangspunkt für die Entwicklung kann ein neues Geschäftsmodell – z.B. in der Form eines Geschäftsmodell-Canvas – sein. In einem Kick-off-Workshop werden dann alle notwendigen Hardware-, Software- und Service-Elemente zur Umsetzung des neuen Geschäftsmodells in einem Smart Service/Product aufgelistet und im weiteren Vorlauf schrittweise detailliert, spezifiziert und schließlich der Umsetzungsstand dokumentiert. Zu dieser Dokumentation gehört auch jeweils die Formulierung von Ziel- und später dann Ist-Kosten.

Methoden zur Integration der Kunden in die Produktentwicklung

Die grundsätzliche Notwendigkeit zur Kundenintegration wird selten in Zweifel gezogen, häufig aber sehr spontan umgesetzt. Eine systematische Planung der Kundenintegration [3] ist deshalb wichtig, weil mit den Chancen zur Erfolgssteigerung durch Kundenintegration auch Risiken einhergehen: Schlechtes Aufwand/Nutzen-Verhältnis, Know-how-Verlust, Einblick der Kunden in interne (ggf. verbesserungsbedürftige) Prozesse und häufig auch eine überzogene Erwartung bezüglich der schnellen Umsetzung aller geäußerten Ideen. Die systematische Dokumentation der Prämissen der Kundeneinbindung mit ihren Zielen, Risiken, zeitlichem und finanziellen Rahmen sowie dem Status des betrachteten Entwicklungsprojekts hat eine grundsätzliche Bedeutung für das gesamte Projekt: Sie dient nicht nur als Basis für die Planung der Kundenintegration, sondern sie stellt ebenfalls sicher, dass alle Beteiligten von gleichen Rahmenbedingungen ausgehen können. Durch den strukturierten Prozess wird zudem die Entscheidungsqualität über die Art und Weise der Kundenintegration per se gesteigert. Abgerundet wird die Methodik durch eine Sammlung von ca. 40 konkreten Methoden zur Kundenintegration und einer Vorgehensweise zur Auswahl der jeweils geeigneten Methoden. Das detaillierte Vorgehen kann [A] entnommen werden.

Prototypen von Smart Services und Smart Products

Die frühzeitige Erprobung und Bewertung von Konzepten für Smart Services/Products – idealerweise zusammen mit den Kunden (wie oben beschrieben) – ist ein Erfolgsfaktor für die Entwicklung erfolgreicher Dienstleistungen. Dafür werden Prototypen benötigt. Angesichts der Immaterialität von Dienstleistungen stellt die Prototypenerstellung jedoch eine große Herausforderung dar. Es stehen aber Modellierungs- und Prototypenformen in Form von Skizzen (z.B. Serviettenskizzen oder Business Model Canvas), Ablaufdiagramme (z.B. Service Blueprints), Texte (z.B. Rolescripts – verbale Beschreibungen von beispielhaften Abläufen) oder auch verschiedene Formen von Rollenspielen zur Verfügung. Einzelheiten zu Formen von Dienstleistungsprototypen, ihrer Auswahl und der Planung ihres Einsatzes können [4] entnommen werden.

Ausblick

Die Weiterentwicklung der oben beschriebenen Methodik konzentriert sich einerseits darauf, neben den Kunden auch weitere relevante Personenkreise wie z.B. eigene oder Mitarbeiter von Partnerunternehmen in die Entwicklung von Smart Services/Products zu integrieren. Andererseits wird die Vorgehensweise zur Ideenfindung neuer Smart Service-Geschäftsmodelle erweitert. Dabei stehen folgende Fragestellungen im Vordergrund: Wie kann die Vernetzung von Produktionseinrichtungen über Industrie 4.0 Plattformen für Smart Services genutzt werden und wie kann aus der schrittweisen Umsetzung dieser Smart Services/Products eine Digitalisierungsstrategie abgeleitet werden? Die Entwicklung der Werkzeuge erfolgt – wie schon bisher – in enger Zusammenarbeit mit Industrieunternehmen, um die Praxistauglichkeit von Anfang an sicherzustellen.

Literatur

- [1] Gerl, S.: Innovative Geschäftsmodelle für Industrielle Smart Services . Karlsruher Hochschulschriften. 01/2018.
- [2] Wuttke, C.C.; Ludihuser, P.; Bleiweis, S.: Adaptable and Customizable Development Process for Product-Service Systems. *Procedia CIRP* 47 (2016), p. 317-322.
- [3] Wuttke, C.C.; Deck, B.; Haussmann, Y.; v. Hülsen, W.; Ilg, J.; Schneider, S.; Pereira, F.; Pester, M.: Individualized Customer Integration Process for the Design of IPSS. *Procedia CIRP* 83 (2019) 83–88.

- [4] Ilg, J.; Wuttke, C.C.; Siefert, A.: Systematic Prototyping of Product-Service Systems. Procedia CIRP 73 (2018), p. 50-55

Autor

Prof. Dr.-Ing. Claas Christian Wuttke

Professor für Produktion, Logistik und industrielle Dienstleistungen
an der Fakultät für Wirtschaftswissenschaften der Hochschule Karlsruhe

Kontakt

Prof. Dr.-Ing. Claas Christian Wuttke
Hochschule Karlsruhe – Technik und Wirtschaft
Fakultät für Wirtschaftswissenschaften
Moltkestraße 30
76133 Karlsruhe
E-Mail: claas-christian.wuttke@hs-karlsruhe.de



Steinbeis

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**

Vorteile und Rahmenbedingungen einer Einführung von kollaborierenden Robotern in kleinen und mittleren Unternehmen

Arndt Schäfer, Tobias Kopp und Steffen Kinkel

Das Institut für Lernen und Innovationen in Netzwerken beschäftigt sich im Forschungsprojekt „ProBot“ mit einer Anforderungsanalyse für die Einführung von kollaborierenden Robotern, sogenannten Cobots, in kleinen und mittleren Unternehmen (KMU). Dazu wurden bei vier KMU-Projektpartnern 19 Experteninterviews durchgeführt, deren Auswertung zeigt, dass KMU mit einem Cobot-Einsatz unterschiedliche Vorteile verbinden. Diese basieren jedoch weniger auf der Kollaborationsfähigkeit von Cobots, sondern eher auf deren Flexibilität. Ferner geht aus den Experteninterviews hervor, dass KMU durch den Einsatz von Cobots nur dann profitieren, wenn bestimmte Rahmenbedingungen erfüllt sind.

In the research project “ProBot”, the Institute for Learning and Innovation in Networks conducted a requirements analysis for the introduction of collaborating robots (so-called cobots) in small and medium-sized enterprises (SMEs). To this end, 19 experts from four different SME project partners were interviewed. The analysis of the interviews shows that SMEs see a variety of advantages in the use of cobots. However, these are based less on the cobot’s collaboration capabilities than on their flexibility. Furthermore, the interviews reveal that SMEs only benefit from the use of cobots if certain conditions are fulfilled.

Zusammen mit weiteren Partnern aus Forschung und Wirtschaft beteiligt sich das Institut für Lernen und Innovationen in Netzwerken (ILIN) der Hochschule Karlsruhe – Technik und Wirtschaft im Rahmen der BMBF-Fördermaßnahme „Zukunft der Arbeit: Mittelstand – innovativ und sozial“ am Forschungsprojekt „ProBot“. Dieses setzt sich mit der proaktiven Diagnose und Gestaltung des Einsatzes von kollaborierenden Robotern (sog. Cobots) in kleinen und mittleren Unternehmen (KMU) auseinander. Cobots zeichnen sich vor allem durch die Fähigkeit aus, aufgrund technischer Sicherheitsvorrichtungen Hand-in-Hand mit einem Menschen zusammenarbeiten zu können. Sie besitzen großes Potenzial, deutsche Unternehmen dabei zu unterstützen, den gegenwärtigen wirtschaftlichen Herausforderungen zu begegnen. Steigender internationaler Wettbewerb und damit verbundener Effizienzdruck verlangt von den Unternehmen eine kontinuierliche Weiterentwicklung ihrer Arbeits- und Wertschöpfungsprozesse. Viele Großunternehmen setzen dabei bereits auf eine Steigerung der Arbeitseffizienz durch Roboter [3]. Obwohl auch der deutsche Mittelstand auf die kontinuierliche Verbesserung der Arbeits- und Wertschöpfungsprozesse angewiesen ist, haben dort Roboter in wesentlich geringerem Maße Einzug gehalten als in Großunternehmen ([1], [4]). Die typischerweise geringen Losgrößen und kürzeren Produktlebenszyklen in KMU erfordern häufiges Adaptieren und Umprogrammieren von Robotern und erschweren damit eine rentable Verwendung ([1], [2]). Hier lässt sich der besondere Nutzen von Cobots für

KMU verdeutlichen. Neben ihrer Fähigkeit zur direkten Kollaboration besitzen Cobots durch ihre geringe Größe und Leichtbauweise eine besondere Flexibilität bzw. Mobilität.

Trotz dieser Fähigkeiten werden Cobots durch KMU bisher wenig genutzt und in ihrem Potenzial unterschätzt. Dies liegt unter anderem daran, dass es KMU an Planungs- und Entscheidungshilfen fehlt, die sie bei der Einführung eines Cobots in ihrem Unternehmen unterstützen. Ohne entsprechende Hilfen ist es für KMU schwierig, die richtigen Einsatzszenarien und Arbeitsprozesse für Cobots in ihrem Unternehmen zu identifizieren. Anschließend stehen KMU vor der Herausforderung, das gewählte Einsatzszenario umzusetzen, was Handlungswissen erfordert, welches KMU meist nicht besitzen. Um den KMU eine bestmögliche Ausschöpfung des Potenzials von Cobots zu ermöglichen, hat sich das Forschungsvorhaben „ProBot“ deshalb die Entwicklung eines Methodenkoffers zum Ziel gesetzt, der hierfür die entsprechenden Instrumente bereitstellt. Mit Hilfe der in Zusammenarbeit mit KMU identifizierten Anforderungen sollen maßgebliche Entscheidungskriterien für den Cobot-Einsatz abgeleitet werden, um den KMU die Identifikation möglicher Anwendungsfälle zu erleichtern. Anschließend werden in den Anwenderfirmen erste Mensch-Roboter-Kollaborationen prototypisch umgesetzt und evaluiert. Im Zuge dessen werden die Instrumente des Methodenkoffers bezüglich ihrer Nützlichkeit überprüft und optimiert.

Damit bildet die Anforderungsanalyse der Einflussfaktoren, die für den Entscheidungs- und Implementierungsprozess von Cobots in KMU relevant sind, den Ausgangspunkt des Methodenkoffers. Zur Identifikation dieser maßgeblichen Faktoren hat das ILIN bei den vier Anwenderfirmen des Projekts eine empirische Datenerhebung in Form von strukturierten Experteninterviews durchgeführt, an denen insgesamt 19 Experten der Anwenderfirmen teilnahmen. Die Experteninterviews wurden im Anschluss einer qualitativen Inhaltsanalyse unterzogen und hinsichtlich spezifischer Leitfragen ausgewertet.

Die Auswertung der Experteninterviews hat ein breites Spektrum an möglichen Vorteilen eines Cobot-Einsatzes hervorgebracht. In diesem Zuge nennen die Experten hauptsächlich wirtschaftliche Herausforderungen wie den internationalen Kostendruck oder den allgemeinen Fachkräftemangel, für die der Cobot-Einsatz Antworten bieten könnte. Konkret versprechen sich die befragten Experten von der Verwendung eines Cobots eine Verbesserung des Produktionsprozesses, z.B. indem Qualitätssteigerungen (durch höhere Prozesssicherheit), verringerte Produktionskosten und eine rentable Fertigung von kleinen Losgrößen ermöglicht werden. Andere wirtschaftliche Vorteile eines Cobot-Einsatzes beziehen sich direkt auf den Vergleich mit klassischen Automatisierungslösungen. Zum einen zeichnen sich Cobots durch geringere Anschaffungskosten und ein damit verringertes Investitionsrisiko aus. Zum anderen zählt laut den Experten besonders die erhöhte Flexibilität des Cobots, im Sinne einer hohen Mobilität, zu einem entscheidenden wirtschaftlichen Vorteil. Sie ermöglicht eine schnelle Anpassungsfähigkeit auf einen neuen Arbeitsplatz oder -prozess, sodass flexibel auf verschiedene Auftragslagen reagiert werden kann und dadurch eine Steigerung der Cobot-Auslastung ermöglicht wird. Insgesamt wird deutlich, dass die erwarteten Vorteile eines Cobots den KMU helfen können, auf den steigenden Effizienzdruck zu reagieren. Laut den Experten bestehen die Vorteile eines Cobots aber nicht nur in betriebswirtschaftlichen Überlegungen, sondern auch in der höheren Akzeptanz einer Cobot-Einführung durch die Belegschaft im Vergleich zu einer klassischen Automatisierungslösung. Dies liege daran, dass Mitarbeiter durch die Cobot-Fähigkeit zur Kollaboration weiterhin in den Arbeitsprozessen involviert bleiben und somit keine Verdrängung durch einen Cobot aus ihrem Arbeitsplatz befürchten müssten. Ferner erwarten die Experten in einer Cobot-Einführung eine generelle Steigerung der Arbeitsplatzattraktivität für Mitarbeiter, die auf einer Reduktion von psychischen und physischen Belastungen der Mitarbeiter beruhe.

Indem Cobots die Arbeitsergonomie erhöhen, verringern sie gezielt körperlich repetitive und anstrengende sowie monotone kognitive Arbeiten für den Mitarbeiter. Überraschenderweise verknüpfen die Experten nur auf Nachfrage eine Steigerung der Arbeitsplatzattraktivität mit Vorteilen auf dem Arbeitsmarkt, die sich aufgrund eines positiveren Arbeitgeberimages ergeben könnten. Inwiefern sich die KMU durch eine Cobot-Einführung Vorteile bei der Anwerbung von Fachkräften erwarten, lässt sich damit anhand der Interviewergebnisse nicht sicher belegen.

Die hier skizzierten Argumente für einen Cobot-Einsatz sind für KMU an differenzierte Rahmenbedingungen geknüpft, die zum Teil erheblichen Einfluss auf den Nutzen eines Cobot-Einsatzes ausüben. Aus technischer Sicht kommt zunächst der Flexibilität und Zuverlässigkeit eines Cobots eine übergeordnete Bedeutung zu. Ist ein Cobot aufgrund zu aufwendiger Neuprogrammierung für einen neuen Arbeitsprozess an seinen derzeitigen Arbeitsplatz gebunden oder ist die Bedienung eines Cobots dermaßen komplex, so dass nur wenige, geschulte Mitarbeiter mit ihm zusammenarbeiten können, verliert der Cobot seinen Vorteil der Flexibilität gegenüber bisherigen Automatisierungslösungen. Eine schnelle Reaktion auf unterschiedliche Losgrößen bei einer breiten Produktpalette wäre dann z.B. nicht mehr zu gewährleisten. Ist ein Cobot wenig zuverlässig, befürchten Unternehmen längere Stillstandzeiten, was z.B. die Amortisierung einer Investition in einen Cobot erschweren würde. Des Weiteren sehen sich die Unternehmen mit rechtlichen Herausforderungen bei der Einführung eines Cobots konfrontiert. Wie andere Automatisierungslösungen auch, müssen Cobots für die Zusammenarbeit mit Menschen zertifiziert werden, um die körperliche Unversehrtheit eines Mitarbeiters zu gewährleisten. Es werden Risikoanalysen unter Einbezug der Ausstattung von Cobots notwendig, bei denen großer Bedarf an Vorgehensmodellen und Normen sowie Hilfestellung durch Experten besteht.

Auf psychologischer Ebene stellt sich für die Experten die Frage, wie mit entstehenden Ängsten der Belegschaft gegenüber der Einführung von Cobots umgegangen werden soll. Aus Sicht der beteiligten KMU ist von unterschiedlichen Ressentiments und Ängsten bei ihren Mitarbeitern auszugehen, zu denen unter anderem die Angst vor dem Arbeitsplatzverlust oder die Angst vor Veränderungen in Produktionsabläufen zählt. Überraschenderweise äußern die Interviewexperten zudem große Bedenken bezüglich einer tatsächlichen Kollaboration zwischen einem Mitarbeiter und einem Cobot. Viele Szenarien eines Cobot-Einsatz-

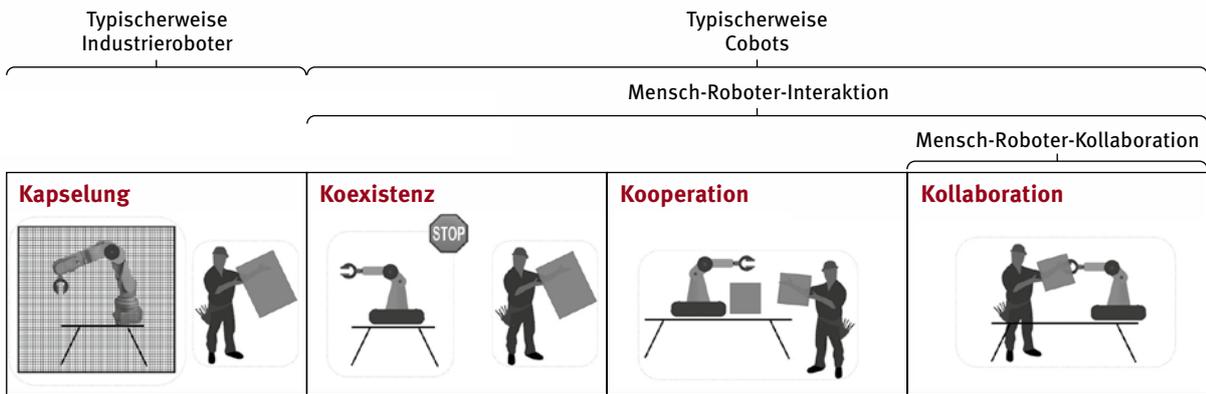


Abb. 1: Bei einer Koexistenz erledigen Cobots und Mitarbeiter voneinander unabhängige Arbeitsschritte in verschiedenen Prozessen und arbeiten nicht direkt miteinander zusammen (vermeiden aber z.B. aktiv Kollisionen). Bearbeiten ein Mitarbeiter und ein Cobot in einem Arbeitsprozess sequenziell nacheinander ihre Arbeitsschritte, spricht man dagegen von einer Kooperation. Eine Kollaboration zeichnet sich dadurch aus, dass ein Cobot und ein Mitarbeiter in einem Arbeitsprozess gemeinsam an einem Arbeitsschritt arbeiten und sich dabei berühren können

zes, die für KMU zu wirtschaftlichen Vorteilen führen könnten, bauen eher auf einer kooperativen oder koexistenten Zusammenarbeit zwischen einem Mitarbeiter und einem Cobot auf. Weder bei kooperativen noch bei koexistenten Szenarien würden Cobot und Mitarbeiter jedoch Hand-in-Hand zusammenarbeiten (s. Abb. 1).

Insgesamt zeichnet die Analyse der Experteninterviews ein komplexes Bild des Cobot-Einsatzes in KMU. Das Datenmaterial untermauert den Eindruck, dass Cobots für KMU nützliche Potenziale bieten, um auf den internationalen Wettbewerbsdruck zu reagieren. Dabei spielt insbesondere die hohe (Orts-) Flexibilität des Cobots eine Rolle, die ihm das flexible Wechseln zwischen verschiedenen Arbeitsprozessen ermöglicht. Es überrascht jedoch, dass die Experten bislang noch keine wirklich kollaborativen Szenarien für einen Cobot-Einsatz in ihren Unternehmen vorsehen. Die Fähigkeit, Hand-in-Hand mit Menschen zusammenzuarbeiten, scheint in den befragten KMU noch nicht hinreichend präsent zu sein. Aus der Analyse des Datenmaterials geht darüber hinaus hervor, dass Vorteile eines Cobot-Einsatzes für KMU nur dann nutzbar gemacht werden können, wenn gewisse Anforderungen an den Cobot-Einsatz erfüllt werden. Sind technische (z.B. leichte Programmierbarkeit) oder rechtliche Voraussetzungen für einen Cobot-Einsatz nicht erfüllt, äußern die befragten Experten große Bedenken gegenüber einer Einführung eines Cobots in ihren Unternehmen. In diesem Zusammenhang wird deutlich, dass KMU geeignete Instrumente brauchen, die sie bei der Einführung und Anwendung von Cobots unterstützen. Hierbei will das Projekt „ProBot“ die beteiligten KMU durch die Entwicklung eines geeigneten Methodenkoffers umfassend unterstützen.

Das Forschungsprojekt „ProBot“ wird im Rahmen des Programms „Zukunft der Arbeit“ vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) und dem Europäischen Sozialfonds (ESF) gefördert (Förderkennzeichen 02L17C550) und vom Projektträger Karlsruhe (PTKA) betreut. Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt bei den Autoren.

Literatur

- [1] B. Beckert, D. Buschak, B. Graf & M. Hägele, Automatisierung und Robotik-Systeme. Studien zum deutschen Innovationssystem, Expertenkommission Forschung und Innovation (Hrsg.), 2016.
- [2] M. Bender, M. Braun, P. Rally & O. Scholtz, Leichtbauroboter in der manuellen Montage - einfach EINFACH anfangen. Erste Erfahrungen von Anwenderunternehmen (W. Bauer, Hrsg.), Fraunhofer IAO, 2016; Zugriff am 26.01.2017.
- [3] B. Bierfreund, Herausforderungen bei der Entwicklung einer neuen Generation von Industrierobotern für kleine und mittelständische Unternehmen (KMU), 2008, Kurzbeitrag, ARBEIT - Zeitschrift für Arbeitsforschung, Arbeitsgestaltung und Arbeitspolitik; Zugriff am 18.01.2017.
- [4] Positive Impact of Industrial Robots on Employment, International Federation of Robotics, 2013; Zugriff am 30.01.2017.

Autoren

Arndt Schäfer M.Sc.

Tobias Kopp M.Sc.

Akademische Mitarbeiter am Institut für Lernen und Innovation in Netzwerken (ILIN) der Hochschule Karlsruhe

Prof. Dr. Steffen Kinkel

Professor an der Fakultät für Informatik und Wirtschaftsinformatik der Hochschule Karlsruhe

Kontakt

Prof. Dr. Steffen Kinkel

Hochschule Karlsruhe – Technik und Wirtschaft

Fakultät für Informatik und Wirtschaftsinformatik

Leiter des Instituts für Lernen und Innovation in

Netzwerken (ILIN)

Moltkestr. 30

76133 Karlsruhe

E-Mail: steffen.kinkel@hs-karlsruhe.de

Engineering heute ist: anwendungsorientiert, interdisziplinär und international. Wie wir: Verpackungstechnologie made by KOCH wird im Team entwickelt, ist kundenindividuell und weltweit erfolgreich im Einsatz.



Für neue Herausforderungen und neue Lösungen für vernetzte Produktivität brauchen wir Sie! Ihr topaktuelles Fachwissen, Ihre systematische Vorgehensweise, Ihre hohe Motivation, zusammen mit 400 Mitarbeitern unseren Erfolg zu gestalten. Stellen Sie sich Ihre Zukunft vor ... als (m/w/d):



Absolventen
Maschinenbau, Mechatronik
und Elektrotechnik

Bacheloranden
Praktikanten

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

Mid-size Companies in the Digital Platform Economy – Building the Hidden Champions of tomorrow?

Roman Kerres, Patrick Brecht and Carsten H. Hahn

Der Mittelstand gilt als Rückgrat der deutschen Wirtschaft. Dabei basieren die Geschäftsmodelle dieser Unternehmen zumeist auf einem linearen, produktorientierten Ansatz. Heute funktionieren die erfolgreichsten Unternehmen der Welt allerdings nach einer anderen Logik: Der Plattform-Ökonomie. Diese Geschäftslogik bietet zwar große Wachstumsmöglichkeiten, stellt mittelständische Unternehmen jedoch auch vor große Herausforderungen. Wie der Mittelstand diese Chancen nutzen kann und wie er mit diesen Herausforderungen umgehen kann ist Gegenstand aktueller Forschung.

The “German Mittelstand” is often referred to as the backbone of the German economy. The business models of these companies are mostly based on a pipeline, product-oriented approach. Today, however, the most successful companies in the world operate according to a different logic: the digital platform economy. Although this business logic offers excellent growth opportunities, it also poses huge challenges for medium-sized companies. Current research focuses on how SMEs can exploit these opportunities and how they can deal with the challenges of the platform economy.

Introduction and Background

Small and medium-sized enterprises (SMEs), medium-sized enterprises, family businesses - regardless of their names, the multi-faceted SME sector is regarded as the “backbone” of the German economy (Becker & Ulrich, 2015). More than 99 % of all companies based in Germany are SME’s, which account for 60 % of all generated turnover in Germany (Becker & Ulrich, 2015). As “German Mittelstand”, this category of companies is internationally known for its uniqueness and efficiency (The Economist, 2014).

Welsh and White (1982) have concluded that small companies are not miniature versions of large corporations and should therefore be regarded as an independent area for research and theory building. SME’s are regarded as being more flexible as they are less bureaucratic and often owner-managed. They enjoy flatter hierarchies and thus faster and more efficient internal communication. The disadvantages of medium-sized companies are limited resources due to their smaller size (Chandy and Tellis, 2000). In particular, limited financial resources are seen as a critical hurdle for time-intensive and uncertain development and innovation efforts (Millward and Lewis, 2005). In addition, such companies have a limited public awareness and, combined with their limited size, have less influence on their industry. Concerning innovation, smaller companies pursue fewer innovation projects and only a few of them run parallel to each other (Laforet, 2008). As a result, such enterprises generally have less experience and knowledge of innovation processes than

large corporates. Consequently, the innovation process in small and medium-sized enterprises is much less formalized than in large enterprises (Berends et al., 2014). Innovation tasks are often solved ad hoc and iteratively instead of following a linearly planned process. Some activities, such as market research, are often not carried out at all or only with minimal effort (Hoffmann et al., 1998).

Also, in the area of business model innovation SME’s are less active than their larger counterparts. Most of the small and mid-sized companies pursue a pipeline and product-oriented business model. The business logic they apply is a sequenced combination of input, throughput and output.

Nowadays the world’s top five companies (Apple, Google, Microsoft, Amazon and Facebook) are all based on a different business logic: digital platforms. (Forbes Magazine, 2018)

This pattern of business model is disrupting traditional industries and is radically changing the interaction between supply and demand, while being based on a completely different logic.

“A platform is a business based on enabling value-creating interactions between external producers and consumers” (Parker/Van Alstyne/Choudary, 2016, p. 5). It is not merely a mobile app, website or, as often falsely believed, only a technology. A digital platform is considered a business model (Moazed, 2016) that

“enabl[es] efficient social and business interactions”, which are conciliated by software (Choudary, 2015, p. 18). The value creation of a digital platform is based on the exchange of information, goods or services and any type of currency between the users (producer and consumer) on the platform (Parker/Van Alstyne/Choudary, 2016).

According to Choudary (2015) and Moazed (2016), linear pipeline businesses produce their own goods or services and sell them downstream through the supply chain. Unlike digital platforms, pipeline businesses own and control their resources, generate growth for the business by mergers and acquisitions and create value through efficient processes in the supply chain. In contrast, a digital platform neither owns nor controls resources, such as inventory or stock; rather it is owned and controlled by the participants (Parker/Van Alstyne/Choudary, 2016). Digital platforms offer the participants the infrastructure in order to facilitate the exchange of resources among the users and thereby make it rewarding for the users and for the platform itself. (Parker/Van Alstyne/Choudary, 2016). Popular examples of platform businesses are UBER and AirBnB.

In the age of digital transformation, digital platforms are not only being created by large corporates. The “German Mittelstand” is taking first small steps towards developing new digital platforms. For instance, LaserHub (founded in 2017) is transforming the sheet metal industry by providing the capacity of sheet metal machines on the one hand and enabling customers to meet their demand for sheet metal parts on the other hand. The question is still being raised what possibilities mid-sized companies have for interaction with the growing digital platform economy.

Interaction and Innovation

Firstly, the simplest way for an incumbent to interact with digital platforms is to use existing platforms as consumers. For instance, the placement of orders on purchase-platforms such as the above-mentioned LaserHub Platform or the use of booking.com. Secondly, they appear as a producer on digital platforms. Examples for this category are hotels that offer their rooms on booking.com. On the one hand, being a producer on digital platforms creates an opportunity to reach more customers than with more classical sales channels. In addition, the sales process is simplified as the producer only gets a purchase order that needs to be filled - no need to find new customers and negotiations. On the other hand, being a producer of a digital platform involves dependence on the platform operator, as the producer loses direct contact to the customers. This

means the producer is only able to fulfil the order but does not get more information from the customer that he could use to improve his products or services. In addition, there is more competition within a digital platform as it provides a higher level of market transparency concerning certain information e.g. price and delivery time.

The most complex way to enter the platform economy for incumbents is to create an own digital platform. This possibility has the most business opportunities. Currently, only a few incumbents are already experimenting with digital platforms. One example is Klöckner & Co SE, a German steel and metal trader, with their spin-off XOM, a digital platform for metal trading.

Especially mid-sized companies have difficulties experimenting with this type of business model. This is due to their minimal expertise in platform business models and logics as well as their limited resources. Nevertheless, the recent success of digital platforms shows the potential of this business logic. Therefore, the question is raised as to how mid-sized incumbents in particular can come up with innovative digital platform business models. In order to answer this question, the authors developed and validated a new approach, especially for creating digital business models for mid-sized incumbents.

Predominantly in mid-sized companies, the knowledge gap concerning the platform economy needs to be filled when it comes to creating ideas for digital platform business models. It is helpful to include external knowledge in the innovating team to incorporate expertise in platform logics. The integration of internal knowledge into the team is essential, as externals do not have deep insights into the product and the capabilities of the innovating company. With the combined knowledge, the first step is to find a “problem” which is worth solving. Therefore, it is necessary to visit and observe customers and to find out about the market. In this step, external contributions are useful as they ask naive questions and introduce a different perspective into the current market and business model.

Once problems are identified, they need to be understood in depth in order to generate an opportunity. Questions to be answered are among others: Where does the problem come from? What is the root cause? How many people are currently experiencing the problem? Is the problem “big” enough to be worth solving?

Based on this experience the problem can be defined and an opportunity for creating a new business. Only

after this step has been made, the team can think about possible solutions to the problem. Here the external knowledge is necessary to ideate platform-based solutions. With combined knowledge, the team builds several concepts to show how a solution and a possible business model for the defined problem could look. Analogies from other industries can help here.

Once a possible concept is defined, it is mandatory to validate the solution in the market and to iterate on it. In addition, the platform-specific chicken-egg problem needs to be addressed and a launching strategy needs to be identified. Here the external platform-knowledge is helpful.

Validation

As part of the research methodology, the approach was validated in a realistic environment. Winterhalter Gastronom GmbH is one of the German Hidden Champions, a family-owned mid-sized company that is already being managed by the third generation. With around 2000 employees worldwide, Winterhalter is market-leader in producing commercial dish and glass-washing machines. Their business model is based on the idea of offering a total ware wash solution, including a complete product range with all machine sizes, chemicals, water treatment and after-sales service. The Management of Winterhalter is highly motivated to set up the company for long-term success. Therefore, they are interested in new approaches and innovations such as those the platform economy offers.

Students of the Technology and Entrepreneurship Master Program of Karlsruhe University of Applied Sciences brought the external perspective into the challenge to create entrepreneurial opportunities for Winterhalter in the platform economy. As “digital natives”, they contributed a company-neutral perspective. Internal knowledge was integrated into the student-teams by workshops with several different Winterhalter employees. After getting to know the company’s current business model and its expertise, the students focused on problem finding. Therefore, they “left the building” (Ries, 2017) and talked to and observed Winterhalter customers. With the objective of gaining insights and finding problems and opportunities, the teams also integrated current market and technology trends into their problem definition. Once a solvable problem had been found the teams ideated on possible solutions. With their digital background, they created innovative digital platform-based concepts of business models. Already in the early stages,

the teams validated hypotheses of their concepts in the market by talking to potential customers. With this valuable feedback, they refined their concepts and iteratively created and validated a digital platform business model.

With the combination of internal knowledge from Winterhalter employees and external knowledge, a realistic option was created for Winterhalter to enter the platform economy.

Findings and Future perspectives

The combination of internal and external knowledge was especially fruitful for the newly developed approach. It helped to create ideas that on the one hand are relevant from the incumbent’s perspective and on the other hand, are innovative and platform oriented.

Another result is that even if it is possible to transfer the current pipeline business model into a platform business model, it is not advisable. It would be better if an opportunity that supports the current business model is found, and which can be solved using a platform-based approach. It is worth mentioning that not every problem can be solved by digital platforms. The combination of pipeline and platform business models seems promising and is subject of further research.

Besides that, the integration of platform-based business models into incumbents is challenging, as the basic business logic is completely different to pipeline businesses. One possible way forward could be spinning-off the new business model together with the former external team as partners. In addition, it is important to pursue the current business model in parallel to the efforts to step into the platform economy. This ambidexterity is challenging for big and small companies. The approach presented here, as well as the organizational implementation of such new and innovative business models, is the subject of future research.

Acknowledgements

The authors thank Mr. Ralph Winterhalter (CEO), Mr. Peter Huber and the whole team at Winterhalter Gastronom GmbH. They were motivated partners on this research project and were keen on developing innovative ideas with students.

Furthermore, the authors highly appreciate the openness to new concepts of the Dean of the Technology Entrepreneurship Master Program in the Faculty of Management Science and Engineering at Karlsruhe University of Applied Sciences.

Authors**Roman Kerres, M.Sc.**Research Assistant at the Research Project G-Lab
at Karlsruhe University of Applied Sciences**Patrick Brecht, M.Sc.**Research Assistant at the Research Project G-Lab
at Karlsruhe University of Applied Sciences**Prof. Dr. Carsten H. Hahn**Professor at the Faculty of Management Science
and Engineering and Academic Head of the Re-
search Project G-Lab at Karlsruhe University of
Applied Sciences**Contact**

Roman Kerres, M.Sc.

Patrick Brecht, M.Sc.

Karlsruhe University of Applied Sciences

Research Project G-Lab

Moltkestr. 30

76133 Karlsruhe

E-mail: roman.kerres@hs-karlsruhe.de

JOIN OUR TEAM, NOW!

**Wir sind unkonventionell.
Unsere Ideen auch.**

Wer wir sind? Die SIVIS ist ein innovatives Softwareunternehmen.

Wir entwickeln unsere eigenen SAP Addon Lösungen rund um die Themen
Identity und Risk Management, Compliance, Berechtigungen und Workflows.

Genau Dein Ding?

Bewirb dich jetzt: www.sivis.com/karriere

Bei Fragen wende dich an:

Melanie Presler | T 0721 665 930 35 | melanie.presler@sivis.com

SIVIS

smart · simple · safe

Grünhutstr. 6 | 76187 Karlsruhe

Sparen und Investieren im 21. Jahrhundert. Ursachen und Folgen der Niedrigzinsen

Hagen Krämer

Das Verhältnis des Kapitals zum Sozialprodukt steigt seit geraumer Zeit nicht mehr an, weshalb die Nachfrage nach Kapital stagniert. Andererseits nimmt aufgrund der längeren Rentenbezugsdauer der Vermögenswunsch der Bevölkerung schneller zu als das Sozialprodukt. Daraus ergibt sich eine säkular wachsende Divergenz zwischen privatem Kapitalbedarf und privatem Kapitalangebot. Diese Lücke muss im Interesse der Vollbeschäftigung und zur Vermeidung von Inflation und dauerhaften Niedrigzinsen durch Staatsschulden geschlossen werden. Somit sind staatliche Schuldenbremsen in den Verfassungen nicht mehr zeitgemäß. An ihre Stelle muss ein internationales Abkommen über ausgeglichene Leistungsbilanzen treten.

The ratio between capital and national product has not risen for some time, which is why the demand for capital is stagnant. Nevertheless, due to a longer pension entitlement period, the population's desire for wealth is growing faster than the national product. This results in the growth of a secular divergence between supply and demand of private capital. This gap must be closed by raising government debt to ensure full employment and in order to avoid inflation and permanent low interest rates. Thus, government debt brakes in the constitution are no longer up to date. They must be replaced by an international agreement on balanced current accounts.

Seit der Finanzkrise 2007/2008 sind in den entwickelten Volkswirtschaften einige ökonomische Anomalien zu beobachten. Dazu gehört, dass die Zinsen sich auf einem sehr niedrigen Niveau befinden. Die Realzinsen (Nominalzinsen abzüglich Inflationsrate) bewegen sich in zahlreichen Ländern im Bereich von null Prozent. So mancher macht hierfür die Europäische Zentralbank (EZB) und die von ihr verfolgte expansive Geldpolitik verantwortlich. Diese Kritik an der EZB ist jedoch ungerechtfertigt, da für die Null-Zinsen fundamentale Faktoren auf dem Kapitalmarkt verantwortlich sind. In unserem Forschungsprojekt, das in dem Buch von Weizsäcker/Krämer (2019) dokumentiert ist, ging es um eine tiefere Erforschung der Ursachen der Nullzinsen. Wir kommen darin zu dem Ergebnis, dass es sich hierbei nicht um ein temporäres Phänomen handelt, sondern das strukturelle Faktoren, die das Angebot an und die Nachfrage nach Kapital betreffen, hierfür verantwortlich sind. Diese werden das 21. Jahrhundert prägen und erfordern sowohl eine andersartige Analyse als auch andere wirtschaftspolitische Maßnahmen als bisher.

Für unsere Untersuchung wurde die in der ökonomischen Wachstums- und Kapitaltheorie bewährte Methode der Steady-State-Analyse verwendet, die eine lange Tradition in der ökonomischen Theorie hat. Sie wurde bereits von Adam Smith, dem Begründer der modernen Wirtschaftslehre, in seinem epochalen Werk *Wealth of Nations* aus dem Jahr 1776 verwendet. Smith nahm sich die physikalischen Theorien von

Isaac Newton zum Vorbild, um die „natürlichen Preise“ der Waren abzuleiten. Die Steady-State-Analyse (oder: Gleichgewichtsanalyse) ist aber auch ein Stützpfeiler jeder Naturwissenschaft, wie zum Beispiel die Ökologie, die die Wissenschaft von Gleichgewichten in der lebenden Natur ist. Auf ihr baut der Begriff der Nachhaltigkeit auf, der heute ein zentrales Ziel der Politik geworden ist.

Auf der Grundlage einer Steady-State-Analyse ist es möglich, säkulare Trends zu erkennen. Zu diesem Zweck wurde in dem Projekt ein vom bedeutenden österreichischen Ökonomen Eugen von Böhm-Bawerk Ende des 19. Jahrhunderts in die Literatur eingeführter Zeitbegriff verwendet: die „Produktionsperiode“ (T). Hierunter versteht man den durchschnittlichen zeitlichen Abstand zwischen dem ursprünglichen Input (Arbeit und Boden) und dem letztendlichen Output (Konsumgüter). Eine arbeitsteilige, durch den massiven Einsatz von Kapitalgütern gekennzeichnete Produktionsweise, die moderne Volkswirtschaften charakterisiert, vergrößert die Produktionsperiode. Eugen von Böhm-Bawerk entwickelte dafür den anschaulichen Begriff von der „Mehrergergiebigkeit längerer Produktionsumwege“. Je länger diese sind, je mehr Kapitalgüter eingesetzt werden, desto größer ist die Produktivität der Wirtschaft. Analog zur Produktionsperiode, die für die Unternehmen relevant ist, existiert auf Seiten der privaten Haushalte die „Warteperiode“, ebenfalls ein Zeitbegriff. Unter einer Warteperiode verstehen wir den in Gegenwartswerten ausgedrückten durch-

schnittlichen zeitlichen Vorlauf der Arbeitsleistungen vor den mit ihnen finanzierten Konsumausgaben. Die Warteperiode kann auch negativ sein, zum Beispiel dann, wenn ein Haushalt Kredit aufnimmt, um zu konsumieren, und diesen dann später aus einem Arbeitseinkommen zurückzahlt. Im Normalfall ist Z jedoch positiv.

Das Gleichgewicht zwischen dem Angebot an Kapital und der Nachfrage nach Kapital wird durch den Realzinssatz (r) und die Staatsschuldenperiode (D) hergestellt. Die Staatsschuldenperiode ist der dritte, von uns eingeführte, Zeitbegriff. Sie baut die Brücke zwischen den beiden ersten Zeitgrößen. Die Summe aus der privaten Warteperiode Z und der staatlichen Warteperiode ($-D$) (den Staatsschulden) ist die gesamte, die volkswirtschaftliche Warteperiode. Wir leiten her, dass im Steady-State-Optimum die volkswirtschaftliche Warteperiode $Z - D$ gleich der volkswirtschaftlichen Produktionsperiode T ist. Die hierzu passende Gleichung lautet: $T = Z - D$. Wir bezeichnen sie als *Fundamentalgleichung der Steady-State-Kapitaltheorie*. Bei dem optimalen Zinssatz (r), der gleich der Wachstumsrate des Sozialprodukts (r) ist, ist die Wirtschaft im Gleichgewicht. Es herrscht dann ebenfalls Vollbeschäftigung auf dem Arbeitsmarkt.

Im säkularen Trend ergibt sich jedoch eine wachsende Divergenz zwischen der Produktionsperiode (T) und der Warteperiode (Z): Während die Produktionsperiode, also die relative Kapitalnachfrage, säkular nahezu konstant ist, steigt die Warteperiode, also das relative Kapitalangebot, im säkularen Trend an. Und so entsteht eine zunehmende Kluft zwischen Z und D . Diese muss durch eine wachsende Staatsschuldenperiode D überbrückt werden. Es gibt zwei zentrale Ursachen für diese *Große Divergenz*. Eine Ursache ist die Grenze für die „Mehrergergiebigkeit längerer Produktionsumwege“, die man auch als „Grenze der Mehrergergiebigkeit höherer Komplexität“ bezeichnen kann. Sie ergibt sich, wenn eine Überkomplexität bzw. eine Überspezialisierung der Wirtschaft auftritt. Ein durchschnittlicher zeitlicher Abstand von wenigen Jahren zwischen dem ursprünglichen Input und dem letztendlichen Output entspricht dem Produktionsumweg, der die Ergiebigkeit der ursprünglichen Produktionsfaktoren maximiert. Von da ab geht es mit der Ergiebigkeit wieder bergab. Einer der Gründe hierfür, vielleicht sogar der Hauptgrund, ist der technische Fortschritt. Durch den kontinuierlichen Wandel der Wissensgrundlagen veralten die Zwischenprodukte, die den Realkapitalstock bilden. Wenn sie „zu alt“ werden, müssen sie ersetzt werden. Daher gibt es Grenzen für die nützliche Kapitalbindung des Produktionsprozesses. Hiervon rührt

die säkulare Konstanz des Verhältnisses von Kapitaleinsatz und Produktionsergebnis und damit der Produktionsperiode. Die seit längerem niedrigen realen Zinssätze in praktisch allen entwickelten Ländern legen nahe, dass die von uns betrachteten Volkswirtschaften der OECD-Länder und China schon nahe an dem Produktionsumweg sind, der die Ergiebigkeit der ursprünglichen Produktionsfaktoren Arbeit und Boden maximiert.

Die andere Ursache betrifft das wachsende Kapitalangebot. Dieses kann ebenfalls auf den Wandel oder Fortschritt des Wissens zurückgeführt werden. Es ist dies das „Gesetz der mit dem Wohlstand steigenden Zukunftsorientierung“ menschlichen Verhaltens. Je höher der Wohlstand, desto höher ist der relative Vermögenswunsch, das Verhältnis zwischen dem geplanten Vermögen und dem laufenden Konsum (der sog. Vermögenskoeffizient) steigt an. Das „Gesetz des wachsenden Vermögenskoeffizienten“ ist dasselbe wie das „Gesetz der wachsenden privaten Warteperiode Z “. Der steigenden privaten Warteperiode entspricht die mit dem Wohlstand steigende Lebenserwartung. Denn nirgends in der Welt gibt es ein parallel hierzu steigendes Übergangsalter von der Arbeit in den Ruhestand. Daher steigt die Rentenbezugsdauer. Zu ihr parallel steigt die Sparquote während der Berufstätigkeit. Das Spardreieck bringt diesen Zusammenhang als graphische Darstellung vor Augen (s. Abb. 1). Trotz der darin liegenden Vereinfachung gibt das Spardreieck die Verhältnisse zum Beispiel für Deutschland approximativ richtig wieder.

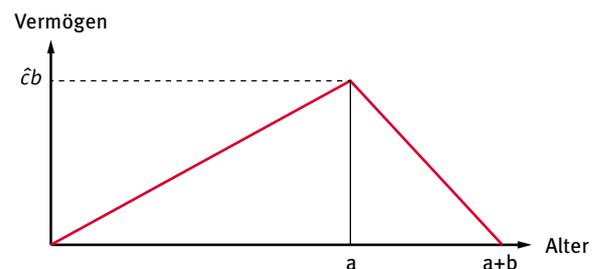


Abb. 1: Das Spardreieck: Es bedeuten a : Erwerbsphase (in Jahren), b : Ruhestandsphase (in Jahren), $ĉ$: Konsum in Geldeinheiten pro Jahr, $ĉb$: Vermögenswunsch in Geldeinheiten. Quelle: Carl Christian von Weizsäcker und Hagen Krämer (2019): S. 46.

Wir haben auf Basis von Daten der amtlichen Statistiken eine empirische Abschätzung des gesamten Vermögens der Bürger in den OECD-Ländern und China vorgenommen. Im Jahr 2015 betrug ihr Netto-Vermögen mehr als das 13-fache des jährlichen Konsums. Ein Drittel davon bestand aus Vermögen in Form von Realkapital (Maschinen, Anlagen, Gebäude), ein Fünftel des Vermögens bestand aus Boden und knapp die

Hälfte (genauer: $7/15$) aus finanziellen Ansprüchen gegenüber dem Staat (s. Abb. 2). Hierzu zählen wir zum einen die finanziellen Netto-Forderungen der Bürger gegenüber dem Staat (sog. explizite Staatsverschuldung) und zum zweiten die kapitalisierten Gegenwartswerte von Anwartschaften aus den Sozialversicherungen (sog. implizite Staatsverschuldung). Letztere macht den weitaus größten Teil des Vermögens des privaten Sektors aus.

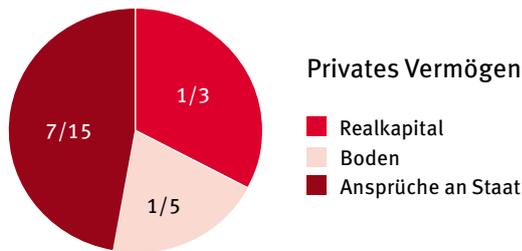


Abb. 2: Die drei Formen privaten Vermögens und ihre Anteile. Quelle: Carl Christian von Weizsäcker und Hagen Krämer (2019): S. 3.

Die Nettoposition der Bürger gegenüber dem Staat ist nach unserer Abschätzung rund sechsmal so hoch wie der jährliche Konsum der Bevölkerung in der Region OECD plus China. Dies gilt bei einem realen Diskontierungssatz von Null. Daraus kann man ableiten, dass der sog. natürliche Zins negativ ist. Dieser ist der reale Vollbeschäftigungszins, der gelten würde, wenn die Bürger keine Nettoposition gegenüber dem Staat hätten. Bei einem Realzins von Null und wenn es keine Staatsschulden geben würde, gäbe es einen riesigen Überschuss des Kapitalangebots gegenüber der Kapitalnachfrage. Dieser Überschuss drückte auf die Kapitalrendite, die damit ins Negative absinken würde. Weil aber der Nominalzins eine untere Schranke hat, kann der Realzins nur negativ werden, wenn es Inflation gibt. Wenn wir gemäß unseren Untersuchungen zum Schluss kommen, dass beim gegebenen

Steuersystem oder bei einem optimalen Steuersystem der natürliche Zins negativ ist, so hat die Gesellschaft die Wahl zwischen einem negativen Realzins ohne Staatsschulden und einem Zustand der Preisstabilität mit positiven Staatsschulden. Staatsschulden werden häufig als ein zu vermeidendes Übel angesehen. Diese Sichtweise hat dazu beigetragen, dass im Jahr 2009 eine „Schuldenbremse“ ins deutsche Grundgesetz aufgenommen wurde. Staatsschulden sind aber dann kein größeres Problem, wenn ihre Verzinsung nicht höher liegt als die Wachstumsrate der Volkswirtschaft ist. Diese Bedingung ist bei einem negativen natürlichen Zins dann erfüllt, wenn es der Staat mit der Staatsverschuldung nicht übertreibt. Es ist daher dringend geboten, die gegenwärtige „Schuldenbremse“ wieder abzuschaffen und durch besser geeignete Instrumente zu ersetzen.

Literatur

Carl Christian von Weizsäcker und Hagen Krämer, *Sparen und Investieren im 21. Jahrhundert. Die Große Divergenz*, Springer Gabler, Wiesbaden, 2019

Autor

Prof. Dr. Hagen Krämer

Professor an der Fakultät für Wirtschaftswissenschaften der Hochschule Karlsruhe

Kontakt

Prof. Dr. Hagen Krämer

Hochschule Karlsruhe – Technik und Wirtschaft
Fakultät für Wirtschaftswissenschaften

Moltkestr. 30

76133 Karlsruhe

E-Mail: hagen.kraemer@hs-karlsruhe.de

Familien in gemeinschaftlichen Wohnformen

Susanne Dürr, Gerd Kuhn und Nanni Abraham

In dem Forschungsprojekt „FageWo“ erfolgt eine Fokussierung gemeinschaftlicher Wohnformen auf die Bedürfnisse von Familien und älteren Menschen. Die Hochschule Karlsruhe geht dabei eine Kooperation mit dem Deutschen Jugendinstitut (DJI) ein. Während das DJI nach sozialen Interaktionen in selbstbestimmten und gelebten Gemeinschaften fragt, untersucht die Forschungsgruppe in Karlsruhe die räumlichen Qualitäten von Orten der Gemeinschaft hinsichtlich der Begegnungs- und Interaktionsmöglichkeiten. Das interdisziplinäre Projekt, das auf das Familienwohnen fokussiert ist, bündelt also räumliche und soziologische Fragestellungen.

The research project “FageWo” focuses on shared living arrangements to meet the needs of families and older people. The Karlsruhe University of Applied Sciences cooperates with the German Youth Institute (DJI). While the DJI researches social interactions in self-determined communities, the research group in Karlsruhe examines the spatial qualities in these projects in terms of opportunities for encounters and interaction. The interdisciplinary research project, which focuses on family living, thus bundles spatial and sociological questions.



Abb. 1: Darstellung eines Netzwerkes im Quartier – „Wohnvielfalt“, Tübingen, 2014 (Grafik: Susanne Dürr)

Das Forschungsprojekt „FageWo“

Gemeinschaftliche Wohnformen sind als Ausdruck der Bewältigung vielfältiger gesellschaftlicher Herausforderungen und der praktischen Suche nach experimentierfreudigen und innovativen Lösungen zu verstehen. Sie gewinnen an Bedeutung und umfassen mittlerweile ein weites Spektrum unterschiedlicher Ausprägungen. Gemeinsam ist diesen Wohnformen das Zusammenspiel von zumeist abgeschlossenen Wohnräumen mit Gemeinschaftsbereichen, wie auch eine weitreichende Selbstbeteiligung und Selbstorganisation des sozialen Miteinanders.

Gemeinschaftliche Wohnprojekte sind zudem soziale Netzwerke, da sie auf gegenseitiger Unterstützung beruhen. Neuere gemeinschaftliche Wohnprojekte öffnen sich zum Quartier bzw. zum lokalen Nahraum. Sie oszillieren zwischen lernendem Pragmatismus und vielfältigen gesellschaftspolitischen Visionen. Gerade aufgrund der wohnortnahen Unterstützung ist diese Wohnform insbesondere für Familien und ältere Menschen attraktiv.

Das Forschungsprojekt „Familien in gemeinschaftlichen Wohnformen (FageWo)“ wird federführend von der Hochschule Karlsruhe im Rahmen des Forschungsprogramms „Zukunftsinitiative Bau“ des Bundesinstituts für Bau-, Stadt- und Raumforschung durchgeführt und mit zusätzlichen Mitteln der Wüstenrot Stiftung sowie des Bundesministeriums für Familie, Senioren, Frauen und Jugend (BMFSFJ), Referat „Wohnen im Alter“ ergänzt. Für das Forschungsprojekt FageWo ging die Hochschule Karlsruhe eine Kooperation mit dem Deutschen Jugendinstitut (DJI) ein.

Innerhalb des Forschungsprojekts werden zwei zentrale Forschungsstränge des gemeinschaftlichen Wohnens für Familien verfolgt: Im ersten Forschungsfeld – für das das Deutsche Jugendinstitut in München verantwortlich ist - stehen soziale Interaktionen in selbstbestimmten und gelebten Gemeinschaften im Zentrum. Im zweiten Forschungsfeld – das an der Hochschule Karlsruhe bearbeitet wird - werden räumliche Qualitäten der Gemeinschaftsorte untersucht und es wird danach gefragt, ob und wie diese Orte für die Gemeinschaft Begegnungen und Interaktionen ermöglichen bzw. erleichtern. Das interdisziplinäre Forschungsprojekt, das auf das Familienwohnen fokussiert ist, bündelt also soziologische und räumliche Fragestellungen. Es beinhaltet zudem Aspekte der generativen Integration und behält die regionalen Ausprägungen in ihrem urbanen und ländlichen Kontext in den deutschsprachigen Ländern im Blick. Darüber hinaus wird es familienbiographische und familien-

strukturelle Veränderungen aufzeigen. Ziel wird auch die Erstellung eines öffentlich zugänglichen Praxisleitfadens mit handlungsrelevanten Schlussfolgerungen sein, der Interessenten aus gemeinschaftlichen Wohnprojekten, aus der Wohnbauwirtschaft, den Kommunen und Bundesländern sowie weiteren Akteuren dieses Themenfelds zur Verfügung gestellt wird.



Abb. 2: Nutzung von Erschließungsflächen als vorgeschalteter Aufenthaltsbereich vor den Wohnungen – „StadtErle“, Basel, 2019 (Foto: Nanni Abraham)

Gesellschaftlicher Wandel, neue Gemeinschaften und Nachbarschaften

In den letzten Jahrzehnten veränderten sich die traditionellen Verortungen und Bindungen der Menschen deutlich. In dem Forschungsprojekt müssen daher auch die zentralen Begriffe Gemeinschaft und Nachbarschaft geklärt werden.

Zur Heterogenität von Gemeinschaften: Gewohnte Netzwerke und soziale Bindungen – z.B. in Gewerkschaften, Kirchen oder Vereinen – lösen sich zunehmend auf. Diese Auflösung der tradierten Bindungen ist ambivalent, da sich Momente des Verlusts mit Momenten der Emanzipation paaren. Die Momente der Befreiung und der Zumutung sind also zwei Seiten der gleichen Münze. Menschen werden zu Seiltänzern,

die befreit über dem Abgrund schweben, aber dennoch jederzeit abstürzen können [1]. Anlässlich der Verleihung des Hegel-Preises an den amerikanischen Stadtforscher Richard Sennett, nannte der Soziologe Ulrich Beck drei sich ergänzende Prinzipien, die das neue Spannungsfeld von Individuation und Gemeinschaft charakterisieren: Zunächst muss die Kultur die Möglichkeit der „Selbstwerdung des Menschen“ (Individuation) bieten. Das aber heißt erstens, dass der „Fortschritt“ - so Beck - im Trennenden liegt und nicht im Verbindenden, „genauer gesagt: in einer Art Gemeinsamkeit ohne Gemeinschaft, also in der Heterogenität von Gemeinschaften (im Plural). Denn die sind es, die Individuation ermöglichen“ [1].

Zweitens erscheint heute die Bestimmung der Grenzen von Gemeinschaften von großer Bedeutung zu sein. Beides, der „Multikulturalismus“ verstanden als pluraler Monokulturalismus, aber auch der Universalismus, die Grenzenlosigkeit, seien eine Illusion. Es gelte vielmehr, verlässliche urbane Netzwerke zu markieren. „Es ist die Differenz, die Einbeziehung und Anerkennung des kulturell Anderen, die – nach Sennett – nicht etwa Gegenstand, sondern normative Voraussetzung kultureller Kritik ist. Zu akzeptieren, daß man den kulturell Anderen nicht verstehen kann, ist Teil des gelungenen gesellschaftlichen Umgangs mit der Differenz“ [1].

Drittens geht es nicht mehr um eine simple „Wiedereinbettung“ der Individuen in gewohnte Gemeinschaften. Sennett kritisiert die „Einigelungs-Reflexe“ deutlich, wie etwa das Feiern von Familie und Nachbarschaft und Intimität und Nation als Hafen in einer Welt der Hurrikane. „Wer die kleinkarierte Gemütlichkeit – sei es der Familie, des Klassenmilieus, der Nachbarschaften und Ortsgemeinden – als Leitidee des „Re-embedding“ immer wieder runderneuert, setzt sich der messerscharfen Sennett-Kritik an der ‚Tyrannei der Intimität‘ aus“ [1].

Für das Forschungsprojekt „FageWo“ werden neue, emanzipatorische Formen von Gemeinschaften zu Schlüsselbegriffen ebenso wie die Kultur der Vielfalt und Differenz sowie wie jene der urbanen Netzwerke. Da sich auch der tradierte Familienbegriff, von einer starren Vorstellung der traditionellen Eltern-Kind(er)-Familie zu einem sozialen Begriff von Familie (doing family), längst gewandelt hat, gewinnt der gesellschaftliche Nahbereich an immer größerer Bedeutung. Daher wird in dem Forschungsprojekt auch der Begriff der Nachbarschaften, der inzwischen eine große Renaissance erfährt, kritisch hinterfragt. Während sich Nachbarschaft durch zufällige räumliche Nähe

von Menschen konstituiert, konstituiert sich Gemeinschaft durch eine bewusste Entscheidung und durch Verlässlichkeit. Denn räumliche Nähe bewirkt nicht zwangsläufig auch soziale Nähe!



Abb. 3: Gemeinschaftliche Nutzung der Dachflächen – „StadtErle“, Basel, 2019 (Foto: Nanni Abraham)

Neue gemeinschaftliche Wohnprojekte für Familien und ältere Menschen

Die heutigen innovativen gemeinschaftlichen Wohnprojekte unterscheiden sich deutlich von jenen, die in den 1970er und 1980er Jahren entstanden. Damals bildeten sich neue Formen des gemeinschaftlichen Wohnens mit dem Ziel, gemeinsam wohnen und arbeiten zu können. Sie basierten auf homogenen sozialen Netzwerken, um bestimmte Haushaltsfunktionen gemeinschaftlich zu erledigen (Kinderbetreuung, Kochen, Beschaffung ökologisch unbedenklicher Lebensmittel in Kooperationen usw.). Ziel war es, eine Alternative zu bestehenden Wohnformen zu entwickeln. Häußermann und Siebel charakterisierten diese Wohnprojekte als „inszenierte Gemeinschaften“ [2]. Sie zeichneten sich durch ähnliche lebensweltliche Ansichten und homogene Familienstrukturen aus. Statt Vielfalt wurde Gleichheit angestrebt. Die inszenierten Gemeinschaften waren oftmals Pioniere des ökologischen Bauens, jedoch waren die Grundrisslösungen häufig konventionell. Orte der Gemeinschaft wurden statisch definiert, etwa im Gemeinschaftsraum. Auch heute gibt es noch viele Wohnprojekte, die beispielsweise im „Netzwerk gemeinschaftliches Wohnen“ aufgelistet sind, die vorrangig auf der sozialen Homogenität und Interessensgleichheit der inszenierten Gemeinschaft beruhen. Für neue urbane und auch rurale Projekte des gemeinschaftlichen Wohnens, die in Karlsruhe untersucht werden, trifft diese Zuschreibung allerdings nicht mehr zu.

Charakteristisch für die im Forschungsprojekt untersuchten Fallbeispiele ist, dass diese in den Wohnungen nach architektonischen Lösungen für die Vielfalt der familiären Wohnformen suchen [3]. Da statt Homogenität



Abb. 4: Gemeinschaftliche Nutzung des Innenhofs sowie Erschließung der Treppenhäuser – „Hagmann Areal“, Winterthur, Stadtkreis Seen, 2019 (Foto: Nanni Abraham)

eine Vielfalt an Lebensweisen, sozialen, generativen und ethischen Zugehörigkeiten in der Regel angestrebt werden, sind die gemeinschaftlichen Wohnprojekte größer als jene der letzten Jahrzehnte. Es werden dabei auch sehr unterschiedliche Grundrissvarianten entwickelt, die von traditionellen Eltern-Kind-Wohnungen bis hin zu Clusterwohnungen reichen.

Gerade der Vorteil von wechselseitigen Unterstützungsleistungen und Entlastungen von Familien in vertrauten Gemeinschaften führt zur Aufwertung des sozialen Nahbereichs. Es entstehen qualitätsvolle „halböffentliche“ Begegnungsräume, die die alltägliche Kommunikation sehr erleichtern. Räume der Gemeinschaft können eine feste Funktionszuschreibung erfahren (z.B. als Gästezimmer) oder auf einen hybriden, anwendungsoffenen Charakter verweisen. Neue Wohnprojekte bevorzugen nicht die Trennung, sondern den kontinuierlichen Übergang. Daher gewinnen das Erdgeschoss und die das Haus durchdringenden Erschließungszonen zunehmend an Bedeutung, da sie zwischen der privaten und der öffentlichen Sphäre vermitteln. Dieser Wandel steht auch für die Bedeutungsüberlagerung vom Haus zum Quartier. Die abgeschlossene Wohnung selbst sollte generationsoffen sein, also veränderte Raumanforderungen erfüllen, um den sich wandelnden lebenszyklischen Anforderungen gerecht zu werden. Guter Wohnraum für Familien

ist dementsprechend auch für die ältere Generation geeignet.



Abb. 5: Vorgelagerte, gemeinschaftlich genutzte Gärten – „Siedlung Orenberg“, Ossingen, 2019 (Foto: Nanni Abraham)

Stand der Forschung

Das Forschungsprojekt „FageWo“ startete im April 2019. Die Karlsruher Forschergruppe begann, nach der Literatur- und Projektrecherche, mit den ersten Experteninterviews und besuchte drei Fallstudien in der Schweiz. Es fanden mehrere koordinierende Workshops mit dem Deutschen Jugendinstitut statt und die Forschungsskizze wurde in Fachtagungen präsentiert. Im Frühjahr 2021 wird „FageWo“ abgeschlossen sein.



Abb. 6: Forschungsteam „FageWo“ bei einem Kooperationstreffen 2019 in Karlsruhe: Nanni Abraham, Dr. Alexander Jungmann, Prof. Susanne Dürr, Dr. Shih-cheng Lien, Dr. Martina Heitkötter, Dr. Gerd Kuhn (v. l.). (Foto: Susanne Dürr)

Literatur

- [1] Ulrich Beck: *Tragische Individualisierung. Laudatio für Richard Sennett anlässlich der Verleihung des Hegel-Preises 2006*, Stuttgart, März 2007; „Sie balancieren auf einem Hochseil in der Zirkuskuppel zwischen Scheidung, Jobverlust und permanenter Selbstanpreisung. Sie sind nicht Künstler, sondern Bastler, Flickschuster ihrer selbst.“ <http://www1.stuttgart.de/stadtbibliothek/ldh/laudatioBeck.pdf>; Zugriff 21.09.2019, S.6
- [2] H. Häußermann, W. Siebel, *Soziologie des Wohnens*, Weinheim/ München 1996, S. 320-321
- [3] S. Dürr, G. Kuhn, *Wohnvielfalt: Gemeinschaftlich wohnen – im Quartier und sozial vernetzt*, Wüstenrot Stiftung (Hg.), Ludwigsburg 2017

Autoren

Prof. Dipl.-Ing. Susanne Dürr

Professorin an der Fakultät für Architektur und Bauwesen der Hochschule Karlsruhe

Dr. Gerd Kuhn

Akademischer Mitarbeiter an der Fakultät für Architektur und Bauwesen der Hochschule Karlsruhe

Nanni Abraham M.A.

Akademische Mitarbeiterin an der Fakultät für Architektur und Bauwesen der Hochschule Karlsruhe

Kontakt

Prof. Dipl.-Ing. Susanne Dürr

Hochschule Karlsruhe – Technik und Wirtschaft
Fakultät für Architektur und Bauwesen

Moltkestraße 30

76133 Karlsruhe

E-Mail: susanne.duerr@hs-karlsruhe.de

Telefon: 0721 925-2782



1 Jessica Alice Hath; 2 Achim Mende; 3 bloomimages; 4 Brigidia Gonzalez; 5 Johannes Vogt; 6 Christian Richters; 7 Dietmar Strauß.

35.752 km², um sich selbst zu verwirklichen.

Vermögen und Bau Baden-Württemberg

Wenn wir morgens zur Arbeit gehen, wissen wir genau wofür. Dafür, dass im Land alles nach Plan läuft, das Immobilienvermögen erhalten bleibt, Forschung und Lehre stattfinden können und unsere Kulturdenkmäler auch zukünftig eine breite Öffentlichkeit begeistern.

Informieren Sie sich jetzt über eine Karriere als Ingenieurin oder Ingenieur, Architektin oder Architekt unter: www.bauensiemit.de

**Wir bauen Baden-Württemberg.
Bauen Sie mit.**



Baden-Württemberg
VERMÖGEN UND BAU

Digitales Fußballstadion 4.0 – eine Fanbefragung

Pascal Pfeiffer, Stefanie Regier und Ingo Stengel

Der Artikel umreißt den digitalen Wandel im Fußballstadion und analysiert die Wünsche und Bedenken unterschiedlicher Fantypen in diesem Zusammenhang. Basierend auf einer Online-Befragung konnten vier Fan-Typen identifiziert werden, die sich insbesondere hinsichtlich ihrer Einstellungen zu den Themen Datenschutz und Sicherheitstechnologien unterscheiden.

The paper describes changes in football stadiums in the digital age. Data about fan's attitudes to data protection and the use of security technologies was collected using an online questionnaire. Based on an analysis of their hopes and concerns four 'types' of fans were identified.

Hintergrund und Motivation

Deutsche Fußballstadien zählen bis heute zu den modernsten in Europa. Dennoch haben die Stadien mit der technologischen Entwicklung in der Vergangenheit kaum Schritt halten können. Im Gegensatz zu den amerikanischen Vorbildern erhalten smarte Technologien nur zögerlich Einzug in die Stadien deutscher Profifußballvereine. Obwohl ein Smartphone zur Grundausstattung eines fast jeden Stadionbesuchers gehört, boten bis Mitte 2017 lediglich acht Bundesligaclubs kostenloses WLAN für ihre Fans an [4]. Einschlägige Publikumszeitschriften sprachen in dem Zusammenhang gar von „digitalem Abseits“ im Fußballstadion [1].

Inzwischen hat sich einiges getan. Für die Saison 2019/2020 hat der FC Bayern München beispielsweise ein neues Parksystem mit automatischer Kennzeichenerkennung in seine App integriert, die das Parken sowie das Bezahlen der Parkgebühren vereinfacht [3]. Im Trainingslager werden die Leistungen der Profis des FC Augsburg vor Saisonauftakt mithilfe einer Kameradrohne analysiert [5]. Der FC Bayern München testet währenddessen Körperscanner – ähnlich der altbekannten und vieldiskutierten Scanner am Flughafen – zur Einlasskontrolle [7]. Digitale Technologien im Stadion eröffnen den Stadionbetreibern somit auch die Chance, neue Sicherheitskonzepte zu entwickeln und umzusetzen. Weitgehend unklar ist dabei, wie die Fußballfans dem digitalen Stadionwandel in Deutschland gegenüberstehen, welchen Technologien sie in Stadien erwarten und in welchen Bereichen sie Bedenken haben. Vor diesem Hintergrund wurde eine Befragung unter Fußballfans durchgeführt, um die Einstellungen hinsichtlich neuer digitaler Stadiontechnologie herauszufinden.

Datenschutz im Stadion

Bei der Einführung neuer Technologien sehen sich Stadionbetreiber aufgrund der Datenschutzvorgaben

nach der DSGVO neuen Herausforderungen ausgesetzt. Neben der transparenten Übermittlung der Informationen zur Erhebung trägt der Verantwortliche einerseits die Pflicht, der betroffenen Person Auskunft darüber zu geben, ob und wie deren Daten verarbeitet werden. Andererseits muss er sicherstellen, dass die angefallenen Daten ordnungsgemäß verarbeitet werden. Dazu gehört zum Beispiel auch die Anonymisierung von Daten, sodass diese ohne Hinzunahme weiterer Informationen nicht mehr der jeweiligen Person zuzuordnen sind. Ferner hat die betroffene Person das Recht auf Berichtigung, Löschung, Einschränkung der Verarbeitung, Übertragung oder Widerruf der Einwilligung zur Verarbeitung ihrer Daten [2].

In der Praxis weist häufig die Stadionordnung auf die Videoüberwachung zur Gewährleistung der Stadionsicherheit hin. Zudem willigt jeder Besucher mit Nutzung der Eintrittskarte in die Verwertung seiner personenbezogenen Daten in Bild und Ton ein, die bei der Veranstaltung entstehen. Das Bundesdatenschutzgesetz sieht in der Videoüberwachung von großflächigen, öffentlich zugänglichen Anlagen wie Stadien ein besonderes Schutzinteresse. Damit wird Stadionbetreibern die Nutzung von (Sicherheits-)



Abb.1: Quelle Pixabay

Technik erleichtert. Stadionbesucher müssen somit beim Betreten des Stadions generell in Kauf nehmen, dass ihre persönlichen Daten erfasst, verarbeitet und ggf. gespeichert werden.

Methode und Ergebnisse

Die Datenerhebung der Hauptuntersuchung fand im Zeitraum vom 23. Juni bis zum 25. Juli 2019 in Form einer Online-Befragung statt. Für die Studie wurde der Umfrage-Link an ausgewählte Fußballportale, die Vereine der 1. und der 2. Bundesliga, sowie an knapp 800 offizielle Fan-Clubs der Vereine gesendet. Insgesamt beteiligten sich 737 Probanden an der Umfrage, von denen 604 Probanden den Fragebogen vollständig bearbeitet haben und in die Studie eingingen. Gut 80 Prozent der Befragten sind männlich, knapp 60 Prozent der Fans sind Mitglied in einem Fanclub und ca. 40 Prozent sind Dauerkartenbesitzer.

Die Ergebnisse zeigen, dass eine Unterteilung der Fans anhand des Digitalisierungsaspekts von Stadien möglich ist und dass deren Einstellungen in einigen Bereichen übereinstimmen, in anderen jedoch stark voneinander abweichen. So bietet beispielsweise eine Navigationsfunktion im und um das Stadion so gut wie alle Fantypen einen messbaren Nutzen. Eine reibungslose Anreise, die Vermeidung von Staus und Wartezeiten, eine kundenfreundliche Parkplatzsuche und schließlich eine beschleunigte Abreise stellen für Fans ebenfalls einen großen Mehrwert dar. Demnach empfiehlt es sich verstärkt Investitionen für smarte Technologien in Verkehrs- und Parkleitsysteme zu tätigen, die über eine Anzeige von freien Parkplätzen hinausgehen. Denkbar sind z. B. sensorgestützte Lokalisierungen von freien Parkplätzen oder Parkplatz-Reservierungen per Smartphone über die Stadion-App.

Bei den Themen Datenschutz und Stadionsicherheit teilen sich die Meinungen, was mithilfe einer Clusteranalyse aufgedeckt werden konnte. So konnten vier Fantypen identifiziert werden:

- **Die Datenbewussten:** Die Datenbewussten zeigen sich neuen Technologien generell aufgeschlossen, sofern der Vorteil derselben klar erkennbar ist. Sie befürchten durch deren Umsetzung keine negativen Auswirkungen auf die Stadionatmosphäre. Ihr Ticket haben sie am liebsten elektronisch auf dem Smartphone; ein personalisiertes Ticket kommt für sie aber nicht in Frage. Ihrer Ansicht nach kann die Stadionsicherheit durch smarte Technologien deutlich erhöht werden, ohne dabei das Fan-Erlebnis im Stadion merklich zu reduzieren. Klare und transparente Regelungen zur Datennutzung sind für sie zwingen-

de Voraussetzungen. Generell geben sie nur ungern persönliche Daten preis.

- **Die Aufgeschlossenen:** Sie stehen neuen Technologien im Stadion offen gegenüber. Sie haben kaum Bedenken im Hinblick auf negative Auswirkungen digitaler Techniken auf die Stadionatmosphäre, finden aber auch, dass technische Neuerungen nicht zu sehr vom Spiel ablenken dürfen. Ihr Ticket haben sie am liebsten elektronisch dabei, beim Bezahlen nutzen sie neben Bargeld auch Mobile Payment Dienste. Die Erfassung von Personendaten zur Erhöhung der Stadionsicherheit ist für sie akzeptabel. Hinsichtlich der Nutzung ihrer Daten sind sie unbesorgt und würden sie für kameragestützte Sicherheitssysteme jederzeit preisgeben.
- **Die Skeptiker:** Sie stehen neuen Technologien im Fußballstadion eher kritisch gegenüber. Sie befürchten durch den digitalen Stadionausbau negative Auswirkungen auf die Atmosphäre im Stadion. Das Ticket haben sie am liebsten elektronisch auf dem Smartphone dabei, beim Bezahlen im Stadion setzen sie auf altbewährte Zahlungsformen, wie Bargeld und Kartenzahlung. Sie fühlen sich im Stadion sicher. Die Skeptiker wünschen sich daher auch keine zusätzliche Sicherheitstechnologie und würden ihre Daten für kameragestützte Sicherheit auf keinen Fall offenlegen
- **Die Traditionellen:** Sie setzen auf altbewährte Traditionen und sind nicht aufgeschlossen für neue Technologien im Stadion. Sie möchten ein klassisches, „nicht-elektronisches“ Ticket und zahlen ihre Getränke stets bar. Sie sind sich sicher, dass der digitale Stadionausbau sehr negative Auswirkungen auf die Stimmung im Stadion haben wird. Ihrer Ansicht nach erhöhen smarte Technologien die Stadionsicherheit nicht, sondern stören erheblich das Fanerlebnis. Sie möchten das Live-Erlebnis ohne digitale Inhalte. Die Traditionellen bleibt lieber anonym. Eine Preisgabe ihrer Daten kommt für sie unter keinen Umständen in Frage.

Unsicherheit bezüglich der Technologieakzeptanz der Fans sowie hohe Anfangsinvestitionen sind wesentliche Herausforderungen für die Stadionbetreiber. Das kulturelle Umfeld am jeweiligen Standort muss dabei immer berücksichtigt werden, wie das Beispiel des PSV Eindhoven zeigt, dessen Fans massiv gegen die Vernetzung des Stadions protestiert haben, von der sich der Verein eigentlich 30 Mio. EUR Mehreinnahmen versprochen hat [6]. Umso mehr sollte das Augenmerk bei der Stadiondigitalisierung auf die Fantypen und ihre unterschiedlichen Bedürfnisse und Anforderungen gerichtet werden.

Literatur

- [1] Computer Bild (2017): Internet im Stadion: *Fußball-Bundesliga im digitalen Abseits*, vom 18.8.2017, URL: <https://www.computerbild.de/artikel/cb-Aktuell-Internet-Stadion-WLAN-LTE-Bundesliga-16213357.html>, Abrufdatum: 30.9.2019.
- [2] DSGVO (2016): *Verordnung (EU) 2016/679 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 27. April 2016 zum Schutz natürlicher Personen bei der Verarbeitung personenbezogener Daten, zum freien Datenverkehr und zur Aufhebung der Richtlinie 95/46/EG (Datenschutz-Grundverordnung)*, URL: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/PDF/?uri=CELEX:32016R0679>, Abrufdatum: 1.10.2019.
- [3] FC Bayern München (2019): *Allianz-arena.com. Parken, Bezahlen und mehr. Änderungen in der Allianz Arena zur Saison 2019/20*. Vom 25.7.2019, URL: <https://allianz-arena.com/de/news/2019/07/aenderungen-in-der-allianz-arena-zur-saison-2019-20>, Abrufdatum: 20. August 2019
- [4] Kicker (2017): *Acht Bundesligisten bieten den Fans WLAN*, vom 22.8.2017, <https://www.kicker.de/704428/artikel>, Abrufdatum: 25.9.2019.
- [5] Kicker (2019): Schmidt: *Zwischen Drohne und Dezibel*, vom 24.7.2019, <https://www.kicker.de/753988/artikel>, Abrufdatum: 22.09.2019.
- [6] Nufer, G. (2019): *Das smarte Stadion – Chancen und Risiken*, in: FOCUS online, vom 28.8.2018, URL: https://www.focus.de/sport/fussball/die-zukunft-der-sport-arena-das-smarte-stadion-chancen-und-risiken_id_11080748.html, Abrufdatum 25.9.2019.
- [7] Süddeutsche (2019): *FC Bayern will Körperscanner einsetzen*, vom 23.6.2019, URL: <https://www.sueddeutsche.de/muenchen/fc-bayern-muenchen-allianz-arena-koerperscanner-hex-wave-1.4495508>, Abrufdatum: 22.9.2019.

Autoren

Pascal Pfeiffer M.Sc.

Master-Student International Management 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 – Technik und Wirtschaft
Fakultät für Informatik und Wirtschaftsinformatik
Moltkestraße 30

76133 Karlsruhe

E-Mail: stefanie.regier@hs-karlsruhe.de

Reallabor GO Karlsruhe – Angewandte, partizipative Forschung im Fußverkehr

Elke Häußler, Robert Blaszczyk und Christoph Hupfer

Das Reallabor GO Karlsruhe, bei dem die Fußgängerinnen und Fußgänger in Karlsruhe im Fokus des Forschungsprojekts standen, wurde erfolgreich abgeschlossen. Mit dem gewählten partizipativen Ansatz zielte das Projekt auf eine stärkere Betrachtung der Fußverkehrsinfrastruktur aus Sicht der zu Fuß Gehenden. Digitale Beteiligungsinstrumente wurde entwickelt, um eine wohnortunabhängige und breite Beteiligung der zu Fuß Gehenden zu ermöglichen. Mittels Realexperimenten wurde nicht nur aufgezeigt, mit welchen Maßnahmen Verbesserungen für den Fußverkehr erreicht werden können, sondern auch ein neuer Weg demonstriert, um Maßnahmen im öffentlichen Raum schneller voranzubringen.

The real-world lab GO Karlsruhe, where the focus of the research project was on pedestrians in Karlsruhe, has been successfully completed. The project aimed to improve walkability in Karlsruhe and via a participative approach worked only for but also with pedestrians. Newly developed digital participation tools facilitated the involvement of non-resident pedestrians in the project. Real-world experiments were used not only to show which measures could be useful to improve pedestrian traffic, but also to demonstrate a new way of accelerating action in public spaces.

Fußverkehr fördern und zu Fuß gehende beteiligen

Viele Wege lassen sich gut zu Fuß zurücklegen und wirken in vielerlei Hinsicht positiv: Zu Fuß gehen ist gesund, schont die Umwelt und belebt den öffentlichen Raum. Der Fußverkehr ist daher ein wichtiger Baustein für eine nachhaltige Stadtentwicklung, welcher jedoch in den vergangenen Jahrzehnten oftmals vernachlässigt wurde. Um dem Fußverkehr wieder einen größeren Stellenwert einzuräumen, wurde im

Reallabor GO Karlsruhe der Fokus auf die Bedürfnisse der Fußgängerinnen und Fußgänger gelegt. Das Ziel des Forschungsprojektes war die Verbesserung des Fußverkehrs in Karlsruhe, jedoch nicht nur für, sondern gemeinsam mit zu Fuß Gehenden und Akteuren aus der Praxis. Zu Beginn des Projekts wurde daher über digitale Beteiligungstools (Android-App/ Web-App) sowie in klassischen Bürgerbeteiligungsformaten konkrete Orte identifiziert, an denen Verbes-



Abb.1: Beteiligung per App: Über 450 Rückmeldungen wurden von zu Fuß Gehenden eingereicht (Bild: Mathias Trefzger)

serungsbedarf seitens der zu Fuß Gehenden bestand. Basierend auf den Rückmeldungen der zu Fuß Gehenden wurden in der Projektlaufzeit sechs Realexperimente entwickelt und durchgeführt. Zudem wurden zu Fuß Gehende durch neu entwickelte interaktive Poster vor Ort (z.B. an Querungsstellen oder Gehwegen) per Knopfdruck beteiligt.

Die gemeinsame Planung von Bürgerschaft, Ingenieurbüros und städtischer Verwaltung zum Fußverkehr erfolgte bislang auf Workshops in Wohnquartieren. In den Innenstädten und anderen publikumsintensiven Bereichen sind zu Fuß Gehenden jedoch selten Bewohnerinnen und Bewohner. Daher werden mit den klassischen Beteiligungsformaten die eigentlichen Nutzergruppen wie Kunden, Beschäftigte oder Touristen mit spezifischen Anforderungen systemisch nicht angesprochen. Zudem stellt sich die Frage, ob die bisher von Planenden als wichtig eingestuften Maßnahmenbereiche auch den Bedürfnissen von zu Fuß Gehenden entsprechen. Daher wurden im Forschungsprojekt zwei übergeordnete Ziele verfolgt. Zum einen ging es um ein besseres Verständnis von zu Fuß Gehenden und um die Entwicklung besserer Planungsansätze zur Förderung des Fußverkehrs. Zum anderen wurden neue digitale Instrumente für eine breitere Beteiligung entwickelt, getestet und deren Einsatzmöglichkeiten erforscht.

Partizipation mit digitalen Tools und klassischen Formaten

Ein besonderer Ansatz im Reallabor war die Beteiligung der Fußgängerinnen und Fußgänger in der konkreten Situation, unabhängig davon ob sie vor Ort wohnen oder nicht. Letzteres ist in der klassischen Partizipation (Bürgerbeteiligung) eine Beschränkung des Adressatenkreises, die es aufzulösen galt. Um die Eignung der neuen digitalen Instrumente beurteilen zu können, wurden nicht nur digitale Partizipationstools eingesetzt, sondern auch klassische face-to-face Beteiligungen in vier Karlsruhe Stadtteilen begleitet.

Zu Fuß Gehende konnten dem Forscherteam über die Apps (Android-App „GO Karlsruhe“ und Web-App) und bei Beteiligungsveranstaltungen Stellen oder Wegabschnitte melden, die ihrer Meinung nach relevante Fußgängerbelangen dokumentierten. Insgesamt gingen über 450 Meldungen zum Thema Fußgängerverkehr in der Stadt Karlsruhe ein.

Die neu entwickelten interaktiven Poster hingegen ermöglichten den Fußgängerinnen und Fußgängern vor Ort im Straßenraum und ohne mobiles Endgerät per Knopfdruck Rückmeldungen zu einer konkreten,

auf dem Poster abgedruckten Frage zu geben. Im Projekt wurden sie insbesondere zu Analysezwecken vor, während und nach der Durchführung von Realexperimenten eingesetzt. Die interaktiven Poster bestehen aus Acrylplakaten mit eingelassenen Tastern und einer Box, die die Registrierungselektronik beinhaltet. Diese können an Laternen oder Lichtsignalmasten angebracht werden, so dass zu Fuß Gehende vor Ort per Knopfdruck ihre Meinung zu den darauf abgedruckten Fragestellungen geben können. Dabei konnten sie zwischen verschiedenen lächelnden bzw. schmolldenden grafischen Gesichtsdarstellungen auswählen oder zwischen zwei Varianten entscheiden. Grundsätzlich können aber auch Antwortmöglichkeiten (z.B. ja/nein) verwendet werden. Durch das interaktive Poster ist eine anonyme und breite Beteiligung von Fußgängerinnen und Fußgängern möglich und das völlig unabhängig davon, ob sie dort wohnen, ob sie diese Infrastruktur häufig nutzen oder das erste Mal begehen. Diese niederschwellige Beteiligungsart ermöglicht es, eine große Anzahl an Rückmeldungen zu erlangen. Damit lässt sich ein subjektiv geprägtes Stimmungsbild der zu Fuß Gehenden generieren, welches ein hilfreiches Instrument für verkehrsplanerische Abwägungsprozesse darstellt.



Abb.2: Niederschwellige Beteiligung per Knopfdruck im Straßenraum (Bild: Elke Häußler)

Neue Lösungen in Realexperimenten erproben

Wesentliche Bausteine im Reallabor waren die Realexperimente, bei denen für einen definierten Zeitabschnitt entwickelte Maßnahmen umgesetzt wurden. Angelehnt an den Ansatz von tactical urbanism wurden bei den Realexperimenten lediglich provisorische Materialien eingesetzt, die mit geringen finanziellen Mitteln umgesetzt und entsprechend eines Experiments kurzfristig rückgebaut werden konnten. Die Wirkung der Realexperimente wurde wissenschaftlich evaluiert und die Ergebnisse an die Öffentlichkeit zurückgespiegelt. Insgesamt wurden sechs solcher

Realexperimente durchgeführt, die verschiedene von zu Fuß Gehenden verbreitete genannte Problemstellungen im Fußverkehr aufgriffen. Neben den spezifischen lokalen Erkenntnissen zur Wirksamkeit einzelner Maßnahmen lassen die Realexperimente auch übergreifende Themen zur Förderung des Fußverkehrs erkennen.

Die Neuverteilung von Verkehrsflächen ist meist mit kontroversen Diskussionen verbunden, welche den Umsetzungswillen hemmen. Mit den Realexperimenten eröffnen sich neue Wege, Lösungsmöglichkeiten vor großen Umbaumaßnahmen auszuprobieren. Hierdurch wird der Widerstand gegen dauerhafte, vermeintlich nachteilige Veränderungen einer konventionellen Umsetzung von Maßnahmen, gemindert. Realexperimente ermöglichen es, eine Lösung für alle Akteure auch erlebbar zu machen und auf Grundlage von wissenschaftlich erhobenen Daten und persönlichem Eindruck die Intervention zu beurteilen und zu diskutieren.

Breite Beteiligung durch digitale Partizipation

Durch den Einsatz digitaler Beteiligungsinstrumente konnten neue Bevölkerungsgruppen für die Partizipation erschlossen werden. So wurden durch den Einsatz der Android-App vermehrt jüngere Nutzerinnen und Nutzer für die Beteiligung erreicht. Am stärksten vertreten war die Altersgruppe der 25-34-Jährigen. Im Unterschied dazu zeigen die Ergebnisse einer Akteursanalyse, welche für die klassischen face-to-face Beteiligung in den Stadtteilen durchgeführt wurde, dass diese Beteiligungsform häufig von älteren Bürgerinnen und Bürgern aufgesucht wurde. Beobachtun-

gen und Befragungen der Nutzerinnen und Nutzer der interaktiven Poster in der Karlsruher Innenstadt ergaben, dass sich alle Altersgruppen von Kindern und Jugendlichen bis hin zu Älteren an der Abstimmung beteiligten. Dies kann auf die geringe Hemmschwelle und einfach Nutzung zurückgeführt werden, welche kein technisches Hintergrundwissen oder den Einsatz eigener Geräte erfordert.

Flächenhafter Handlungsbedarf im Fußverkehr

Die Analyse der in der face-to-face Beteiligung sowie der digitalen Beteiligung genannten Themenfelder zeigte, dass diese weitgehend deckungsgleich sind. Die Qualität der Meldungen ist ein Hinweis, dass zu Fuß Gehende über einen hohen Sensibilisierungsgrad für die vorhandenen Mängel verfügen. Fußgängerinnen und Fußgänger nehmen Defizite und Gefahren bewusst wahr und können diese auch benennen. Eine räumliche Konzentration bestimmter Faktoren und Themen des Fußverkehrs bestehen jedoch nicht, vielmehr zeichnet sich für den Fußverkehr ein flächenhafter Handlungsbedarf ab. Neben den Themen wie unzureichende Gehwegbreiten, mangelnde Querungsmöglichkeiten, Wartezeiten an den Ampeln oder Sichtbehinderungen war auch die Verträglichkeit mit Radfahrenden ein großes Thema. Zudem wurden oftmals fehlende oder schlecht unterhaltene Wege, unzureichender Beleuchtung, Verschmutzung durch Müll und Hundekot sowie fehlenden Sitzmöglichkeiten bemängelt. Diese Themenbereiche, die sogenannte weiche Faktoren betreffen, scheinen aus Sicht der zu Fuß Gehenden einer größeren Aufmerksamkeit zu bedürfen wie ihnen bisher die Planenden beigemessen haben.



Abb. 3: Realexperiment zu Flächenumverteilung im Stadtteil Knielingen (Foto: Elke Häußler)

Als externe Bestätigung des Erfolges des Reallabors GO Karlsruhe ist zu bewerten, dass dieses den Deutschen Ingenieurspreis Straße und Verkehr 2019 in der Kategorie „Verkehr im Dialog“ gewonnen hat. Darüber hinaus befindet sich das Reallabor auch beim Deutschen Nachhaltigkeitspreis 2020 in der Kategorie „Forschung“ unter den drei Erstplatzierten. Die Preisverleihung mit der Bekanntgabe der Gewinner findet im November 2019 statt.

Das Reallabor GO Karlsruhe ist eines von 14 Reallaboren, das vom Ministerium für Wissenschaft, Forschung und Kunst in Baden-Württemberg gefördert wurde.

Autoren

Elke Häußler, M.A.

Akademische Mitarbeiterin am Institut für Verkehr und Infrastruktur

Robert Blaszczyk

Akademischer Mitarbeiter am Institut für Verkehr und Infrastruktur

Prof. Dr.-Ing. Christoph Hupfer

Professor an der Fakultät für Informationsmanagement und Medien

Kontakt

Prof. Dr.-Ing. Christoph Hupfer

Hochschule Karlsruhe – Technik und Wirtschaft

Fakultät für Informationsmanagement und Medien

Moltkestr. 30

76133 Karlsruhe

E-Mail: christoph.hupfer@hs-karlsruhe.de

Bewertung der strukturellen Substanz von Bundesfernstraßen

Markus Stöckner und Amina Brzuska

Die Bundesautobahnen und Bundesstraßen stellen einen wichtigen Baustein für die Mobilität in Deutschland dar. Damit diese auch in Zukunft zur Verfügung stehen und ohne große Einschränkungen genutzt werden können, ist es notwendig Erhaltungsmaßnahmen durchzuführen. Die netzweite Erhaltungsplanung stützt sich unter anderem auf die Vorhersage von (Rest-)Nutzungsdauern bzw. Ausfallzeitpunkten. In dem vorliegenden Artikel wird ein FE-Projekt vorgestellt, dass sich mit der netzweiten Ermittlung von Restnutzungsdauern, auf Grundlage einer im Entwurf befindlichen neuen deutschen Richtlinie, beschäftigt hat.

The federal motorways and federal highways represent an important component for mobility in Germany. To ensure that these are available in the future and can be used without major restrictions, it is necessary to carry out conservation measures. Network-wide maintenance planning is based, among other things, on the prediction of (residual) lifetimes or downtimes. In this article, an RD-project is presented which deals with the network-wide determination of residual lifetimes based on a draft of a new German guideline.

Motivation und Stand der Technik

Unter dem Begriff Bundesfernstraßen werden nach [1] Bundesautobahnen und Bundesstraßen zusammengefasst. Im Jahr 2017 setzt sich das Bundesfernstraßennetz aus 13.009 Kilometern Bundesautobahnen und 38.000 Kilometern Bundesstraßen zusammen. Obwohl das Bundesfernstraßennetz nur rund 4,5 Prozent des gesamten deutschen öffentlichen Straßennetzes ausmacht, wurden im Jahr 2017 darüber knapp 50 % der gesamten Fahrleistung abgewickelt. Dabei ist das Bundesfernstraßennetz gerade durch den anwachsenden Güterverkehr hochbelastet [2]. Damit das bestehende Straßennetz auch in Zukunft für den Verkehr zur Verfügung steht und ohne große Einschränkungen genutzt werden kann, ist es notwendig Erhaltungsmaßnahmen durchzuführen.

Als Grundlage für die Planung zukünftiger Erhaltungsmaßnahmen an Bundesfernstraßen dienen die Ergeb-

nisse aus regelmäßig durchgeführten Zustandserfassungen und -bewertungen (ZEB). Aus diesen ZEB ist bekannt, dass die Substanz der Fahrbahnen sich in den letzten Jahren signifikant verschlechtert hat. Unter dem Begriff Substanz wird in diesem Fall die Fähigkeit eines Fahrbahnaufbaus, die Verkehrsbelastungen über einen bestimmten Zeitraum schadensfrei zu ertragen, verstanden. Derzeit basiert im Erhaltungsmanagement die Substanzbewertung auf den Ergebnissen der ZEB sowie dem Arbeitspapier 9/S (AP 9/S) [3]. Eine wesentliche Grundaufgabenstellung des Erhaltungsmanagements ist es Erhaltungsbedarfsprognosen zu generieren, welche wiederum die Grundlage für die strategische Zuweisung von Haushaltsmitteln bilden. In weiteren Schritten lassen sich aus den Ergebnissen der Erhaltungsbedarfsprognose grundsätzlich Erhaltungsprogramme ableiten. Das technische Vorgehen zur Aufstellung einer Erhaltungsbedarfsprognose lässt sich wie in Abbildung 1 darstellen.

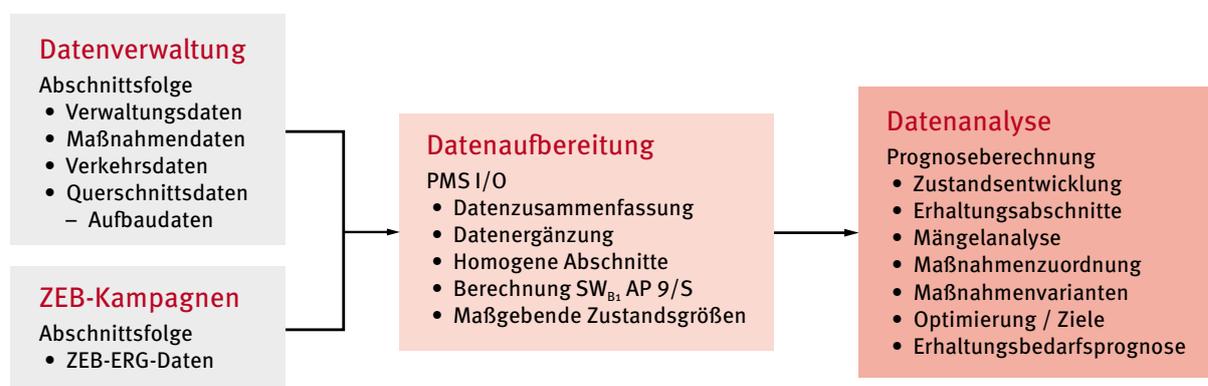


Abb. 1: Struktur des Erhaltungsmanagements mit einem Pavement Management System (PMS) [4]

Zielsetzung des Forschungsvorhabens

Der zuvor dargestellte Ansatz zur netzweiten Bewertung der vorhandenen Substanz wird zwar als ökonomischer, jedoch nicht als ingenieurtechnischer Ansatz betrachtet, weshalb der Ansatz als unzulänglich für die Bewertung der strukturellen Substanz einer Straßenbefestigung angesehen wird. [5, 6] Hintergrund ist, dass die nach dem AP 9/S durchgeführte Bewertung der Substanz, wie in Abbildung 2 dargestellt lediglich auf Daten des Befestigungsaufbaus (Schichtart, Schichtdicke, Baujahr, Verformungsmodul der obersten ungebundenen Schicht) und der Verkehrsbelastung basiert. Das Ergebnis ist eine standardisierte Abschätzung, die auf Grund der geringen Datenanforderung netzweit angewendet werden kann. Zwischenzeitlich liegen jedoch die „Richtlinien zur Bewertung der strukturellen Substanz des Oberbaus von Verkehrsflächen in Asphaltbauweisen“ (RSO Asphalt) im Entwurf vor [7]. Mit Hilfe dieser Richtlinien soll es künftig möglich sein, die Substanz von Straßenbefestigungen auf Grundlage detaillierter Daten zum Befestigungsaufbau, der Verkehrsbelastung, den klimatischen Bedingungen und realen Materialkennwerten zu bewerten (s. Abb. 2). Durch den künftigen Ersatz des AP 9/S durch die RSO Asphalt, ist eine Qua-

litätserhöhung im Bereich der Ergebnisse der rechnergestützten Erhaltungsplanung zu erwarten. Dadurch kann der Straßenzustand langfristig durch den zielgerichteten und wirtschaftlichen Einsatz der verfügbaren Erhaltungsmittel verbessert werden.

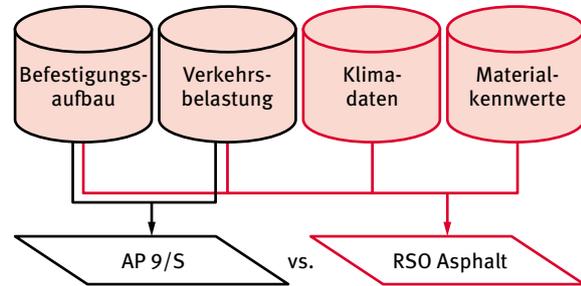


Abb. 2: Grundlagen der Substanzbewertung nach dem AP 9/S und der RSO Asphalt nach [4]

Das Verfahren nach den RSO Asphalt ist bislang lediglich zur Anwendung auf einzelnen Abschnitten geeignet, da dazu exakte Materialparameter, bei Asphaltbauweisen beispielsweise eine Temperatursteifigkeit-Funktion und eine Ermüdungsfunktion, anhand von Bohrkernen ermittelt werden müssen. An diesen Bohrkernen werden dynamische Testverfahren angewendet, in dem Temperatur und Belastungsfrequenzen gezielt variiert werden, um damit die tatsächliche Verkehrsbelastung eines überrollenden Rades zu simulieren. Für eine netzweite Betrachtung ist es absolut unrealistisch, Beprobungen auf den ca. 51.000 Kilometern der Bundesfernstraßen durchzuführen und zu untersuchen. Die derzeitige Möglichkeit, eine realistische Aussage über den Zustand der Straßenbefestigung zu treffen, ist nur auf Grundlage des Oberflächenzustandes möglich, also dann, wenn Schäden wie beispielsweise Risse, Schlaglöcher oder Ausbrüche auftreten. Bestehen jedoch bereits solche Schäden, ist es zu spät, um ökonomisch, ökologisch und nutzergerecht Erhaltungsmaßnahmen planen zu können. Daher war ein Ziel des, im Auftrag der Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt) unter anderem am Institut für Verkehr und Infrastruktur der Hochschule Karlsruhe, durchgeführten FE-Projektes [4] als Grundlage für das Verfahren nach den RSO Asphalt „allgemeingültige Materialeigenschaften“ aus einer Vielzahl von bundesweiten Untersuchungen zu ermitteln. Auf Grundlage dieser „allgemeingültigen Materialeigenschaften“ waren für ein Analysenetz aus rund 500 Abschnitten Berechnungen von (Rest-)Nutzungsdauern durchzuführen und mit den nach dem AP 9/S berechneten Ergebnissen zu vergleichen. Außerdem war im Rahmen des Forschungsprojektes das derzeit innerhalb des PMS angewendete AP 9/S-Verfahren durch das RSO-Verfahren zu ersetzen.

Digitalisierung im Bauwesen
Das Team braucht dich
 Praktikum | Werkstudententätigkeit
 Abschlussarbeit | Direkteinstieg
 f y t i x karriere.max-boegl.de

Ergebnisse und Ausblick

Auf Grundlage tatsächlicher Materialdaten wurden im Rahmen des Projektes „allgemeingültige Materialeigenschaften“ für die Berechnungen nach den RSO Asphalt ermittelt. Diese „allgemeingültigen Materialeigenschaften“ dienen im Weiteren als Grundlage für die Ermittlung zu erwartender (Rest-)Nutzungsdauern. Im Rahmen des Forschungsprojektes war es jedoch nicht möglich, für einen realen Abschnitt einen konkreten Ausfallzeitpunkt anzugeben. Vielmehr konnte auf Grundlage der „allgemeingültigen Materialeigenschaften“ die materialabhängige Spannweite an realistischen (Rest-)Nutzungsdauern aufgezeigt werden. Damit künftig die Vorhersage eines Ausfallzeitpunktes auf Grundlage „allgemeingültiger Materialeigenschaften“ möglich werden kann, müssen weitere Untersuchungen durchgeführt werden. Des Weiteren ist es notwendig eine, wie in dem Forschungsprojekt im Labormaßstab aufgezeigt, Möglichkeit zur Integration der RSO-Ergebnisse in den Berechnungsalgorithmen des bestehenden PMS für die Finanzbedarfsprognose und Erhaltungsplanung der Bundesfernstraßen zu schaffen. Dies ist ein komplexes Berechnungsverfahren, das aufgrund einer Verhaltensprognose des Straßennetzes Aussagen zur künftigen Zustandsentwicklung liefert, Maßnahmenabschnitte, Maßnahmenarten und Zeitpunkte filtert und des weiteren wirtschaftlichen Gesichtspunkten zur Ermittlung einer optimalen Lösung nutzt. Im Ergebnis erhält man unter den vorgegebenen Optimierungskriterien den jährlichen Finanzbedarf, Lage und Art der Erhaltungsabschnitte sowie die zu erwartende Netzentwicklung. Dabei muss bereits heute aufgrund verschiedener Datenquellen für die Prognoserechnungen eine komplexe Datenaufbereitung erfolgen, zu der nun weitere Anforderungen hinzukommen würden. Denn durch die Integration des RSO-Verfahrens, wären im System zwei Ansätze zur Ermittlung einer Restlebensdauer zu hinterlegt, zum einen für die genannte strukturelle Substanz, zum anderen aber auch für weitere Oberflächeneigenschaften von Straßen, wie beispielsweise die Griffigkeit der Oberfläche und Verformungen wie die Spurrinnenbildung. Diese Oberflächeneigenschaften bleiben nach wie vor für die Beurteilung der Benutzbarkeit einer Strecke wichtig, beispielsweise ist die Griffigkeit von Fahrbahnen sicherheitsrelevant. Da das Berechnungsverfahren in Abhängigkeit des Zustandes, des zu erwartenden Eingreifzeitpunktes für Erhaltungsmaßnahmen und der sinnvollen Maßnahmenart plausible und verwertbare Ergebnisse zum Finanzbedarf liefern soll, ist es notwendig, mit den neuen Erkenntnissen jedes Einzelmodell im gesamten Berechnungsalgorithmus zu prüfen. Bei der Prüfung sind die Bedingungen zur

Auswahl technisch sinnvoller Maßnahmen, ein adäquates Verfahren zur Berechnung der zu erwartenden Kosten, die Prognose der weiteren Zustandsentwicklung nach Durchführen einer Maßnahme bis hin zu den Zielvorgaben einer Optimierung zu begutachten. Das erfordert eine umfassende Änderung des derzeit vorhandenen Modells. Mittels einer gezielten Parametervariation lassen sich dann verschiedene Varianten des PMS-Berechnungsmodells testen und eine Vorzugsvariante für die künftige Umsetzung ableiten. Die Ergebnisse des Projektes werden zu einer künftig veränderten Analyseverfahren für das Bundesfernstraßennetz führen.



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



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

Danksagung

Das dem vorliegenden Beitrag zugrundeliegende FE-Projekt „Abschätzung des Restwerts im PMS am Ende des Bewertungszeitraums“ wurde durch die Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt) finanziell gefördert. Unseren Forschungspartnern Professor Frohmut Wellner, Anita Blasl und Viktoria Sommer von der Technischen Universität Dresden, Günter Krause vom IB Krause sowie Christian Komma von der Heller Ingenieurgesellschaft danken wir für die hervorragende Zusammenarbeit!

Literaturverzeichnis

- [1] Bundesministerium der Justiz und für Verbraucherschutz (2007): Bundesfernstraßengesetz. FStrG, vom 29.11.2018.
- [2] Radke, Sabine (2018): Verkehr in Zahlen 2018/2019. 47. Jahrgang. Hg. v. Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur. Online verfügbar unter Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur, zuletzt geprüft am 02.09.2019.
- [3] FGSV - Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (2003): Arbeitspapier Nr. 9/S zur Erhaltungsplanung, Reihe S: Substanzwert (Bestand). Köln: FGSV Verlag.
- [4] Stöckner, Markus; Sagnol, Loba; Brzuska, Amina; Wellner, Frohmut; Blasl, Anita; Sommer, Viktoria et al. (2019): Abschätzung des Restwerts im PMS am Ende des Bewertungszeitraums. Entwurf des Schlussberichts zum Forschungsprojekt FE-Nr. 04.0107/2007/MGB, im Auftrag der Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt). Bergisch Gladbach.
- [5] Jansen, Dirk (2017): Methoden der Substanzbewertung. In: *Straße und Autobahn* 68 (12), S. 958–967.
- [6] Zander, Ulf (2017): Integration der Substanzbewertung in die Erhaltungsplanung. In: *Straße und Autobahn* 68 (5), S. 351–356.
- [7] FGSV - Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (2014): Entwurf Richtlinien zur Bewertung der strukturellen Substanz des Oberbaus von Verkehrsflächen in Asphaltbauweise. RSO Asphalt 14. Köln: FGSV Verlag.

Autoren

Prof. Dr.-Ing. Markus Stöckner

Professor an der Fakultät für Architektur und Bauwesen der Hochschule Karlsruhe

Amina Brzuska M.Eng.

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

Kontakt

Prof. Dr.-Ing. Markus Stöckner

Hochschule Karlsruhe – Technik und Wirtschaft

Fakultät für Architektur und Bauwesen

Moltkestraße 30

76133 Karlsruhe

E-Mail: markus.stoeckner@hs-karlsruhe.de

Datengetriebene Analyse der Flüssigkeitsausbreitung in porösen Mikrostrukturen

Patrick Altschuh, Willfried Kunz, Michael Selzer, Eckhard Martens und Britta Nestler

Die datengetriebene Analyse von Strömungsvorgängen in porösen Mikrostrukturen basiert auf umfangreichen Datenbanken. Um solche Materialdatenbanken aufzubauen, sind effiziente Methoden notwendig, die in der Lage sind unterschiedliche poröse Strukturen zu generieren und durch Simulationen zu charakterisieren. Ein grundlegendes Konzept zum Aufbau einer Materialdatenbank, sowie zur Analyse der Datenpunkte wird exemplarisch vorgestellt.

The data-driven analysis of fluid flow processes through porous microstructures is based on huge databases. In order to build such material specific databases, techniques are needed to enable the algorithmic generation of microstructures with salient features and the computational characterization in an efficient manner. A basic concept of building a material database for processing and analyzing the data points is introduced.

Motivation

Bis zur Mitte des 20. Jahrhunderts galt es bei der Entwicklung von neuen Materialien, das Auftreten von Poren zu vermeiden [1]. Hingegen werden heutzutage gezielt Poren in eine feste Materialmatrix aus beispielsweise Polymeren, Metallen und Keramiken eingebracht, um damit einzigartige Eigenschaften, wie z.B. eine offenporige Porosität, eine hohe spezifische Oberfläche, unterschiedliche Porengrößenverteilungen und vieles mehr hervorzurufen. Die Kombination dieser Merkmale ist der Schlüssel zum kontrollierten ein- oder mehrphasigen Fluidtransport und ermöglicht damit eine Vielzahl technischer Anwendungen. Diese umfassen unter anderem Filtrationsprozesse zur Aufbereitung von Schmutzwasser oder Energiespeichersysteme zur Erhöhung der Speichereffizienz und sind damit in den unterschiedlichsten Bereichen einschließlich der Biomedizin- und Umwelttechnik sowie in der technischen Chemie anzutreffen.

Die zumeist sehr komplexen Morphologien der porösen Mikrostrukturen erschweren die Vorhersage der Leistungsfähigkeit sowohl für bekannte als auch für neue Materialien. Unter Umständen kann es daher auch Jahre dauern, passende poröse Strukturen für neue Anwendungen zu entwickeln. Beispielsweise kommt beim Fluidtransport der Permeabilität eine besondere Rolle zu. Diese beschreibt die Durchlässigkeit einer porösen Struktur für Fluide und ist damit ein Maß für das Verhältnis aus Durchflussrate im Porenraum der Mikrostruktur und anliegender Druckdifferenz. Beeinflusst wird die Permeabilität als physikalischer Schlüsselparameter hauptsächlich durch die komplexe Geometrie der Oberfläche. Zur genauen Vorhersage des Transportverhaltens in einer porösen Mikrostruk-

tur muss daher das Zusammenspiel zwischen den Strukturmerkmalen und der resultierenden Permeabilität sehr eng verknüpft sein.

Bestehende Modellansätze nach Gebart, Nabovati [2] oder Carman-Kozeny [3] korrelieren zwar in halbempirischen Gleichungen die geometrischen Eigenschaften von porösen Strukturen mit der Permeabilität, allerdings hängt die Vorhersagekraft der Modelle sehr stark vom Umfang der Datengrundlage ab. Die Datenaustausch- und Analyseplattform Kadi4Mat (Karlsruhe Data Infrastructure for Materials Science) [4] des Institutes für Angewandte Materialien – Computational Materials Science (IAM-CMS) am Karlsruher Institut für Technologie, soll hierzu den Zugang zu umfangreichen und zitierbaren Forschungsdaten ermöglichen. Neben einem zuverlässigen Austausch und einer nachhaltigen Sicherung und Nutzung dieser Daten soll somit die Grundlage für die datenbasierte Analyse von Struktur-Eigenschafts-Korrelationen bereitgestellt werden.

Eine Mikrostrukturdatenbank wird den Zugriff auf eine große Anzahl an Strukturdaten in gewünschten Merkmalsbereichen zur Verfügung stellen und eine gezielte Anpassung der halbempirischen Modelle ermöglichen. Weiterhin kann die Anwendung von immer neueren Analysemethoden, wie zum Beispiel maschinelles Lernen (ML) und Hauptkomponentenanalysen (PCA), aus den Datenbanken bisher unbekannte Korrelationen der Eigenschaften zum Vorschein bringen und die Entwicklung von neuen Materialien erheblich beschleunigen. Die effiziente Erstellung der Materialdatenbanken beinhaltet die Produktion von Mikrostrukturen mit zugeschnittenen Eigenschaften (De-

sign) sowie deren Charakterisierung (Simulation) und steht im Fokus dieser Arbeit. Abbildung 1 zeigt hierzu schematisch, wie Design, Simulation und Analyse von Mikrostrukturen über die Materialdatenbank verbunden sind.

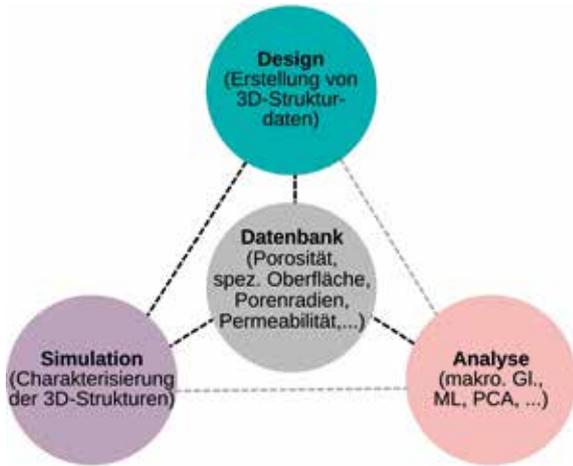


Abb. 1: Schematische Darstellung der Verknüpfung des Mikrostrukturdesigns, der Simulation und der Datenanalyse mittels einer Materialdatenbank

Die Herstellung von Materialien kann sowohl im Labor als auch auf digitalem Wege am Computer geschehen. Weiterhin müssen im Allgemeinen die porösen Strukturen mittels geeigneter Charakterisierungsmethoden analysiert werden. Experimentelle Methoden wie etwa Wasserpermeabilitäts- oder Kapillarflussporometrie messungen operieren auf der Makroskala, während die intrinsische Geometrie im Verborgenen bleibt. Um dennoch die geometrischen Merkmale erschließen zu können, muss eine Vielzahl an weiteren Experimenten durchgeführt werden. Somit ist ein rein experimentell-getriebener Aufbau einer umfangreichen Mikrostrukturdatenbank sehr zeit- und kostenintensiv.

Im Gegensatz zum experimentellen Ansatz liefert die computergestützte Materialforschung die Möglichkeit, eine hohe Anzahl an Mikrostrukturen al-

gorithmen-basiert zu generieren und gleichzeitig auf der Porenskala gezielt zu charakterisieren. Dadurch lassen sich direkt geometrische und physikalische Eigenschaften effizient erschließen und in der Datenbank abspeichern.

Ziel dieses Beitrags ist es, einen Einblick in die datengetriebene Materialforschung mit Blick auf den Flüssigkeitstransport in offenporigen, porösen Mikrostrukturen zu geben und dabei das Potenzial einer Materialdatenbank aufzuzeigen. Zum Aufbau einer solchen Datengrundlage werden, unter Anwendung des am Institut für Digitale Materialforschung (IDM) der Hochschule Karlsruhe entwickelten Softwarepakets Pace3D [5], zunächst insgesamt ca. 500 Mikrostrukturen mit unterschiedlichen geometrischen Eigenschaften generiert und mittels numerischen Strömungssimulationen charakterisiert. Das heißt, über die aus der Simulation resultierenden Druck- und Geschwindigkeitsverteilungen werden mit dem Gesetz von Darcy die Permeabilitäten bestimmt. Zur Analyse der Daten wird beispielhaft die Verknüpfung der Eigenschaften über eine makroskopische Gleichung (makro. Gl.) erzielt.

Algorithmen-basierte Generierung von porösen Strukturen (Design)

Zur Herstellung von Mikrostrukturen mit definierten Merkmalen wird ein Preprocessing-Tool des Pace3D Pakets verwendet. Dieses Tool ermöglicht die Generierung der Mikrostrukturen durch einen effizienten und vielseitigen Algorithmus [6]. Im Grunde basiert dieser auf zwei Schritten, wobei zunächst sogenannte Voronoi-Punkte im Simulationsgebiet verteilt werden. Die Punkte werden daraufhin in Nachbarschaftsbeziehungen gebracht und mittels Voronoi-Zerlegung des Gebiets entstehen polyedrische Voronoi-Zellen. Die entstandenen Kanten der Polyeder stellen das Grundgerüst dar, entlang dessen anschließend im zweiten Schritt die eigentliche Struktur durch viele sich über-

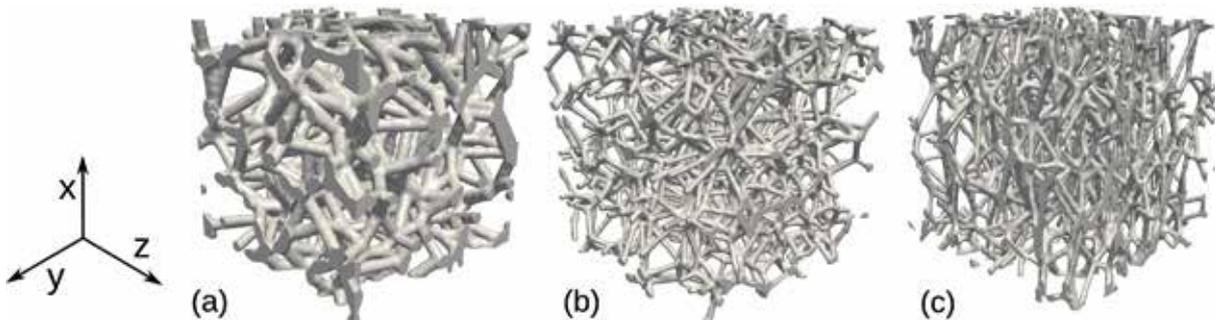


Abb. 2: Auswahl generierter poröser Mikrostrukturen mit (a) einer Porosität von 80%, (b) einer Porosität von 90% und (c) einer Porosität von 90% bei einer Strukturdehnung in x-Koordinatenrichtung.

lappende Kugeln gezeichnet wird. Der Algorithmus ist in der Lage, periodische Mikrostrukturen mit unterschiedlichen Porengrößen, Stegdicken und Porositäten sowie einer aufgeprägten Anisotropie (geometrische Streckung) zu generieren. Abbildung 2 zeigt eine Auswahl generierter Mikrostrukturen.

Numerische Simulationen auf der Porenskala (Simulation)

Zur Berechnung der Permeabilität werden inkompressible Newtonsche Fluide bei geringen Strömungsgeschwindigkeiten angenommen, sodass niedrige Reynoldszahlen ($Re \ll 1$) resultieren und die Strömung durch Reibungs-, Druck-, oder Volumenkräfte dominiert wird. Dadurch lassen sich die Navier-Stokes-Gleichungen linearisieren und zu der vereinfachten Stokes-Gleichung für schleichende Strömungen reduzieren. Der Gleichungssatz, bestehend aus der Kontinuitätsgleichung

$$\nabla \cdot \vec{u} = 0$$

und den Impulsgleichungen

$$\mu \nabla^2 \vec{u} - \nabla p - \vec{f} = 0$$

wird aus der kontinuierlichen in eine diskretisierte Form überführt und an fixen Punkten im Simulationsgebiet bei geeigneten Randbedingungen gelöst. Dabei beschreibt μ die dynamische Viskosität, \vec{u} den Geschwindigkeitsvektor, ∇p den Druckgradienten und \vec{f} den hydrostatischen Druck.

Die Diskretisierung wird mit Hilfe der Finiten-Differenzen-Methode auf einem kartesischen Gitter realisiert, wobei durch die Periodizität der Mikrostrukturen auch periodische Randbedingungen definiert werden können. Unter periodischen Bedingungen wird als treibende Kraft der hydrostatische Druck genutzt. Das resultierende Geschwindigkeitsfeld bei bekannter Druckdifferenz wird zur Darcy-Geschwindigkeit U ge-

mittelt und ermöglicht die Berechnung der Permeabilität K über das Gesetz von Darcy [7]

$$K = U \mu \frac{l}{\Delta p},$$

wobei l die Länge des durchströmten Mediums repräsentiert. Abbildung 3 visualisiert beispielhaft das resultierende Strömungsfeld für drei verschiedene Mikrostrukturen.

Ergebnisse (Analyse)

Die Ergebnisse zur datengetriebenen Analyse der Flüssigkeitsausbreitung basieren auf insgesamt ca. 500 Mikrostrukturen. Der betrachtete Merkmalsbereich liegt für die Porosität zwischen 80 % und 90 % sowie für die mittleren Stegdicken der Mikrostruktur zwischen 0,9 μm und 2,8 μm . Von der Generierung über die Charakterisierung bis hin zur Analyse der Daten wurde eine Nettorechenzeit von weniger als 7 Tagen aufgewendet, wobei die Strömungssimulationen als einziges Prozessglied parallel auf 32 CPU's mit 8 000 000 Freiheitsgraden im Simulationsgebiet durchgeführt wurden.

Zur Analyse der resultierenden Permeabilitäten bei definierten Eigenschaften der Strukturen wird folgende modifizierte Carman-Kozeny Gleichung [3]

$$K = \alpha \frac{\phi^3 D_h^2}{(1 - \phi)^2}$$

verwendet, mit der die dimensionlose Porosität ϕ , der äquivalente Stegradus D_h (in m) und die Permeabilität K (in m^2) in einen funktionellen Zusammenhang gebracht wird. Weiterhin beschreibt einen empirischen Skalierungsfaktor, mit dem die Permeabilität an den ausgewählten Merkmalsbereich aus der Datenbank angepasst werden kann. Abbildung 4 zeigt die Ergeb-

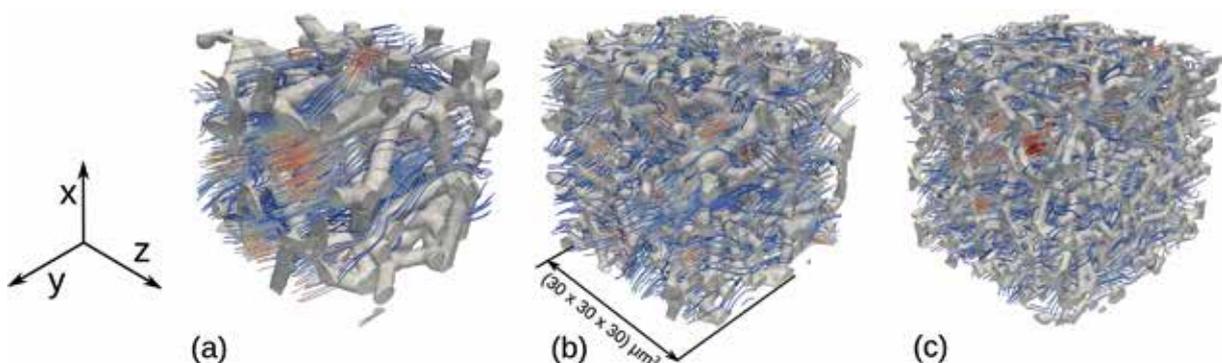


Abb. 3: Visualisierung des resultierenden Strömungsfeldes für eine Auswahl generierter poröser Mikrostrukturen mit gleicher Porosität von 83 %, bei einer Auflösung von 150 nm/Zelle und (a) einer spez. Oberfläche von 0.24 m^2/mL , (b) einer spez. Oberfläche von 0.40 m^2/mL und (c) einer spez. Oberfläche von 0.52 m^2/mL .

nisse. Dabei stellt jeder Datenpunkt das Ergebnis einer Strömungssimulation dar.

Des Weiteren zeigen die gestrichelten Linien die an die Simulationspunkte angepassten Verläufe der Carman-Kozeny Gleichung für unterschiedliche Porositäten. Es ist deutlich zu erkennen, wie mit einem makroskopischen Ansatz bei einer genügend großen Datengrundlage der betrachtete Merkmalsbereich abgebildet und die Permeabilität vorhergesagt werden kann.

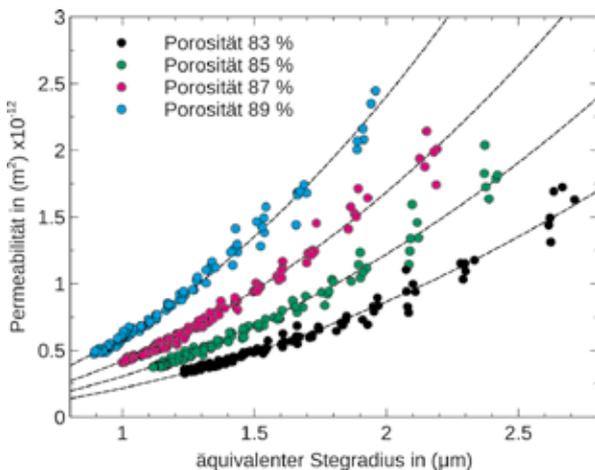


Abb. 4: Analyse der Strömungssimulationen (Punkte) für den untersuchten Merkmalsbereich anhand der Carman-Kozeny Gleichung (gestrichelte Linien)

Ausblick

Aus materialwissenschaftlicher Sicht sind für zukünftige Projekte der Ausbau der Merkmalsbereiche und die Berücksichtigung weiterer Eigenschaften, wie beispielsweise geometrische Anisotropie von porösen Strukturen geplant. Zusammen mit dem Aufbau der Kadi4Mat Infrastruktur und der dort integrierten Datenverarbeitungs- und speicherverfahren sollen weitere Analysemethoden etabliert werden, deren Voraussetzung große Datenmengen sind. Durch maschinelles Lernen und Hauptkomponentenanalysen kann eine datengetriebene Vorhersage der Flüssigkeitsausbreitung in porösen Mikrostrukturen optimiert werden.

Danksagung

Diese Arbeit wurde durch das Ministerium für Wissenschaft, Forschung und Kunst Baden-Württemberg über ein Promotionsstipendium und im Rahmen des Mittelbau-Programms finanziert.

Literatur

[1] Kelly, A. (2005). Why engineer porous materials?. *Philosophical Transactions of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences*, 364(1838), 5-14.

[2] Nabovati, A., Llewellyn, E. W., & Sousa, A. C. (2009). A general model for the permeability of fibrous porous media based on fluid flow simulations using the lattice Boltzmann method. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, 40(6-7), 860-869.

[3] Lu, J., Jang, H. K., Lee, S. B., & Hwang, W. R. (2017). Characterization on the anisotropic slip for flows over unidirectional fibrous porous media for advanced composites manufacturing. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, 100, 9-19.

[4] Kadi4Mat, URL: http://www.iam.kit.edu/cms/Forschung_4519.php

[5] Hötzer, J., Reiter, A., Hierl, H., Steinmetz, P., Selzer, M., & Nestler, B. (2018). The parallel multi-physics phase-field framework Pace3D. *Journal of computational science*, 26, 1-12.

[6] Altschuh, P., Yabansu, Y. C., Hötzer, J., Selzer, M., Nestler, B., & Kalidindi, S. R. (2017). Data science approaches for microstructure quantification and feature identification in porous membranes. *Journal of Membrane Science*, 540, 88-97.

[7] Daish, C., Blanchard, R., Pirogova, E., Harvie, D. J. E., & Pivonka, P. (2019). Numerical calculation of permeability of periodic porous materials: Application to periodic arrays of spheres and 3D scaffold microstructures. *International Journal for Numerical Methods in Engineering*, 118(13), 783-803.

Autoren**Patrick Altschuh M.Sc.**

Stipendiat an der Hochschule Karlsruhe mit Zugehörigkeit zum Institut für Digitale Materialforschung (IDM) und Doktorand an der Fakultät für Maschinenbau am KIT.

Willfried Kunz M.Sc.

Akademischer Mitarbeiter am Institut für Digitale Materialforschung (IDM) der Hochschule Karlsruhe

Dr.-Ing. Michael Selzer

Akademischer Mitarbeiter am Institut für Digitale Materialforschung (IDM) der Hochschule Karlsruhe und am Institut für Angewandte Materialien - Computational Materials Science (IAM-CMS) des Karlsruher Instituts für Technologie (KIT)

Prof. Dr.-Ing. Eckhard Martens

Professor an der Fakultät für Maschinenbau und Mechatronik der 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 Direktorin des Instituts für Digitale Materialforschung (IDM) der Hochschule Karlsruhe sowie 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 – Technik und Wirtschaft
Fakultät für Informatik und Wirtschaftsinformatik
Moltkestraße 30
76133 Karlsruhe
E-Mail: britta.nestler@hs-karlsruhe.de

Simultaneous measurement of resistance change and temperature in Wheatstone bridge circuits

Klemens Gintner

Wheatstonesche Brückenschaltungen werden häufig in Sensoranwendungen zur Messung typischer Größen wie Druck, Kraft oder magnetischer Flussdichte verwendet. Eine Temperaturänderung führt nicht nur zu einer Änderung des Widerstands der Sensorelemente, sondern auch der Referenzwiderstände. Um ein genaueres Ergebnis zu erhalten, sollte daher die Temperatur der Brückenschaltung bekannt sein. Durch die Verwendung mehrerer verschiedener Spannungen in einer Brückenschaltung und der Kenntnis der Temperaturkoeffizienten ist es möglich, die genaue Widerstandsänderung der Sensorelemente nur aufgrund des Sensoreffekts und gleichzeitig die Temperaturänderung ohne Verwendung eines zusätzlichen Temperatursensors zu bestimmen.

Combined heat and power plants (CHP) with flexible and clean gas engine technology represent an ideal partner for renewable, fluctuating energy sources and are thus an essential component within the energy transition. To comply with future stricter NOx limits of natural gas-powered CHP engines with high efficiency and no power loss, an engine operating strategy in combination with the exhaust-gas-condensate recirculation (direct and indirect condensate injection into the combustion chamber) will be developed within the project LiquidEGR using experimental and numerical simulation methods. From the recent investigations, it was found that the port-water-injection just when opening of the intake valve with the current configuration allows a power increase at constant NOx emissions and constant engine efficiency despite the poor evaporation in the intake manifold and the slight degradation of the effective volumetric efficiency.

Method for determining the resistances in a Wheatstone bridge under reference conditions

In this proposal it is essential to know the exact values of the four resistances in the Wheatstone bridge under reference conditions. If for instance the temperature is given then the temperature change is zero ($dT = 0$, therefore the temperature coefficients a , b and g are not relevant) and there is no change in resistance as no measured quantity is applied (then: $dR = 0$); see e.g. figure 1. With a floating zero-resistance ammeter, the exact values of the four bridge resistances can be determined; two nodes (or one resistor) can be short-circuited and the current can be measured using operational amplifiers - for details see [1].

Method for simultaneously determining the change in resistances and temperature in Wheatstone bridges supplied with a voltage source

In this concept for the simultaneous determination of the change in resistance dR of sensor elements and the change in temperature dT in Wheatstone bridges is proposed. The basic idea is to take into account the known temperature coefficients of all resistors used in the bridge circuit. The absolute change of the resistance dR and the temperature dT compared to the reference conditions (with $dR = 0$ and $dT = 0$) can be determined by using different voltages of the bridge circuit. The equations depend on the circuit, so a quarter

bridge with one sensor element or a half bridge with two sensor elements will provide different equations. For each sensor element, the relative change of the resistance dR/R_0 is the same when the same measured variable is applied, where R_0 represents the nominal resistance at reference conditions.

In the quarter bridge depicted in figure 1 the sensor element is represented by the resistor R_1 ; R_0 is the nominal value (here: $1 \text{ k}\Omega$) and k_1 is the factor that determines the exact value of R_1 at reference conditions ($dT = 0$, $dR = 0$). The same is valid for k_2 for R_2 , k_3 for R_3 and k_4 for R_4 ; b is the constant temperature coefficient of R_1 ; dR represents the absolute change of R_1 due to the measured variable. The resistors R_2 , R_3 and R_4 are reference resistors with different constant temperature coefficients (TC) a and g with $a \neq g$. It is possible: $a = b$ or $g = b$ with b as TC of the sensor element (here: R_1); this means that either R_3 or (R_2 and R_4) can be replaced by an insensitive sensor element which only reacts to temperature changes but not to changes in the measured variable. However, the temperature coefficients a and g of R_3 and R_4 always need to be different: $a \neq g$.

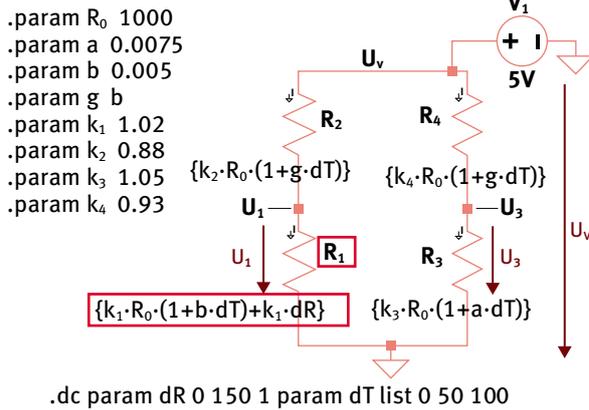


Fig. 1: Quarter bridge circuit with one sensor element (R1) and three reference resistors (R2, R3, R4)

Sensor resistance:

$$R_1 = k_1 \cdot R_0 \cdot (1 + b \cdot dT) + k_1 \cdot dR$$

Reference resistances:

$$R_2 = k_2 \cdot R_0 \cdot (1 + g \cdot dT); \quad R_3 = k_3 \cdot R_0 \cdot (1 + a \cdot dT); \quad R_4 = k_4 \cdot R_0 \cdot (1 + g \cdot dT)$$

In equation (1) the calculation of the temperature change dT is shown; equation (2) describes how the relative change of the resistance dR/R0 of the sensor element R1 can be derived with R0 as nominal resistance.

$$dT = \frac{k_3 \cdot U_V - U_3 \cdot (k_3 + k_4)}{U_3 \cdot (a \cdot k_3 + g \cdot k_4) - a \cdot k_3 \cdot U_V} \quad (1)$$

$$\frac{dR}{R_0} = \frac{[k_3 \cdot U_V - U_3 \cdot (k_3 + k_4)] \cdot [k_2 \cdot g \cdot U_1 - k_1 \cdot b \cdot (U_V - U_1)]}{(U_V - U_1) \cdot k_1 \cdot [U_3 \cdot (a \cdot k_3 + g \cdot k_4) - a \cdot k_3 \cdot U_V]} - \frac{(k_1 \cdot (U_V - U_1) - k_2 \cdot U_1) \cdot [U_3 \cdot (a \cdot k_3 + g \cdot k_4) - a \cdot k_3 \cdot U_V]}{(U_V - U_1) \cdot k_1 \cdot [U_3 \cdot (a \cdot k_3 + g \cdot k_4) - a \cdot k_3 \cdot U_V]} \quad (2)$$

Figure 2 shows the result of this calculation in a simulation with LTSpice [2]. It can be seen that both the temperature change dT and the relative resistance change dR/R0 can be derived simultaneously using equations (1) and (2).

In a half bridge two sensor elements R1 and R4 are used; see figure 3. The resistors R2 and R3 represent the reference resistors with different temperature coefficients (TC) a and g where a ≠ g.

Again, dR (or dR/R0) and dT can be calculated using equations (3) and (4). In this example the following condition also applies g = b; so R2 can be realised as an insensitive sensor element. It is important that the temperature coefficients (TC) of R2 and R3 are different: a ≠ g.

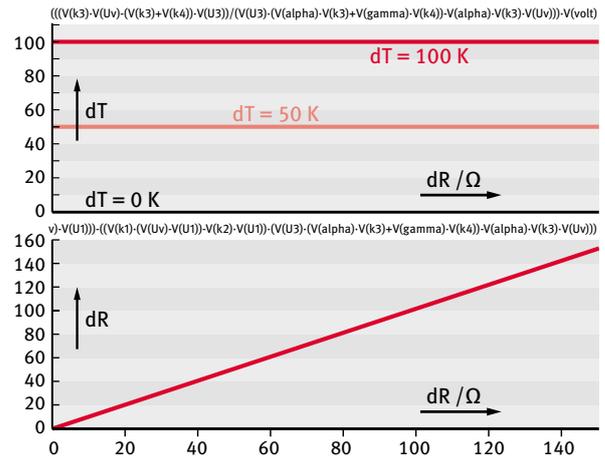


Fig. 2: Quarter bridge circuit (cf. Fig. 1) depending on change of R (dR) with temperature change dT as parameter; Top: Temperature change dT; Bottom: Resistance change dR

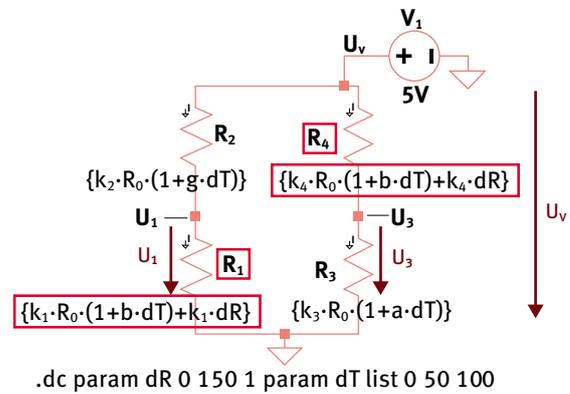


Fig. 3: Half bridge circuit with two sensor elements (R1, R4) and two reference resistors (R2, R3)

Equation (3) for the evaluation of the temperature change dT:

$$dT = \frac{k_4 \cdot U_3 \cdot [k_2 \cdot U_1 - k_1 \cdot (U_V - U_1)] - k_1 \cdot (U_V - U_1) \cdot [k_3 \cdot (U_V - U_3) - k_2 \cdot U_3]}{k_1 \cdot (U_V - U_1) \cdot [k_3 \cdot a \cdot (U_V - U_3) - k_2 \cdot b \cdot U_3] + k_4 \cdot U_3 \cdot [k_1 \cdot b \cdot (U_V - U_1) - k_2 \cdot g \cdot U_1]} \quad (3)$$

Equation (4) for the change of the resistance dR:

$$\frac{dR}{R_0} = \frac{k_3 \cdot (U_V - U_3) \cdot (1 + a \cdot dT)}{k_1 \cdot U_3} - \frac{k_4 \cdot U_3 \cdot (1 + b \cdot dT)}{k_1 \cdot U_3} \quad (4)$$

Method for simultaneously determining the resistance and temperature change of Wheatstone bridges with an additional resistor and voltage source

If there is an additional resistor R5 used that is connected in series to the bridge circuit, it is also feasible to calculate the change of the temperature dT and the change of the resistance dR of the sensor elements. The idea is to get the information about the total current flowing through the bridge circuit in order to calculate dT and dR. This can be shown for quarter bridge, half bridge and full bridge Wheatstone circuits.

Conclusion

A new concept is described for the simultaneous measurement of the change in resistance dR and the change in temperature dT . This is feasible by using the applied voltages and temperature coefficients of all resistors in the Wheatstone bridge. This concept is applicable to quarter, half and full bridge circuits with different amounts of sensor elements. The relevant information (nominal resistances of resistors R_1 to R_4) in an already manufactured Wheatstone bridge circuit can be derived with an operational amplifier circuit. A possible offset of the bridge circuit due to a mismatch of the four resistors is not relevant. The additional information about the temperature can help to obtain results that are more accurate. Thus, the bridge circuit can simultaneously provide different information: Resistance change dR only due to the sensor effect and the temperature change dT . The bridge circuit can be used not only for the compensation of the temperature influence, but also as a temperature sensor for condition monitoring or diagnostic functions in the application. In this example, the temperature coefficient is assumed to be constant - if this is not the case, the calculation can be performed using a numerical approach. A patent application has already been filed.

References

- [1] U. Tietze, Ch. Schenk, Halbleiterschaltungstechnik, 9. Auflage, Springer-Verlag, Berlin Heidelberg, 1990, S. 864 f.
- [2] M. Engelhardt, LTspice XVII (x64), Linear Technology Corporation, 2018

Author

Prof. Dr.-Ing. Klemens Gintner

Professor at the Faculty of Mechanical Engineering and Mechatronics at Karlsruhe University of Applied Sciences

Contact

Prof. Dr.-Ing. Klemens Gintner
Karlsruhe University of Applied Sciences
Faculty of Mechanical Engineering
and Mechatronics

Moltkestr. 30

76133 Karlsruhe

E-mail: klemens.gintner@hs-karlsruhe.de

Internationale Zusammenarbeit bei der Entwicklung echtzeitgesteuerter cyber-physischer Prüf- und Laborfunktionen

Ferhat Aslan, Saiful Anwar Bin Che Ghani, Norazlianie Bintil Sazali und Maurice Kettner

Mit der Forschungsgruppe Motorentchnik und BHKW (GenLab) im Institut für Klima-, Kälte- und Umwelttechnik (IKKU) und im Institut für Energieeffiziente Mobilität (IEEM) bestehen internationale Beziehungen, die einen Mehrwert für die Forschungsaktivitäten der Hochschule Karlsruhe erbracht haben. Um diese Forschungsprojekte global vernetzen und fördern zu können, ist die Forschungsgruppe GenLab auf verschiedenen Ebenen aktiv. Diese internationale Zusammenarbeit zwischen Studierenden und Wissenschaftlern findet im Rahmen von MYiTOPS statt, einem Projekt im Rahmen des „Baden-Württemberg-STIPENDIUM für Studierende – BWS plus“, einem Programm der Baden-Württemberg Stiftung. Das Projekt wird über drei Jahre mit einer Summe von 110.000 Euro unterstützt und soll die erfolgreiche Zusammenarbeit zwischen der Hochschule Karlsruhe und der Universiti Malaysia Pahang (UMP) weiter vertiefen. Ziel des Projekts ist es, „International Team-Oriented Project Studies“ (iTOPS) in deutsch-malaysischen Teams im Bereich echtzeitgesteuerter cyber-physischer Prüf- und Laborfunktionen durchzuführen, um die Brücke zwischen Deutschland und Malaysia auszubauen. Für die studentischen Projekte wurde ein interdisziplinärer und moderner Entwicklungsrahmen geschaffen.

The international relations with the research group Motor Technology and CHP (GenLab) at the Institute for Climate, Refrigeration and Environmental Technology (IKKU) and the Institute for Energy Efficient Mobility (IEEM), have added value to the activities of the research group. The GenLab research group is also active at various levels to globally network and promote research at Karlsruhe University of Applied Sciences. This international cooperation between students and scientists takes place in the course of the MYiTOPS project which is part of the “Baden-Württemberg-STIPENDIUM for University Students – BWS plus”, a Baden-Württemberg Foundation program running from 2018 to 2021. It has received € 110.000 and aims to further intensify the successful cooperation between Karlsruhe University of Applied Sciences and Universiti Malaysia Pahang (UMP). The goal of the project is to carry out “International Team-Oriented Project Studies” (iTOPS) in German-Malaysian teams in the field of real-time-controlled cyber-physical testing and laboratory functions in order to strengthen the bridge between Germany and Malaysia. A modern, interdisciplinary development framework has been created for the student projects.

Einleitung

Seit der Gründung der Forschungsgruppe GenLab am IKKU an der Hochschule Karlsruhe wird der zunehmenden Zusammenarbeit mit internationalen Forschungspartnern große Bedeutung beigemessen. Mit der University of Zagreb, Croatia (UniZG), der Universidad de Valladolid, Spain (UVa) und der Universiti Malaysia Pahang (UMP) bestehen nun intensive und erfolgreiche Beziehungen.

Universiti Malaysia Pahang (UMP)

Die Hochschule Karlsruhe und die UMP haben Doppelstudiengänge (Bachelor) entwickelt und kontinuierlich eingeführt. Die Umsetzung der Kurse in diesen Programmen wird zum Teil von einer sogenannten „Flying Faculty“ von Professoren der Hochschule Karlsruhe und an der UMP durchgeführt. Der Lehrplan der Studiengänge ist identisch. Besonderer Zusatznutzen ist, dass Studierende der Hochschule Karlsruhe und der UMP (ohne Zeitverlust) jeweils ein Auslandssemester

an der anderen Universität verbringen können. Diese Möglichkeit wird von Studierenden beider Universitäten genutzt, 4 bis 12 Studierende pro Semester sind regelmäßig beteiligt. Aufbauend auf dieser erfolgreichen Zusammenarbeit wird der Austausch von Studierenden zwischen den Universitäten weiter gefördert. Zumal eine intensive wissenschaftliche Zusammenarbeit zwischen Doktoranden und Professoren zu gemeinsamen Forschungsergebnissen geführt hat.

Das BWS plus-Projekt MYiTOPS fördert nicht nur den nachhaltigen Austausch der Beziehungen der Hochschule Karlsruhe zur malaysischen Universität auf Leitungsebene, sondern auch den Austausch auf Studierendenebene. Im Rahmen des Projekts wird insgesamt 36 Studierenden ein Austausch ermöglicht. 18 dieser Studierende werden als Stipendiatinnen und Stipendiaten im Rahmen des Baden-Württemberg-Stipendiums für Studierende gefördert.



Abb. 1: MYITOPS Kick-Off-Workshop am 7. bis 11. März 2019 an der Universiti Malaysia Pahang (UMP)

Organisatorische Rahmenbedingungen

Die folgenden Aspekte sind Teil der organisatorischen Rahmenbedingungen für die Gestaltung der partnerschaftlichen Zusammenarbeit in der Wissenschaft und in der Ausbildung der Studierenden:

- Aktives Lernen
- Kollaboratives Arbeiten
- Internationalität
- Digitalisierung

Basierend auf diesen Aspekten wurde das Projekt MYITOPS entwickelt und wird für Studierende der Fachrichtungen Fahrzeugtechnik, Maschinenbau und Mechatronik angeboten.

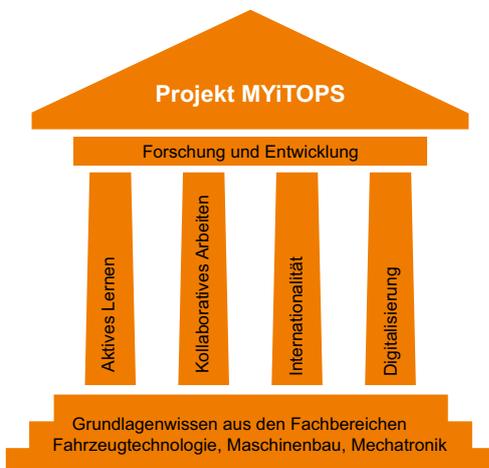


Abb. 2: Die Organisations- und Inhaltsstruktur des MYITOPS-Projekts

Aktives Lernen

Vorlesungen gibt es seit mehr als 900 Jahren. In letzter Zeit experimentieren naturwissenschaftliche und ingenieurwissenschaftliche Professoren mit einer innovativeren Art des wissenschaftlichen Unterrichts, insbesondere auf der Einstiegsebene. Die Idee ist, dass die Studierenden ihre Vorlesungszeit damit verbringen, Probleme zu lösen und sich an Aktivitäten zu beteiligen, die ihnen helfen sollen, wie Wissenschaftler zu denken, anstatt passiv auf einen Experten zu hören [2].

Ein aktueller Beitrag in der Zeitschrift PNAS liefert einige der überzeugendsten Beweise dafür, dass das so genannte „aktive Lernen“ eine gute Alternative zur klassischen Vorlesung ist, um Lernerfolge zu erzielen [3].

Inspiziert vom aktiven Lernen lag der Schwerpunkt des Kick-Off-Workshops auf dem effektiven Einsatz von aktueller Technologie und der Problemlösung durch eine praktische Vorgehensweise und Fehlersuche. Die Relevanz des Themas wurde auch in der Einführung in cyber-physische Systeme hervorgehoben: Weshalb lohnt sich die Beschäftigung mit cyber-physischen Systemen und wie hängen sie mit dem Automobilbau, dem Maschinenbau und der Mechatronik zusammen? Dies erhöht nachhaltig die Motivation zur Auseinandersetzung mit dem Thema. Der Erfolg der Studienprojekte hat diesen Ansatz mit beeindruckenden Ergebnissen bestätigt.



Abb. 3: Das Lernen der Grundlagen durch eine praktische Vorgehensweise und Fehlersuche im MYiTOPS-Projekt; Foto: Hochschule Karlsruhe

Kollaboratives Arbeiten und digitale Dienste

Im Projekt MYiTOPS wird der Online-Dienst Github für die kollaborative Arbeit genutzt. Die aus der Softwareentwicklung hervorgegangene Kommunikations- und Entwicklungsplattform wird heute zunehmend auch in der Forschung eingesetzt. Die Entwicklungsdokumentation schafft Entwicklungspfade, die auf Basis der Versionierung der Dokumente Orientierung für die eigene Forschung geben können. Dieses Verfahren schafft eine klare, transparente und nachvollziehbare Entwicklung und Weiterentwicklung des Projekts. Der Datenaustausch ist zu einem wichtigen Bestandteil der offenen Wissenschaft und Entwicklung geworden [4]. In der Forschungsgruppe GenLab führte der Online-Dienst GitHub in Kombination mit der Mobilität von Studierenden und Wissenschaftlern zu einer erfolgreichen Stärkung der Zusammenarbeit zwischen kooperierenden internationalen Forschungsgruppen. Die Forschungsgruppe GenLab besitzt eine eigene digitale Arbeitsgruppe, in denen Personengruppen über viele Projekte hinweg gleichzeitig zusammenarbeiten können [5]. Für die Wiederverwendung von Inhalten in ausgewählten Projekten unterstützt die Hochschule

Karlsruhe die Weiterverbreitung und Veröffentlichung über Open-Source-Lizenzen [6]. GenLab bietet mehr als drei Open-Source-lizenzierte Projektinhalte. Dazu gehören auch die Inhalte des MYiTOPS Kick-Off Workshops [7].

Interdisziplinäre MYiTOPS-Studierendenprojekte

Die beiden Teams setzen sich jeweils aus drei malaysischen und drei deutschen Studierenden zusammen, die durch Mobilitätszuschüsse sowie Stipendienmittel im Rahmen des *Baden-Württemberg-STIPENDIUMs für Studierende – BWS plus* unterstützt werden. Beide Teams arbeiteten nicht nur an ihren interdisziplinären Projekten, sondern konnten auch die Systemanforderungen formulieren und die Ziele in Absprache mit ihren Betreuern definieren. Die Gruppe in Malaysia entwickelte einen Fahrroboter („Gasfuß“) für Fahrzeuguntersuchungen auf einem Rollenprüfstand, und die Gruppe in Karlsruhe entwickelte eine Fernbedienung für Motorhandgeräte. Beide Teams können ihre Prüfstände über das Internet in Echtzeit und über Landesgrenzen hinweg von Malaysia bzw. Deutschland bedienen und steuern.



Abb. 4: Von Studierenden entwickelte Systeme, die über das Internet in Echtzeit und länderübergreifend bedient und gesteuert werden; Foto: Hochschule Karlsruhe

Fernbedienung für Motorhandgeräte

Auf der Grundlage von Vorarbeiten entwickelte das Studierendenteam in Deutschland ein cyber-physisches System, das ein handgehaltenes motorgetriebenes Gerät (z. B. eine Motorsäge) über eine serverbasierte Dateninfrastruktur steuert. Die Signale des mechatronischen Systems zur Anlagenüberwachung und -steuerung werden über einen Einplatinencomputer (Raspberry Pi 3) digitalisiert. Die für die Fernsteuerung erforderlichen Daten werden zwischen Malaysia und Deutschland über einen Datenbankserver ausgetauscht. Der Aufbau wird in einer (im Betrieb unzugänglichen) Höhensimulationskammer [8] eingesetzt und erhöht den Automatisierungsgrad der gesamten Anlage.



Abb. 5: Die von der Karlsruher Gruppe entwickelte Fernbedienung für Motorgeräte; Foto: Hochschule Karlsruhe

Fahrroboter für Fahrzeuguntersuchungen

Die Studierendengruppe in Malaysia entwickelte ein cyber-physisches System für Fahrzeuguntersuchungen auf einem Rollenprüfstand. Der steuerbare Fahrroboter wird mit einem Einplatinencomputer (Raspberry Pi 3) in das Virtual Private Network (VPN) integriert. Die Daten für die Systemüberwachung und -steuerung werden dann über eine Computer-Computer-Verbindung übertragen. Der Aufbau ermöglicht die gemeinsame Nutzung von Laborgeräten zwischen der HsKA und UMP.

Im Sommersemester 2020 und 2021 sollen die Arbeiten jeweils durch neue Gruppen fortgesetzt werden. Der Fahrroboter wird dabei um die Funktionen Kupplungs- und Schaltbetätigung erweitert.



Abb. 6: Von der malaysischen Gruppe entwickeltes Fahrroboter-System „Gasfuß“ für Fahrzeuguntersuchungen auf einem Rollenprüfstand; Foto: Hochschule Karlsruhe



Abb. 7: Über das Internet und das Fahrroboter-System „Gasfuß“ ferngesteuertes Fahrzeug auf dem Rollenprüfstand im UMP-Labor; Foto: Hochschule Karlsruhe

Literatur

- [1] Baden-Württemberg-STIPENDIUM for University Students – BWS plus, https://www.bw-stipendium.de/de/das-programm/aktuelles/aktueller-artikel/deutsch-malaysisches-teamwork/?no_cache=1 [23.09.2019]

- [2] Stop Lecturing Me (In College Science)!, Scientific American, <https://blogs.scientificamerican.com/budding-scientist/stop-lecturing-me-in-college-science/> [23.09.2019]
- [3] Active learning increases student performance in science, engineering and mathematics, Scott Freeman, Sarah L. Eddy, Miles McDonough, Michelle K. Smith, Nnadozie Okoroafor, Hannah Jordt, and Mary Pat Wenderoth
PNAS June 10, 2014 111 (23) 8410-8415; first published May 12, 2014 <https://doi.org/10.1073/pnas.1319030111>
- [4] Jeffrey Perkel: Democratic Databases: Science on Github. In: Nature, Vol 538, 6 October 2016, S. 126-128, doi:10.1038/538127a
- [5] Research group IKKUengine, University of Applied Science, Area of Research Engine Technology, <https://github.com/IKKUengine> [23.09.2019]
- [6] Open Source Initiative, <https://opensource.org/licenses/MIT> [23.09.2019]
- [7] International Team Oriented Project Studies, University of Applied Science, Area of Research Engine Technology, <https://github.com/IKKUengine/MYiTOPS> [23.09.2019]
- [8] Martel, A., Scholl, F., Weierter, D., and Kettner, M., "Development of a Climate and Altitude Simulation Test Bench for Handheld Power Tools," SAE Technical Paper 2018-32-0033, 2018, <https://doi.org/10.4271/2018-32-0033>.



Ein Programm der



Autoren

Dipl.-Phys. Ferhat Aslan

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

Dr. Saiful Anwar Bin Che Ghani

Dr. Norazlianie Binti Sazali

Universiti Malaysia Pahang (UMP)

Prof. Dr.-Ing. Maurice Kettner

Professor an der Fakultät für Maschinenbau und Mechatronik der Hochschule Karlsruhe

Kontakt

Prof. Dr.-Ing. Maurice Kettner

Hochschule Karlsruhe – Technik und Wirtschaft

Fakultät für Maschinenbau und Mechatronik

Moltkestraße 30

76133 Karlsruhe

E-Mail: maurice.kettner@hs-karlsruhe.de

Brauchen Ingenieure, Informatiker und Betriebswirte eine grundlegende Übersetzungskompetenz?

Andrea Cnyrim

*Lange geschmäht, halten das Übersetzen und nun sogar das Dolmetschen unter der Bezeichnung ‚Sprachmittlung‘ wieder Einzug in den Fremdsprachenunterricht. Als für den Spracherwerb nicht förderliche Aktivität, die (meist dafür nicht ausgebildete) Lehrende wie Lernende überfordere, war sie in Verruf geraten und aus Sprachkursen verbannt worden. Doch sie ist aus unserem beruflichen wie privaten Alltag nicht mehr wegzudenken und hat darum Klassenräume und Abiturprüfungen zurückerobert. Der 2017 erschienene Begleitband zum Gemeinsamen Europäischen Referenzrahmen für Sprachen (GER) stellt Skalen mit Deskriptoren für die Sprachmittlung vor, die nun umzusetzen sind. Aus Sicht der ingenieurwissenschaftlichen und betriebswirtschaftlichen Studiengänge stellt sich die Frage, welche Grundkompetenzen die Absolvent*innen wirklich benötigen und wie sie im Fremdsprachenunterricht an Hochschulen vermittelt werden sollten.*

Translating has been banned from foreign language instruction for a long time. It was not considered useful for language acquisition and thought to be expecting too much from language teachers (who in most cases are not trained to teach it) as well as learners. However, non-professional translation and even interpreting are part and parcel of our daily practices in professional and private situations. For this reason, it is reconquering classrooms and school examinations. The Companion Volume to the Common European Framework of Reference for Languages, published in 2017, has come up with new scales and descriptors for this competence called language mediation - to be included in language classes. From the perspective of language instruction in institutions of higher learning in engineering and management sciences, this article discusses the question of which competencies graduates need in this area and how instruction should be designed for university level language classes.

Einleitung

Den Anstoß zu nachfolgenden Überlegungen gaben die 19 neuen Skalen für die Sprachmittlung im Begleitband zum Gemeinsamen Europäischen Referenzrahmen (GER) [3]. Dass diese Kompetenz so große Aufmerksamkeit erregt, trägt der stetig wachsenden Bedeutung von Mehrsprachigkeit Rechnung und damit der Notwendigkeit alltäglicher Sprachmittlung in beruflichen, gesellschaftlichen sowie privaten Kontexten. Rapide ist die Zahl der übersetzten Texte gestiegen, die wir täglich konsumieren: von der Nachrichtenmeldung über Webseiten, Werbung, Produktbeschreibungen oder Benutzermenüs und Software, Beipackzettel bis hin zur Synchronfassung der Vorabendserie. Wir mögen bedauern, dass diese Texte nicht alle von qualifizierten Übersetzungsprofis erstellt wurden. Doch auch in Fachkreisen wird die allgegenwärtige Zunahme der sog. ‚nicht-professionellen Sprachmittlung‘ anerkannt und in den Blick genommen.

In der Fremdsprachendidaktik jedoch fehlen noch immer spezifische Curricula und Vermittlungskonzepte ebenso wie eine verbindliche Begriffsklärung und die erforderliche Theorie- und Modellbildung. Wichtige Fragen aus Sicht der Fremdsprachenausbildung an Hochschulen sind:

- 1: Wie ist Sprachmittlung als komplexe Kompetenz zu definieren?
- 2: Aus welchen Teilkompetenzen setzt sie sich zusammen?
- 3: Wie sollte eine grundlegende Übersetzungskompetenz für Fachexperten aussehen?

1 Sprachmittlung als komplexe Kompetenz. Definition und Abgrenzung

Im Begleitband zum GER wird ein sehr breites Verständnis des Vermittelns zwischen verschiedenen Perspektiven zur Beschreibung der ‚Sprachmittlung‘ zugrunde gelegt. Das führt zu einer Definition, die viel zu unspezifisch ist, um sie von anderen Fähigkeiten abzugrenzen, die im Sprachunterricht vermittelt werden: „In mediation, the user/ learner acts as a social agent who creates bridges to construct or convey meaning sometimes within the same language, sometimes from one language to another (cross-linguistic mediation)“ (S. 103). Daher soll es hier nur um jene Skalen gehen, die Deskriptoren für translatorische Handlungen im engeren Sinne anbieten nämlich „Einen geschriebenen Text übersetzen mündlich / schriftlich“ („Translating a written text in speech / in writing“,

S. 114) sowie „Als Mittler in informellen Situationen handeln“ („Acting as an intermediary in informal situations“, S.124). Auch wenn es gute Gründe gibt, sich bei der Modellierung translatorischer Kompetenz auf einen breiten Translationsbegriff zu stützen [1], legt die gewählte Perspektive der Begriffspräzisierung zur Curriculumsentwicklung und zur Operationalisierung von Bewertungskriterien diese Eingrenzung nahe.

Schon in der Fassung von 2001 betont der GER, dass zu berücksichtigen sei, „in welchen sprachmittelnden Aktivitäten die Lernenden aktiv werden müssen“ (S. 91) und bezieht sich darauf, „wie man mit begrenzten Mitteln Information verarbeiten und eine äquivalente Bedeutung herstellen kann“ (S. 90, eigene Hervorhebung). Der Begleitband beschränkt seine Skalen auf informale Situationen „mit Freunden oder Kollegen“ im „öffentlichen, privaten, beruflichen oder Bildungsbereich“, und betont mehrfach: „(...) the illustrative descriptors (...) are not intended to describe the competences of professional interpreters and translators“ (S. 107, 113 und 124). Informale Situationen unter Kollegen sind jedoch nichtsdestotrotz beruflich. Die Art der Beziehung zu den Adressaten ändert weder die Schwierigkeit der Texte und der translatorischen Aufgabe noch mindert sie die Anforderungen. Worin genau dieser Unterschied besteht, wird nirgends ausgeführt. Und das ist vermutlich nur zu leisten, wenn man sich eingehender mit den translatorischen Tätigkeiten befasst. Verschiedene Vertreter*innen der Fremdsprachendidaktik haben das getan und kommen zum Ergebnis: „... dass es sich beim Sprachmitteln im Fremdsprachenunterricht um (funktionales) Übersetzen (bzw. Dolmetschen) handelt und dass sämtliche Abgrenzungsversuche zum „professionellen“ Übersetzen, die auf andere Unterscheidungsmerkmale als die Professionalität bzw. Qualität des Zieltextes abzielen, nicht schlüssig sind“ [9].



Abb. 1: Beispiel für eine typische Laienübersetzung

Daher soll hier unter Sprachmittlung das schriftliche oder mündliche Übertragen von (gesprochenen und geschriebenen) Ausgangstexten (AT) verstanden werden, das einen Sprachwechsel einschließt. Es ist nicht von einem prinzipiellen Unterschied in den Anforderungen oder kognitiven Prozessen zum Übersetzen und Dolmetschen auszugehen, eventuell aber durchaus von deutlich divergierender Qualität der Zieltexte, Komplexität der Aufträge und Projekte sowie Professionalität und Routine in der Ausführung (bspw. beim Einsatz von Übersetzungs-Tools und Dolmetschmethoden).

Sehr weitgehendes Einvernehmen besteht darin, sie als **komplexe** Kompetenz zu beschreiben (s. [5], [7], [4], [9] u. a.): Um diese lehren und beurteilen zu können, bedarf es einer genaueren Vorstellung von den involvierten Teilkompetenzen.

2 Teilkompetenzen der Sprachmittlung

Bisherige Versuche der Fremdsprachendidaktik, Sprachmittlung als anspruchsvolle kommunikative Aufgabe mit verschiedenen Teilkompetenzen zu fassen, haben inzwischen zu ihrer Wiederaufnahme in bestimmte Lernkontexte geführt, es bestehen aber noch immer große Unsicherheiten bei den Bewertungskriterien. Das mag auch an den Modellen translatorischer Kompetenz liegen, die herangezogen wurden. Selbst verbreitete translationswissenschaftliche Modelle stoßen an ihre Grenzen: Viele listen entweder nur einzelne Fertigkeiten auf, können deren Zusammenwirken für die gelingende Translation aber nicht erklären – oder sie ‚delegieren‘ diese Aufgabe an eine nicht näher beschriebene ‚strategische‘ Kompetenz, eine Art ‚Blackbox‘, die verschiedene Prozesse steuert (eine ausführliche Diskussion hierzu findet sich in[1]). Für fremdsprachendidaktische Zwecke geeigneter erscheint der Vorschlag von Risku (s. [8]), der fünf Teilkompetenzen unterscheidet:

2.1 Leitbilder

Leitbilder beinhalten Vorstellungen vom Zweck des Übersetzens und davon, was wir beim Übersetzen und Dolmetschen tun (s. [8], S. 138f.). Sie sind uns oft als Bilder oder Metaphern verfügbar. Meist strukturieren diese (Alltags-)Theorien, auf die wir uns beim translatorischen Handeln stützen, dieses selbst dann, wenn wir uns dessen nicht bewusst sind. Das bedeutet, dass wir alle bei Sprachmittlungsprozessen zumindest implizite Leitbilder befolgen.

Laien stellen sich Translation oft als ‚Signaltransport‘ vor. Sie versuchen, dem AT ‚Inhalte‘ zu entnehmen und sie in der Zielsprache ‚neu zu verpacken‘. Ziel für den Aufbau von translatorischem Grundwissen und Know-

how wäre die Vermittlung von Grundlagen zu Bedeutungsaufbau und -aushandlung, ihrer Dynamik sowie zu Translationsprozessen und eine Sensibilisierung für das semantische Potenzial von Äußerungen.

2.2 Makrostrategien

Mithilfe von Makrostrategien bestimmen Übersetzer Ziele und Zweck konkreter Übersetzungen mehr oder weniger differenziert (s. [8], S. 145). Auch in Sprachmittlungssituationen im beruflichen Alltag von Fachexperten spielt der Auftrag eine entscheidende Rolle. So sieht der Zieltext (ZT) bei der Übersetzung einer Bedienungsanleitung anders aus, wenn sie die Vorteile bei der Bedienung eines Geräts für Kollegen zusammenfasst, als wenn eine fremdsprachige Produktdokumentation für den Export erstellt wird. Die Beachtung des Auftrags und das Bewusstsein, dass verschiedene Aufträge für denselben AT zu unterschiedlichen ZT führen, helfen, ökonomische und effiziente Makrostrategien umzusetzen. Experten verwenden mehr Zeit und Sorgfalt auf die Interpretation des Auftrags als Laien. Während anfangs noch Versuche dominieren, einzelne (Oberflächen-)Elemente von Sprache und Bedeutung des AT in der Zielsprache wiederzugeben, führt eine größere Fähigkeit, die Situation zu reflektieren, zu flexibleren Anpassungsstrategien und konstruktiveren translatorischen Lösungen, die Kontext und Auftrag berücksichtigen.

2.3 Informationsintegration

Informationsintegration steuert den Rückgriff auf Vorwissen, vom Auftraggeber geliefertes Material, eigene Recherchen und beinhaltet AT-Verständnis ebenso wie ZT-Revision (s. [8], S.152ff.). Auch hier konzentrieren sich Laien auf Oberflächenmerkmale von Sprache sowie die sog. Autorenintentionen und gleichen bei der Revision AT- und ZT-Elemente ab. Bei ausgeprägter Kompetenz erfolgt Informationsintegration zweckorientiert (anstatt kumulativ): Bei der Analyse translatorischer Probleme und des AT werden auch Situation und Kontext berücksichtigt. Autorenintention und ‚inhärente‘ Bedeutung von Texten werden hinterfragt, bei der ZT-Revision neben sprachlicher Korrektheit auch funktionale Angemessenheit in der Zielsituation berücksichtigt.

Fachexpert*innen mit grundlegender Übersetzungskompetenz müssen befähigt werden, in alltäglichen beruflichen Situationen aus ihrem Spezialgebiet sprachlich und kulturell zu mitteln, sofern der Auftrag nicht aus rechtlichen, sachlichen oder ethischen Gründen die Hinzuziehung eines professionellen Translators erfordert. Ihre fachliche Spezialisierung erlaubt ihnen einen geringen Rechercheaufwand, der

jedoch im Fremdsprachenunterricht beispielhaft thematisiert werden sollte. Unentbehrlich ist die Fähigkeit, die Grenzen der Recherche selbst zu bestimmen (s. [8], S. 171).

2.4 Maßnahmenplanung und Entscheidung

Planung und Entscheidung beinhaltet Organisation und Durchführung des Übertragungsprozesses, inklusive bestimmter Mikrostrategien (s. [8], S. 206). Bei Laien beruht dies noch stark auf automatisierten (routinartigen) Mikrostrategien und dekontextualisierten ‚Daumenregeln‘. Auf der Stufe translatorischer Grundkompetenz leiten AT-Analyse und die Funktion des ZT in der Zielsituation die Organisation und Ausführung. Zunehmende Übersetzungskompetenz richtet die Maßnahmenplanung immer mehr an Struktur und Funktion des Gesamttextes aus, statt sich an rein sprachlichen Einheiten wie etwa Satzgrenzen zu orientieren. So sollte sich die Planung von einer linearen und auf den AT fixierten Sammlung brauchbarer Einzelelemente (z. B. Vokabular) entfernen und sich hin entwickeln zu einer Interaktion von Detail und Ganzem, geleitet von einer übergeordneten kommunikativen Makrostrategie.

2.5 Selbstorganisation

Selbstorganisation schließt Selbstmanagement ein sowie die Vorstellungen von der Rolle und Verantwortung beim Übersetzen (s. [8], S. 228). Laien haben wenig Bewusstsein von der Macht, die sie in den jeweiligen Situationen ausüben können. Sie neigen stark dazu, die Verantwortung ausschließlich den Parteien zuzuschreiben. In einer grundlegenden Selbstorganisationskompetenz setzt dieses Bewusstsein ein, inkl. für die eigenen handlungsleitenden Prinzipien und der Fähigkeit, diese zu bewerten.

Kompetentes Dolmetschen und Übersetzen setzt eine Abwägung der Loyalitätsbeziehungen zu Auftraggebern, Klienten oder Kunden (die nicht immer übereinstimmen müssen), AT und ZT sowie Ausgangs- und Zielkultur, Handlungsziel oder Kommunikationsziel sowie der eigenen Interessen der Dolmetschenden voraus, die für jede Situation eigens priorisiert werden müssen. Je nach dem Verständnis von der eigenen Rolle führt das zu unterschiedlichen Entscheidungen (z. B. Sprachrohr einer Partei vs. Allparteilichkeit).

Diese knappe Darstellung stellt jeweils alltagsweltliche Vorstellungen von Translation auf dem Niveau von Allgemeinbildung (= „naive Alltagskompetenz“ nach [1] einer ersten „grundlegenden funktionalen Kompetenz“ gegenüber, die rudimentäre und punktuelle translatorische Grundkenntnisse und Fähigkeiten

nutzt. Sie bilden die beiden ersten von fünf Niveaustufen eines Entwicklungsmodells für die Ausbildung von Translator*innen [1].

3 Fazit: Welche Teilkompetenzen sollten im Fremdsprachenunterricht an Hochschulen entwickelt werden?

In der interdisziplinären und transnational globalisierten Welt, in der die Absolvent*innen arbeiten, sind die hier skizzierten Fähigkeiten von unschätzbarem Wert. Mehrsprachigkeit in ihren verschiedenen Erscheinungsformen wird aller Voraussicht nach auch weiter zunehmen. Damit können so qualifizierte Absolvent*innen vielfach von diesem Angebot profitieren, es zum eigenen wie zum Wohl ihres Arbeitgebers nutzen und gleichzeitig zu einer pluralen Welt der Gleichwertigkeit beitragen.



Abb. 2: Beispielhafte Skizze

Ein Curriculum für diese Zielgruppe müsste den Übergang von Stufe 1 (Laienübersetzen) zu Stufe 2 (grundlegende funktionale Sprachmittlungskompetenz) sicherstellen (s. [1], S. 30). In fremdsprachlichen Kursen an Hochschulen kann neben einem überdurchschnittlichen Maß an Allgemeinbildung auch solides

Fachwissen in der studierten Disziplin vorausgesetzt werden. Lehrende der Fremdsprachen an Hochschulen finden daher sehr gute Voraussetzungen bei ihrer Zielgruppe vor, die manchmal sogar auf zweisprachige Kompetenzen auf dem studierten Fachgebiet zurückgreifen kann. Deshalb sind sie in einer privilegierten Ausgangsposition, um Konzepte für den Fremdsprachenunterricht zu erarbeiten. Es wird hier daher dafür plädiert, dass der Sprachenunterricht an Hochschulen eine Vorreiterrolle übernimmt und die dringend notwendigen konkreten Konzepte ausarbeitet.

Ob darüber hinaus eine translatorische Grundbildung als ‚basic skill‘ zu fordern ist, bleibt zu diskutieren. Christiane Nord begründete dies schon 1997 damit, dass unser Alltag immer mehr auf Übertragungen vertraut (Nord 1997: 122) und nannte es „eine grundlegende Kulturtechnik“. Sicher ist, dass der Begleitband zum GER die Debatte, wie eine grundlegende Sprachmittlungskompetenz in Alltag und Beruf aussehen könnte, in ganz Europa erneut in Gang gebracht hat. Angebote, die dies umsetzen möchten, können sich auf die Vorschläge in diesem Beitrag stützen, die translationswissenschaftlich solide fundiert und im Einklang mit führenden fremdsprachendidaktischen Positionen sind.

Eine ausführlichere Darlegung dieser Überlegungen befindet sich im Druck ([2]). Ich danke dem Herausgaberteam für die Zustimmung zum Vorabdruck dieser Kurzform.

Entwicklungsstufe	Entwicklung translatorischer Kompetenzstufen akademisch ausgebildeter Übersetzer*innen und Dolmetscher*innen	Studienjahre/Berufserfahrung
Stufe 1	Naiv-natürliche Alltagskompetenz: Laienübersetzen	nach dem Abitur bzw. der HZB (= vor Aufnahme eines Studiums)
	Schmales, oberflächliches Wissen über Translation auf dem Niveau von Allgemeinbildung.	
Stufe 2	Grundlegende funktionale Kompetenz	BA 1 (nach dem ersten Jahr im BA eines Übersetzungsstudiums)
	Erste Elemente translatorischen Grundwissens und Könnens werden passend benutzt. Kontextgebundene Fachbegriffe und -kenntnisse. Erste translationswissenschaftliche Konzepte können angewandt werden.	
Stufe 3	Konzeptuell-prozessuale Kompetenz	BA 2 (Jahr 2 und 3 des BA eines Übersetzungsstudiums)
	Konzepte, Prinzipien und ihre Zusammenhänge sowie grundlegende translationswissenschaftliche Denk- und Arbeitsweisen werden verstanden. Arbeitsprozesswissen und erste berufliche Handlungsfähigkeit. Elaborierte translatorische Konzepte können angewandt werden.	
Stufe 4	Mehrdimensionale Kompetenz	Niveaustufe MA eines Übersetzungsstudiums
	Zusätzliches Verständnis von der Komplexität der Translation. Komplexe Konzepte, Prinzipien und ihre Zusammenhänge können kritisch eingeordnet werden. Translatorische Arbeitsprozesse und -situationen werden analysiert und koordiniert. Arbeitsprozesswissen auf hohem Niveau beruflicher Verantwortung. Elaborierte translatorische Theorien können reflektiert werden.	
Stufe 5	Autonom-progressive Kompetenz: Expertenübersetzen als Sinnkonstruktion	Niveaustufen jenseits des MA im Übersetzungsstudium (z. B. Dissertation / Habilitation)
	Verantwortung für das Fach wird übernommen, eigene Ansätze entwickelt bzw. bestehende weiterentwickelt etc.	

Tab.1: Translatorische Kompetenzentwicklung bei akademisch ausgebildeten Übersetzer*innen und Dolmetscher*innen nach [1]

Literatur

- [1] Cnyrim, A.; Hagemann, S. & Neu, J. (2013): Towards a framework of reference. In: Kiraly, D.; Hansen-Schirra, S.; Maksymski, K. (Eds.), *New Prospects and Perspectives for Educating Language Mediators*. Tübingen: Narr, 9-34.
- [2] Cnyrim, A. (2020): „Sprachmittlung nach dem GER: Wie lassen sich diese Kompetenzen im Fremdsprachenunterricht entwickeln?“ In: Stolarczyk, Barbara & Merkelbach, Christoph: *Herkunftssprachen – Polnisch, Russisch und Türkisch in der interkulturellen und mehrsprachigen Gesellschaft der Bundesrepublik*. Bd. 5. Reihe Polnisch als Fremd- und Zweitsprache. Aachen: Shaker. Im Druck.
- [3] Council of Europe (Eds.) (2018): *Common European Framework of Reference for Languages: Learning, Teaching, Assessment. Companion Volume with New Descriptors* [www.coe.int/lang-cefr, 19.1.2020].
- [4] De Florio-Hansen, I. (2015), Interlinguale Kompetenz: von der informellen zur berufsbezogenen Sprachmittlung. In: De Florio-Hansen, I. & Klein, E. (Hrsg.): *Sprachmittlung im Fremdsprachenunterricht*. (GiF:on, 3), 7–28.
- [5] Kolb, E. (2016): *Sprachmittlung. Studien zur Modellierung einer komplexen Kompetenz*. Münster: Waxmann.
- [6] Nord, C. (1997): Verstehen – Deuten – Vermitteln. Übersetzen als „Kulturtechnik“ unserer Zeit. *Hispanorama* 76, 117 – 122.
- [7] Reimann, D. (2016): *Sprachmittlung*. Tübingen: Narr.
- [8] Risku, H. (1998): *Translatorische Kompetenz. Kognitive Grundlagen des Übersetzens als Expertentätigkeit*. Tübingen: Narr.
- [9] Siepman, D. (2013): *Sprachmitteln im Fremdsprachenunterricht: eine kritische Bestandsaufnahme aus übersetzungswissenschaftlicher Sicht und Vorschläge für eine verbesserte Praxis*. In: Bürgel, C. & Siepman, D., *Sprachwissenschaft – Fremdsprachendidaktik: Neue Impulse*. Baltmannsweiler: Schneider. 189-208.
- [10] Trim, J.; Quetz, J.; Schieß, R. & Schneider, G. (Hrsg.) (2009): *Gemeinsamer europäischer Referenzrahmen für Sprachen. Lernen, lehren, beurteilen*. Berlin: Langenscheidt.

Autorin

Prof. Dr. Andrea Cnyrim

Professorin für Interkulturelle Kommunikation an der Fakultät für Wirtschaftswissenschaften der Hochschule Karlsruhe

Kontakt

Prof. Dr. Andrea Cnyrim
Hochschule Karlsruhe – Technik und Wirtschaft
Fakultät für Wirtschaftswissenschaften
Moltkestraße 30
76133 Karlsruhe
E-Mail: andrea.cnyrim@hs-karlsruhe.de



High-tech since 1931.



Herausforderungs- liebhaber.

Geht nicht, gibt's nicht. Das ist Ihre Prämisse!
Sie lieben es, sich Herausforderungen zu stellen
und finden innovative Lösungen? Dann kommen
Sie ins Team E.G.O. und gestalten mit uns intelligente
Technologien und Produkte für die Küche von morgen.

www.egoproducts.com/de/karriere



Die E.G.O.-Gruppe ist ein Mitglied der BLANC & FISCHER Familienholding.

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