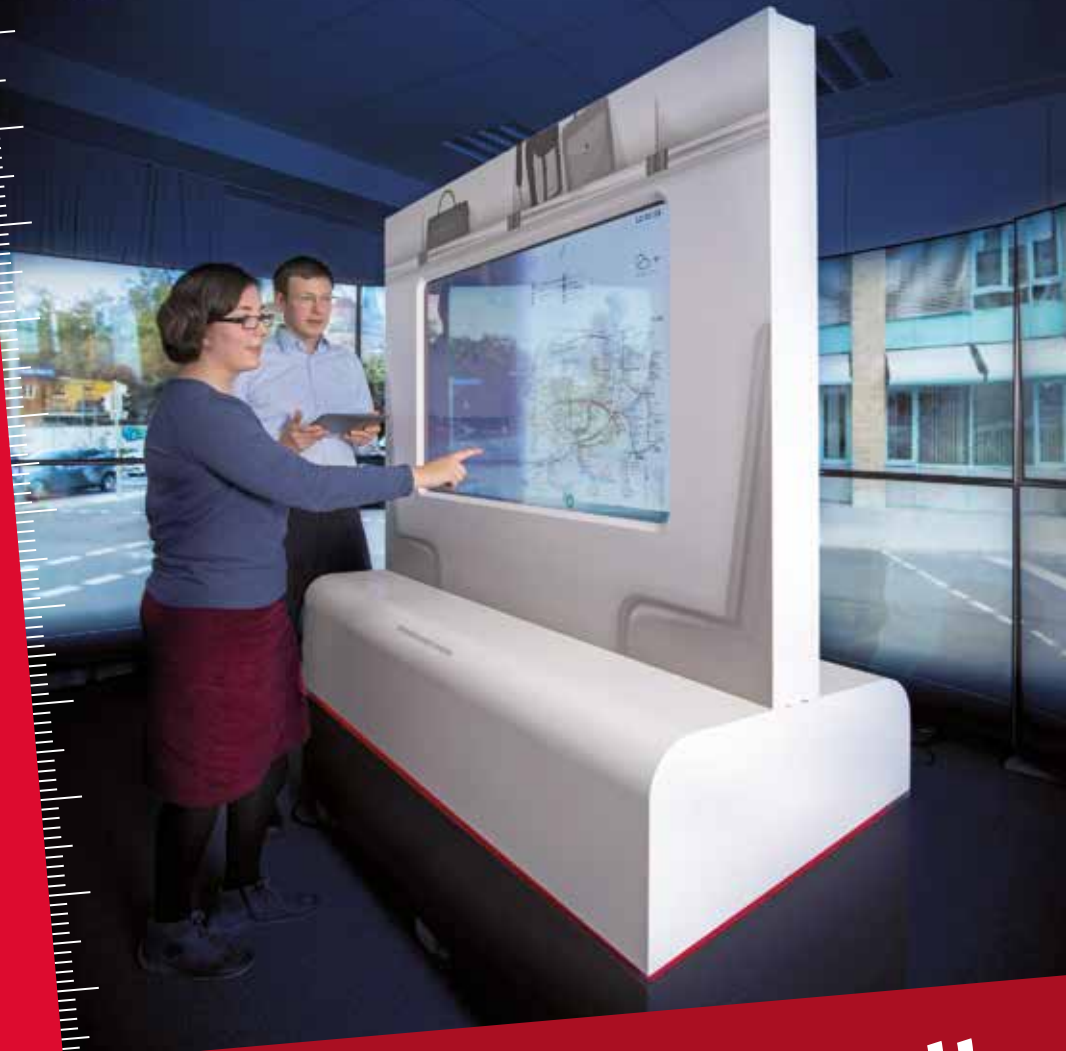




Hochschule Karlsruhe
Technik und Wirtschaft
UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Näher dran.



Forschung aktuell 2019





ziehl-abegg.de

Ausbildung oder Studium dann Karriere

Starte jetzt deinen Weg in die Königsklasse



Zukunft spüren bei den Besten

ZIEHL-ABEGG



Die Königsklasse

der Lufttechnik,
Regeltechnik und Antriebstechnik

Mehr
Volumen
bei kleinerer
Ausgröße

Bewegung durch Perfektion

Dualis

IHK Heilbronn-Franken

Ausgezeichneter
Ausbildungsbetrieb



Die Königsklasse in Lufttechnik, Regeltechnik und Antriebstechnik

ZIEHL-ABEGG wurde zum **besten Ausbildungsbetrieb Deutschlands 2018** von FOCUS und FOCUS-MONEY im Bereich Elektroindustrie ausgezeichnet.

ZIEHL-ABEGG

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 Deutschland. Die an unserer Hochschule geleistete angewandte Forschung beeindruckt durch eine immense Themenvielfalt, wobei die Bedürfnisse der Menschen im Zentrum stehen.

Viele Beiträge der „Forschung aktuell 2019“ stehen im Zeichen der wachsenden Mobilitätserwartungen und gesellschaftlichen Herausforderungen in einer sich rasant verändernden Welt.

Das Foto auf der Titelseite zeigt das Ende letzten Jahres offiziell eröffnete Labor des Instituts für Ubiquitäre Mobilitätssysteme der Hochschule Karlsruhe. Das Team um Prof. Dr.-Ing. Thomas Schlegel entwickelt dort im Projekt SmartMMI ein Konzept zur Verbesserung der Informationsversorgung von Fahrgästen entlang ihrer Reisedstrecke. Durch Kombination verschiedenster Datenquellen zu einer intelligenten Datenplattform werden ihnen zukünftig im öffentlichen Personenverkehr diese Daten situationsgerecht auf dann zusätzlich als Touchscreen dienenden Fenstern von Zügen und Stadtbahnen, sogenannten SmartWindows, oder auf dem Smartphone zur Verfügung stehen.

Weitere Artikel der „Forschung aktuell 2019“ verdeutlichen ebenfalls eindrucksvoll, wie sehr die unmittelbare Verfügbarkeit von Informationen durch Digitaltechnologie das gesellschaftliche Leben sowie das Wirtschafts- und Arbeitsleben verändert.

Sozial-, sprach- und gesellschaftswissenschaftliche Forschung ist auch unter diesen Aspekten unverzichtbar und wird an der Hochschule Karlsruhe

ebenfalls betrieben, wie die Beiträge der Rubrik „Gesellschaft in Bewegung“ eindrücklich aufzeigen.

Die vorliegende Ausgabe enthält natürlich auch eine Vielzahl hochinnovativer Forschungsbeiträge aus den Ingenieurwissenschaften, vor allem zum Thema Energieeffizienz und Nachhaltigkeit. Letztlich dienen diese Anstrengungen einem Ziel: die durch Klimawandel, Umweltzerstörung und Ressourcenverbrauch bedrohten natürlichen Lebensgrundlagen zu bewahren.

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

- Digitale Mobilität
- Auto- und Verkehrsmobilität
- Gesellschaft in Bewegung
- Umwelttechnik und Umweltanalytik

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. 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 Verwaltungseinheit, dem Center of Applied Research (CAR), zusammengeleitet worden.

Mein Dank gilt auch in diesem Jahr allen Kolleginnen und Kollegen, die ihre Ergebnisse in diesem Bericht veröffentlichten. 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.

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

Impressum

ISSN 1613-4958

**Hochschule Karlsruhe – Technik und Wirtschaft
Forschung aktuell 2019**

Herausgeber

Rektorat der Hochschule Karlsruhe –
Technik und Wirtschaft

Redaktion und Wissenschaftslektorat

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

Layout

Alfons Muntean
Geschäftsstelle für Öffentlichkeitsarbeit
und Marketing der Hochschule Karlsruhe

Grafik

Erwin Fieber

Titelbilder:

Labor des Instituts für Ubiquitäre Mobilitäts-
systeme (IUMS) der Hochschule Karlsruhe mit
dessen Konzept und Softwareumsetzung auf dem
Prototyp „SmartWindow“ der Firma ANNAX GmbH
und der laboreigenen Powerwall mit Stadtbahn-
Videosequenz am Mühlburger Tor im Hintergrund
(Foto: Tobias Schwerdt); SmartMMI – Stadtbahn-
fenster der Zukunft (Grafik: Arash Torabi)

Englisch-Lektorat

Lynn Beechey-Volz
Institut für Fremdsprachen der
Hochschule Karlsruhe

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, März 2019

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
--	---

Digitale Mobilität

Stadtbahnfenster der Zukunft <i>Waldemar Titov, Christine Keller und Thomas Schlegel</i>	8
Digitalisierung bringt Produktion zurück an den Standort Deutschland <i>Steffen Kinkel</i>	12
CoffeeBot – Ein Demonstrator für die Mensch-Roboter-Kollaboration und -Interaktion <i>Christian Wurl, Stefan Saliba und Jürgen Sütterlin</i>	16
Condition-sensitive, Low-Dimensional Process Representations from Process Data via Convolutional Neural Networks and Multi-task Learning <i>Tarek Iraki and Norbert Link</i>	20

Auto und Verkehrsmobilität

Karlsruhe University of Applied Sciences Major Stake in regiomove Project <i>Adam Fraser, Sören Veen and Christoph Hupfer</i>	24
Schutz von Fahrzeugen vor Cyber-Angriffen: Security For Connected, Autonomous caRs (SecForCARs) <i>Florian Sommer und Reiner Kriesten</i>	28
Datenschutz im Automobilbereich – Eine Mystery-Shopping-Studie am Beispiel von PKW-Notrufsystemen <i>Fatbardha Shabani, Stefanie Regier und Ingo Stengel</i>	32
The Grand Tour of Japanese Automotive <i>Christoph Roser</i>	36

Gesellschaft in Bewegung

„In den Schluchten des Balkan“? Zur Wahrnehmung der sogenannten Balkanregion in Narrativen zwischen Stereotypie und Exotismus in Werken der deutschsprachigen Populärkultur <i>Michael Tewes und Alexa Mathias</i>	38
Interkulturelle Organisationsentwicklung von Sportvereinen: Zwischen Offenheit und Assimilationsforderung <i>Andrea Cnyrim und Roman Lietz</i>	42

Inhalt

Hybrides Lernen verbindet Wissen und Können 46
Katharina L. Schmidt, Selay Selter, Jan Schröder und Carsten H. Hahn

Innovation Coaching für agile Produktentwicklungsprojekte 52
Manuel Niever, Luca Gort, Markus Stöckner und Carsten H. Hahn

Umwelttechnik und Umweltanalytik

Optofluidische On-Chip Absorptionsspektroskopie 56
Christian Karnutsch und Jörg Knyrim

Entwicklung und Untersuchung eines natürlichen Kältemittels für Tieftemperaturanwendungen 60
Timo Maurath und Michael Kauffeld

Modeling on lithium-ion inflow in cathode materials of lithium-ion battery 66
Jay Santoki, Daniel Schneider, Marc Kamlah and Britta Nestler

Extensive reduction of the emissions of low-power wood-log fueled fireplaces: An innovative CO/HC gas sensor operation concept for long-term in-situ exhaust gas applications 70
Xin Zhang, Binayak Ojha, Ulrich Guth and Heinz Kohler

Saubere Gasmotorenteknologie für Blockheizkraftwerke 74
Youssef Beltaifa und Maurice Kettner

Pilotanlage für eine nachhaltige Aquakultur in der Region um den Victoriasee in Afrika 80
Ephraim Gukelberger und Jan Hoinkis

Schlaglichter

Experimentelle, analytische und numerische Untersuchung der Ausbreitung von Lüdersbändern in Werkstoffen mit ausgeprägter Streckgrenze 84
Rainer Schwab und Anton Harter

Rotational Speed Sensor for High Temperatures 88
Klemens Gintner

Onset of particle motion on a vibratory conveyor 91
Christof Krülle

Personalbemessung im Facility Management öffentlicher Einrichtungen 94
Carolin Bahr, Joachim Liers und David Durukan

Robustheit von Schleusen mit Schwergewichtskammerwänden 98
Simon Weiler und Jan Akkermann

BE THE HERO



DO EPIC IT

www.daimler-tss.com/karriere

Stand der Forschung an der Hochschule Karlsruhe – Technik und Wirtschaft

Um ihre Spitzenposition als eine der forschungstärksten Hochschulen für Angewandte Wissenschaften (HAWs) 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 Angewandte Forschung (IAF), Sprecher: Prof. Dr. Christian Wurl
- 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
- Institute of Materials and Processes (IMP), Sprecher: Prof. Dr. Rüdiger Haas
- Institut für Sensor- und Informationssysteme (ISIS), Sprecher: Prof. Dr. Heinz Kohler
- Institute Intelligent Systems Research Group (ISRG), Sprecherin: Prof. Dr. Astrid Laubenheimer
- Institut für Ubiquitäre Mobilitätssysteme (IUMS), Sprecher: Prof. Dr. Thomas Schlegel
- Institut für Verkehr und Infrastruktur (IVI), Sprecher: Prof. Dr. Jan Riel

Darüber hinaus wurde Anfang Dezember 2018 in einer konstituierenden Sitzung ein Doktorandenkonvent gemäß Landeshochschulgesetz an der Hochschule

gegründet. Die gewählten Doktorandensprecher sind Matthias Feiner und Sebastian Gund.

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

1. Drittmittelaufkommen

Die Drittmiteleinnahmen der Hochschule Karlsruhe in der Forschung beliefen sich in 2018 auf insgesamt ca. 7,8 Mio. Euro. Wie in Abbildung 1 zu erkennen ist, setzt sich die stetige Steigerung der Drittmiteleinnahmen der Hochschule in 2018 fort und bestätigt den Höhepunkt der Drittmiteleinnahmen in 2016 als einen durch Einmaleffekte ausgelösten positiven Ausreißer. Aktuell arbeiten die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler der Hochschule Karlsruhe an rund 140 Forschungsprojekten.

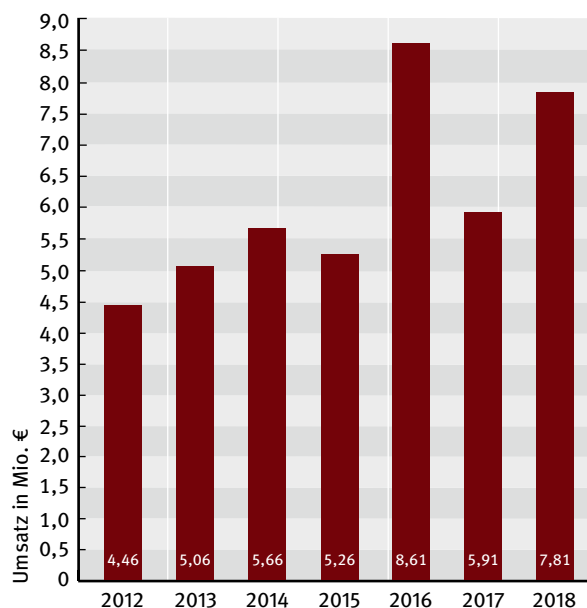


Abb. 1: Umsatzentwicklung Forschung 2012 bis 2018

2. Promotionsaufkommen

Insgesamt 99 laufende Promotionsvorhaben wurden Ende 2018 kooperativ in Form einer Individual- oder einer strukturierten Promotion an der Hochschule Karlsruhe betreut und 11 Doktoranden schlossen ihre Promotion 2018 erfolgreich ab. Zusammen mit dem Karlsruher Institut für Technologie (KIT) werden strukturierte Promotionsvorhaben im Rahmen des von der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG) geförderten Graduiertenkollegs und des vom Land Baden-

Württemberg unterstützten kooperativen Promotionskollegs durchgeführt.

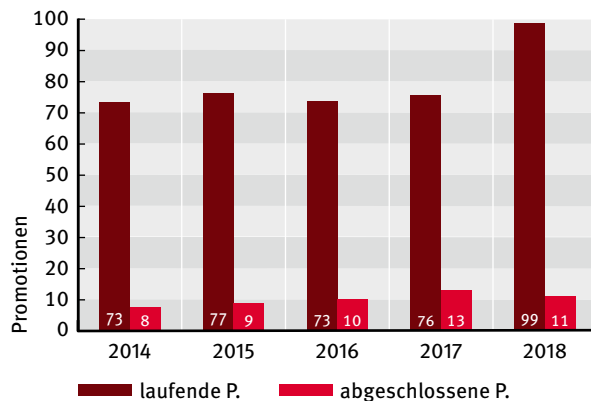


Abb. 2: Entwicklung der kooperativen Promotionen 2014 bis 2018

3. Publikationsaufkommen

Die Professorinnen und Professoren sowie die Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter der Hochschule haben 2018 insgesamt 245 wissenschaftliche Publikationen veröffentlicht, wovon 67 als Zeitschriftenaufsatz oder Dissertation erfolgreich ein Peer-Review-Verfahren durchlaufen haben.

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 2018 waren 58 Professorinnen und Professoren in den Forschungsinstituten tätig und wurden von insgesamt 259 Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern unterstützt. Diese arbeiteten entweder in den Projekten selbst, in der Forschungsverwaltung oder als wissenschaftliche Hilfskräfte. 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.

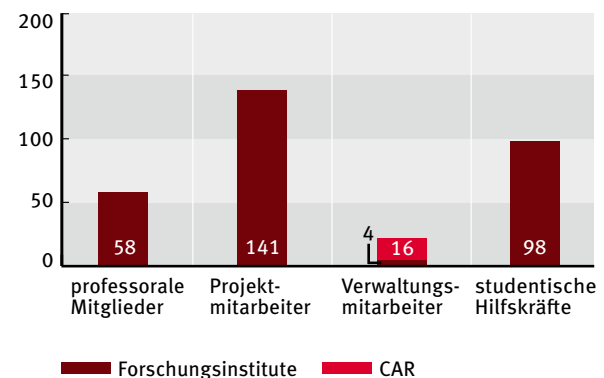


Abb. 3: Anzahl der Professorinnen und Professoren sowie der Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter an den Forschungsinstituten und am CAR 2018

Autoren

Prof. Dr.-Ing. Franz Quint

Prorektor für Forschung, Kooperationen und Qualitätsmanagement

Elena Stamm M.A.

Referentin des Rektorats

Stadtbahnfenster der Zukunft

Waldemar Titov, Christine Keller und Thomas Schlegel

Im öffentlichen Personenverkehr gelangen jeden Tag viele Fahrgäste an unterschiedlichste Ziele – sowohl im urbanen als auch im ländlichen Raum. Um den öffentlichen Verkehr hin zu mehr Mobility Experience zu entwickeln, steht im Projekt SmartMMI die Verbesserung der Informationsversorgung der Fahrgäste entlang ihrer Mobilitätskette im Vordergrund. Die Partner aus Industrie und Forschung entwickeln Konzepte zur Kombination verschiedenster Datenquellen zu einer intelligenten Datenplattform, um diese Daten dem Fahrgast situationsgerecht auf semi-transparenten Display-Scheiben (SmartWindows) oder auf dem Smartphone zu präsentieren.

By means of public transport, many passengers travel to different destinations every day. In order to transform public transport from a necessity into a mobility experience, the SmartMMI project focuses on improving the information supply to passengers along their mobility chain. Industry and research partners combine a wide variety of data sources to form a smart public transport data platform in order to present the information to the passenger on semi-transparent displays (SmartWindows) or on smartphones.

Das Projekt

Ein Blick auf das Bahnfenster – und schon ist der Fahrgast über vorbeiziehende Sehenswürdigkeiten und seinen Anschluss informiert. Was noch etwas nach Science-Fiction klingt, wird derzeit im Forschungsprojekt „Modell und Kontextbasierte Mobilitätsinformationen auf Smart Public Displays und Mobilgeräten im öffentlichen Verkehr“, kurz SmartMMI, erforscht. Fahrgäste im öffentlichen Verkehr möchten in jeder Situation gut informiert sein. Das Projekt stellt daher die Verbesserung der Informationsversorgung der Fahrgäste entlang ihrer Mobilitätskette in den Vordergrund. Je nach Situation, aber auch je nach Fahrgast, verändert sich der Informationsbedarf – ob im Störfall, bei Planänderungen, zu touristischen Zielen oder zu entlang der Strecke erhältlichen Services: SmartMMI erforscht, wie Fahrgäste möglichst situationsgerecht informiert werden können.



Abb. 1: Projektübersicht SmartMMI

Im Rahmen des Projekts, gefördert in der Forschungsinitiative mFund des Bundesministeriums für Verkehr und digitale Infrastruktur, erarbeiten fünf Projektpart-

ner aus Industrie und Forschung neue Technologien, von der Datenerfassung und Datenintegration bis hin zur Visualisierung der Daten. Mobilitätsdaten sollen kontextsensitiv – das heißt angepasst an Situation und Fahrgast – zur Verfügung gestellt werden können. Dabei setzt das Projekt auf die Erforschung und Erprobung der kontextsensitiven Datenbereitstellung auf speziell entwickelten intelligenten semi-transparenten Display-Scheiben, die in Fahrzeugen des Öffentlichen Verkehrs und an Haltestellen eingebaut werden können, in Verbindung mit Anwendungen auf mobilen Endgeräten der Fahrgäste. Durch die Kombination von transparenten Display- und innovativen Mobiltechnologien finden die hochrelevanten Mobilitätsinformationen den direkten Weg zum Nutzer, um den öffentlichen Personenverkehr (ÖV) attraktiver zu gestalten.

Im Rahmen des Projekts werden Technologien für die Erfassung und Integration von Daten aus unterschiedlichsten Datenquellen entwickelt. Dabei setzt das Konsortium auf den Einsatz von Big Data und Smart Data Technologien und die Integration von spezifischen ÖV-Daten auf Basis der neuesten Standards mit Open Data und Daten von Drittanbietern. Die Daten werden semantisch aufgewertet, um eine intelligente Integration und vor allem Selektion der relevanten Daten zu ermöglichen – also ein „Verstehen“ auch durch Systeme (s. Abb. 2).

Kontextinformationen beschreiben die aktuelle Situation der Fahrgäste und des ÖV. Sie ermöglichen dadurch dem System, auf die Situation zugeschnittene Informationen auszuwählen und diese dann nutzer- und situationsgerecht aufzubereiten. So werden zum Beispiel sensitive Daten in geeigneter Aufbereitung auf dem

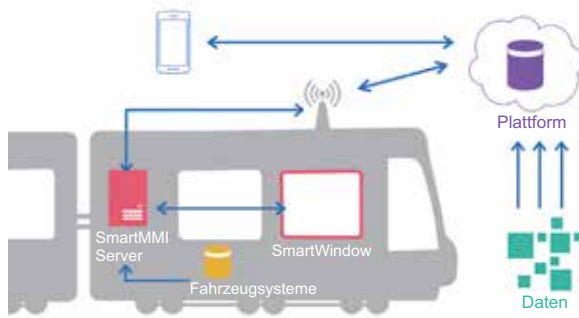


Abb. 2: Systemkomponenten SmartMMI

Smartphone des Nutzers angezeigt, während allgemeine, ergänzende Informationen auf dem semi-transparenten SmartWindow des Fahrzeugs dargestellt werden. Damit kann die größere Fläche eines Stadtbahnfensters für mehr Details und sogar für die Realität überlagernde Hinweise (AR) eingesetzt werden. Visualisierungskonzepte werden erforscht und evaluiert, die zum Beispiel für einen Fahrgast ergänzend zu seiner persönlichen Route Informationen über die Strecke vermitteln, etwa zum Wetter oder zu touristischen Attraktionen.

Das Institut für Ubiquitäre Mobilitätssysteme (IUMS) der Hochschule Karlsruhe koordiniert das Projekt und legt den Fokus der eigenen Forschungsarbeiten auf die Entwicklung semantischer Konnektoren, die die ÖV-Daten aufwerten und mit weiteren, entlang der Reisekette relevanten Daten optimal verknüpfen, sowie auf die Erarbeitung neuer Visualisierungs- und Bedienkonzepte am und mit dem SmartWindow. Im Folgenden wird auf die einzelnen Forschungsschwerpunkte näher eingegangen sowie erste Ergebnisse des Forschungsprojekts vorgestellt.

Kontextadaptivität: bedarfsgerecht informieren

Menschen unterscheiden sich in ihren Präferenzen, Interessen und Zielen. Für Fahrgäste im ÖV sind eine große Anzahl verschiedener Faktoren wichtig und bestimmen gleichzeitig, wie sie ihn nutzen, welche Informationen sie benötigen und auf welche Art und Weise sie informiert werden können oder möchten. Diese Faktoren beschreiben als Kontextinformationen Fahrgäste, ihre Situation und ihre ÖV-Nutzung.

Relevante Kontextinformationen für SmartMMI sind beispielsweise die Art des vorhandenen Tickets, bevorzugte Bezahlmethoden, Präferenzen für die ÖV-Nutzung (von der Vermeidung bestimmter Verkehrsmittel bis hin zur Vermeidung von Treppen), Vorlieben für Verbindungen mit wenig Umstiegen oder möglichst wenig Wartezeiten oder der Besitz eines Smartphones mit ÖV-App neben vielen weiteren Informationen. Diese Informationen charakterisieren sowohl die ein-

getretene Situation als auch den Fahrgast selbst und können genutzt werden, Fahrgäste angemessen und personalisiert zu informieren.

Um den Fahrgästen die für sie relevanten Informationen und Services situationsgerecht anbieten zu können, müssen zunächst Kontextdaten erfasst werden, die dann zur Beschreibung der Situation dienen, in der sich der Fahrgast zum aktuellen Zeitpunkt befindet. Über die persönlichen Vorlieben und Ziele hinaus werden auch Umweltfaktoren wie die Tages- und Jahreszeit, Wetterbedingungen und viele weitere mit einbezogen. Kontextinformationen werden ebenfalls dazu eingesetzt, die Verwendung des Systems so unkompliziert wie möglich zu gestalten. Im Forschungsprojekt sind beispielsweise mehrere Anpassungen der Visualisierung auf dem SmartWindow vorgesehen. Befindet sich eine Person in der Straßenbahn, deren SmartMMI App auf eine Fremdsprache eingestellt ist, so kann zum Beispiel die Anzeigesprache für Informationen auf dem SmartWindow ergänzt werden. Dabei ist eine passive Kommunikation zwischen der App auf dem Smartphone und dem SmartWindow im Fahrzeug vorgesehen. So können beispielsweise die bekannten Ziele der im Fahrzeug anwesenden Fahrgäste genutzt werden, um relevante Störungsmeldungen oder Umsteigehinweise anzuzeigen.

Weiterhin soll eine Anreicherung von Fahrgastinformationsanfragen mit zusätzlichen Kontextinformationen der Nutzer stattfinden. Wenn es zum Beispiel in Strömen regnet, würde das SmartMMI System Fahrgästen ÖV-Verbindungen mit Umstiegen an wettergeschützten Haltestellen vorschlagen.

In Touch mit Mobilitätsinformationen

Ein weiterer Forschungsschwerpunkt im Projekt SmartMMI untersucht die Bedienmöglichkeiten des intelligenten Stadtbahnfensters. Hierbei werden verschiedene Möglichkeiten der Interaktion auf ihre Eignung hin untersucht. Von Multi-Touch, wie bei Tablets und Smartphones üblich, über Gestensteuerung, ähnlich der in Spielekonsolen bis hin zu Sprachsteuerung, ähnlich Sprachassistenzsystemen aus dem Home-Entertainment Bereich bieten verschiedene Interaktionsmöglichkeiten unterschiedliche Vor- und Nachteile und eignen sich mehr oder weniger zum Einsatz in verschiedenen Umgebungen und Situationen. Eine wichtige Aufgabe im Forschungsprojekt ist nun, die optimale Interaktionsmöglichkeit oder gegebenenfalls die optimale Kombination der Interaktionsmodalitäten herauszufinden und diese dann möglichst nutzerfreundlich umzusetzen. Dazu sind im Projekt unterschiedliche Nutzerstudien geplant.

Im Rahmen eines studentischen Projekts wurde bereits mithilfe einer Onlineumfrage untersucht, welche Inhalte und Daten den Fahrgästen während einer Bahnfahrt wichtig sind und welche davon auf dem SmartWindow dargestellt werden sollten. Mehr als 250 Teilnehmer verschiedener Altersklassen, Erfahrungen mit ÖV und Technikaffinität nahmen an der Umfrage teil. Die Ergebnisse geben dabei einen guten Einblick in die unterschiedlichen Bedürfnisse verschiedener Fahrgäste.

Im Anschluss an die Auswertung der Umfrageergebnisse erfolgte in einer kleineren Nutzerstudie eine Untersuchung der Anordnung der herausgefundenen Informationen und Daten auf dem SmartWindow mit Hilfe von Mock-Ups, d.h. einer prototypischen Umsetzung eines SmartWindows. Hierbei lag der Schwerpunkt auf der Untersuchung, welche Bedienelemente für die Nutzer erkennbar, erreichbar und gut bedienbar sind. Die Entwicklung der Benutzungsschnittstelle zwischen einem Mobilitätssystem wie SmartMMI über verschiedene Endgeräte – Smartphone oder SmartWindow – und verschiedene Interaktionsmodalitäten – Multi-Touch, Sprache oder Gestik – wird im Projekt in weiteren Untersuchungen unter Beteiligung von Nutzern weitergeführt. Zum Ende des Projekts wird ein Prototyp des Systems in eine Bahn der Karlsruher Verkehrsbetriebe verbaut und in einem großen Feldtest mit verschiedenen Fragestellungen evaluiert.

Diese Nutzerstudien, mit deren Hilfe herausgefunden werden soll, in welchen Situationen und unter welchen Umständen die Probanden mit dem SmartWindow interagieren, rückt einen weiteren Forschungsschwerpunkt in den Fokus - die Nutzerakzeptanz.



Abb. 3: Aufbau für Nutzerstudien im IUMS-Labor der HS Karlsruhe

Nutzerakzeptanz, Datenschutz & Privacy

Anhand der durchgeführten Studien soll auch untersucht werden, wie hoch die Akzeptanz der Fahrgäste für die Interaktion mit dem SmartWindow unter verschiedenen Bedingungen ist. So ist vorstellbar, dass zur Stoßzeit die Bereitschaft, sich eine Route zu einem bestimmten Ziel berechnen zu lassen weniger hoch ist, als in einer wenig besetzten Bahn. Im Rahmen des

Projekts wird die Nutzerakzeptanz des Systems in verschiedenen Situationen beleuchtet. Erkenntnisse dazu fließen dann wiederum in die Gestaltung der Prototypen in weiteren Iterationen ein.

Der Datenschutz und die Datensicherheit spielen in dem Projekt eine wesentliche Rolle. Ein dediziertes Arbeitspaket im Projekt beschäftigt sich mit dieser Thematik. Die grundlegende Entscheidung, vom Fahrgast bereitgestellte Nutzerinformationen systemseitig zu kapseln, wurde bereits früh im Projekt getroffen. Diese Kapselung erlaubt eine intelligente, selektive und nutzergesteuerte Weitergabe persönlicher Informationen an das System und setzt das Prinzip der Datensparsamkeit um. Eine nachvollziehbare und transparente Kommunikation, welche Informationen erhoben und wofür diese verwendet werden, ermöglicht dem Fahrgast die Kontrolle über seine Daten zu behalten.

Im Projekt SmartMMI werden bis zum Jahr 2020 mehrstufig Lösungen eines ambienten intelligenten Reiseinformationssystems mit dem Ziel erforscht, entwickelt und mit Nutzern getestet, Fahrgäste während ihrer Reise im ÖV in jeder Situation bestmöglich zu unterstützen. Zum Abschluss des Forschungsprojekts ist Mitte 2020 eine halbjährige Feldtestphase im Netz des KVV geplant. So steigert das Projekt die Attraktivität des ÖV als ökologische, zeitsparende und sinnvolle Alternative zum Automobilverkehr deutlich, verknüpft diesen aber auch mit dem Individualverkehr.

Web: www.smartmmi.de

Autoren

Waldemar Titov M.Sc.

Dipl.-Inf. Christine Keller

Akademische Mitarbeiter am Institut für Ubiquitäre Mobilitätssysteme der Hochschule Karlsruhe

Prof. Dr.-Ing. Thomas Schlegel

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

Kontakt

Prof. Dr. Thomas Schlegel

Hochschule Karlsruhe – Technik und Wirtschaft

Fakultät für Informationsmanagement und Medien

Moltkestraße 30

76133 Karlsruhe

E-Mail: thomas.schlegel@hs-karlsruhe.de

FESTO



Innovation beginnt im Kopf. Ihre Karriere bei uns.

In der Industrie 4.0 verschmelzen Produktion und digitale Welt. Festo gestaltet diesen Trend maßgeblich mit – mit intelligenten Automatisierungslösungen von der Steuerungstechnik bis zur Sensorik und Aktorik. Neben der Entwicklung neuer Technologien bedeutet Industrie 4.0 für uns aber auch, unsere rund 20.100 Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter auf künftige Herausforderungen optimal vorzubereiten. Und ihnen die Freiheit zu geben, Innovationen aktiv mitzugestalten. Sind Sie bereit für die Industrie von morgen? Dann starten Sie Ihre Karriere bei Festo.

Your solid base for lift-off

www.festo.com/karriere

Digitalisierung bringt Produktion zurück an den Standort Deutschland

Steffen Kinkel

Der Einsatz von Digitalisierungstechnologien in der Produktion wirkt sich positiv auf die Rückverlagerung von Produktionskapazitäten nach Deutschland aus. Die beim Einsatz von Digitalisierungstechnologien „fortgeschrittenen“ Betriebe weisen eine signifikant höhere Rückverlagerungswahrscheinlichkeit auf als „Nichtnutzer“ von Digitalisierungstechnologien. Hier greifen zwei Erklärungsmuster: Zum einen kann der Einsatz von Digitalisierungstechnologien zu einer erhöhten Produktivität der inländischen Produktionsprozesse führen, sodass Lohnkostenvorteile in Niedriglohnländern weniger attraktiv werden. Zum anderen ermöglichen Digitalisierungstechnologien eine flexiblere Produktion, die besser in der Nähe europäischer Kunden mit individuellen Kundenwünschen stattfindet.

The use of digitization technologies in production has a positive effect on the relocation of production capacities to Germany. The „advanced“ companies that use digitization technologies have a significantly higher probability of backshoring than „non-users“ of digitisation technologies. This can be explained by two patterns: Firstly, the use of digitisation technologies can lead to increased productivity in domestic production processes, so that cost advantages of low-wage countries become less attractive. Secondly, digitization technologies enable more flexible production, which is better placed close to European customers with their individual needs.

Einleitung

In den vergangenen drei Jahrzehnten gab es in der deutschen Industrie einen starken Trend zu globalen Wertschöpfungsketten. Dieser Trend wurde gespeist durch große internationale Arbeitskostenunterschiede, die Reduktion von Handelsbarrieren für Zwischengüter und sehr geringe Transportkosten. Gleichzeitig durchdringt und vernetzt die Digitalisierung immer mehr Industriebereiche und Geschäftsprozesse. Die erwarteten Effekte sind vielfältig und bisweilen radikal, so dass vielfach von einer vierten industriellen Revolution gesprochen wird („Industrie 4.0“). Diese basiert auf der intelligenten, in Echtzeit stattfindenden, horizontalen und vertikalen Vernetzung von Wertschöpfungsprozessen und Geschäftsmodellen. Im Kern sollen die Voraussetzungen für eine hochindividualisierte und gleichzeitig hocheffiziente Produktion geschaffen werden.

Vor diesem Hintergrund stellt sich die Frage, welchen Beitrag die zunehmende Digitalisierung der Produktion zur Sicherung der Wertschöpfung am Produktions- und Innovationsstandort Deutschland leisten kann. Dazu untersuchten das Institut für Lernen und Innovation in Netzwerken (ILIN) der Hochschule Karlsruhe und das Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung ISI im Auftrag des Vereins Deutscher Ingenieure (VDI) den Zusammenhang zwischen der Nutzung von Digitalisierungstechnologien und Produktionsverlagerungen bzw. Rückverlagerungen in

der deutschen Industrie. Hierfür wurde die Erhebung „Modernisierung der Produktion 2015“ des Fraunhofer ISI ausgewertet, an der 1 282 Betriebe des deutschen Verarbeitenden Gewerbes teilgenommen haben.

Produktionsverlagerungen und Rückverlagerungen

Wie die Studie zeigt, haben die Produktionsverlagerungen der deutschen Industrie ins Ausland auf einem ohnehin schon sehr geringen Niveau verharret. Lediglich 9 Prozent der Betriebe des deutschen Verarbeitenden Gewerbes haben von 2013 bis Mitte 2015 Teile ihrer Produktion ins Ausland verlagert. Damit liegt dieser Wert kaum höher als die 8 Prozent bei der letzten Erhebung im Jahr 2012, die den niedrigsten Stand seit der Messung von Produktionsverlagerungen ab Mitte der Neunzigerjahre darstellten (s. Abb. 1). Der seit 2003 stetig rückläufige Trend hat sich damit noch nicht umgekehrt.

Rückverlagerungen von Produktionskapazitäten sind gegenüber der Befragung von 2012 wieder leicht angestiegen. Etwa 3 Prozent der Industriebetriebe haben von 2013 bis Mitte 2015 Teile ihrer Produktion aus dem Ausland nach Deutschland zurückverlagert. Dies bedeutet nicht notwendigerweise, dass ein Auslandsstandort geschlossen werden musste, vielmehr können auch Teilkapazitäten zurück transferiert worden sein. Im aktuellen Erhebungszeitraum kommt damit auf jeden dritten Verlagerer ein Rückverlagerer von Produktionsaktivitäten. Ein Anteil von etwa 3 Prozent

Rückverlagerern wirkt zunächst eher unerheblich, entspricht hochgerechnet auf das gesamte deutsche Verarbeitende Gewerbe aber etwa 500 bis 550 Betrieben pro Jahr.

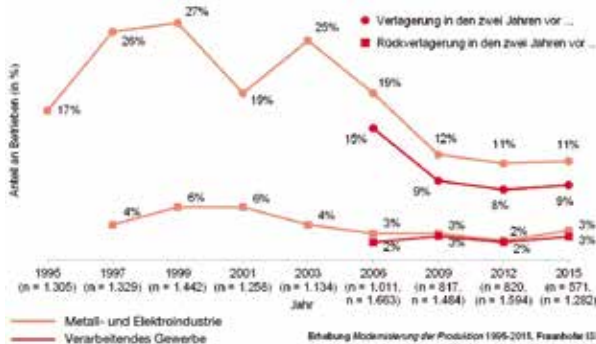


Abb. 1: Produktionsverlagerungen und Rückverlagerungen im Zeitvergleich

Motive von Produktionsverlagerungen und Rückverlagerungen

Die Reduktion der Personalkosten ist nach wie vor das dominierende Motiv für Produktionsverlagerungen ins Ausland. Drei Viertel der verlagernden Betriebe nennen dies als einen entscheidenden Grund für ihre Verlagerungsentscheidung. Auf den Rangplätzen zwei und drei folgen mit jeweils knapp 30 Prozent der Nennungen die Nähe des Produktionsstandorts zu Schlüsselkunden im Ausland sowie die Markterschließung im Zielland. Jeder fünfte, verlagernde Betrieb nennt die Nähe zu bereits verlagerten Produktionskapazitäten als einen wichtigen Grund. Mit dann bereits deutlichem Abstand folgt der Mangel an qualifizierten Fachkräften im Inland (13 Prozent der Nennungen), der für Produktionsverlagerungen ins Ausland erfreulicherweise (noch) kein dominierender Faktor zu sein scheint. Gleiches gilt für den Zugang zu Rohstoffen im Ausland als Verlagerungsmotiv (12 Prozent), das in etwa gleich wichtig als bei der letzten Erhebung eingeschätzt wird. Jeweils etwa ein Zehntel der verlagernden Betriebe nennt Steuern, Abgaben und Subventionen, die Präsenz der Konkurrenz im Zielland oder lokale Importbeschränkungen als Verlagerungsgrund. Diese Motive sind damit zwar von einer gewissen Bedeutung, aber für die Mehrheit der Verlagerungsentscheidungen nicht zentral determinierend.

An erster und zweiter Stelle der Rückverlagerungsgründe stehen Einbußen bei der Flexibilität und Lieferfähigkeit mit 56 Prozent und Qualitätsprobleme mit 52 Prozent der Nennungen (s. Abb. 2). Sie sind damit wiederum die wichtigsten beiden Rückverlagerungsmotive und in ihrer Bedeutung seit der letzten Erhebung quasi unverändert. Die reduzierte Flexibilität

und Lieferfähigkeit kann sowohl auf Problemen und Distanzen in der eigenen Lieferkette zwischen den Standorten als auch auf dem eingeschränkten Zugriff auf lokale Zuliefernetzwerke im Ausland beruhen. Hinter Qualitätsproblemen verbergen sich unterschätzte Zeitdauern für die Sicherstellung der angestrebten Produkt- und Prozessqualität in Ländern mit anderer Mentalität und Kultur sowie daraus folgende Aufwendungen für die interne Qualitätssicherung.

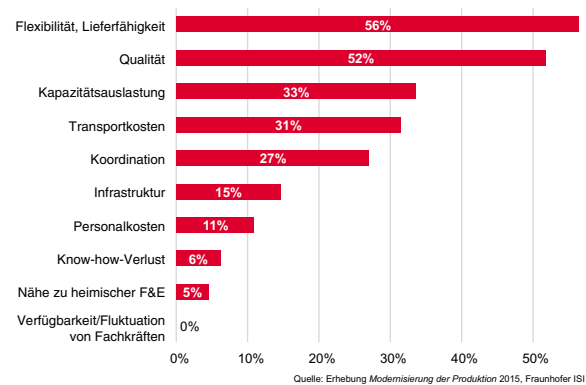


Abb. 2: Motive für Rückverlagerungen deutscher Produktionsunternehmen

An dritter und vierter Stelle folgen mit jeweils etwa einem Drittel der Nennungen die mangelnde Auslastung der Kapazitäten vor Ort bzw. Möglichkeiten zur optimierten Auslastung der Kapazitäten am inländischen Standort sowie die Reduktion der Transportkosten zwischen den verschiedenen Standorten der Produktion. Etwas mehr als ein Viertel der rückverlagernden Betriebe nennt zudem unterschätzte Kosten und Aufwendungen für die Koordination und Betreuung des ausländischen Produktionsstandorts, die vom heimischen Stammsitz zu erbringen sind, als wesentlichen Entscheidungsgrund. Die Qualität der Infrastruktur (15 Prozent der Nennungen) sowie die Höhe oder Steigerung der Personalkosten (11 Prozent) sind bereits deutlich seltener für Rückverlagerungen mitentscheidend und haben sich in ihrer Wichtigkeit seit der letzten Erhebung nicht grundlegend verändert. Die restlichen Faktoren wie die Gefahr des Know-how-Verlustes am ausländischen Standort, die Nähe zur heimischen F&E oder die Verfügbarkeit bzw. Fluktuation von Fachkräften am Auslandsstandort spielen eine sehr untergeordnete oder gar keine Rolle für Rückverlagerungsentscheidungen. Insbesondere letzteren Aspekt scheint das lokale Management in den meisten Fällen „im Griff“ zu haben.

Zusammenhang zwischen der Nutzung von Digitalisierungstechnologien und Produktionsverlagerungen bzw. Rückverlagerungen

Zur Einschätzung und Typisierung der Digitalisierungsbestrebungen in der deutschen Industrie wurde die betriebliche Nutzung von insgesamt acht Digitalisierungstechnologien analysiert, die als Befähigertechnologien zur digital vernetzten Produktion nach dem Vorbild der Industrie 4.0 verstanden werden können. Diese wurden drei Technologiefeldern zugeordnet:

- *Digitale Managementsysteme* umfassen zwei Basistechnologien zum Management IT-naher Prozesse der Produktion und Produktentwicklung:
 - Softwaresystem zur Produktionsplanung und -steuerung
 - Product Lifecycle Management-Systeme (PLM)
- *Drahtlose Mensch-Maschine-Kommunikation* umfasst zwei Technologien, die Befähiger einer arbeitsunterstützenden Umsetzung von Industrie 4.0 sind:
 - Digitale Visualisierung am Arbeitsplatz
 - Mobile Geräte für die Programmierung und Bedienung von Anlagen
- *Cyber-Physical-System (CPS)-nahe Prozesse* umfassen produktionsintegrierte Systeme, die als fortgeschrittene Befähigertechnologien für die Industrie

4.0 gelten:

- Digitaler Austausch von Dispositionsdaten mit Zulieferern bzw. Kunden
- Techniken zur Automatisierung und Steuerung der internen Logistik
- Echtzeitnahes Produktionsleitsystem

Wie die Studie zeigt, wirkt sich der Einsatz von Digitalisierungstechnologien signifikant und klar positiv auf die Rückverlagerung von Produktionskapazitäten nach Deutschland aus. Demnach verlagern bei der Digitalisierung „fortgeschrittene“ Betriebe, die mindestens eine Technologie aus jedem der drei Technologiefelder eingeführt haben, signifikant häufiger Teile ihrer Produktion wieder an den deutschen Standort zurück als Betriebe mit geringerem Digitalisierungsgrad in der Produktion. Im Mittel des Schätzmodells haben die beim Einsatz von Digitalisierungstechnologien „Fortgeschrittenen“ eine etwa 10 Mal höhere Rückverlagerungswahrscheinlichkeit (ca. 5 %) als „Nichtnutzer“ von Digitalisierungstechnologien (ca. 0,5 %). Auch „Einsteiger“ (Stufe 1) und „Aktive“ (Stufe 2) zeigen eine tendenziell höhere Rückverlagerungswahrscheinlichkeit als „Nichtnutzer“ (Stufe 0), wenngleich auf einem geringeren Signifikanzniveau von 10 Prozent.

Modellgüte		-2 Log-Likelihood	Cox & Snell R2	Nagelkerkes R2
n = 860		184,919	0,055	0,230
Abh. Variable: Rückverlagerung von 2013 bis Mitte 2015 j/n		Regressionskoeffizient B	Standardfehler	Sig.
Schritt 1	Anzahl Beschäftigte (ln)	0,072	0,171	0,673
	Sonstige Branchen	-0,038	1,152	0,974
	H.v. Metallerzeugnissen	-0,093	1,204	0,938
	H.v. DV, elektronischen, optischen Erzeugnissen	0,691	1,188	0,561
	H.v. elektrischen Ausrüstungen	0,439	1,244	0,724
	Maschinenbau	-1,023	1,254	0,415
	Mittelserienfertigung	0,329	0,617	0,593
	Großserienfertigung	-0,152	0,805	0,850
	Erzeugnisse mittlerer Komplexität	-0,383	0,614	0,532
	komplexe Produkte	-0,248	0,719	0,730
	Zulieferer j/n	-1,485	0,512	0,004
	Preisführerschaft j/n	0,574	0,565	0,310
	Importquote (ln)	-0,143	0,198	0,468
	Exportquote (ln)	1,101	0,379	0,004
	Personalanteil Ungelernte (ln)	0,137	0,177	0,439
	Digitech_Stufe1 (vor 2013)	1,884	1,127	0,095
	Digitech_Stufe2 (vor 2013)	1,932	1,088	0,076
	Digitech_Stufe3 (vor 2013)	2,618	1,089	0,016
	Konstante	-8,946	2,243	0,000

Erhebung Modernisierung der Produktion 2015, Fraunhofer ISI

Tab. 1: Logistische Regression für die Wahrscheinlichkeit von Rückverlagerungen aus dem Ausland (2013 bis Mitte 2015)

Hier greifen zwei Erklärungsmuster: Zum einen kann der Einsatz von Digitalisierungstechnologien zu einer erhöhten Automatisierung und Produktivität deutscher Produktionsstandorte führen, sodass die Lohnkostenanteile geringer und Niedriglohnländer weniger attraktiv werden, was Rückverlagerungen begünstigt. Zum anderen kann der Einsatz von Digitalisierungstechnologien zu einer erhöhten Flexibilität und Fähigkeit zur individualisierten Produktion genutzt werden, die eine effiziente Bedienung individueller Kundenwünsche ermöglicht und Anreize für Firmen bietet, die Produktion in die Nähe ihrer europäischen Kunden zurückzuholen. Demnach kann der intensive Einsatz von Digitalisierungstechnologien signifikant zu attraktiveren Produktionsbedingungen mit erhöhter Wertschöpfung am deutschen Standort beitragen.

Die komplette Studie „Auslandsverlagerungen, Rückverlagerungen und Digitalisierungsverhalten in der deutschen Industrie“ findet sich zum Download unter:

https://ilin.eu/wp-content/uploads/2017/11/VDI-Digitalisierung-und-Verlagerung-final-30-04-2017_formatiert_erg_v4.pdf

Autor

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

PROMATIS

PERSÖNLICHKEIT MACHT ZUKUNFT

Sie wollen sich weiterentwickeln. Sie wollen sich verwirklichen. Sie wollen bewegen, statt bewegt zu werden. Und Sie wünschen sich herausfordernde Projekte bei attraktiven Kunden. In einem Team mit kompetenten Profis, in dem nicht zuletzt auch Ihre Persönlichkeit zählt. Bei PROMATIS zählt Ihre individuelle Stärke und es erwartet Sie eine offene Unternehmenskultur, die Zukunft durch Vielfalt schafft – mit perfekter Work-Life-Balance.

PROMATIS begleitet weltweit Kunden in unterschiedlichen Branchen auf ihrer Digital Journey. Wir begreifen Digitalisierung als evolutionären Prozess, in dem intelligente Digitalisierungstechnologien auf smarte Business-Ideen treffen und so bahnbrechende Geschäftsprozesse erst möglich machen. Als zertifizierter Oracle Partner stehen wir für professionelle Strategie- und Business-Beratung, innovative Best Practice-Produkte und schlüsselfertige Digitalisierungslösungen.

ORACLE

Platinum
Partner

PROMATIS Gruppe
Pforzheimer Str. 160
76275 Ettlingen

Tel.: +49 7243 2179-0
www.promatis.de



CoffeeBot – Ein Demonstrator für die Mensch-Roboter-Kollaboration und -Interaktion

Christian Wurl, Stefan Saliba und Jürgen Sütterlin

Im Rahmen zweier Masterarbeiten wurde ein voll funktionsfähiger Demonstrator für die Mensch-Roboter-Kollaboration (MRK) und -Interaktion aufgebaut. Am Beispiel einer roboter-basierten Kaffeezubereitung können typische MRK-Elemente demonstriert werden. So erfolgt z.B. der Austausch eines Werkstückes (hier eine Schokolade) über das manuelle Klopfen auf ein Armsegment. Im Falle einer erkannten Kollision schaltet der Roboter in einen frei beweglichen Stillstand-Modus, wodurch eine eventuell eingetretene Quetschung oder Einklemmung von Gliedmaßen des Bedieners leicht aufgelöst werden kann.

In two master thesis projects a fully functional demonstrator for Human-Robot-Collaboration and Interaction has been developed. Using the example of a robot-based coffee barrister, typical HRC-elements can be demonstrated. E.g. handing over a work piece (here a piece of chocolate) can be triggered by a slight touch of one of the arm segments. In the case of detected collisions the robot stops immediately and the operator can easily move the robot away.

Einleitung

Angesichts sich wandelnder Marktgegebenheiten, die etwa aus einer zunehmenden Individualisierung von Kundenwünschen hervorgehen, ergeben sich neue Herausforderungen für Unternehmen. In Deutschland steht dabei vor allem die industrielle Produktion im Mittelpunkt, die als ein wesentlicher Treiber für Wertschöpfung und Beschäftigung angesehen wird. Um den kommenden Veränderungen zu begegnen, sind Produktionsunternehmen einem ständigen Wandel unterworfen. Daraus resultieren erhöhte Anforderungen an Produktionssysteme. Hierzu zählt insbesondere die Anpassung an neue Rahmenbedingungen, um auf eine Verkürzung der Produktlebenszyklen, steigende Variantenvielfalt und sinkende Losgrößen reagieren zu können [1, 2]. Zudem sehen sich Unternehmen mit gesellschaftlichen Entwicklungen wie dem demografischen Wandel konfrontiert, woraus ein Handlungsbedarf hinsichtlich der Gestaltung bestehender Arbeitsplätze erwächst [3].

Ein möglicher Lösungsansatz für die aufgezeigten Problemfelder wird in der Flexibilisierung der Produktion gesehen. Produktionsbereiche, die sich nicht für eine reine Automatisierung eignen, sollen durch eine flexible Form der Arbeitsteilung zwischen Mensch und Maschine rationalisiert werden. Dieser Trend zeichnet sich auch in der Robotik ab. Hier lässt sich beobachten, dass die strikte Trennung zwischen Mensch und Roboter zunehmend aufgehoben wird. Dadurch können sich Mensch und Roboter einen gemeinsamen Arbeitsraum teilen und im Sinne einer Mensch-Roboter-Kollaboration (MRK) unmittelbar zusammenarbeiten [4, 5].

In dem hier vorgestellten Projekt, das im Rahmen zweier Masterarbeiten entstanden ist, sollte ein geeignetes Anwendungsszenario für die Mensch-Roboter-Kollaboration [6] und Interaktion [7] identifiziert und praktisch umgesetzt werden. Bei dem entwickelten Anwendungsszenario handelt es sich um einen Demonstrator zum Zubereiten von Kaffee („CoffeeBot“), mit dem das Thema MRK einem möglichst breiten Publikum nähergebracht werden soll.

Praktischer Aufbau des Demonstrators

Der CoffeeBot basiert auf dem sensitiven Leichtbau-roboter KUKA LBR iiwa. Da während des Programmablaufs verschiedene Objekte zu handhaben sind, ist der Roboter mit einem eigens für die Anwendung angepassten Greiferkonzept ausgestattet. Die Zubereitung des Kaffees erfolgt mit einer Kaffeekapselmaschine. Weitere Komponenten, die für die Anwendung erforderlich sind, wurden größtenteils selbst konstruiert und mittels 3D-Druck gefertigt. In Abbildung 1 ist der Aufbau des Demonstrators veranschaulicht.

Bedienkonzept

Die Benutzerschnittstelle ist in Form einer Website realisiert, über die Bestellungen getätigt werden können. Auf der Website stehen dem Benutzer mehrere Bestelloptionen (Kaffee mit Schokolade, nur Kaffee oder nur Schokolade) zur Verfügung. Das Angebot an Kaffee untergliedert sich in verschiedene Zubereitungen (Espresso, Cappuccino, Latte Macchiato, Lungo und Ristretto).



Abb. 1: Aufbau des Demonstrators [6]

Zudem werden dem Benutzer über die Website unterschiedliche Informationen bereitgestellt. Der Benutzer kann die momentane Bestellung und eine Warteliste mit offenen Bestellungen einsehen. Darüber hinaus wird der aktuelle Roboter-Status mithilfe einer Statusanzeige visualisiert.

Greiferkonzept

Der Roboter ist mit einem MRK-fähigen Greifer von der Firma Zimmer ausgestattet, der bereits über entsprechende Sicherheitsmerkmale (Greifkraftbegrenzung, Schutzhülle etc.) verfügt. Die Greiffinger wurden selbst entwickelt, um den Anforderungen der Anwendung gerecht zu werden. Mit den Greiffingern ist es möglich, verschiedene Gegenstände (Kaffeekapseln, Schokotäfelchen und Kaffeebecher) sicher zu handhaben. Darüber hinaus wurde in einen der Greiffinger ein Knopf integriert, mit dem sich das Tastenfeld der Kaffeemaschine bedienen lässt. Das Vorgehen ist in Abbildung 2 veranschaulicht.

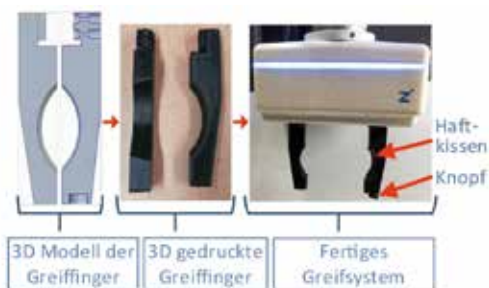


Abb. 2: Vorgehen bei der Konstruktion und Fertigung der Greiffinger

Interaktionskonzept

Das Interaktionskonzept ist aufgebaut aus zwei Signalmodulen, die an dem Roboterarm angebracht sind (s. Abb. 3).



Abb. 3: KUKA Roboter iiwa mit den zwei Signalmodulen [7]

Die Signalmodule bestehen aus einem WLAN-fähigen ESP8266 Micro-Controller und einem Band von LEDs vom Typ WS2812B. Die LEDs bieten den Vorteil, dass sie jeweils einen eigenen Micro-Chip zur Ansteuerung besitzen, wodurch Farbe und Leuchtintensität jeder LED individuell festgelegt werden kann [8].

Der ESP8266 Micro-Controller dient zum kabellosen Empfang von Daten und zur Ansteuerung des LED-Bandes. Quelle der Daten ist ein PC, auf dem ein Algorithmus arbeitet, der mit der Steuerung des Roboters verbunden ist. Auf diese Weise erhält der Algorithmus die Informationen, wo sich der Roboter aktuell befindet und wo er sich als nächstes hinbewegen wird.

Implementierung

Die roboterseitige Programmierung erfolgte mithilfe der KUKA Sunrise Workbench in Java. Um die Robotersteuerung von außen ansprechen zu können, ist auf dieser ein SOAP-basierter Webservice implementiert. Der Webservice dient als Bindeglied zwischen der Robotersteuerung und einem Node.js-Server.

Die Bestellungen, die über die Website eingehen, werden vom Node.js-Server verwaltet und nach einer Prüfung an die Robotersteuerung weitergeleitet. Auf der anderen Seite übermittelt die Robotersteuerung den aktuellen Roboter-Status zurück an den Server. Darüber hinaus wird eine Datenbank verwendet, um die eingehenden Bestellungen und die Artikelverfügbarkeit persistent zu speichern. Der Zusammenhang zwischen den eingesetzten Komponenten ist in Abbildung 4 dargestellt.

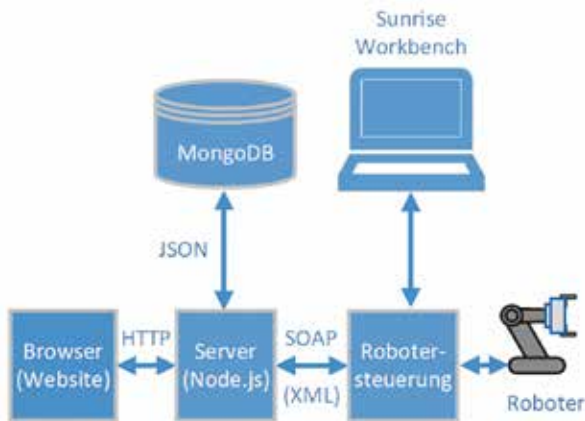


Abb. 4: Softwaretechnische Umsetzung des Demonstrators

Zur Ansteuerung der LEDs werden von der Robotersteuerung die Gelenkstellungen ($A_1 - A_7$) des Roboters in der aktuellen und in der Zielposition an den Signalverarbeitungsalgorithmus gesendet. Der Algorithmus berechnet mittels Denavit-Hartenberg Transformation die Ist- und Sollkoordinaten des Roboters sowie über die sogenannten Roll-Nick-Gier-Winkel die Orientierung der Signalmodule. Aus diesen Informationen werden die zu aktivierenden LEDs der beiden Bänder bestimmt. So ist es für den Menschen leicht möglich, die Bewegungsintention des Roboters zu erkennen und ggf. auszuweichen.

Neben der Anzeige der Bewegungsrichtungen können auch Statusinformationen an den Signalmodulen angezeigt werden. So leuchten z.B. die Signalmodule beim Stillstand des Roboters nach einer unbeabsichtigten Kollision orange. Dadurch kann der Bediener erkennen, dass die Störung quittiert werden muss, damit der Roboter seine Arbeit fortsetzt.

Ergebnisse und Auswertung

Die Highlights des Projekts lassen sich wie folgt zusammenfassen:

- Im Rahmen des Projekts ist ein voll funktionsfähiger Demonstrator für die Mensch-Roboter-Kollaboration und Interaktion entstanden.
- Die CoffeeBot-Anwendung verfügt über ein intuitives Bedienkonzept.
- Zahlreiche Komponenten wurden durch den Einsatz von aktuellen Standards und agilem Design mittels 3D-Druck erstellt.
- Im Rahmen einer Versuchsreihe wurde der Nutzen der Signalmodule von zahlreichen Probanden als sinnvoll bestätigt.

Aktuell wird der CoffeeBot um eine Sprachsteuerung und weitere Eigenschaften erweitert.

Danksagung

Besonderer Dank geht an Stefan Saliba und Jürgen Sütterlin, die im Rahmen ihrer Masterarbeit wesentlich zum Aufbau dieses Demonstrators beigetragen haben. Weiterhin möchten wir unserem Mitarbeiter, Herrn Moritz Weisenböhrer, für die hervorragende Unterstützung bei der Umsetzung und Programmierung der einzelnen Software-Komponenten danken. Schließlich geht unser Dank an die Firmen Ingenieurbüro Dr. Schnürer GmbH, Beckhoff GmbH, Sick AG sowie die Zimmer GmbH, die durch deren Spenden u.a. dieses Projekt möglich machten.

Literatur

- [1] Möller, Klaus ; Klatt, Tobias ; Drees, Alexander: Heutige und zukünftige Paradigmen des Produktionsstandorts Deutschland. In: Gausemeier, Jürgen; Wiendahl, Hans-Peter (Hrsg.): *Wertschöpfung und Beschäftigung in Deutschland : Acatech WORKSHOP, Hannover, 14. September 2010*. Berlin, Heidelberg : Springer Berlin Heidelberg, 2011 (acatech Diskutiert).
- [2] Lotter, Bruno ; Wiendahl, Hans-Peter: *Montage in der industriellen Produktion : Ein Handbuch für die Praxis ; mit 16 Tabellen*. Berlin, Heidelberg : Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2006 (VDI-Buch).
- [3] Elkmann, Norbert: *Sichere Mensch-Roboter-Kooperation: Normenlage, Forschungsfelder und neue Technologien*. In: *Zeitschrift für Arbeitswissenschaft* 67 (2013), Nr. 3, S. 143–149. URL <https://doi.org/10.1007/BF03374401>
- [4] Thomas, Carsten ; Klöckner, Maiko ; Kühlenkötter, Bernd: Mensch-Roboter-Kollaboration. In: Weidner, Robert; Redlich, Tobias; Wulfsberg, Jens Peter (Hrsg.): *Technische Unterstützungssysteme*. Berlin, Heidelberg : Springer Vieweg, 2015, S. 159–168.
- [5] Hägele, Martin ; Schäfer, Timo: Robotertechnik und Anwendungen. In: Gevatter, Hans-Jürgen; Grünhaupt, Ulrich (Hrsg.): *Handbuch der Mess- und Automatisierungstechnik in der Produktion*. 2., vollst. bearb. Aufl. Berlin, Heidelberg : Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2006 (VDI-Buch).
- [6] Saliba, Stefan: *Entwicklung eines Anwendungsszenarios für die Mensch-Roboter-Kollaboration*. Karlsruhe, Hochschule Karlsruhe, Fakultät für Wirtschaftswissenschaften, Masterarbeit, 2018.
- [7] Sütterlin, Jürgen: *Mensch-Roboter-Interaktion für*

den kollaborierenden Betrieb. Karlsruhe, Hochschule Karlsruhe, Fakultät für Wirtschaftswissenschaften, Masterarbeit, 2018.

- [8] worldsemi: WS2812B : *Intelligent control LED integrated light source*. URL <http://www.worldsemi.com/DownloadFile/108> – Überprüfungsdatum 2018-11-02

Autor

Prof. Dr.-Ing. Christian Wurrll

Professor an der Fakultät für Wirtschaftswissenschaften der Hochschule Karlsruhe

Kontakt

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

Mit Herzblut für Startups!



Wir bieten innovativen Köpfen den Raum für ihre Ideen!

Verbrauchsausweis, Heizenergieverbrauchskenwert 97 kWh/m²a,
Stromverbrauchskenwert 75 kWh/m²a, Erdgas

0721-174 271
www.technologiefabrik-ka.de

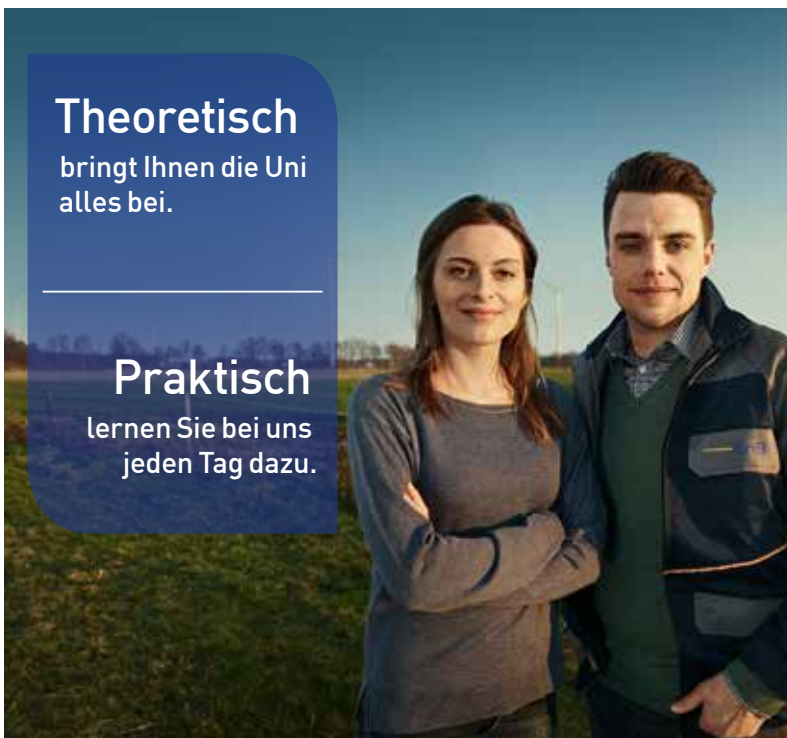
 **IHK** Technologiefabrik
Karlsruhe

Theoretisch

bringt Ihnen die Uni alles bei.

Praktisch

lernen Sie bei uns jeden Tag dazu.



Gemeinsam bringen wir die Dinge voran: Wir von der EnBW entwickeln intelligente Energieprodukte, machen unsere Städte nachhaltiger und setzen uns für den Ausbau erneuerbarer Energien ein. Und dafür benötigen wir tatkräftige Unterstützung.

Egal, ob Praxiseinsätze während des Studiums oder direkter Berufseinstieg danach – wir sind immer auf der Suche nach engagierten Talenten, die sich mit ihrem Fachwissen einbringen und zusammen mit uns die Energiezukunft gestalten. Im Gegenzug bieten wir spannende Aufgaben und vielfältige Entwicklungsmöglichkeiten.

Machen Sie jetzt mit:

www.enbw.com/jobmarkt



Wir machen das schon.



Condition-sensitive, Low-Dimensional Process Representations from Process Data via Convolutional Neural Networks and Multi-task Learning

Tarek Iraki and Norbert Link

Vorgestellt wird eine Methode zur Erlangung eines nieder-dimensionalen Darstellungsraumes für Prozesse, welcher die Formulierung verallgemeinerter Prozess-Modelle erlaubt. Die Darstellung kodiert Zeitreihen beobachtbarer Prozessgrößen („Prozess-Kurven“), die während der Zeitentwicklung des Prozesses gemessen werden, in Form bestimmter Merkmalswerte. Diese beinhalten den Einfluss von Veränderungen bestimmter Schlüssel-Bedingungen für den Prozess (z.B. Werkstück- und Werkzeug-Eigenschaften) auf die Prozess-Kurve. Der Merkmalsvektor wird durch die Ausgabeschicht eines zeitlichen Neuronalen Faltungsnetzes dargestellt, welches mittels Multi-Task-Lernen gleichzeitig mit einem angeschlossenen Decoder zur Reproduktion der Prozesskurve und angeschlossenen Klassifikatoren und Schätzern zur Erkennung der Prozess-Bedingungen trainiert wird.

A method is presented to find a low-dimensional feature-space representation of processes, which enables the formulation of generalized process models. It encodes the time series of observable values („process curve“) measured from the evolution of the process state in a set of feature values. The representation is capable of capturing the impact of variations of certain key process conditions (such as workpiece and tool properties) on the process curve. The feature vector is formed in the proposed method by the output layer of a time-Convolutional Neural Network (CNN), which is simultaneously trained by multi-task learning with an attached decoder to reproduce the process curve and with attached classifiers and estimators to simultaneously predict the condition values.

Keywords: Convolutional Neural Networks, Multi-task Learning, Processing Data, Low-Dimensional Process Representations, Machine Learning

Introduction and Objectives

The modelling and understanding of industrial processes is a pre-requisite for the creation of efficient and reliable process controls, determining the competitiveness of industries. A process is composed of a sequence of process states. Manufacturing processes change the state of a workpiece and terminate in a final state, in which the workpiece should have the desired properties. Resistance spot welding (RSW) is such

a process, where metal sheets are squeezed against each other by the electrodes of the welding gun and electrical current is forced through the contact area of the sheets, where the temperature rises due to Joule heating. The material in the contact softens and finally melts, forming a small liquid pool between the sheets. The pool solidifies when the current is cut off and the material cools down, resulting in a solid connection (“welding spot”) between the sheets. The process state is determined by the micro-structure of the material, which governs measurable quantities, such as the electrical resistance or the electrode displacement, following the elastic/plastic properties.

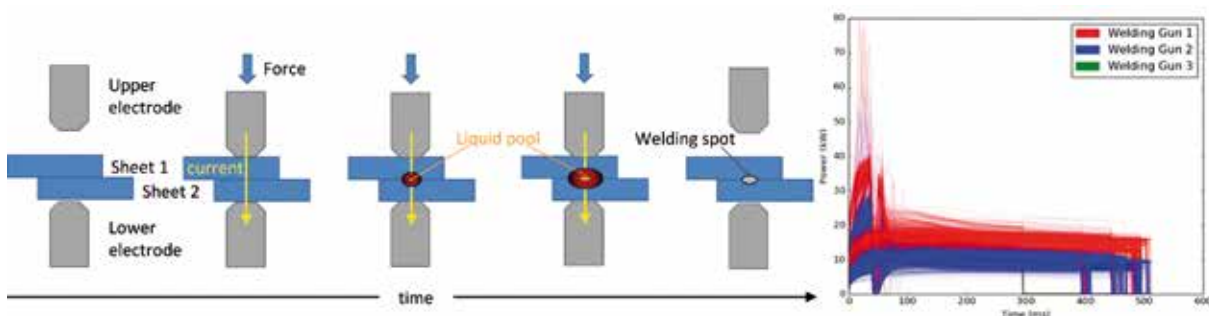


Fig. 1: Time evolution of the resistance spot welding sample process (left) and resulting process curves (right) of the electrical power used during welding in over four thousand weldings with three different welding gun types.

For most physical and technical processes, there are dynamic equations for modeling the time evolution, depending on the initial process state (microstructure and surface properties of sheets and electrodes in the RSW case) and the process conditions (reflecting tool properties and control parameters). Both are not usually available precisely enough to determine the model. The values of the process state variables are not usually directly measurable, but are only represented by a corresponding timeseries of measurements; the process curve.

An empirical process model must therefore be used instead, relating the available quantities representing the initial state and the conditions with the state evolution from experimental data of the process.

The measured process curve correlates with the state evolution, but the exact mapping of the measurements to state variables is frequently theoretically unknown or ambiguous.

There are many approaches to solving the “inverse problem” of estimating the state variable values from measurements based on learning the relation in the data on processes restricted to a small process domain, where there is a small range of variation in the initial states and conditions.

In this case only a small sub-space of the original state space may be populated and the relations with a sub-space representation of the process curves may become unambiguous.

If this holds true, the sub-space representation of the process-curves is also representative of the original process. Models are formulated in such spaces to describe the dependencies of quantities of interest, so-called key conditions (such as final quality or process conditions), on the process curves.

The sub-space coordinates can be forced to relate with the initial state and the conditions. Then they form a surrogate process state space in the restricted domain. Such a space enables e.g. the effective and efficient modeling of control laws or quality estimators for the process under consideration.

The paper proposes a method for finding a well-suited process-curve sub-space representation (with so-called “features” or “latent variables”), which enables the approximate reconstruction of the original process curve, but also represents the most condition-sensitive features of the process curves. The resulting feature

space represents the salient shape features of the process curves, which are also maximally sensitive to the conditions of the process. The method also uses as few features as possible, which allows the reconstruction of the influence of process conditions on the process curve and thus the prediction of the process evolution under new process conditions. The laws governing the process evolution can then be formulated.

Every single process execution is then represented by a point in the feature space and a change of a condition value results in a displacement vector field. The feature space is therefore optimally suited to model the influence of key conditions, which might be varied, on the process curve (representative of the process) and of the achieved quality on the process curve, thus relating all quantities of interest.

Proposed Approach for Condition-Sensitive Low-Dimensional Process Representations

A representation space showing the desired properties can be built by using a dedicated machine learning methodology, called „Multi-Task Learning“ (MTL). The proposed MTL structure encodes the process curves via feature extraction, and uses the resulting features as shared input of a set of parallel subsequent processing networks, which simultaneously fulfil the following tasks: (1) reconstruction (decoding) of the process curves to enable feature extraction via auto-encoding, (2) classification to detect the prevailing conditions of the process in the case of discrete conditions, and (3) estimation to yield the prevailing conditions in the case

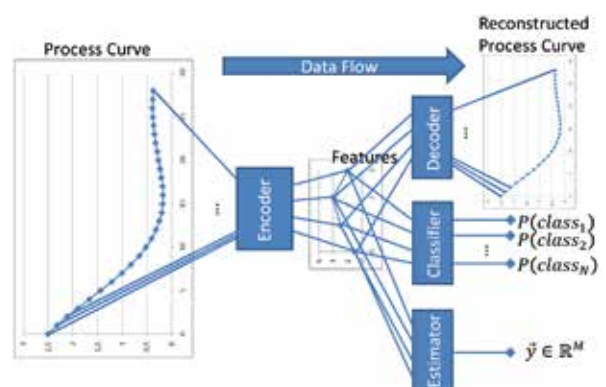


Fig. 2: Architecture for the formation of condition-sensitive, low-dimensional process representations. The feature vectors form the representation space and are produced by a t-CNN encoder, which is trained simultaneously via multi-task-learning with the attached decoder and condition recognizers. The classifier delivers the probabilities of the different discrete conditions (classes), which prevailed during the process. The estimator delivers a vector of continuous condition values derived from the process curve.

of continuous conditions values. By “simultaneously” updating the weights of all networks during training of the different tasks (in a loop of weight updates over optimizations of *Encoder+Decoder*, *Encoder+Classifier 1*, ... , *Encoder+Classifier n*, *Encoder+Estimator 1*, ... , *Encoder+Estimator m*), the features are forced to represent the process curve shapes correctly, and to be separately sensitive to the different conditions, which is the desired property of the feature space. The feature vector is formed in the proposed method by the output layer of a time-Convolutional Neural Network (t-CNN).

The advantages of CNN for feature extraction found so far by Dai, Wei, et al. („*Very deep convolutional neural networks for raw waveforms.*“ *Acoustics, Speech and Signal Processing (ICASSP), 2017 IEEE International Conference on. IEEE, 2017*) and the fact that process curves can be thought of as a composition of localized “shape primitives” make CNN a promising option for the proposed approach. CNNs are a specialized type of multilayer neural networks for processing data with a grid-like topology (1-d for signals, 2-d for images, and so on) on which the convolutional kernels operate. The most common CNN architectures align several convolutional layers, including the Relu activation function $f(x) = \max(0, x)$, which are followed by pooling layers. This pattern is repeated until the input data is reduced to a small representation. In addition, a subsequent processing by fully connected layers is common. The last fully connected layer generates the output data. Thus, the generic pattern for such CNN architectures is defined by: Input \rightarrow [[Conv \rightarrow Relu]*N \rightarrow Pool?]*M \rightarrow [Fc \rightarrow Relu]*K \rightarrow Fc

Grid search was used for hyper-parameter optimization, which yielded the following decisions: The Relu function was chosen as the activation function, the Xavier method was used for weight initialization and the Adam Optimizer was selected. Furthermore a descending arrangement of the feature maps was found to be best and Average-Pooling turned out to be the best sub-sampling method, where the sub-sampling is performed according to a Gaussian resolution pyramid.

Assessment with Resistance Spot Welding Processes

The generic solution architecture of figure 2 is instantiated for the resistance spot welding process, where the input is formed by the equidistantly sampled curve of the electrical power during the process with 512 sample points at 1 ms sampling interval. Time-CNNs with two, three, four and eight outputs were constructed for feature extraction and trained with a welding-

gun-recognizer, a metal-sheet-type-recognizer and a spot-weld-diameter-estimator to yield a 2-, 3-, 4- and 8-dimensional feature space. Both classifiers and the estimator were constructed as fully-connected Neural Networks with two hidden layers with Relu activation function with the features as input and three and eight class probability outputs and one estimator output respectively. The representation power of the features is assessed by the process curve reconstruction quality and by the prediction quality of the (discrete and continuous) conditions: three welding gun types and eight steel sheet combinations and of the spot diameter. The test data set consisted of over 1500 curves with known gun and steel sheet types and measured spot diameter.

The recognition accuracies for the different feature space dimensions were determined from the evaluation of the test set:

Feature space dimension	2	3	4	8
Welding gun	87.31%	88.17%	89.16%	89.29%
Steel sheet	66.68%	70.86%	74.68%	79.93%

The estimator precision was determined by considering the mean-square error of the estimated diameter compared to the measured diameter, where the measurement itself had an error of approximately +/- 0.5 mm and a measured diameter range of 3 mm to 7 mm:

Feature space dimension	2	3	4	8
Mean-squared error of diameter estimator	1.13 mm	1.01 mm	0.93 mm	0.90 mm

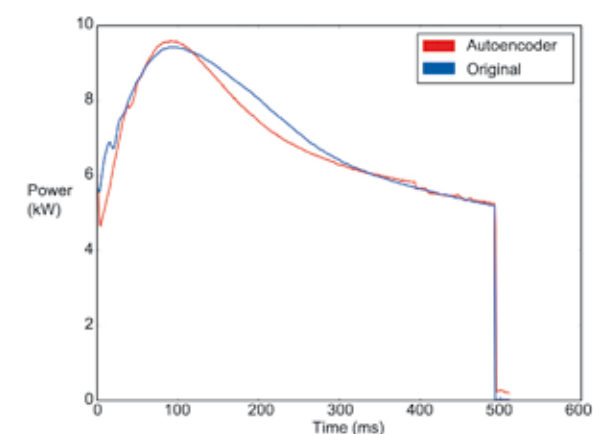


Fig. 3

The reconstruction quality was assessed by measuring the root of the mean square deviation of the reconstructed power curve from the original ones, averaged over all curves of the test data set, which should be

compared to an average power of 7 kW to 9kW during the welding process:

Feature space dimension	2	3	4	8
Mean power curve reconstruction error	0.37 kW	0.32 kW	0.22 kW	0.18 kW

A typical power curve reconstruction example from three features is shown on the right, where the blue curve is the original and the red curve is the reconstruction.

The assessment results show the validity of the approach and the superiority of the CNN-based encoders.

Further Reading

For more detailed information, please see the master thesis of Tarek Iraki: *Faltungsnetz-Methoden zur Extraktion universeller Features aus Zeitreihen am Beispiel von Schweisskurven*, Hochschule Karlsruhe – Technik und Wirtschaft, 31.3.2018, and the literature cited therein.

Acknowledgements

The authors would like to thank the German Federal Ministry of Education and Research (BMBF) for funding the presented research under grant #03FH061PX5

Authors

Tarek Iraki, M.Sc.

Prof. Dr. Norbert Link

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

Contact

Prof. Dr. Norbert Link

Karlsruhe University of Applied Sciences

Faculty of Computer Science and Business

Information Systems

Moltkestraße 30

76133 Karlsruhe

E-mail: norbert.link@hs-karlsruhe.de



SAP
next-gen



THE GLOBAL GOALS
For Sustainable Development

A Purpose Driven Innovation Community

SAP Next-Gen connects universities with industry partners interested to seed in disruptive innovation with researchers, students and startups

- Join a community focused on innovation with purpose
- Share your thought leadership and collaborate with other thought leaders in academia and industry
- Educate industry partners with skills for digital futures
- Connect students with companies recruiting next generation innovators
- Showcase startups with corporates seeking to seed in disruptive innovation



Innovate
with purpose
linked to the
**17 UN Global
Sustainability
Goals**

Are you interested? Contact us: sapnextgen@sap.com or sap_digital_supply_chain_community@global.corp.sap

Karlsruhe University of Applied Sciences Major Stake in regiomove Project

Adam Fraser, Sören Veen and Christoph Hupfer

regiomove ist ein Entwicklungsprojekt mit Forschungsanteilen, das sich in einem Zeitraum von drei Jahren zum Ziel setzt, die Mobilitätsangebote der Technologieregion Karlsruhe zu einem integrierten Mobilitätsnetzwerk zu entwickeln. Die Hochschule Karlsruhe wird ihrer führenden Rolle in Forschung und Innovation gerecht und tritt als Ideengeber des Projekts mit einer Fördersumme von etwa 1 Million Euro auf. Forschungsschwerpunkte sind hierbei die Entwicklung und Anwendung einer Kenngröße zur Bestimmung der Mobilitätsqualität sowie die Bestimmung und Auswahl von Elementen für die Integration von neuen Mobilitätsknoten (Ports).

regiomove, a three-year consortium project of public and private sector organizations, is due to transform the current regional public transport network in the Karlsruhe region into an integrated mobility service network. Karlsruhe University of Applied Sciences (HSKA) has been allocated close to €1 Million of the total funding as the major idea generator and leader in research and innovation. The University's two main tasks are to develop a Mobility Level Index and a Mobility Port Elements Catalogue.

Introduction

In December 2017 regiomove was launched. This three-year consortium project of public and private sector organizations aims to transform the existing transport network into an integrated mobility service network. Lead by the 'Karlsruher Verkehrsverbund' (KVV), **regiomove** will introduce new mobility services and points of interest in targeted areas throughout the TechnologieRegion Karlsruhe (TRK). The objective is to improve mobility and create appropriate new or additional mobility options and services to provide for growing regional mobility demands. Further, regiomove will integrate multiple mobility providers on a common platform to facilitate seamless transitions between travel modes. The option of a simple payment method via a mobile app will also be presented. This contemporary approach to mobility is part of a greater mission to shift mobility culture towards multimodal mobility as a service. In comparison to other approaches, regiomove is unique in that it focuses equally on villages, small cities and larger cities within the TRK.

In total, regiomove has been allocated €6.6 million in funding, of which €4.9 million is from the European Regional Development Fund (ERDF) and the province of Baden-Württemberg. Nearly €1 Million for HSKA represents its share of work in the project, besides the other consortium members: KVV, Regionalverband Mittlerer Oberrhein (RVMO), Karlsruher Institut für Technologie (KIT), Forschungszentrum Informatik (FZI), raumobil GmbH, PTV Planung Transport Verkehr AG, init GmbH, Stadtmobil CarSharing GmbH & Co. KG, Landkreis Rastatt and Stadt Karlsruhe.



Fig.1: Consortium representatives (Photo: Peter Hennrich, KVV)

HSKA is responsible for some of the most important tasks in the project. This is a unique opportunity to prove our strength as a leader in research and innovation. This paper describes the components of each major task.

Mobility Level Index (Mobilitätsqualität)

The terms *mobility* and *transportation* are often used interchangeably, and though similar, it is crucial to understand the distinction between them. Mobility describes the intrinsic capability, ease and options of achieving an activity or service somewhere else, whereas transportation is the actual process or act of moving in physical space. Consider two cities of similar population and density: City A with a ubiquitous, fast, and reliable public transportation network, and city B with a public transportation system with few routes, infrequent service and poor reliability. Both cities offer the same mode of transportation, though

the capability (*mobility*) to move and accomplish activities in city A is greater than in B because of the superior service. Developing an objective measure for how much better the mobility level of city A is than of city B introduces the key elements of the Mobility Level Index concept. This example ignores the fact that real cities have many transportation options available – to be multimodal and intermodal. The diverse cities, villages and trip purposes of TRK and the range of transport options makes this task quite challenging.

Developing a definition and parameters for a Mobility Level Index is the first major step for this component of the project. The Mobility Level Index will provide a simple, easy to interpret, grade; like ones given at school, for the mobility level of each neighbourhood. Every transportation option is graded for its usefulness; scores are combined to provide an overall grade. Intuitively, it is expected that smaller villages far from regional centres will have lower mobility levels for some travel modes.



Fig. 2: Port concept visualization (Graphic: Adam Fraser)

This approach can establish a baseline for the entire region – urban and rural – and is useful for comparing and understanding opportunities for improving mobility in general as well as supplements to mobility or service options. Similarly, individuals will be able to make informed choices for their trips depending on what modes and levels of mobility are available. In developing a mobility level, it is important to make an effective assessment of the external factors that influence mobility from a user perspective. Personal factors like values, preference, and education do influence travel behaviour, but are not objective, and therefore not suitable for this approach.

Another component of the Mobility Level index is the development of user groups. User groups are based on similar travel patterns that relate to aspects such as age, household composition and trip purpose. Each user group will have varying mobility levels in the TRK, for example, comparing user groups by car ownership

might greatly affect mobility level depending on the reference point. A collection of different user groups should cover most types of travel behaviour. User groups can inform individuals of possible alternatives in mode choice or in evaluating a new place to live. The Mobility Level Index values are presented on spatial maps with neighbourhood-level information. Maps can be catered to overall mobility, specific transport mode, or user group.

Mobility Port Elements Catalogue

The main tangible component of regiomove is the installation of Mobility Ports. Ports go beyond simple hubs, where multiple transportation modes are collected in one place for intermodal movement. Ports are more holistic, following the idea that the goal of mobility is not simply to reach another place, but about reaching an activity or service. Ports provide opportunities to fulfill mobility demands by offering transportation options, activities or services according to three main principles:

- Bringing people to services: Introducing new transportation services and making existing services more attractive. This principle is about getting people to where they want to go, and giving them options.
- Bringing services to people: Introducing elements that satisfy needs, and provide activities. This principle is about saving or shortening trips by providing points of interest.
- Space for greater social capital: Incorporating elements that make ports enjoyable places to be in, relax, and socialize with the community.

By following these principles, a catalogue can be created that identifies all possible elements that could be applied in a Port. The function of the catalogue is to provide a single document for decision-makers to review, and consider the best contextual options in the port-making process. The catalogue should provide recommended groupings of elements that function well together or enhance element usability. The Port elements will reflect on the Level of Mobility Index and provide options to increase the Mobility Level index in certain aspects. An important component of the catalogue is that the elements are modular - providing select options of specified scales and dimensions, simplifying the selection process and maximizing value. In addition, modularity creates a distinct identity for Ports, making them immediately recognisable.

Port Locations & Planning

By using the Mobility Level Index and the Port Element Catalogue as guides, we can recommend locations for ports and port-specific elements in TRK. In theo-

ry, ports are ideal in locations that offer the greatest impact – where there are service deficits and gaps in points of interest. Our recommendations are made to the appropriate groups and can be used to inform final decisions about port locations and port elements. Once the location of a port and its elements have been selected, we contribute to its physical design, managed by third party partners. Effective planning and design ensures that the flow of users through the ports from all available services is efficient, clear to interpret, and flexible to meet future needs.

Evaluation and Future Application

To better understand the results of regiomove and the creation of ports, we will evaluate port infrastructure components and functionality in a few ways. Firstly, scenario-based testing will highlight the experience from the perspective of the user. To augment this testing, an evaluation of port information and accuracy will be conducted, including a survey on the usability of the entire system. The results of our evaluation will be shared with all project partners for possible modifications.



Fig.3: Port, Provider, Pakt relationship (Graphic: Frank Pagel, KVV)

The results of the project will contribute to guidelines for applying this method in other regions and cities in order to encourage changes in mobility culture, and move towards a highly mobile and sustainable future. The Mobility Level Index and other mobility-related topics are important areas of research that HSKA, as a leader in the field, is continuously exploring.

Authors

Adam Fraser, M.Sc.

Sören Veen, M.Sc.

Academic Assistants in regiomove-research group at the Institute of Transport and Infrastructure at Karlsruhe University of Applied Sciences

Prof. Dr.-Ing. Christoph Hupfer

Professor of Transportation Planning and Traffic Engineering at the Faculty of Information Management and Media at Karlsruhe University of Applied Sciences; Head of Transportation Management Department (Bachelor) Head of regiomove-research group at the Institute of Transport and Infrastructure

Contact

Prof. Dr.-Ing. Christoph Hupfer
 Karlsruhe University of Applied Sciences
 Faculty of Information Management and Media
 Moltkestr. 30
 76133 Karlsruhe
 E-mail: christoph.hupfer@hs-karlsruhe.de

Starten Sie Ihre Karriere mit b.i.g.

www.big-karriere.com

3.000 Mitarbeiter. 27 Gesellschaften. 25 Standorte.

Werden Sie Teil der b.i.g.-Gruppe und starten Sie in Ihre berufliche Zukunft mit unseren intelligenten Dienstleistungen. Stadien, Flughäfen, Einkaufszentren, Industrieanlagen, Bürogebäude, Veranstaltungen: b.i.g. berät, plant und betreibt diese Großprojekte.

Wir suchen deutschlandweit

Studenten, Absolventen und Young Professionals (m/w)

der Fachrichtungen Baumanagement und Baubetrieb, Elektrotechnik, Nachrichtentechnik, Versorgungstechnik, Wirtschaftswissenschaften und Facility Management.

b.i.g.-Gruppe, Personalabteilung
 Ehrmannstr. 6, 76135 Karlsruhe
 Tel. 0721 8206-290
 karriere@big-gruppe.com



b.i.g.-Gruppe



GPA-Jakob

...automatisch schneller

Individuell auf unsere Kunden angepasst, gehören unsere Produkte für die Automation von Pressen wie Transfersysteme, Feedersysteme, Platinenlader und Stapelanlagen im internationalen Markt zur Spitze.

Als dualer Student hast du während der Praxisphasen von Anfang an viel Verantwortung und bekommst in den Theoriephasen an der DHBW Karlsruhe die nötigen Grundlagen beigebracht.



Wir bieten für das Jahr 2019 folgende dualen Studiengänge an:

✓ **Maschinenbau** ✓ **Elektrotechnik – Automation** ✓ **Mechatronik**

Was du mitbringen solltest:

- Guter Schulabschluss (Abitur)
- Deine Stärke sollte in den mathematisch-naturwissenschaftlichen Schulfächern liegen
- Interesse an technischen Tätigkeiten
- Lernbereitschaft, Motivation, Teamfähigkeit
- Flexibilität, um sich auf wechselnde Tätigkeiten einstellen zu können

Was du von uns erwarten kannst

- ein professionelles und abwechslungsreiches Arbeitsumfeld
- intensive Betreuung und Hilfestellung bei deinen Fragen
- Arbeiten in einem international tätigen Unternehmen
- Teamgeist und kurze Entscheidungswege durch flache Hierarchien
- flexible Arbeitszeiten •moderne Arbeitsplätze am neuen Standort in Bietigheim bei Rastatt
- Sehr gute Anbindung an öffentliche Verkehrsmittel

Ausbildungsbeginn: 01.10.2019

Ausbildungsdauer: 3 Jahre

Du möchtest deine Karriere bei uns starten?

Super! Dann sende uns deine Bewerbungsunterlagen, per Mail an:

bewerbung@gpa-jakob.de

Bei Fragen stehen wir dir gerne unter

Tel.: 0721/6202-0 zur Verfügung.

GPA-Jakob Pressenautomation GmbH, Im Sonnenschein 8, 76467 Bietigheim



Schutz von Fahrzeugen vor Cyber-Angriffen: Security For Connected, Autonomous caRs (SecForCARs)

Florian Sommer und Reiner Kriesten

Das Verbundprojekt *Security For Connected, Autonomous Cars (SecForCARs)* startete im April 2018 mit dem Ziel, Methoden, Verfahren und Systeme zu erarbeiten, die Fahrzeuge vor Cyber-Angriffen schützen sollen. Die Laufzeit des Projekts beträgt drei Jahre. Die Hochschule Karlsruhe fokussiert sich dabei vor allem auf die Entwicklung einer Schwachstellen-Datenbank, in der bereits bestehende Angriffe gespeichert werden können sowie der Entwicklung einer *Automotive Responsible Disclosure*, die den verantwortungsvollen Umgang mit einer gefundenen Schwachstelle beschreibt. Ein weiteres Ziel ist die Entwicklung eines Security-Testprozesses, der sich über den Entwicklungszyklus eines Fahrzeugs erstreckt.

The joint project *SecForCARs* was launched in April 2018 with the aim of developing methods, procedures and systems to protect vehicles against cyber-attacks. In this three-year project the Karlsruhe University of Applied Sciences will focus on the development of a *Vulnerability Database* in which existing attacks can be stored, and on the development of an *Automotive Responsible Disclosure*, which describes a responsible handling approach to identified vulnerabilities. A further goal is the development of a security test process that extends over the development cycle of a vehicle.

Einleitung

Durch die Zunahme elektronischer Komponenten im Kraftfahrzeug hat sich die Komplexität der Vernetzung und der Grad der Kommunikation des Fahrzeugs mit externen Komponenten erhöht. Dadurch hat sich das Automobil von einem geschlossenen zu einem offenen System entwickelt. Diese Entwicklung sorgt dafür, dass Fahrzeuge verwundbar gegen unbefugte Zugriffe von außen sind, was durch verschiedene Untersuchungen belegt wurde [1], [2], [3]. Anhand der Ergebnisse dieser Untersuchungen kann geschlossen werden, dass die Angriffssicherheit (Security) aktuell nicht immer gewährleistet werden kann. Dies kann sich bei Manipulation im schlimmsten Fall auf das Leben des Fahrers, weiteren Fahrzeuginsassen sowie weiteren Verkehrsteilnehmern auswirken. Im Hinblick auf den Trend zur Entwicklung hochvernetzter autonomer Fahrzeuge sind somit neben dem Aspekt der Security mögliche Folgen für die Funktions- bzw. Betriebssicherheit (Safety) zu betrachten, da solche Fahrzeuge eine weitaus höhere Anzahl von Schnittstellen und die elektronischen Steuergeräte größere Einflussmöglichkeiten auf das Fahrverhalten besitzen.

Bei autonomen Fahrzeugen stehen vor allem die Regelkreise im Vordergrund, die sich von der Sensorik des Fahrzeugs über die Steuergeräte, in denen die Sensorsignale verarbeitet werden, bis hin zur Aktorik erstrecken. Die Aktorik beeinflusst wiederum das Fahrverhalten des Fahrzeugs. Zusätzlich findet hierbei eine erhöhte Kommunikation zu externen Komponen-

ten statt, wobei die Daten, die empfangen werden, ebenfalls zur Steuerung des Fahrzeugs herangezogen werden. Die Absicherung gegen unbefugte Zugriffe von außen stellt daher einen wichtigen Aspekt dar, da sich hierbei Schwachstellen in besonderem Maße auf die Betriebssicherheit des Fahrzeugs auswirken können. Ein Beispiel für einen unbefugten Zugriff ist in Abbildung 1 schematisch dargestellt.

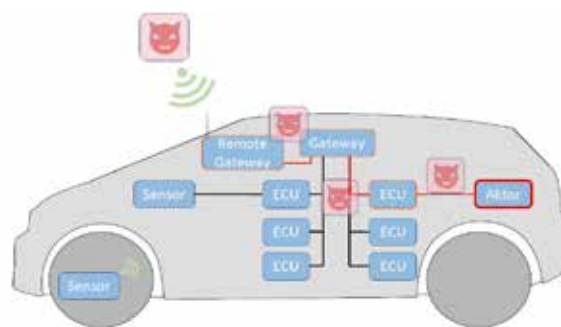


Abb. 1: Beispielhaftes Szenario für einen Security-Angriff auf ein Fahrzeug

Um die Verwundbarkeit von Fahrzeugen einschätzen zu können, müssen diese auf Schwachstellen untersucht werden. Dazu werden Sicherheitstests bzw. Penetrationstests durchgeführt, die ein fester Bestandteil bei der Entwicklung autonom fahrender Fahrzeuge sein sollten. Die Ergebnisse dieser Tests können Schwachstellen aufzeigen, die wiederum als Eingangsgrößen für Safety- und Security-Analysen verwendet werden. Hierbei werden Bedrohungs- und

Risikoanalysen durchgeführt, die als Grundlage für die Entwicklung sicherer Fahrzeugarchitekturen und Sicherheitsmechanismen dienen. Umgekehrt dienen sichere Architekturen und Mechanismen als Plattform zur Entwicklung und Evaluierung von Testprozessen sowie Testwerkzeugen.

Das Verbundprojekt SecForCARS besteht aus einem Konsortium aus Industrie- und Forschungseinrichtungen und verfolgt das Ziel, die Sicherheit autonomer Fahrzeuge für den Betrieb im Straßenverkehr zu gewährleisten. Das Projekt erstreckt sich über einen Zeitraum von April 2018 bis März 2021 und wird vom Bundesministerium für Bildung und Forschung mit einem Fördervolumen von 11,56 Mio. € gefördert [4].

Die Zielsetzung der Hochschule Karlsruhe – Technik und Wirtschaft unterteilt sich in zwei verschiedene Bereiche. Zum einen werden existierende Schwachstellen und daraus resultierende mögliche Bedrohungsszenarien betrachtet, um einen Testprozess abzuleiten, mit dessen Hilfe Fahrzeuge auf diese Schwachstellen getestet werden können. Da hierbei die existierenden Schwachstellen und bereits durchgeführten Angriffe auf Fahrzeuge eine wichtige Eingangsgröße darstellen, wird weiterhin der Fokus auf die Entwicklung einer Schwachstellendatenbank für Automotive Angriffe sowie einer Automotive Responsible Disclosure (ARD) gelegt. Beide Arbeitsbereiche sollen im Laufe des Projekts als Demonstratoren realisiert werden, mit deren Hilfe die Funktionsfähigkeit der erarbeiteten Konzepte gezeigt werden kann.

Automotive Responsible Disclosure und Schwachstellendatenbank

Existierende Security-Angriffe bzw. Schwachstellen bei Fahrzeugen stellen eine wichtige Informationsquelle bei der Entwicklung sicherer Fahrzeugarchitekturen sowie zuverlässiger Sicherheitsmechanismen dar. Aus diesem Grund strebt die Hochschule Karlsruhe die Entwicklung einer Schwachstellendatenbank an, die bestehende Schwachstellen enthält. Da eine solche Datenbank allerdings auch für potenzielle Angreifer eine Informationsquelle darstellt, ist die Entwicklung einer ARD ein weiterer wichtiger Aspekt. Die grundsätzliche Idee hinter der ARD besteht darin, verantwortungsvoll mit entdeckten Schwachstellen umzugehen, um Fahrzeugherstellern und Zulieferern die Möglichkeit zu geben, Schwachstellen zu beseitigen, bevor Angreifer von deren Existenz erfahren.

Zu Beginn wird der Stand der Technik in Branchen wie beispielsweise der IT erarbeitet, in denen bereits Disclosure Systeme sowie Schwachstellendatenbanken

im Einsatz sind. Hierbei wird evaluiert, inwieweit sich bereits bestehende Lösungen auf den Automotive-Sektor übertragen lassen bzw. welche zusätzlichen Aspekte betrachtet werden müssen. Dabei stellt die Analyse der rechtlichen Grundlagen solcher Systeme einen wichtigen Bestandteil dar, da beispielsweise die Veröffentlichung einer Schwachstelle unter Umständen datenschutzrechtliche Probleme aufwirft.

Neben den rechtlichen Aspekten erfordern die Entwicklung und der operative Betrieb der Schwachstellendatenbank sowie der ARD den Austausch mit verschiedenen Stakeholdern. Hierzu zählen die Fahrzeughersteller, da deren Fahrzeuge von Schwachstellen betroffen sein können. Weiterhin sind die Zulieferer zu nennen, bei denen sich potenzielle Schwachstellen skalierend auf Fahrzeuge auswirken können. Darüber hinaus zählen Klein- und Mittelunternehmen, die Öffentlichkeit sowie Prüfstellen (z.B. TÜV) und staatliche Organisationen (z.B. das Bundesamt für Sicherheit in der Informationstechnik oder das Kraftfahrtbundesamt) zu den betroffenen Stakeholdern. Aus diesem Grund müssen die Anforderungen dieser einzelnen Stakeholder bei der Entwicklung des Konzepts berücksichtigt werden. Dabei sind auch Pseudonymisierungen und Anonymisierungen sowie die Festlegung der Rollen und Rechte der einzelnen Parteien von Interesse.

Anhand der oben beschriebenen Punkte lassen sich nun die einzelnen Beschreibungen für das Konzept der Schwachstellendatenbank sowie der Automotive Responsible Disclosure ableiten. Dazu zählen Anwendungsszenarien (Use Cases), technische Artefakte, externe Schnittstellen, Anforderungen, Werkzeuge sowie die Beschreibung der Systemarchitektur. Während der Konzeptmodellierung erfolgt der stetige Austausch mit den oben genannten Stakeholdern sowie den Projektpartnern, um das Konzept mit den Vorstellungen sämtlicher beteiligter Parteien in Einklang zu bringen.

Im Anschluss an die Entwicklung des Konzepts erfolgt die Realisierung des Systems. Dazu findet eine detaillierte Modellierung des Systems statt und darüber hinaus die Erstellung einer Referenzimplementierung auf Basis existierender Automotive-Schwachstellen. Abschließend zum Projekt erfolgt der Aufbau eines Demonstrators der Automotive Responsible Disclosure und Schwachstellendatenbank, um die Funktionsfähigkeit des Konzepts zu zeigen. Der Demonstrator baut auf der zuvor erstellten Referenzimplementierung auf und erweitert diese um gesammelte Schwachstellen und deren Eigenschaften. Außerdem erfolgt hierbei

die Darstellung verschiedener Sichten, Rechte und Rollen der beteiligten Parteien. Die Informationen, die der Schwachstellendatenbank entnommen werden können, dienen im weiteren Verlauf als Eingangsgrößen für Sicherheitsanalysen.

Security-Validierung automotiver Elektronik unter Integration einer Bedrohungs- und Risikoanalyse

Zur Validierung und Verifikation hinsichtlich der Sicherheit von Systemen werden Security-Tests eingesetzt. Diese werden üblicherweise durch explorative Tests realisiert, welche stark von der Intuition und Erfahrung des Testers abhängen. Weiterhin sind Security-Tests im Automotive-Bereich nicht standardisiert. Ein weiteres Ziel der Hochschule Karlsruhe besteht darin, Daten, die aus bereits bestehenden Schwachstellen sowie aus durchgeführten Bedrohungsanalysen hervorgehen, zu verwenden, um Testfälle bzw. einen Testprozess abzuleiten. Es soll also ein Übergang zwischen der linken Seite des V-Modells zur rechten Seite mit Bezug zur Security geschaffen werden, wie in Abbildung 2 dargestellt.



Abb. 2: Security-Entwicklung im V-Modell

Dazu werden zunächst bereits existierende Security-Angriffe auf Fahrzeuge untersucht. Dabei sollen Kriterien erarbeitet werden, wie Fahrzeugsysteme auf Schwachstellen getestet werden können, die zu solchen Angriffen führen können. Diese Kriterien umfassen vor allem den Aufwand, der zum Ausnutzen einer Schwachstelle für den Angreifer 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.

Ein Grundsatz des Testens lautet: Vollständiges Testen ist nicht möglich. Auf Grund dieser Tatsache soll eine

Priorisierung der Tests erfolgen, indem Anforderungen mit höherem Risiko berücksichtigt werden. Daher werden Bedrohungs- und Risikoanalysen für ausgewählte Schwachstellen durchgeführt und deren Ergebnisse als weitere Informationsquelle für anschließende Tests verwendet. Die Ergebnisse bzw. die Artefakte, die aus solchen Analysen entstehen, sollen Teil einer geeigneten Methodik sein, mit deren Hilfe auch unerfahrenen Testern ein Leitfaden für Security-Tests zur Verfügung steht. Hierbei werden weiterhin fehlende Tools sowie weitere Kenngrößen identifiziert, die für ein erfolgreiches und umfassendes Testen notwendig sind. Im nächsten Schritt erfolgt die Ableitung des eigentlichen Testprozesses. Darin sind die einzelnen Aktivitäten enthalten, die von Testern durchzuführen sind, wobei die Ergebnisse der zuvor durchgeführten Bedrohungs- und Risikoanalysen miteinfließen. Außerdem finden hier die Testziele, Teststufen und die identifizierten Test-Tools Berücksichtigung. Abschließend erfolgt der Aufbau eines Demonstrators in Form eines Testobjekts, das auch als „Device under Test“ bezeichnet wird. Um die Anwendbarkeit des erarbeiteten Konzepts bzw. des erarbeiteten Testprozesses zu evaluieren, werden auf Basis existierender Schwachstellen sowie den Ergebnissen durchgeführter Bedrohungs- und Risikoanalysen konkrete Testfälle abgeleitet. Diese werden anschließend am Testobjekt erprobt. Das Ziel hierbei ist die durchgängige Anwendung des Validierungs- und Verifikationsprozesses über das V-Modell hinweg bis hin zum realen Testobjekt.

Literatur

- [1] S. Checkoway, D. McCoy, D. Anderson, B. Kantor, H. Shacham, S. Savage, K. Koscher, A. Czeskis, F. Roesner und T. Kohno, „Comprehensive Experimental Analyses of Automotive Attack Surfaces“, Proceedings of the USENIX Security Symposium, San Francisco, 2011.
- [2] K. Koscher, C. A., F. Roesner, S. Patel, T. Kohno, S. Checkoway, D. McCoy, B. Kantor, H. Anderson, H. Shacham und S. Savage, „Experimental Security Analysis of a Modern Automobile“ In Proceedings of the IEEE Symposium and Security and Privacy, Oakland, 2010.
- [3] C. Miller und C. Valasek, „Adventures in automotive networks and control units“, DEF CON 21, Las Vegas, 2013.
- [4] SecForCARs, *Sicherheit für vernetzte, autonome Fahrzeuge*, 2018. <https://www.forschung-it-sicherheit-kommunikationssysteme.de/projekte/sicherheit-fuer-vernetzte-autonome-fahrzeuge>

Autoren

Florian Sommer M.Sc.

Akademischer Mitarbeiter am Institut für Energieeffiziente Mobilität (IEEM)

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)
 Moltkestr. 30
 76133 Karlsruhe
 E-Mail: reiner.kriesten@hs-karlsruhe.de
 Telefon: 0721 925-1747

Bei uns stimmt die Chemie auch ohne Chemie
Wasser als Kältemittel (R718)

eChiller

saubere Kältetechnik mit Zukunft

Wir suchen Dich!

Arbeite in München für einen der innovativsten Hersteller von umweltfreundlicher und effizienter Kältetechnik im Rahmen von

- Praktika
- Abschlussarbeiten
- Werkstudentenjobs
- Festanstellungen



efficient-energy.de/JOBS
bewerbung@efficient-energy.de



engineering **FUTURE**



MSC Student Edition

- Modellierung und Vernetzung
- Strukturberechnungen
- Mehrkörpersimulation
- Akustikanalysen



Adams | MSC Nastran | MSC Apex | Marc | Actran
 Kostenlose Lizenz downloaden
www.mscsoftware.com/de/student-edition

Datenschutz im Automobilbereich – Eine Mystery-Shopping-Studie am Beispiel von PKW-Notrufsystemen

Fatbardha Shabani, Stefanie Regier und Ingo Stengel

Seit dem 31.3.2018 verpflichtete die Europäische Union alle Automobilhersteller, neue Pkws mit dem automatischen Notrufsystem Emergency Call (eCall) auszustatten. Parallel zum eCall bieten Automobilhersteller weiterhin ihre hauseigenen Notrufsysteme an, die nicht den strengen Datenschutzanforderungen von eCall unterliegen. Daher wurde die Beratungsqualität in Bezug auf Datenverwendung bei Notrufsystemen untersucht. Obwohl eine klare Trennung zwischen dem herstellereigenen Notrufsystem und dem eCall Pflicht ist, wird der Kunde häufig nicht über die unterschiedlichen Systeme informiert.

In March 2018 the European Union introduced new legislation that requires automobile manufacturers to implement the automatic emergency call “eCall”. Automobile manufacturers are still implementing their own automatic emergency calls although these do not comply with the strict data protection requirements of eCall. The scope of this study is to examine the advisory quality in relation to the use of data in emergency call systems in the context of Mystery Shopping. Despite the clear requirement of a separation between the manufacturer’s emergency call systems and eCall systems, customers are not being informed about the different systems.

Hintergrund und Motivation

In der heutigen Zeit spielt das Thema Verkehrssicherheit eine bedeutende Rolle. Die Europäische Union hat die Erhöhung der Straßenverkehrssicherheit zu einem gesamteuropäischen Ziel erklärt und möchte die Zahl der Verkehrstoten zwischen 2010 und 2020 halbieren. Dieses ehrgeizige Ziel wird sie vermutlich nicht erreichen, allerdings ist die Zahl der Verkehrstoten von 2010 bis 2017 bereits um 20 Prozent auf 25300 pro Jahr gesunken [4]. Dazu wurden Maßnahmen beschlossen, die unter anderem die Ausstattung der Fahrzeuge betreffen [6]. Eine wesentliche Maßnahme ist bereits zum 31. März 2018 in Kraft getreten: der so genannte Emergency Call (eCall), ein automatisches Notrufsystem, das in alle neuen Kraftfahrzeuge und

leichten Nutzfahrzeuge integriert sein muss [5]. Dieses System basiert auf Crash-Sensoren, die einen schweren Unfall erkennen, und löst bei einem Verkehrsunfall automatisch einen kostenlosen Notruf an die EU-weit einheitliche Notrufnummer 112 aus. Das Notrufsystem, das auch manuell aktiviert werden kann, übermittelt Daten wie z.B. den Standort, die Unfallzeit, die Fahrzeugidentifikationsnummer, die Antriebsart des Fahrzeuges und die Fahrtrichtung. Über die Position der Sitzgurte kann sogar auf die Anzahl der Personen im Fahrzeug geschlossen werden [7]. Ferner versucht eCall eine Sprachverbindung zwischen Unfallinsassen und Rettungsleitstelle aufzubauen, um weitere Informationen über Art und Schwere des Unfalls zu erhalten [3].

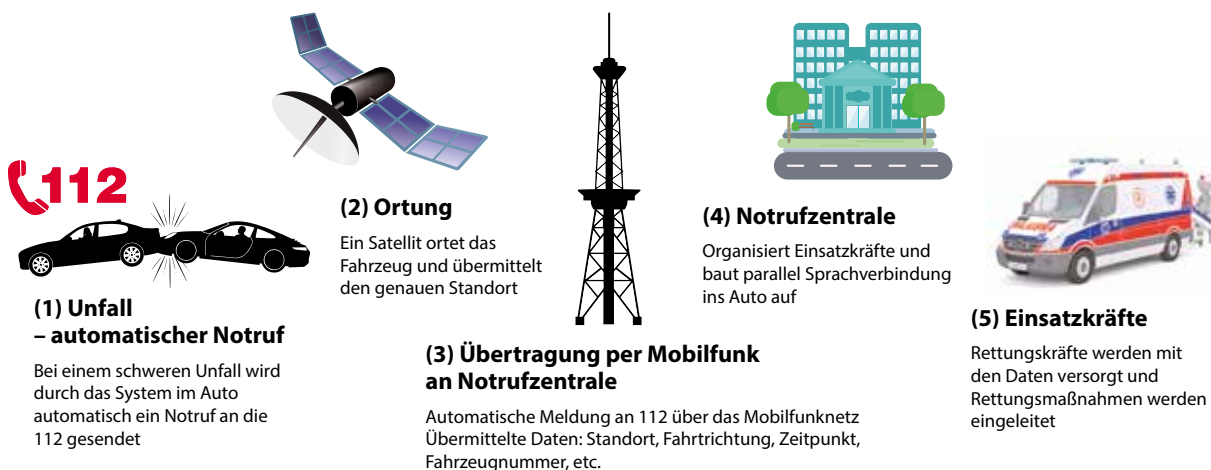


Abb. 1: Funktionsweise von eCall. Quelle: eigene Darstellung, in Anlehnung an [2]

Um diesen Dienst gewährleisten zu können, müssen sowohl Daten erhoben als auch übertragen werden. Die übermittelten Daten beim EU-eCall unterliegen strengen Datenschutzregelungen und dürfen lediglich für Rettungszwecke verwendet werden. Sie dürfen nicht an Dritte weitergegeben oder für andere Zwecke genutzt werden [1]. Zusätzlich zu dem standardmäßigen eCall 112 dürfen die Automobilhersteller allerdings auch weiterhin ihre hauseigenen Notruf-Dienste, die sogenannten TPS-eCall-Dienste, anbieten. Diese unterliegen weitaus weniger strengen Regelungen und können auch Daten enthalten, die über den Minimaldatensatz der EU-eCall-Daten hinausgehen. Ferner dürfen die Zusatzdienste rund um TPS-eCall permanent online sein – ganz im Gegensatz zum EU-eCall-System – das bis zu einem Unfall schlafend ist, also nur im Notfall in Aktion tritt. Eine Übersicht über die Unterschiede beider Systeme liefert Tabelle 1.

Datenschutzrechtlich gibt u.a. die neue DSGVO die Regelungen bei der Verarbeitung personenbezogener Daten vor. Zwar kann eine betroffene Person selbst bestimmen, inwieweit sie für die Verarbeitung der Daten eine Einwilligungserklärung abgibt oder nicht, jedoch trifft man in der Realität auf vielfältige Hürden. So können bestimmte Zusatzdienste des Autoherstellers im Fahrzeug nicht in Anspruch genommen werden, wenn keine Einwilligung für die Verarbeitung personenbezogener Daten abgegeben wird bzw. können keine Kostenvorteile von Versicherungen genutzt werden, wenn diesen eine Übermittlung der Fahrdaten untersagt wird. Des Weiteren weiß der Verbraucher oft nicht um den Unterschied bzw. die Existenz des EU-eCall-Systems und der TPS-eCall-Systeme der Hersteller.

Daher ist es notwendig, dass ein Kunde bereits beim Verkaufsberatungsgespräch über das Thema Datenschutz

	EU-eCall-System	TPS-eCall-System
Dienste	Nur Notrufe	Kombiniert mit anderen zusätzlichen Diensten (z.B. Rückverfolgung, Service-Center-Anruf)
Rechtliche Regelungen	Verordnung durch das Europäische Parlament – klare Vorschriften bezüglich der Erfassung und Verarbeitung der Daten	Privatrechtliche Vereinbarungen zwischen Kunde und Anbieter unter Einhaltung datenschutzrechtlicher Aspekte
Weiterleitung Notruf	Nächstgelegene örtlich zuständige 112-Rettungsleitstelle	Privates Call-Center des Anbieters
Dateninhalt	Enthält nur notwendige Daten, die im Minimaldatensatz beschrieben werden	Kann zusätzliche Daten enthalten, die über den Minimaldatensatz hinausgehen
Priorität	Wie ein normaler Notruf mit den gleichen hohen Prioritäten im Telefonnetz	Normaler Anruf ohne jegliche Priorität
Deaktivierung	Nicht erlaubt	Erlaubt

Tab. 1: Unterschied zwischen eCall- und TPS-eCall-Systemen; eigene Darstellung in Anlehnung an Leitstelle Lausitz vom 31.03.2018, URL: <https://www.leitstelle-lausitz.de/automatisches-notrufsystem-ecall/>

Der Anreiz zur Nutzung der TPS-eCall-Dienste ist groß. Technisch gesehen ist das Erzeugen und Speichern vieler Daten möglich. So erlaubt es die eCall-Technologie, über das System auf Sensordaten von Mikrofon, Lautsprecher, Steuergerät und viele andere Elemente zuzugreifen. Theoretisch könnten so komplette Fahrprofile angelegt werden, die unter anderem auch für Autohersteller, Kfz-Versicherer, Zulieferer und Behörden interessant sind. Welche Daten letztendlich von den Automobilherstellern oder Automobilhändlern im Rahmen des TPS-eCall gespeichert werden, ist unklar. Nur die Hersteller selbst wissen im Detail, welche personenbezogenen Daten in den Fahrzeugen erzeugt, verarbeitet und gespeichert werden. Der Kunde ist damit auf die Transparenz und Ehrlichkeit der Autohersteller oder Automobilhändler angewiesen.

und damit die Datenverwendung der Notrufsysteme optimal informiert wird. Um herauszufinden, inwieweit das tatsächlich auch geschieht, haben wir im Rahmen einer nicht-repräsentativen Mystery-Shopping-Studie Testkäufe in Autohäusern durchgeführt. Im Juli 2018 wurden für diese Studie mit insgesamt 18 Verkaufsberatern Beratungsgespräche über einen Neuwagenkauf durchgeführt und analysiert, inwieweit sie zu den Themen eCall und Datenschutz den Kunden kompetent informieren konnten. Wir wollten vor allem wissen, ob der Verkaufsberater zwischen dem EU-eCall und TPS-eCall unterscheidet und den Kunden transparent über die verschiedenen Systeme, die unterschiedlichen Datenschutzerfordernungen unterliegen und teilweise komplett unterschiedliche Datensätze speichern, in Kenntnis setzt.

Ergebnisse

Insgesamt war festzustellen, dass es an einigen Stellen durchaus Optimierungspotenzial für die Beratungsqualität bei eCall besteht. Einige Berater erklärten, bislang keine Schulung zum Thema eCall erhalten zu haben. Die Beratungsqualität selbst schwankte folglich zwischen den Verkaufsberatern der verschiedenen Autohäuser enorm. Knapp die Hälfte der Berater hat die Funktionsweise des eCall-Systems gut bis sehr gut erklärt und zwei Drittel konnte den Notrufknopf im Auto auch finden. Allerdings hat keiner der Verkaufsberater eigenständig das eCall angesprochen. Auf die Nachfrage nach Connected-Diensten durch den Mystery-Shopper wurden sonstige Dienste erwähnt, nicht aber das Notrufsystem eCall. Daraus resultiert, dass der Kunde schon ein vorhandenes Wissen über das System haben muss, um gezielt nach eCall fragen zu können. Bei den meisten Testkäufen fiel auf, dass die Berater das EU-eCall-System und das hauseigene TPS-eCall-System verwechselten oder vermischten. In einem Beratungsgespräch wurde fälschlicherweise gesagt, man könne das EU-eCall jederzeit deaktivieren.

Schulungsbedarf besteht auch zum Thema Datenschutz bei Notrufsystemen. Lediglich vier von 18 Beratern wussten, welche Daten beim EU-eCall übermittelt werden. Während einige Verkaufsberater sehr verhalten mit dem Thema Datenschutz umgingen und nicht allzu viele Informationen über Zweck und Ziele der Verarbeitung der gesammelten Daten preisgaben, sprachen andere Verkaufsberater sehr offen und ehrlich über das Thema. Auf die Frage, was mit den Daten geschieht, antworteten einige Verkäufer, dass die Daten zu Garantiezwecken und Kundenbindung genutzt werden oder an die eigene Versicherungsgesellschaft zur Auswertung weitergegeben würden. Zwei Ansprechpartner äußerten die Vermutung, dass die Automobilhersteller über alle Fahrzeughalter Fahrprofile erstellen würden und dass der gläserne Fahrer schon längst zur Realität geworden sei. Ein Verkäufer behauptete gar, dass der Kunde gar kein Recht hätte, der Datenschutzerklärung zu widersprechen. Das Verweigern des Rechts auf Widerspruch der Datenschutzerklärung wäre ein deutlicher Verstoß gegen die Grundsätze der DSGVO. In keinem der durchgeführten Beratungsgespräche bekamen wir eine klare und umfassende Aussage darüber, welche Daten nun denn genau erhoben, gespeichert und an wen weitergeben werden.

In Summe bleibt festzuhalten, dass in beiden Bereichen Informationsbedarf besteht. Durch Mitarbeiterschulungen kann neben der Sensibilisierung der eCall-Thematik auch das Datenschutzbewusstsein der Verkaufsberater verstärkt werden. Datenschutzaudits

ermöglichen das Überprüfen von Datenschutzeinhalten im eigenen Unternehmen. Anhand von Infomaterial kann Transparenz über die Verarbeitung der Daten geschaffen und das Vertrauen der Kunden gewonnen werden. Denn das Thema Vertrauen ist gerade im Automobilbereich aktueller denn je.

Literatur

- [1] ADAC e.V. Interessenvertretung Verkehr, *Was ist eCall?*, 2017. https://www.adac.de/infotestrat/unfall-schaeden-und-panne/ecall_gps_notruf/ [Stand: 30.10.2017].
- [2] ADAC SE, *eCall auch für Gebrauchtwagen*, 2016. <https://presse.adac.de/meldungen/adac-se/versicherungen-finanzdienste/ecall-auch-fuergebrauchtwagen.html> [Stand: 01.10.2018]
- [3] C. Brüninghaus, *Notfallsystem E-Call*, 2013, Herausforderung Datenschutz. <https://www.springer-professional.de/automobilelektronik---software/sicherheit-fahrbezogener-daten/notfallsysteme-call-herausforderung-datenschutz/6562016>, [Stand: 22.08.2017].
- [4] Europäische Kommission, *Zahl der Verkehrstoten in der EU leicht zurückgegangen - Europas Straßen weltweit am sichersten*, Pressemitteilung vom 10.04.2018. https://ec.europa.eu/germany/news/20180410-strassensicherheit_de [Stand: 19.09.2018].
- [5] Europäisches Parlament, *„eCall“: Automatisches Notrufsystem in allen neuen Automodellen ab Frühling 2018*, Pressemitteilung, 2015. <http://www.europarl.europa.eu/news/de/press-room/20150424IPR45714/ecall-automatisches-notrufsystem-in-allen-neuen-automodellen-ab-fruhling-2018>, [Stand: 05.11.2017].
- [6] Europäische Union, *eCall – Kraftfahrzeugassistentensystem für Notrufe an die europäische Notrufnummer 112*, 2018. https://europa.eu/youreurope/citizens/travel/security-and-emergencies/emergency-assistance-vehicles-ecall/index_de.htm [Stand 17.07.2018]
- [7] B. Wimmer, *Auto-Notruf eCall erstmals in Österreich getestet*, 2017, futurezone – Technology News, Futurezone GmbH. <https://futurezone.at/digital-life/auto-notruf-ecall-erstmals-in-oesterreich-getestet/254.903.569>, [Stand: 05.11.2017].

Autoren

Fatbardha Shabani B.Sc.

Studentin des Masterstudiengangs
Wirtschaftsinformatik 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



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



Vermessung
Geotechnik
Geoinformatik
Entwicklung

DEIN NEUER ARBEITSPLATZ.

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



Bewirb dich: intermetric.de/karriere
Folge uns: [facebook.com/intermetricGmbH](https://www.facebook.com/intermetricGmbH)
[instagram.com/intermetric](https://www.instagram.com/intermetric)

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

The Grand Tour of Japanese Automotive

Christoph Roser

Dieser Beitrag liefert einen quantitativen und qualitativen Vergleich aller sieben japanischen Automobilhersteller auf Basis des Besuchs und unmittelbaren Kennenlernens zahlreicher Produktionsstätten in Japan. Toyota und Nissan erwiesen sich als die effektivsten Unternehmen, gefolgt von Mazda. Jenseits der Effizienz betrachtet dieser Artikel auch die Größe der Teams und die Arbeitszeiten der einzelnen Autoproduzenten.

This paper gives a quantitative and qualitative comparison of all seven Japanese car manufacturers based on visits to numerous production sites and direct observation. Toyota and Nissan are the most effective manufacturers, followed by Mazda. Besides efficiency, this paper will also consider the size of the teams and working hours of the different car manufacturers.

Introduction

From October to February 2017–2018, I worked with my Mentor Prof. Nakano at the SMD Laboratory at Keio University, Tokyo, Japan. During this time, I visited the factories of all seven Japanese car manufacturers as part of my “Grand Tour of Japanese Automotive Plants”: Toyota, Nissan, Honda, Mitsubishi, Mazda, Suzuki, and Subaru. I gained a lot of insight into the differences between the companies. This article will give you an overview of my quantitative and qualitative findings.

(now owned by Daimler)

- Mazda: Hiroshima
- Suzuki: Hamamatsu
- Subaru: Gunma Honkojo

Efficiency

I estimate efficiency by counting how many workers I see adding value and how many do not at the moment I look at them. This gives me a rough estimate of how much time a worker spends actually adding value, and how much is waste (walking, waiting, transporting, etc.).

Below is the overview of these plant visits, with the efficiencies in different plants of different groups. All measurements are for assembly lines, either sub-assembly lines (dashboard, engine, axle) or final assembly lines (final cars, except Honda Kumamoto for motorbikes and Mitsubishi Kawasaki for trucks, the latter with a much higher variety and lower takt time). The graph also shows the weighted averages for a group as well as the overall weighted average (there is a slight bias toward Toyota since I visited more Toyota plants).



Fig. 1: Overview of visited plants and companies

I visited the following plants, as well as a number of smaller suppliers (not mentioned below).

- Toyota: Takaoka (3x), Tsutsumi, Motomachi, Tahara (2x), Kyushu, and Gifu Auto Body
- Nissan: Yokohama and Iwaki (both engine plants)
- Honda: Sayama and Kumamoto (motorcycles)
- Mitsubishi: Okasaki (now Renault-Nissan-Mitsubishi) and Mitsubishi Fuso trucks, Kanagawa

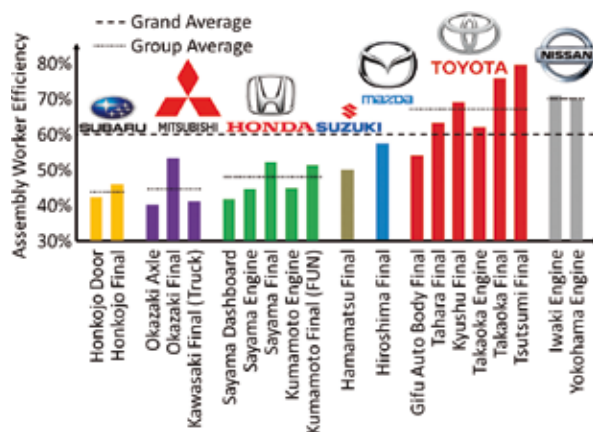


Fig. 2: Assembly Line Efficiency comparison

It is clear that Toyota and Nissan are the top-performing plants, where the worker spends 70% of his time actually adding value. I was surprised that Nissan exceeds Toyota here, even though the top performing plant is Toyota Tsutsumi. Mazda and Suzuki are in the middle. Mitsubishi, Honda, and Subaru are the least-efficient plants, where workers spend less than half of their time adding value. A worker at the best Toyota plant creates twice as much value than at a Mitsubishi or Subaru plant.

Team Size

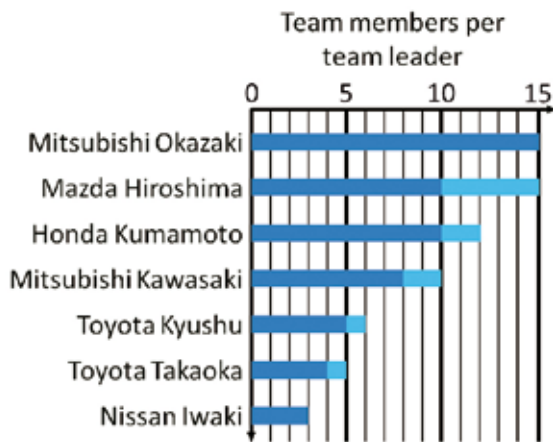


Fig. 3: Team Size comparison

Part of the reason why both Toyota and Nissan excel in their work performance may be their support structure. The team leader is the first responder to whatever problems occur at the workplace. However, the more team members a team leader has to support, the less effective his support is.

Toyota and Nissan both have very small teams, and a team leader is in charge of three to six workers at Nissan and Toyota. In comparison, Mitsubishi, Mazda, and Honda have around ten to fifteen workers per leader. In the worst case, a team leader at Mitsubishi takes care of five times as many people than at Nissan. As a result, the support is thinly spread, and problems are more likely to escalate before they are resolved.

Working Hours

I also examined the work times of the different plants as shown in the graph below. Some plants only had one shift (Mitsubishi Fuso, Nissan Iwaki). Work around the clock was the norm at the Honda Kumamoto and Sayama plants, with an overlap between the shifts for a handover, and the casting operation at Nissan Iwaki, with four-days-on and two-days-off shift (it is not possible to turn off a casting operation, and most casting plants work twenty-four hours).

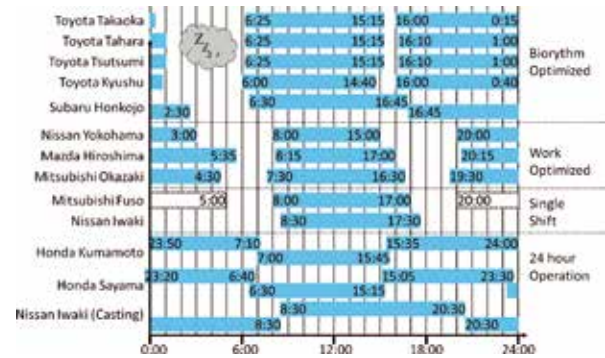


Fig. 4: Working Hours comparison

There is an interesting pattern within two shifts. Most producers, except Toyota and Subaru, have optimized their shifts to benefit the work. They maximized the gap between the shifts to have maximum availability for overtime and maintenance. Toyota previously did this too, but ran into big problems. Working the so-called ‘graveyard shift’ after midnight is extremely demanding for the workers, as these work times clash with the human biorhythm. This resulted in an enormous staff turnover for Toyota, so they changed it to maximize the gap between shifts after midnight (see Toyota Employee Relationship Crisis and Countermeasures 1990s). All Toyota assembly employees can rest at night, unlike their colleagues from the competition. The shift duration also varied considerably, from seven hours (including breaks) at Nissan Yokohama to over ten hours at Subaru.

Overall, Japanese car makers have very varied styles and behaviors. While Toyota is the best-known Japanese car company in the West, other car makers are often less efficient, although they have different ideas and approaches. A full report about every car maker can be found at <https://www.allaboutlean.com/grand-tour-overview-and-toyota/>.

Author

Prof. Dr. Christoph Roser

Professor of Production Management at the Faculty of Management Science and Engineering at Karlsruhe University of Applied Sciences

Contact

Prof. Dr. Christoph Roser
 Karlsruhe University of Applied Sciences
 Faculty of Management Science and Engineering
 Moltkestr. 30
 76133 Karlsruhe
 E-Mail: christoph.rosen@hs-karlsruhe.de

„In den Schluchten des Balkan“? Zur Wahrnehmung der sogenannten Balkanregion in Narrativen zwischen Stereotypie und Exotismus in Werken der deutschsprachigen Populärkultur

Michael Tewes und Alexa Mathias

Was wissen Mitteleuropäer von den Ländern und den rund 70 Millionen Bewohnern der sogenannten Balkanzone? Was außer den beliebten Urlaubsländern Kroatien und Griechenland ist im Bewusstsein Mitteleuropas vom Balkan präsent? Aus welchen Quellen stammt dieses (vermeintliche) Wissen, wo und wie manifestiert es sich sprachlich? Diesen Fragen geht das Verbundprojekt auf dem Feld der Digital Humanities in Form eines wissenschaftlichen Dialogs über europäische Identität(en) mit deutschen und südosteuropäischen Partneruniversitäten nach.

What do Central Europeans know about the countries and the approximately 70 million inhabitants of the so-called Balkan regions? Apart from the popular holiday destinations Croatia and Greece, how present in the consciousness of Central Europe are the Balkans? Where does the (supposed) knowledge come from? Where and how does it manifest itself linguistically? The joint project in the field of Digital Humanities pursues these questions in the form of a scientific dialogue on European identity(s) with German and Southeast European partner universities.

Was wissen Mitteleuropäer über den Balkan?

Die europäische Integration setzt in Zeiten anhaltender politischer Krisen in weiten Teilen Europas wesentlich voraus, dass die Europäer um die unterschiedlichen kulturellen, historischen, gesellschaftlichen und politischen Gegebenheiten ihrer Nachbarn wissen und wertschätzend mit dieser Vielfalt in Gemeinsamkeiten und Unterschieden umgehen.

Das Bild, das sich Mitteleuropäer von den südöstlichen Staaten Europas gemacht haben, ist jedoch bis heute geprägt durch Narrative, die in ihrer Vielzahl von Aspekten und interpretierenden Wahrnehmungen vor allem durch einen Faktor verbunden sind: Es ist ein Bild des Anderen, des Fremden, in dem das Trennende weitaus stärker hervortritt als das Verbindende und Gemeinsame.

Der Beitrag der Populärkultur zur Meinungsbildung von Kollektiven

Dies trifft bereits auf die unzähligen Berichte über die sogenannte „Balkanregion“ zu, die Handlungsreisende, Forscher, Diplomaten und Gesandte, Journalisten, aber auch Abenteurer im Anschluss an ihre Reisen in den letzten fünf Jahrhunderten verfasst haben (vgl. Todorova 1999, Jezernik 2010). Derartige historische Reiseberichte waren indes der bürgerlichen Gesellschaft in ihrer Breite nur eingeschränkt zugänglich



Abb. 1: Staaten der Balkanregion

(Quelle: ID 99704439 © Valeriy Kaplun | Dreamstime.com)

bzw. weckten textsortenbedingt nur ein mäßiges bis geringes Interesse in anderen als den beruflichen Communities, denen diese Berichte entstammen. Le-

serinnen und Leser aus bildungsbürgerlichen Milieus des 19. und 20. Jahrhunderts bevorzugten (nicht anders als unsere zeitgenössische, häufig als „Spaßgemeinschaft“ bezeichnete Kulturgemeinschaft) bereits in früheren Jahrhunderten kulturelle Genres und mediale Formen, die – ähnlich wie das heutige Format des sogenannten „Infotainments“ – Information mit Unterhaltung verbinden. In den jeweiligen Genres präsentierte Informationen konnten im vordigitalen Zeitalter von den meisten Lesern, Theaterbesuchern etc. nicht überprüft werden.

Die Rezeptionspräferenz des 19. und 20. Jahrhunderts für unterhaltende Genres prägt in Mitteleuropa das Bild von den sog. „Balkanländern“ bis heute. Es ist geprägt durch mitteleuropäische Gesellschaften, die sich als das selbstdefinierte „Zentrum Europas“ verstehen und von dort ihren Blick auf jene Regionen Europas richten, die sie – nicht nur geographisch – regelmäßig als „Peripherie“ betrachten. Im Schutze der bürgerlichen Salons des 19. Jahrhunderts gibt man sich gepflegt einer sublimierten Lust am Abenteuer, am Exotischen, am Fremden in einer Weise hin, die sich an den Narrationen über das Andere ergötzt. Dessen weniger verstörende Elemente werden in folkloristischer Weise in die Mode, das Kunsthandwerk und eben auch in die unterhaltende Literatur wie etwa in die letzten drei Bände des sechsteiligen Orientzyklus Karl Mays (HKA, Abt. IV, Bd. 1-6) integriert. May, der die südlichen Balkanregionen selbst nur aus anderen Reiseerzählungen kannte, greift hier in doppelter Weise auf tradierte Annahmen und Stereotypen aus dieser Region zurück und verdichtet diese. Darüber hinaus leistet im 19. und 20. Jahrhundert die Operette wie kein anderes Medium dieser Zeit einen substantiellen Beitrag zur Verbreitung von Auffassungen über andere Regionen und Gesellschaften und deren individuelle Vertreter – Südosteuropa wird ihr geradezu prototypischer Topos. Die Werke Franz Lehars, Johann Strauß', Emmerich Kálmáns und vieler anderer einschlägiger Komponisten wären ohne Stereotype über die Region zwischen Ungarn und Rumänien im Nordosten der Region bis Montenegro und Albanien im Südwesten nicht vorstellbar. Insbesondere den Libretti dieser Operetten, also den vertonten Texten, muss in Hinblick auf ihren Beitrag zur Stereotypenbildung vertiefte Aufmerksamkeit gewidmet werden.

Unabhängig von der gewählten Kunstform wird schon bei ersten Analysen deutlich: Zu stark Befremdliches wird abgewertet und zurückgewiesen, um die eigene, im Unterschied zum Fremden als zivilisiert empfundene Identität nicht zu gefährden (vgl. Baumann 2000). Strategien der Simplifizierung wie z.B. der Rekurs auf

stereotype Einstellungsmuster hinsichtlich der Anderen spielen hierbei eine ebenso große Rolle wie der Modus der Abgrenzung von als zu stark befremdlich Empfundenerem. Prozeduren zum Schutz der eigenen Identität seitens der mitteleuropäischen Bürgergesellschaften treten hierbei in der Rezeption ebenso klar hervor wie die Abwertung der „Fremdgruppen“ in Form der südosteuropäischen „Peripherie“ (vgl. Tajfel 1974, Tajfel & Turner 1979 sowie Leyens 2003). Die Narration dieses solchermaßen sezierten, klassifizierten und evaluierten Anderen speist sich aus der stark simplifizierenden Kolportage o. g. Reiseberichte, die durch den Filter der Fiktionalität gegangen sind.

Öffentliche Meinungsbildung vollzieht sich u. a. auch im Zuge der Rezeption von unterhaltender Literatur und Kulturgüter. Artificielle/fiktionale Textgenres bzw. Kunstgattungen, die der sog. Populärkultur zugerechnet werden können, leisten durch ihr hohes Maß an Rezeption und Verbreitung einen wichtigen Beitrag zur Erzeugung und Tradierung von Vorstellungen und Annahmen über das nicht selbst erlebte Fremde, die aus dem kollektiven Gedächtnis der beteiligten Diskursteilnehmer bis heute schließlich kaum oder gar nicht zu tilgen sind. Dies gilt umso mehr, wenn es sich bei den Diskursteilnehmern um „Communities“ handelt, in denen sich die stets aufs Neue reproduzierten Annahmen über einen längeren Traditionszeitraum stark verfestigt haben. Durch eine gleichermaßen ritualisierte Rezeptionspraxis im Rahmen gesellschaftlicher Räume wie literarischer Salons, der Theater und der Opernhäuser – die kulturgeschichtlich eine den heutigen Social Media vergleichbare Funktion erfüllt haben – gerann das kollektiv geteilte Bild zu verfestigten und tradierten stereotypen Vorstellungen, die in der Folge nicht selten die Form ausgeprägter Vorurteile annahmen. Die Populärkultur als Träger dieser Stereotype ist hierfür hervorragend geeignet, da sie innerhalb von jenen Diskursgemeinschaften in Europa weitreichend und in hoher Frequenz wahrgenommen, verbreitet und weitergegeben wird, in denen die Faktoren „leichte Rezipierbarkeit“ und „hoher Unterhaltungswert“ eine wichtige Rolle spielen.

Projekt „Perspektiven auf den Balkan in der deutschsprachigen Populärkultur“

Da Populärkultur zumeist als mehr oder minder unseriös bewertet wird (vgl. Menzel 2000, Adorno & Horkheimer 1998), wird ihrem Beitrag zur Meinungsbildung von Kollektiven in wissenschaftlichen Untersuchungen zumeist nur unzureichend Aufmerksamkeit entgegengebracht. Das gemeinsam von Dr. Alexa Mathias (Leibniz Universität Hannover) und mir getragene Projekt mit verschiedenen südosteuropä-

ischen Universitäten fokussiert auf die Perspektiven, die in Werken der deutschsprachigen Populärkultur unterschiedlicher Genres in Bezug auf den sog. „Balkan“ eingenommen werden. Diese sind repräsentiert in den Formen sprachlichen Ausdrucks, mittels derer sie kommuniziert werden und die zur Konstitution von Erzählmustern über die Balkanregion beitragen. In der bis dato durchgeführten Vorstudie zum Projekt wurde ein Textkorpus erstellt, das bislang zunächst zehn Werke unterschiedlicher Genres (Populärliteratur, Musiktheater u. a.) aus der zweiten Hälfte des 19. Jh. und der ersten Hälfte des 20. Jh. umfasst und für die Hauptstudie noch um zahlreiche weitere Texte ergänzt wird. Mit sprachwissenschaftlich-diskursanalytischen Verfahren sollen Einstellungsmuster und ihre Begründungsstrukturen aus den genrespezifischen Textsammlungen (Textkorpora) herausgearbeitet werden. Korpus- und computerlinguistische Methoden unterstützen dabei die Analyse von Formen sprachlicher Manifestationen sowie ihrer attribuierenden und präzisierenden Kollokate, die diesen Einstellungsmustern Ausdruck verleihen. Das zur Annotation des Korpus angelegte Analyse-Tag Set enthält deskriptive Kriterien, die einerseits den außerlinguistischen Rahmen in Form der sozialwissenschaftlichen Stereotypenforschung legen, andererseits die Ebene der sprachlichen Repräsentation berücksichtigen:

- Die *außerlinguistischen Einheiten* umfassen neben theoretischen Ansätzen aus der Stereotypenforschung auch empirische Befunde aus aktuellen sozialwissenschaftlichen Studien. So wird u. a. auf Befunde aus dem durch das BMBF geförderten SI.DE-Projekt von Prof. Dr. Rupprecht Baur von der Universität Duisburg-Essen angeknüpft.
- Aus *sprachwissenschaftlicher Perspektive* steht die Deskription und Reflexion sprachlicher Einheiten im Fokus, die als Repräsentanten der erhobenen Stereotype fungieren, wie z. B. der Erzeugung bzw. Manifestation eines Konflikts zwischen Eigen- und Fremdgruppe, der Darstellung und Beschreibung des Gegenübers, der Wertung und Bewertung der jeweiligen Gruppen, der Abwägung zwischen verfestigten Stereotypen und Einzelurteilen u. v. a. m. Aus pragmatischer Perspektive erfüllen diese sprachlichen Repräsentanten neben ihrer repräsentierenden Funktion auch eine implizit argumentierende und in der Folge auch eine handlungsleitende (deontische) Funktion. Zu deren Identifikation sollen Methoden der von Jochen Bär explizierten hermeneutischen Linguistik auf ein Textkorpus angewendet, kritisch reflektiert und am konkreten Korpus weiterentwickelt werden.

Aus der Interaktion beider Ebenen lassen sich Schlüsse auf Einstellungsmuster und – daraus resultierend – Handlungsintentionen ziehen, die die Interaktion mit

tel- und südosteuropäischer Gesellschaften prägen, teilweise behindern und denen in Hinblick auf die europäische Integration und ihrer politischen und kulturellen Instrumentarien Rechnung getragen werden muss.

Erste Ergebnisse der Projektvorstudie

Allen untersuchten Werken der Populärkultur ist gemein, dass sie exotistischen Bedürfnissen der Diskursgemeinschaft, der sie entstammen, Rechnung tragen und auf die ein oder andere Weise in und mit der faszinierenden Welt des Anderen spielen. Im Vordergrund steht dabei die Oszillation zwischen dem Exotismus, d.h. der Faszination durch Fremdheit einerseits, und dem Argwohn (im Sinne Zygmunt Baumans) andererseits, der sich durch das Empfinden von nicht integrierbarer Alienität leiten lässt und weitgehend geprägt von Vorurteilen ist.

Überwiegt bei den Operettenhandlungen eine zwar exotische, doch zumindest partiell in das gesellschaftliche Wertesystem der mitteleuropäischen Rezipienten integrierbare Alienität der Balkanregion, fallen die bewertenden Beschreibungen Karl Mays deutlich ungünstiger und – aus heutiger Perspektive – befremdlicher aus. In seinen Orient-Romanen sind die dort dargestellten Qualitäten an negativer Bewertung kaum zu unterbieten. In diesem Teil des Textkorpus zeigt sich bereits in diesem frühen Stadium der Studie, dass das von May gezeichnete Bild der Balkanregion und seinen Bewohnern als dem „Fremden“ Eigenschaften zuschreibt, die mit negativ evaluierenden Einstellungen verbunden werden. Exemplarisch seien für die Klassifikation der im Korpus aufgefundenen Diskurselemente etwa *In den Schluchten des Balkan* folgende Kategorien benannt: Unzuverlässigkeit, Gier, Ungepflegtheit, Faulheit, Schlamperei, Mangel an – aus nordwest- und mitteleuropäischer Sicht – kultivierten Bräuchen, (latente) Gewaltbereitschaft und Grobheit, Missachtung von Frauen, nach nordwest- und mitteleuropäischen Begriffen fragwürdiger Ehrbegriff und Handlungen zur Wiederherstellung von Ehre, zudem Korruption, Willkür, Machtmissbrauch, schlechte Infrastruktur sowie ausufernde Kriminalität (und in deren Folge Aufkommen von Verschwörungen und Unabhängigkeitsbewegungen). Entsprechende abwertende Einstellungsmuster der mitteleuropäischen Eigen- gegenüber der südosteuropäischen Fremdgruppe ziehen sich wie ein roter Faden durch das Werk Karl Mays. Diesen massiv negativen Evaluationen stehen in dessen Orientzyklus nur wenige positive Qualitäten gegenüber. Sie reduzieren sich zumeist auf Sachverhalte des Brauchtums und der Folklore, die Fantasie („Fabulierkunst“) der Balkanbewohner und deren Vielsprachigkeit.

Fazit

Die Darstellung der sog. Balkanregion und ihrer Bewohner durch nordwest- und mitteleuropäische Autoren führt zu einer fremdzugeschriebenen Identität, die in erster Linie geprägt ist durch die Bewertung des Diskursgegenstandes aus Perspektive der Rezipientengesellschaft als Diskursgemeinschaft. Im Vordergrund steht bei den Werken des Textkorpus die Unterhaltung, doch trägt das ludische Element immer den problematischen Aspekt der Meinungsbildung sowie der Konstruktion von Identität auf der wackeligen Basis von vereinfachenden Annahmen und daraus resultierenden Stereotypen und Vorurteilen gegenüber dem fremden Anderen im Gepäck. In der Summe scheinen Abgrenzungsstrategien zu überwiegen, die als Stabilisierung der Eigengruppenidentität durch Abwertung der skizzierten Fremdgruppe fungieren. Nicht von der Hand zu weisen ist zudem die Vermutung, dass sich durch die hohe Rezeptionsrate der Populärliteratur die dort artikulierten Auffassungen über das südosteuropäische „Andere“ ins kollektive Gedächtnis der deutschsprachigen Diskursgemeinschaft eingeschrieben und verfestigt hat und bis heute das Bild weiter Teile der Bevölkerung prägen. Die im populären Diskurs simplifizierten und beständig reproduzierten Extrakte der in ihm verwendeten Berichte und Quellen haben sich im Laufe der Zeit zu Stereotypen verfestigt, die – eingebettet in das theoretische Paradigma sozialer Stereotypen – ein geradezu stigmatisierendes Ausmaß angenommen haben und im Zuge des europäischen Integrationsprozesses dringender Korrekturen bedürfen.

Literatur

T. Adorno & M. Horkheimer *Gesammelte Schriften*, Bd. 10.1, WBG, Darmstadt, pp. 337-345.

Z. Baumann, *Vereint in Verschiedenheit*. In: J. Bergold, E. Menasse, K. Ottomeyer (Hrsg.): *Trennlinien*. 2000, Drava, Klagenfurt, pp. 35-46.

B. Jezernik, *Europa selvaggia. I Balcani nello sguardo dei viaggiatori occidentali*, 2010, EDT, Torino.

J.-P. Leyens et al., *Emotional prejudice, essentialism, and nationalism. The 2002 Tajfel Lecture*. In: *European Journal of Social Psychology* 33/2003, pp. 703-717.

B. Menzel, *Was ist populäre Literatur? Westliche Konzeptionen von „hoher“ und „niederer“ Literatur im sowjetischen und postsowjetischen kulturellen Kontext*, 2000, dt. Version: http://www.fbo6.uni-mainz.de/russisch/Dateien/poplit_nlo.pdf.

H. Tajfel, *Social identity and intergroup behaviour*. In: *Social Science Information* 13, 1974, pp. 65-93.

H. Tajfel & J. Turner, *An Integrative Theory of Intergroup Conflict*. In: W. G. Austin & S. Worchel (Hrsg.), *The Social Psychology of Intergroup Relations*, 1979, Monterey, pp. 33-47.

M. Todorova, *Die Erfindung des Balkans: Europas bequemes Vorurteil*, 1999, Primus Verlag, Darmstadt.

Autoren

Prof. Dr. Michael Tewes

Professor und Dekan an der Fakultät für Informationsmanagement und Medien der Hochschule Karlsruhe

Dr. Alexa Mathias

Wissenschaftliche Mitarbeiterin an der Philosophischen Fakultät der Leibniz Universität Hannover

Kontakt

Prof. Dr. Michael Tewes

Hochschule Karlsruhe – Technik und Wirtschaft
Fakultät für Informationsmanagement und Medien
Moltkestr. 30

76133 Karlsruhe

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

Telefon: 0721 925-1313



Finden Sie uns auf Facebook
www.facebook.com/vmkverlag



Interkulturelle Organisationsentwicklung von Sportvereinen: Zwischen Offenheit und Assimilationsforderung

Andrea Cnyrim und Roman Lietz

Sportvereinen wird ein starkes integrationsförderndes Potenzial zugesprochen. Doch nutzen die Vereine es auch in der Praxis? Wie ist der Stand in Zeiten der „Causa Özil“? Wie sieht es im organisierten Sport insgesamt aus? Welche integrativen Maßnahmen funktionieren gut, und was können Vereine tun, um sich unterschweligen Hemmnissen anzunehmen? Mit diesen Fragen beschäftigt sich das vom Bundesministerium des Innern, für Bau und Heimat (BMI) geförderte Drittmittelprojekt SPIEL MIT! Nachfolgender Beitrag stellt erste Ergebnisse vor.

Recent research results show that sports clubs have a high capacity to promote social integration. Are they putting this potential into practice? What is the situation today, as the German Soccer Association is confronted with the topic of racism? How are sports organisations responding? What integration measures are effective and what can be done to deal with subliminal barriers? SPIEL MIT! is a research project funded by the German Federal Ministry of the Interior which is engaged with these questions. First results are presented below.

Ausgangslage

Knapp ein Drittel der Menschen in Deutschland treibt Sport in einem Verein (Daumann et al. 2015: 11). Auch von zugewanderten Menschen wird keine andere Freizeitbeschäftigung intensiver genutzt (Braun/Nobis 2011: 12 f). Häufig geht es dabei nicht einzig um die Bewegung oder den Spaß an einer Sportart, sondern auch um den Aufbau sozialer Beziehungen, das Kennenlernen von kulturellen Gepflogenheiten und die Identifikation mit dem Umfeld. Aus diesem Grund wird dem Sport schon lange ein starkes integrationsförderndes Potenzial zugeschrieben (Heckmann 1985: 24-30; Mutz/Burmann 2015: 269-271).

Teilhabe durch Sport ist jedoch kein Selbstläufer und stellt Sportvereine vor Herausforderungen, die mit denen von Unternehmen im Change-Prozess vergleichbar sind. Dies zeigen verschiedene Diskussionen in den Medien immer wieder, etwa um einzelne mehr oder weniger integrationsfördernde Sportarten (wie Cricket im Vergleich zu Handball) oder auch um die Positionierung des Deutschen Fußballbundes angesichts der Rassismuserfahrungen von Mesut Özil. Zentrales Erkenntnisinteresse des hier vorgestellten Forschungsprojekts ist es daher zu überprüfen, ob und inwiefern es dem organisierten Sport in Thüringen in der Praxis gelingt, das integrationsfördernde Potenzial des Sports zu nutzen, Gelingensbedingungen dafür zu ermitteln, Hemmnisse zu erkennen und Vorschläge für gute Praxis zu erarbeiten.

Auf dem Weg zur interkulturellen Vereinsentwicklung werden Sportvereine in Thüringen seit 2016 im Projekt SPIEL MIT! von der AWO Jena-Weimar, dem Lan-

dessportbund Thüringen sowie der Hochschule Karlsruhe und der Karlshochschule begleitet. Gefördert wird das Projekt im Rahmen des BMI-Programms „Zusammenhalt durch Teilhabe“. Seitens der Hochschule Karlsruhe wird das Projekt von Prof. Dr. Andrea Cnyrim gemeinsam mit Dr. Roman Lietz (Fakultät für Wirtschaftswissenschaften) betreut. Den Student*innen Serdar Gökdoğan, Lucia Hörner, Katharina Krächan, Charlene Nowak, Melanie Pietschmann und Alicia Willmann wurde in diesem Rahmen die Möglichkeit zu Seminar- bzw. Abschlussarbeiten geboten.

Methode

Das Projekt setzte zunächst zwei Untersuchungen um: zum einen die „Status-Quo-Erhebung“ über den Stand der Interkulturellen Öffnung in Thüringer Sportvereinen, zum anderen die „Vertiefende Bedarfserhebung“ in vier ausgewählten Modellvereinen.

1) Status-Quo-Erhebung

Die Status-Quo-Erhebung (Faust et al. 2017) wurde im Frühjahr 2017 mit einer quantitativen Vollerhebung über alle 3 424 Thüringer Sportvereine durchgeführt. 3 134 E-Mail-Adressen der Vereine wurden ermittelt und diese zur Teilnahme an einem Online-Fragebogen eingeladen. Hieraus resultierten 307 auswertbare Antworten.

2) Vertiefende Bedarfserhebung

Zur vertiefenden Bedarfserhebung wählte das Forschungsteam die bisher im Wissenschaftsdiskurs vergleichsweise selten zum Einsatz kommende Fallstudienmethode (Borchardt / Göthlich 2009; Yin 2009). Jeder Modellverein bildet dabei einen Fall, der durch

die Kombination verschiedener qualitativer bzw. quantitativer Datenerhebungen generiert wird (vgl. Yin 2009: 97). Die hier vorliegende Fallstudienanalyse verwendet je Verein (= Fall) sechs verschiedene Datenquellen:



Abb 1: Datenquellen im Rahmen der Fallstudienmethode

Die „Selbstdarstellung“ der Vereine lehnt sich in einem qualitativen Verfahren an das Konzept der narrativen Identität (Lucius-Höhne / Deppermann 2002) an. In der „Ressourcenanalyse“ (in Anlehnung an Hofer / Schendel 1978 bzw. in Anlehnung an die „Umweltanalyse“ nach Schreyögg / Koch 2015: 80-101) wurden gemeinsam mit Vereinsvertretern Leitfragen zu den fünf Ressourcen „Organisationsstruktur“, „Mitglieder“, „Finanzen und Ausstattung“, „Umfeld“ und „Kommunikation“ bearbeitet. Um weiteren Bedarf an Unterstützung bei der Formulierung einer Strategie zur Interkulturellen Öffnung festzustellen, wurde mit Vereinsvertretern eine leitfadengestützte „Gruppendiskussion“ (vgl. Flick 2016: 248-267) umgesetzt.

Zur Feststellung der Einstellungen von Vereinsmitgliedern gegenüber Veränderung und Vielfalt wurden alle ca. 5000 Mitglieder der Modellvereine zur Beantwortung eines 20 Items umfassenden Fragebogens eingeladen. Um auch Rückmeldungen von Sportler*innen zu erhalten, die des Deutschen nicht ausreichend mächtig sind, wurde der Fragebogen zusätzlich in den Sprachen Arabisch und Dari zur Verfügung gestellt. Die Auswahl gerade dieser beiden Sprachen wurde in enger Abstimmung mit den Schwerpunkt-Vereinen getroffen und folgte ihrem Bedarf. Es gab 267 auswertbare Antworten. Der in Anlehnung an Zick et al. 2011 entwickelte Fragebogen erfasst das Vorhandensein von Einstellungsmustern aus vier Bereichen, die für die interkulturelle Vereinsentwicklung von besonderer Bedeutung sind: „Konservatismus / Traditionalismus“, „Fremdenfeindlichkeit“, „Assimilationsforderung“ und „Kulturalismus (Rassismus)“.

Wesentliches Element der Fallstudienanalyse ist die Einbeziehung der Perspektive von Migrant*innen im „Umfeld“ der Vereine. Diese ermöglicht es, das Image der Vereine festzustellen sowie Bedürfnisse und Erwartungen an die Organisationen zu ermitteln. Erfasst wurde eine Stichprobe von 126 Migrant*innen (insbesondere Flüchtlingen). Diese wird im weiteren Verlauf des Projekts noch um qualitative Interviews ergänzt.

Mittels der „Dokumentenanalyse“ (Webseite, Soziale Medien) wurde eine zusätzliche Datenquelle zugänglich gemacht, die Aufschluss über implizite und explizite Diskurse innerhalb der Öffentlichkeitsarbeit der Vereine gibt (Lietz et al. 2018).

Ergebnisse

Eine wichtige Feststellung der Status-Quo-Erhebung ist, dass Personen mit Migrationshintergrund unter den Trainer*innen, Abteilungsleiter*innen und in den Vorständen deutlich unterrepräsentiert sind. Die Vereine selbst halten sich zumeist für offen für kulturelle Vielfalt. Rund die Hälfte der Vereine hat in den letzten fünf Jahren mindestens eine integrative Maßnahme umgesetzt. Etwa ein Drittel der Sportvereine sagt aus, dass Integration eine wichtige Aufgabe ihres Vereins sei.

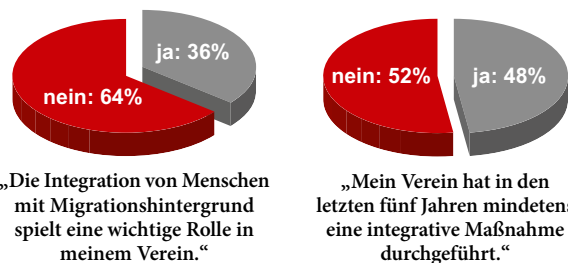


Abb. 2: Ergebnis aus der Status-Quo-Analyse

Besonders erfolgreich waren dabei Vereine, die eine*n Integrationsbeauftragte*n benannt haben und / oder Menschen mit Migrationshintergrund für die Ausführungsebene oder den Vorstand qualifiziert haben. Solche Vereine haben zumeist außerdem noch weitere Maßnahmen umgesetzt.

Doch es gibt auch Hindernisse, die vielen Vereinen meist nicht bewusst sind. Die Befragung der Mitglieder zu ihrer Einstellung gegenüber Vielfalt und Veränderung ergab, dass 62 % sich wünschen, dass ihr Verein so bleibt, wie er ist. Was einerseits ein Kompliment für den Verein und Anzeichen einer großen Loyalität ist, deutet auch auf Traditionalismus hin, der ein Hemmnis für Veränderungsprozesse sein kann.

„Ich wünsche mir, dass mein Verein so bleibt wie er ist.“

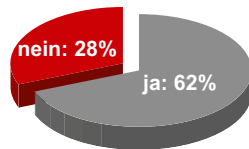


Abb. 3: Ergebnis aus der Mitgliederbefragung

Die Mehrheit spricht sich zwar für die Integration von Neumitgliedern aus, auch von jenen mit Migrationshintergrund. Dennoch gibt es in den Vereinen eine nennenswerte Minderheit, die sich kritisch gegenüber Veränderung und der Integration von Migrant*innen äußert und neuen Mitgliedern weniger Rechte zugesteht bzw. von diesen eine Anpassung bis hin zur Assimilation fordert:

„Mein Verein sollte aktiv auf neue Mitglieder zugehen.“

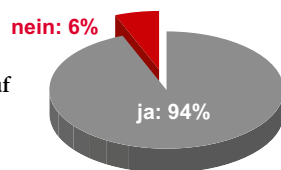


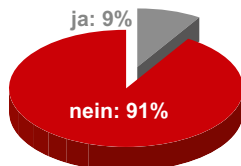
Abb. 4: Ergebnis aus der Mitgliederbefragung

Weitere Ergebnisse der Befragungen:

„Vereinsmitglieder mit Migrationshintergrund sind eine Belastung für unseren Verein.“



„Neumitglieder im Verein sollten weniger Spielanteile haben.“



Zustimmung zu ausgewählten Aussagen (in %)

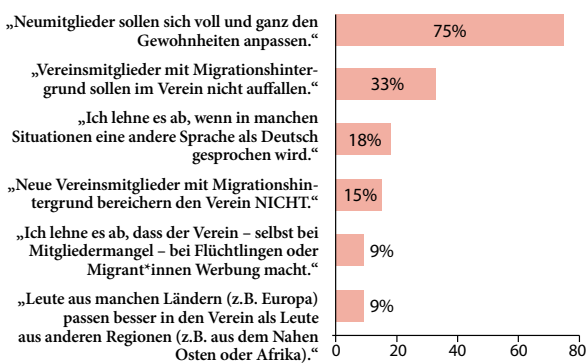


Abb. 5: Ergebnis aus der Mitgliederbefragung

Insbesondere fällt auf, dass Männer stärker als Frauen dazu neigen, sich traditionalistisch und fremdenfeindlich zu äußern, und sie nutzen häufiger stereotype Sichtweisen auf Migrant*innen. Assimilationsfordern-

de Einstellungen sind bei Männern und Frauen gleichermaßen vertreten.

Zustimmung zu ausgewählten Aussagen

Frauen – Männer

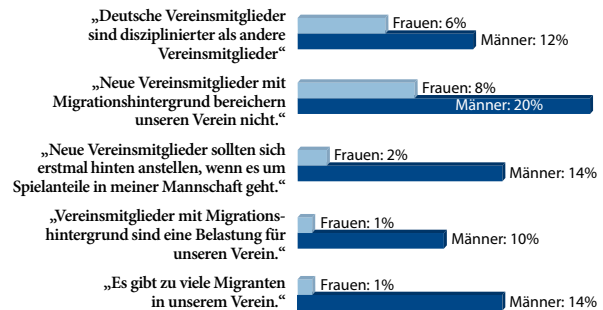


Abb. 6: Ergebnis aus der Mitgliederbefragung

Praxis-Transfer

Als Forschungsprojekt mit starkem Anwendungsbezug sind der Transfer und die Umsetzung der Forschungsergebnisse in der Praxis ein wesentlicher Bestandteil. Hier arbeitet die Hochschule Karlsruhe eng mit ihren Kooperationspartnern zusammen. Als Projektergebnis hat sich zum einen innerhalb des Landessportbundes Thüringen erstmalig eine Arbeitsgruppe gegründet, die sich mit dem Thema interkulturelle Verbandsentwicklung beschäftigt. Zum anderen wurden in den letzten 12 Monaten Engagierte aus den vier Modellvereinen zu so genannten Integrationsbotschaftern qualifiziert. Diese werden auch weiterhin dabei unterstützt, innerhalb ihrer Vereine die notwendigen Maßnahmen zu ergreifen, um ihre Vereine zeitgemäß auf interkulturelle Veränderungsprozesse vorzubereiten und erste Umsetzungs-ideen anzuregen. Diese Vereine dienen als Modell und laden zur Nachahmung durch weitere Sportvereine ein. So hat ein Verein beispielsweise ein Leitbild sowie eine Diversity-Checkliste entwickelt. Ein anderer Verein hat seine Strategie zur Einbindung von jugendlichen Sportler*innen und deren Eltern aus Afghanistan neu justiert, indem die Eltern aktiver zur Mitwirkung eingeladen wurden und die Kultur der Jugendlichen stärker beim Saisonabschlussfest einbezogen wurde. Ein dritter Verein wurde durch das Projekt auf strukturelle Zugangsbarrieren hingewiesen und wird diese mit Hilfe eines Kindersportstipendiums minimieren. Zudem wurden alle Vereine hinsichtlich der Kultursensibilität ihrer Öffentlichkeitsarbeit beraten sowie hinsichtlich ihres Angebotsportfolios, insbesondere für die Zielgruppe der Personen mit Migrationshintergrund.

Fazit

Es hat sich bestätigt, dass die interkulturelle Vereinsentwicklung - wie jeder andere Veränderungsprozess - kein Selbstläufer ist. Gerade Sportvereine sind von

demografischen Entwicklungen in hohem Maße betroffen und müssen Antworten finden, um sich auch für die Zukunft gut aufzustellen, aber auch, um gesellschaftlichen Diskursen begegnen zu können. Sie sollen ihre Stärken und Schwächen identifizieren, sich als Organisation ein (interkulturelles) Mission Statement geben, ihre Kommunikationswege und -strategien zeitgemäß und kultursensibel gestalten, attraktive Angebote für ihre Kunden entwickeln, Barrieren in der eigenen Organisations- und Mitgliederstruktur erkennen und diese abbauen sowie die Ablehnung von Veränderung seitens mancher Mitglieder moderieren. Besonders Sportvereine, die stark von ehrenamtlichem Engagement abhängen und über geringe Ressourcen verfügen, können hierbei enorm von der professionellen Unterstützung profitieren, wie sie beispielsweise durch das interdisziplinäre SPIEL-MIT-Projektteam geboten wird. Die Projektberichte und Produkte (wie zum Beispiel ein im Frühjahr 2019 erscheinender Leitfaden für die kultursensible Öffentlichkeitsarbeit von Sportvereinen) werden an die Schwerpunktvereine, den Landessportbund Thüringen und das Projekt ‚Integration durch Sport‘ weitergegeben und außerdem auf der Projekthomepage frei verfügbar veröffentlicht.

Literatur

- Borhardt, A. / Göthlich, S. (2009): Erkenntnisgewinnung durch Fallstudien. In: Albers, S. / Klapper, D. / Konradt, U. / Walter, A. / Wolf, J. (Hrsg.): *Methodik der empirischen Forschung*. Wiesbaden: Springer, S. 33-48.
- Braun, S. / Nobis, T. (2011): Migration, Integration und Sport – Perspektiven auf zivilgesellschaftliche Kontexte vor Ort. In: Braun, S. / Nobis, T. (Hrsg.) (2011): *Migration, Integration und Sport – Zivilgesellschaft vor Ort*. Wiesbaden: Verlag für Sozialwissenschaften, S. 9 -29.
- Daumann, F. / Esipovich, L. / Römmelt, B. / Heinze, R. (2015): Wie sportlich aktiv sind Migranten in Deutschland? *Jenaer Sportmanagement Survey* No. 5.
- Faust, H./Cnyrim, A./ Lietz, R./Montiel, F.J. (2017): *Interkulturelle Öffnung in Thüringer Sportvereinen - Status Quo Analyse und Empfehlungen für Beratung und Training*. Karlsruhe: Karlshochschule / Hochschule Karlsruhe.
- Flick, U. (2016): *Qualitative Sozialforschung. Eine Einführung*. Reinbeck b. Hamburg: Rowohlt.
- Lucius-Hoene, G. / Deppermann, A. (2002): *Rekonstruktion narrativer Identität – Ein Arbeitsbuch zur Analyse narrativer Interviews*. Opladen: Leske + Budrich.

- Heckmann, F. (1985): „Sport und die gesellschaftliche Integration von Minderheiten“, in: Bammel, H. / Becker, H. (Hrsg.) (1985): *Sport und ausländische Mitbürger*. Bonn, Friedrich-Ebert-Stiftung, S. 21-33.
- Hofer, Charles / Schendel, Dan (1978): *Strategy Formulation. Analytical Concepts*. St. Paul: West Publishing.
- Lietz, R. / Pietschmann, M. / Faust, H. / Cnyrim, A. / Montiel, F.J. (2018): *Kultursensible Öffentlichkeitsarbeit von Sportvereinen*. Karlsruhe: Hochschule Karlsruhe.
- Mutz, M. / Burrmann, U. (2015). *Integration*. In: Schmidt, W. / Neuber, N. / Rauschenbach, T. / Brandl-Bredenbeck, H. / Süßenbach, J. / Breuer, C. (Hrsg.): *Dritter Deutscher Kinder- und Jugendsportbericht. Kinder- und Jugendsport im Umbruch*. Schorndorf: Hofmann, S. 255-271.
- Schreyögg, G. / Koch, J. (2015): *Grundlagen des Managements*. Wiesbaden: Springer.
- Yin, R. (2009): *Case Study Research – Design and Methods*. Thousand Oaks: SAGE.
- Zick, A. / Küpper, B. / Hövermann, A. (2011): *Die Abwertung der anderen*. Berlin: FES.

Autoren

Prof. Dr. Andrea Cnyrim

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

Dr. Roman Lietz

Akademischer Mitarbeiter an der Fakultät für Wirtschaftswissenschaften der Hochschule Karlsruhe

Kontakt

Prof. Dr. phil. Andrea Cnyrim

Hochschule Karlsruhe – Technik und Wirtschaft
Fakultät für Wirtschaftswissenschaften

Moltkestraße 30

76133 Karlsruhe

E-Mail: andrea.cnyrim@hs-karlsruhe.de

Hybrides Lernen verbindet Wissen und Können

Katharina L. Schmidt, Selay Selter, Jan Schröder und Carsten H. Hahn

Über theoretisches Wissen zu verfügen ist nicht gleichbedeutend damit, dieses Wissen auch anwenden zu können. Dafür bedarf es neben der Kenntnis der expliziten wissenschaftlichen Theorie auch des impliziten praktischen Wissens, also dem Verständnis der Wirkungszusammenhänge, das nur bei der Anwendung erlangt werden kann. Vom Wissen zum Können gelangt, wer sowohl Theorie als auch Praxis beherrscht und beides in Bezug setzen kann. Hybrides Lernen ist ein Lehr- und Lernkonzept, durch das diese Fähigkeit mit Hilfe digitaler Lernplattformen erworben wird.

Having theoretical expertise in a subject is not the same as being able to apply this knowledge in practice. To achieve the latter, implicit practical knowledge, attainable only through practical application, is required in addition to explicit scientific theory. To move from knowledge to proficiency, one must be able to master both and reflect on the way they interact with one another. Hybrid Learning, with the help of digital learning platforms, is an education and learning concept which supports the acquisition of this ability.

Problemstellung

Das Millennium Projekt, ein internationaler Think Tank, fordert einen radikalen Wandel des Bildungswesens. Begründet ist diese Forderung darin, dass sich Art und Inhalt der Arbeit schneller verändern als in der Vergangenheit und dies auch weiterhin tun werden. Infolge dieser Entwicklung werden laut einer Studie der Bertelsmann Stiftung die hierarchische Managementkultur verschwinden, flexible und ortsunabhängige Arbeitsformen ermöglicht, eine Kultur der Kooperation und selbst gesteuerter Zusammenarbeit gefördert und neue Formen des selbstbestimmten Lernens an Relevanz gewinnen. Diese neuen Formen der Arbeit erfordern völlig neue Fähigkeiten und Fertigkeiten, die in den meisten der derzeitigen Studiengänge und Lernprogramme nicht gelehrt werden. Als Kernkompetenzen werden neben kritischem Denken und dem Umgang mit Technologie und Daten, weiterhin die Fähigkeit selbstständig zu arbeiten und ein „Entrepreneurial Skillset“ genannt. (Daheim und Wintermann 2016. 15 ff.). Da sich diese Kompetenzen, von denen in der Vergangenheit unterscheiden, müssen auch die Lehr- und Lernkonzepte einen Wandel vollziehen.

Hinter dem Begriff des Lernens steht ein komplizierter Prozess, der auf Wahrnehmung und Gedächtnis basiert und zur Entstehung von neuem Wissen führt (Franken 2010. S. 59). Es gibt unterschiedliche Arten des Lernens und Erinnerns, die in verschiedenen Gehirnarealen verarbeitet werden. Erkenntnisse der Neurowissenschaften zeigen, dass Lernen sowohl explizit als auch implizit erfolgt. Das bedeutet, in manchen Fällen wird der Vorgang des Lernens bewusst wahrgenommen, während in anderen Fällen gelernt wird, ohne dass sich der Lernende darüber aktiv im

Klaren ist. (Blakemore und Frith 2006. S. 197). Explizites Wissen stellt kodifiziertes Wissen dar, das sich beispielsweise in Form von Sprache leicht ausdrücken lässt. Es ist leicht in Worte zu fassen, speicherbar und kann einfach weitergegeben werden. (Nonaka 1994. S. 16). Implizites Wissen hingegen beruht auf Intuition und Erfahrung, ist an Personen gebunden, nur schwer zu formalisieren und deshalb nicht einfach an andere weiterzugeben. (Nonaka 1991. S. 98).

Als Lernen kann sowohl das Ergebnis, als auch der Prozess des Lernens bezeichnet werden. Beim Lernergebnis kann man von einer Ansammlung von Wissen, Qualifikationen und Fertigkeiten sprechen. Der Lernprozess hingegen bezeichnet die Tätigkeit des Erwerbs unabhängig von der Methode. Dieser kann gut oder schlecht ausgeführt werden. (Argyris und Schön 2008. S. 19).

Je nach Lerntyp lernen Menschen am besten bei Verknüpfung von akustischen, visuellen, taktilen (den Tastsinn betreffenden) und emotionalen Reizen. Beim Lernen werden beide Hirnhälften angesprochen, die logisch-analytische, wie auch die emotional-räumliche. Förderlich sind dabei positive Emotionen und Motivation, wohingegen negative Gefühle wie Unlust, Sorge oder Stress den Lernerfolg mindern. Laut Franken (2010) braucht die optimale Lernsituation einen sinnesfreudigen Lernraum. Im Fall der Vorlesungssituation werden lediglich die Sinne „Hören“ und „Sehen“ angesprochen, was den Lernenden ermöglicht ungefähr die Hälfte der Informationen beizubehalten. Die Rolle der praktischen Erfahrung beim Lernen ist außergewöhnlich groß, da nur das Wissen, das im Zusammenhang mit überzeugenden Handlungsmög-

lichkeiten aufgenommen wird, optimal gespeichert werden kann. Das Lernen durch Handeln ist deshalb besonders effizient und ermöglicht es dem Menschen bis zu 90 Prozent des Erlernten zu behalten. Aber auch wenn er über etwas spricht, lernt der Mensch gut und kann bis zu 70 Prozent der Inhalte behalten. Durch das Fassen von Kenntnissen und Vorstellungen in Wortform werden Zusammenhänge und Definitionen verdeutlicht, die im unbewussten, impliziten Wissen zuvor nicht klar waren. (Franken 2010. 66 f.).

Im Zeitalter von Wikipedia und Google wird das reine Faktenwissen immer unwichtiger, da es in Sekundenbruchteilen im Internet abrufbar ist. Entscheidend ist nicht mehr, was der Mensch weiß, sondern inwieweit er das Wissen anwendet und somit in Können umwandelt (Engelbert und Hagel 2017. S. 106). In der Hochschulpraxis spricht eine große Zahl der Lehrveranstaltungen nach wie vor in erster Linie das Hören und Sehen der Lernenden an, wohingegen das Handeln und das Sprechen eher eine untergeordnete Rolle spielen. Die Eignung dieser Form der Wissensvermittlung zum Erlernen der genannten Kernkompetenzen, wie kritischem Denken oder selbstständigem Arbeiten, muss jedoch in Frage gestellt werden.

Als Hauptproblem der fehlenden Umwandlung von Wissen in Können wird die Aneignung von explizitem anstelle von implizitem Wissen verantwortlich gemacht (Schreyögg und Geiger 2016. S. 15, Neuweg 2004. S. 12). Geeignete Lehr- und Lernkonzepte müssen aus diesem Grund die Umwandlung von Wissen in Können integrieren und für den Erwerb der oben genannten Kompetenzen geeignet sein.

Konzeptbeschreibung

Einen möglichen Lösungsansatz stellt das Lehr- und Lernkonzept „Hybrides Lernen“ dar. Hinter dieser Be-

zeichnung steht das Prinzip der Umwandlung von Wissen in Können. Das Konzept wurde mit Hilfe eines gestaltungsorientierten Forschungsansatzes entwickelt und in ausgewählten Lehrveranstaltungen pilotiert. Diese Veranstaltungen fokussierten insbesondere das Entrepreneurial Skillset der Studierenden.

Die Basis hierfür bildet die Methode „Action Learning“, die in den vierziger Jahren vom britischen Physiker und Professor Reginald Revans vorgestellt wurde (Marquardt 1998. S. 113). Nach Revans geschieht Lernen durch Hinterfragen, Ausprobieren und Reflexion (Trehan und Rigg 2014. S. 792). Beim Action Learning arbeitet eine kleine Gruppe von Menschen an einem realen und relevanten Problem oder Projekt. Gleichzeitig werden Ansichten hinterfragt und der Lernprozess reflektiert. (Marquardt 2004. S. 2). Action Learning basiert folglich auf einem iterativen Prozess aus Handlung und Reflexion der eigenen Erfahrung (Beatty und McGill 2001. S. 11). Die Praxisorientierung und die bei der Bearbeitung der realen Problemstellung gemachten Erfahrungen, in Verbindung mit der Reflexion des Gelernten können dazu beitragen, explizites in implizites Wissen umzuwandeln und damit die Lücke zwischen Wissen und Können zu schließen (Kelliher 2014. S. 1277), (Nonaka 1994. S. 20). Die Besonderheit aus Hinterfragung, Reflexion und Experimentieren, die sowohl persönliches, als auch organisationales Lernen ermöglicht, zeigt den Unterschied zu einfachem „Learning by Doing“ auf (Trehan und Rigg 2014. S. 792).

Beim Hybriden Lernen werden neben dem Action Learning auch die Potenziale neuer Technologien genutzt. Mit dem Aufkommen digitaler Medien eröffnen sich viele neue Lernmöglichkeiten. Die Nutzung dieser Potenziale ist ein wichtiger Teil des Konzeptes Hybrides Lernen.

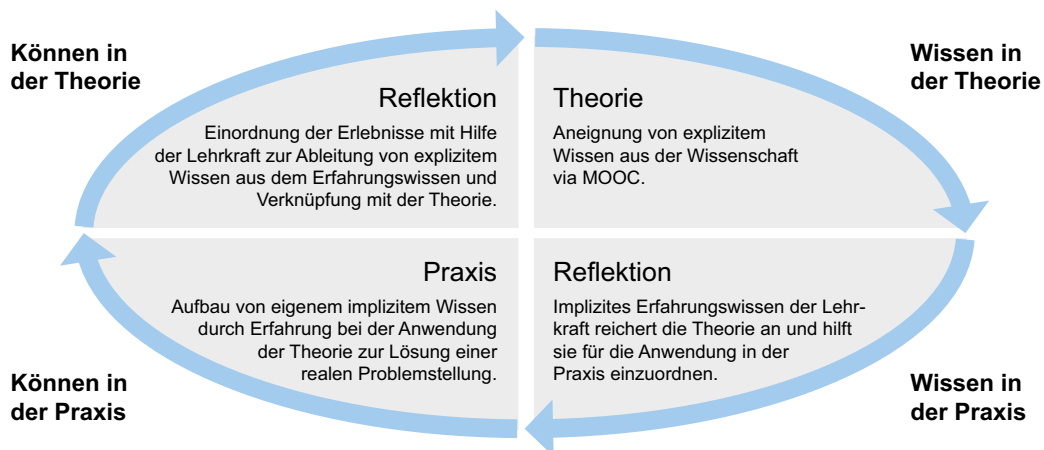


Abb. 1: Der Lernprozess des Hybriden Lernens

Kurse, die sich des Lehr- und Lernkonzepts Hybrides Lernen bedienen, beinhalten die mit einander in Bezug stehenden und aufeinander aufbauenden Lernelemente Theorie, Praxis und Reflektion. Abbildung 1 veranschaulicht dabei, wie dieser modulare Aufbau den Weg vom Wissen zum Können ermöglicht. Startpunkt des Prozesses können dabei sowohl die Theorie, als auch die Praxis sein.

Anders als bei konventionellen Ansätzen werden Teile der Theorie bzw. das explizite Wissen nicht durch „Vorlesen“ im Hörsaal vermittelt, sondern von den Lernenden durch sogenannte Massive Open Online Courses (MOOCs) erworben. Hierbei werden die Inhalte durch aufgezeichnetes Videomaterial bereitgestellt, deren Vermittlung sich an die individuellen Bedürfnisse der Lernenden anpassen lässt (z.B. Abspielgeschwindigkeit, nahtlose Durchgängigkeit bzgl. der Endgeräte und Abrufzeiten, Verschriftlichung). Dieses explizite theoretische Wissen wird von den Lernenden nicht durch praktische Erfahrungen erworben, Lernende und Lehrende müssen sich dafür nicht im selben physischen Raum befinden. Stattdessen bedienen sich die Lehrformate dieser digitalen Online-Videokurse, die zuvor von der Lehrkraft ausgewählt oder erstellt wurden. Dies ermöglicht die Ablösung der unmittelbaren statischen Wissensvermittlung durch eine in vieler Hinsicht flexiblere Art des Lernens. Die Inhalte können von den Lernenden zeitlich und örtlich flexibel, jederzeit unterbrochen und beliebig oft abgerufen werden. So passt sich die Wissensvermittlung an die individuellen Lerngeschwindigkeiten an.

Entsprechend der Prinzipien der Action Learning Methode wird im Rahmen der Lehrformate des Hybriden Lernens stets eine echte Problemstellung aus der Praxis bearbeitet. Die in der Theorie erlernten Inhalte werden verinnerlicht, indem sie zur Lösung konkreter unternehmerischer Problemstellungen angewendet

werden. Durch aktive Partizipation und das Anwenden von zuvor in der Theorie vorgestellten Methoden wird das implizite Lernen direkt gefördert.

Sowohl die theoretischen Inhalte als auch die Umsetzung in der Praxis werden bei regelmäßigen Präsenzveranstaltungen reflektiert. Die im Rahmen der MOOCs vermittelten Inhalte werden dabei mit der Lehrkraft diskutiert, eingeordnet und ergänzt. Die Reflexion bildet die Brücke zwischen Theorie und Praxis. Dabei wird auch bestehendes Erfahrungswissen der Lernenden aufgenommen.

Hybrides Lernen beim Einsatz in der Hochschulpraxis
Das Lehr- und Lernkonzept wurde seit dem Sommersemester 2017 in sechs verschiedenen Kursen pilotiert und dabei iterativ weiterentwickelt. Dabei variierten die Dominanz der unterschiedlichen Module, die Kurse und MOOC Plattformen, ihre Dauer und der Grad der Interaktivität. Im Folgenden wird beispielhaft die Veranstaltung „Design Thinking and Business Model Development“ vorgestellt.

Dozent der Videolektionen der Design Thinking Vorlesung war George Kembel, Professor der Stanford University, an der die Methode ursprünglich entwickelt wurde. Die MOOCs wurden den Studierenden auf der Plattform OpenSAP zur Verfügung gestellt. Der Kurs war in mehrere Lektionen eingeteilt, die im Verlauf des Semesters nacheinander freigeschaltet wurden. Sie enthielten sowohl die Videoelemente als auch kurze Tests nach jeder Lektion und Anweisungen für die Vorbereitung auf die nächste Präsenzveranstaltung. Der Ablauf der Veranstaltung ist in Abbildung 2 dargestellt.

Die reale Problemstellung stellte das Karlsruher Kulturzentrum Tollhaus zur Verfügung. Die Reflexion der Theorie und der Praxisinhalte wurde im Rahmen der Präsenzveranstaltungen mit der Lehrkraft sowie in

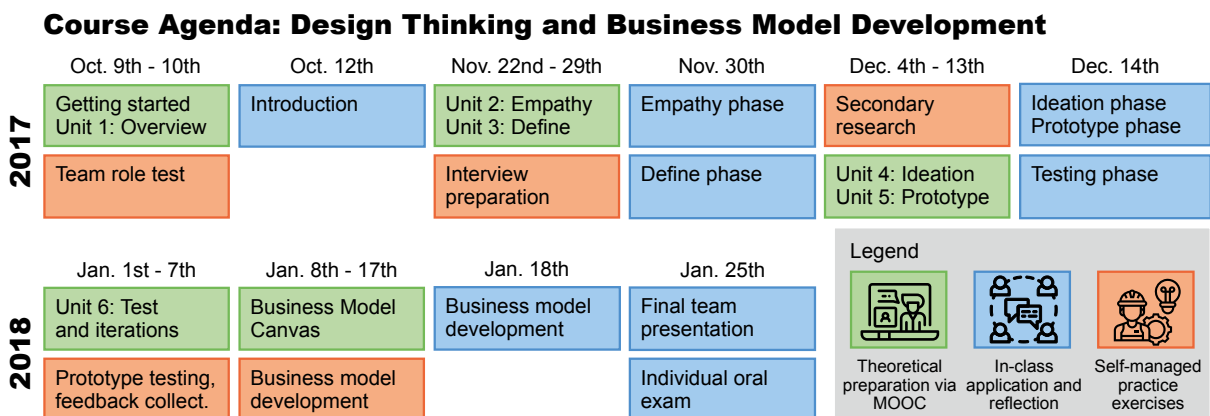


Abb. 2: Beispielhafter Kursablauf beim Hybriden Lernen (Icons von flaticons)

Team- und Einzelarbeit bei der Vor- und Nachbereitung der Inhalte umgesetzt.

Erste Ergebnisse und Diskussion

Die meisten Autoren der Psychologie verstehen Lernen als Veränderung des Verhaltens auf Grund von Übung oder Erfahrung (Lachman 1997, S. 477). An Hochschulen erscheinen sowohl Übung und Erfahrung als auch deren Reflexion in Bezug auf die Lehrinhalte oftmals unterrepräsentiert. Das Lehr- und Lernkonzept Hybrides Lernen versucht hier einen neuen Ansatz zu schaffen, der zudem eine persönlichere Betreuung der Studierenden ermöglicht. Dies wird durch den effektiveren und effizienteren Einsatz der Lehrkräfte ermöglicht, als in klassischen Frontalvorlesungen, wo die repetitive, semesterweise Wiedergabe von Inhalten den größten Teil der Zeit in Anspruch nimmt. Die Verlagerung der Vermittlung des theoretischen Wissens in den virtuellen Raum durch MOOCs befreit die Lehrkraft in Teilen während der Veranstaltung von dieser Aufgabe. Dadurch steht mehr Freiraum für die Befähigung der Studierenden, diese Inhalte zu verstehen und anwenden zu können, zur Verfügung. Durch das Berichten von eigenen Erfahrungen lässt die Lehrkraft die Lernenden am eigenen impliziten Wissen teilhaben. Ihre Rolle verändert sich hin zu einem Begleiter, Diskussionspartner und Mentor.

Die Lehrkraft kann die Qualität der Theorie sichern, indem sie die MOOCs der Wissensträger auswählt, die in ihrem jeweiligen Gebiet führend sind. Dadurch kann sie überdies sehr viel schneller auf neue Forschungsergebnisse reagieren und diese durch weitere MOOCs in die Lehre einbinden.

Die Studierenden lernen durch die Nutzung digitaler Lernplattformen ein Werkzeug kennen, das ihnen erlaubt sich neues Wissen auch nach dem Abschluss des Studiums selbstständig anzueignen. Diese selbstständige Aneignung von Wissen ist eine Schlüsselqualifikation zum Bestehen auf dem künftigen Arbeitsmarkt. Das gilt auch für die eigenverantwortliche Lösung realer Problemstellungen, welche die unternehmerische Realität widerspiegelt. Es hat sich zudem gezeigt, dass die Motivation der Studierenden durch die Bearbeitung der realen Problemstellungen deutlich gesteigert werden konnte.

Ausblick

Zukünftig soll das Konzept Hybrides Lernen auch außerhalb der Lehre im Hochschulbetrieb pilotiert werden. Der rapide technologische Fortschritt, eine steigende Lebenserwartung und eine veränderte Arbeitsweise zählen zu den Treibern neuer Konzepte

für eine Kultur des lebenslangen Lernens. Laut einer 2016 durchgeführten Studie des Instituts für Arbeitsmarkt- und Berufsforschung arbeitete ein Viertel der sozialversicherungspflichtigen Beschäftigten in Berufen, bei denen mindestens 70 Prozent der anfallenden Tätigkeiten von Computern oder computergesteuerten Maschinen erledigt werden könnten (Dengler und Matthes 2018, S. 10). Zudem befinden sich als Folge des demografischen Wandels immer mehr ältere Menschen unter den Arbeitnehmern (Engelbert und Hagel 2017, S. 128). Auch die Art und Weise wie gearbeitet wird befindet sich im Wandel. Langfristige Festanstellungen werden eine immer geringere Rolle spielen. In der Folge wird es auch für Individuen immer wichtiger sich kontinuierlich weiterzuentwickeln (McKinsey Global Institute 2016, S. 8). Gegenstand künftiger Forschung wird die Untersuchung, inwieweit Hybrides Lernen als Konzept geeignet ist, um die Basis für lebenslanges Lernen zu legen.

Einige der Anknüpfungspunkte für weitere Untersuchungen sind folgende Fragen:

- Inwieweit kann Hybrides Lernen genutzt werden, um Mitglieder von Lehrinrichtungen, Unternehmen oder sonstiger Einrichtungen nach dem „Train the Trainer“ Prinzip auszubilden, die das theoretische Wissen, gepaart mit ihren persönlichen Erfahrungen innerhalb ihrer Organisation weiterverbreiten?
- Ist es möglich die Reflexion auch in anderer Form als der Präsenzveranstaltung durchzuführen, z.B. durch Online Communities im virtuellen Raum?
- Lassen sich durch mehr grafische Elemente in den Videolektionen, wie das Einblenden von Beispielen oder auch die Erweiterung um spielerische Elemente durch Virtual Reality und Gamification das Lernerlebnis und damit auch der Erfolg der Lernenden verbessern?
- Inwieweit können bessere Lernergebnisse erzielt werden, wenn z.B. durch Machine Learning das individuelle Lernverhalten und thematische Präferenzen analysiert werden und Kurse sich den individuellen Bedürfnissen und Interessen der Lernenden anpassen?
- Welche Bewertungsansätze können gefunden werden, um zu prüfen, ob die Lernenden sowohl Theorie als auch Praxis beherrschen und beides mit einander in Bezug setzen können?

Literatur

- Argyris, C.; Schön, D. A. (2008). Die lernende Organisation. Stuttgart: Schäffer-Poeschel.
- Beaty, L.; McGill, I. (2001). Action Learning: A Practitioner's Guide. Hoboken: Taylor and Francis.

Blakemore, S.-J.; Frith, U. (2006). *Wie wir lernen. Was die Hirnforschung darüber weiß*. München: Deutsche Verlags-Anstalt.

Daheim, Cornelia; Wintermann, Ole (2016). 2050: The Future of Work. Findings of an International Delphi Study of the Millennium Project. Abgerufen am 20.10.2018. von https://www.bertelsmann-stiftung.de/fileadmin/files/BSt/Publikationen/GrauePublikationen/BST_Delphi_E_o3lay.pdf.

Dengler, Katharina; Matthes, Britta (2018). Substituierbarkeitspotenziale von Berufen. Wenige Berufsbilder halten mit der Digitalisierung Schritt. Abgerufen am 17.03.2018 von <http://doku.iab.de/kurzber/2018/kbo418.pdf>.

Engelbert, Cathy; Hagel, John (2017). *Radically open. Tom Friedman on jobs, learning and the future of work*. Deloitte Review. Jahrgang 21. S. 95–107.

Franken, S. (2010). *Verhaltensorientierte Führung. Handeln, Lernen und Ethik in Unternehmen*. Wiesbaden: Gabler.

Kelliher, Felicity (2014). *Just do it: Action Learning as a Catalyst for Reflective Practice on an Mba Programme*. Procedia - Social and Behavioral Sciences. Jahrgang 141. S. 1275–1280.

Lachman, Sheldon J. (1997). Learning is a process: Toward an improved definition of learning. *The Journal of Psychology*. Jahrgang 131, Heft 5. S. 477–480.

Marquardt, M. J. (2004). *Optimizing the power of action learning: Solving problems and building leaders in real time*. Palo Alto: Davies-Black Publishing.

Marquardt, Michael J. (1998). Using Action Learning with Multicultural Groups. *Performance Improvement Quarterly*. Jahrgang 11, Heft 1. S. 113–128.

McKinsey Global Institute (2016). *Independent work: choice, necessity and the GIG economy*. Abgerufen am 02.12.2017. von <https://www.mckinsey.com/~media/McKinsey/Featured%20Insights/Employment%20and%20Growth/Independent%20work%20Choice%20necessity%20and%20the%20gig%20economy/Independent-Work-Choice-necessity-and-the-gig-economy-Executive-Summary.ashx>.

Neuweg, G. Hans (2004). *Könnerschaft und implizites Wissen: Zur lehr-lerntheoretischen Bedeutung der Erkenntnis- und Wissenstheorie Michael Polanyis*. Münster: Waxmann.

Nonaka, Ikujiro (1991). The Knowledge-Creating Company. *Harvard Business Review*. Jahrgang 69. S. 96–104.

Nonaka, Ikujiro (1994). A dynamic theory of organizational knowledge creation. *Organization Science*. Jahrgang 5, Heft 1. S. 14–37.

Schreyögg, G.; Geiger, D. (2016). *Organisation: Grundlagen moderner Organisationsgestaltung: mit Fallstudien*. Wiesbaden: Springer Gabler.

Trehan, Kiran; Rigg, Clare (2014). Enacting critical learning: Power, politics and emotions at work. *Studies in Higher Education*. Jahrgang 40, Heft 5. S. 791–805.

Icons gestaltet von wanicon, freepik und prettycons auf www.flaticon.com, lizenziert von CC 3.0 BY.

Autoren

Katharina L. Schmidt M.Sc.

Akademische Mitarbeiterin im Forschungsprojekt G-Lab der Hochschule Karlsruhe

Selay Selter M.Sc.

Absolventin des Masterstudiengangs International Management an der Fakultät für Wirtschaftswissenschaften der Hochschule Karlsruhe

Dr. Jan Schröder

Akademischer Mitarbeiter an der Fakultät für Wirtschaftswissenschaften der Hochschule Karlsruhe

Prof. Dr. Carsten H. Hahn

Professor an der Fakultät für Wirtschaftswissenschaften der Hochschule Karlsruhe

Kontakt

Katharina L. Schmidt M.Sc.

Hochschule Karlsruhe – Technik und Wirtschaft
Center of Competence

Forschungsprojekt G-Lab

Moltkestraße 30

76133 Karlsruhe

E-Mail: katharina_luise.schmidt@hs-karlsruhe.de



Die GMT-Gruppe zählt seit über 50 Jahren zu den international führenden Herstellern von Komponenten und Systemen der Schwingungstechnik für Anlagen- und Maschinenbau, Schienenfahrzeuge, Luftfahrt, Baumaschinen und Nutzfahrzeuge. In 15 unterschiedlichen Abteilungen bieten wir über 40 Plätze für Ausbildungen, Studiengänge, Praktika und Abschlussarbeiten an. Profitieren Sie davon – mit besten Aussichten für Ihre Zukunft.

GMT Gummi-Metall-Technik GmbH
Personalabteilung
Liechtersmatten 5
77815 Bühl
Tel +49 7223 804-0
bewerbung@gmt-gmbh.de

Wir suchen (m/w/d)

- **Entwicklungsingenieur**
- **Gruppenleiter Versand**
- **IT Mitarbeiter Support ERP/ Datenbanken**
- **Mitarbeiter Fertigungsplanung**

Berufseinsteiger

Wir bieten viele Einstiegsmöglichkeiten in den Bereichen Entwicklung, Konstruktion, Vertrieb, Einkauf und weiteren Abteilungen.

Entwicklungsingenieure, Produktdesigner, Prüfingenieure, Maschinenbau-techniker, Energieelektroniker, Projekteinkäufer uvm.

Informieren Sie sich über unsere Stellenangebote im Karrierebereich unserer Webpage:

www.gmt-gmbh.de



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

Innovation Coaching für agile Produktentwicklungsprojekte

Manuel Niever, Luca Gort, Markus Stöckner und Carsten H. Hahn

Im Zuge dynamischer Marktentwicklungen, latenten Kundenanforderungen und -bedürfnissen sowie stetig steigenden technologischen Möglichkeiten verkürzen sich die Produktlebenszyklen zunehmend. Unternehmen müssen sich deshalb auf die steigende Komplexität der Entwicklungsprozesse einstellen und gleichzeitig dem erhöhten Erfindungsdruck gerecht werden, was sich insbesondere auf die Teams in der Produktentwicklung auswirkt. Mittels Innovation Coaching werden Organisationen unterstützt, ihr Innovationspotenzial zu nutzen, um in einem sich schnell verändernden und anspruchsvollen Umfeld erfolgreich agieren zu können. Das Forschungsvorhaben zu diesem Themengebiet soll ein Konzept für Innovation Coaching aufzeigen, das Produktentwicklungsteams dazu befähigt, ihre Kompetenzen in einen agilen und strukturierten Innovationsprozess einzubringen.

In the wake of dynamic market developments, latent customer requirements and needs as well as constantly increasing technological possibilities, product life cycles are shortening. This means that the pressure on companies is growing in terms of the complexity of development processes and being inventive especially for product development teams. Innovation coaching helps organizations leverage their innovation potential to succeed in a rapidly changing and challenging environment. This research project illustrates a concept for Innovation Coaching that enables product development teams to introduce their competencies into an agile and structured innovation process.

Motivation und Stand der Forschung

Um den technologischen sowie marktbedingten Unsicherheiten im Unternehmensumfeld zu begegnen und ungenutzte Potenziale aufzudecken, bedarf es einem agilen Prozess bei der Produktentwicklung [1], [2]. Um diesen Anforderungen gerecht zu werden, setzen Unternehmen unter anderem auf neue Impulse durch interdisziplinäre Entwicklungsteams, community-orientierte Aktivitäten sowie auf unternehmensexterne Innovationsimpulse [3]. Aufgrund der organisatorischen Anforderungen nach Agilität im Innovationsprozess stehen die Unternehmen bei der Umsetzung dieser Ansätze vor großen Herausforderungen [4]. Die Einbindung von interdisziplinären, teils unternehmensexternen Projektteilnehmern in einem gemeinsamen Entwicklungsprozess birgt viele Chancen, erfordert jedoch eine klare Aufgabenverteilung und eindeutige Rollenzuteilung.

Dabei sind die unterschiedlichen Fähigkeiten sowie die intrinsischen und extrinsischen Motivationen der Akteure zu berücksichtigen [5]. Der Erfolg eines Entwicklungsprojekts hängt von den Akteuren und deren individuellen Faktoren ab. Demzufolge sollte der Mensch bei Innovationsprozessen und -methoden im Zentrum stehen [6]. Um einen agilen und kreativen Innovationsprozess zu gewährleisten, müssen die Akteure Freiheiten besitzen, die jedoch für ein zielgerichtetes und klar strukturiertes Vorgehen geleitet bzw. moderiert werden sollten. Um diese Aspekte zu

berücksichtigen, gibt es verschiedene Ansätze zum Coaching der Entwicklungsteams, die zur Steigerung der Leistungsfähigkeit dienen. Allerdings besteht keine einheitliche Definition bzw. Aufgabenteilung für das Coaching [7]. Coaching zielt, ähnlich wie Management allgemein, darauf ab, die wertvollen vorhandenen Ressourcen des Unternehmens optimal zu nutzen und das komplette Potenzial der Mitarbeiter zu entfalten sowie Prozesse zu optimieren [8].

Obwohl das Innovation Coaching in den Unternehmen als wichtige Ressource aufgefasst wird, ist die Erforschung eines Akteurs, welcher fest in den Entwicklungsprozess integriert ist und klare Interaktionen mit dem Projektteam durchführt, noch nicht ausgereift [9]. Bei agilen Ansätzen wie z.B. SCRUM und Design Thinking haben sich die Rollenprofile der Scrum Master bzw. des Design Thinking Coaches aus der Praxis heraus entwickelt. Die wissenschaftliche Forschung fokussiert derzeit ein Konzept des Innovation Coachings, in dem die zentralen Aktivitäten und Verantwortlichkeiten eines Innovation Coaches festgelegt werden, um agile Innovationsprozesse zu ermöglichen [10].

Im Rahmen des studentischen Projekts „ProVIL – Produktentwicklung im virtuellen Ideenlabor“, das am Institut für Produktentwicklung am KIT (IPEK) und an der Hochschule Karlsruhe – Technik und Wirtschaft durchgeführt wird, arbeiten 42 bis 64 Masterstudien-



Abb. 1: ProVIL Innovationsprozess nach dem ASD - Agile System Design

ten an einer realen Entwicklungsaufgabe eines jährlich wechselnden Industriepartners. Während die Entwicklungsteams (Maschinenbaustudierende des KIT) einen Innovationsprozess nach dem Ansatz des ASD - Agile System Designs durchlaufen (s. Abb. 1), werden sie von Innovation Coaches, Wirtschaftswissenschaftsstudierenden der Hochschule Karlsruhe, unterstützt [11]. Dabei bedient sich das Coaching unterschiedlichster Methoden und Herangehensweisen aus Gebieten wie Beratung, Supervision, Psychotherapie, Training oder Mentoring. Mit diesem Ansatz soll das Coaching Innovationen nach der Definition von Schumpeter [12] befördern und somit die Entwicklung von Erfindungen auf Basis von entsprechenden Produktprofilen unterstützen, damit diese erfolgreich in den Markt eingeführt werden können. Diese Elemente einer Innovation und deren Einflussfaktoren sind in Abbildung 2 visualisiert.

Zielsetzung und Forschungsmethodik

Das übergreifende Ziel des Forschungsvorhabens ist die Entwicklung eines Innovation Coaching Konzepts, das Produktentwicklungsteams dazu befähigt, ihre Kompetenzen in einen agilen und strukturierten Innovationsprozess einzubringen. Dieser Zielsetzung entsprechend soll in diesem Beitrag das Rollenprofil eines Innovation Coaches festgelegt werden. Hierzu wurden die Rollenprofile und Frameworks der bestehenden Coaching Ansätze analysiert und mit dem bestehenden Innovation Coaching Konzept im Live-Lab ProVIL verglichen. Mit diesen Erkenntnissen wurde ein Expertenworkshop mit Innovation Coaches aus der Praxis durchgeführt, um eine initiale Definition für Innovation Coaching aufzustellen und um die zentralen Aktivitäten sowie Verantwortlichkeiten abzugrenzen.

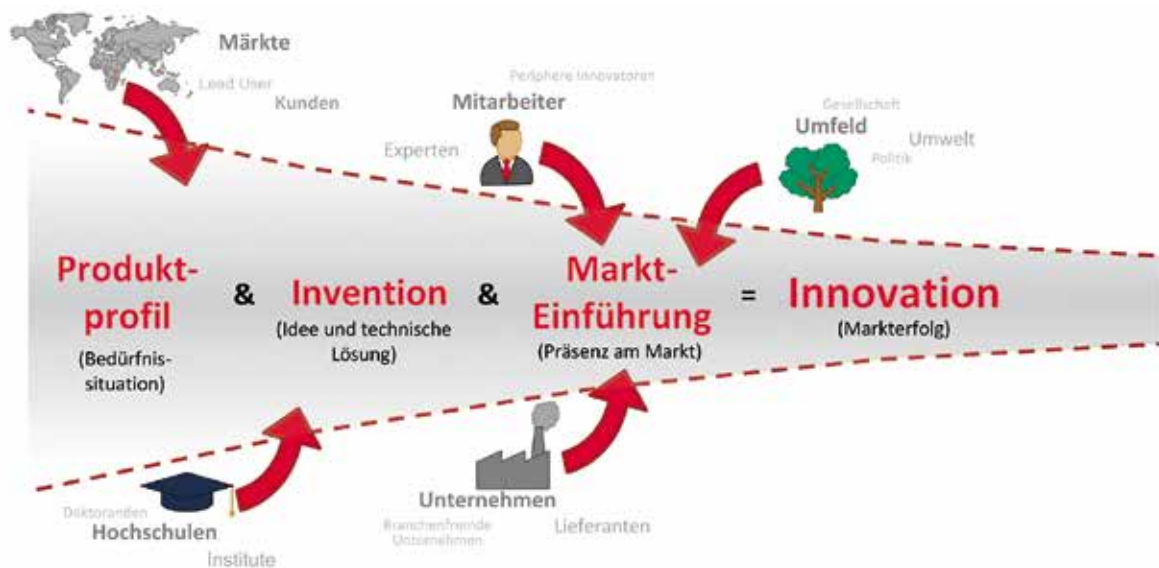


Abb. 2: Innovationstrichter mit den Elementen einer Innovation [13]

Ergebnisse und Ausblick

Als Ergebnis der aktuellen Forschung im Bereich Innovation Coaching wurde eine initiale Rollendefinition erstellt, die zusätzlich die übergreifenden Ziele und die Aufgaben des Innovation Coaches beschreibt. Die aktuelle Beschreibung ist auf Basis umfassender Literaturrecherche sowie den Erkenntnissen und Praxiserfahrungen aus einer Expertenrunde entstanden. Demnach ist Innovation Coaching die prozessorientierte Unterstützung von Menschen in Produktentwicklungsprojekten und fokussiert die Vermittlung von Problemlösungskompetenzen sowie die bewusste Steuerung der Teamentwicklung. Innerhalb der Organisation soll damit eine Innovationskultur (weiter-) entwickelt werden, die einen entsprechenden Einfluss auf die Arbeit der Menschen in den Entwicklungsteams hat. Während der Projektarbeit ist es die Aufgabe des Innovation Coaches situationsgerechte und menschenzentrierte Methoden zu vermitteln sowie die Teamentwicklung positiv zu steuern.

Mit dieser Beschreibung wird ersichtlich, dass das Innovation Coaching individuelle und situationsbedingte Aufgaben und Verantwortlichkeiten beinhaltet, welche durch ein geeignetes Coaching Framework zusammengeführt werden sollten. Daher werden diese Definition sowie das Coaching-Framework auf Basis der Erkenntnisse aus den kommenden Projekten im Live-Lab ProVIL sowie aus weiteren Feldstudien iterativ weiterentwickelt. Hierzu gehören weitere Forschungsaktivitäten zu den Kompetenzen, die in agilen Innovationsprojekten von den Menschen im Entwicklungsteam und den Innovation Coaches benötigt werden, sowie zu der Fragestellung, wie diese Kompetenzen aufgebaut werden können. Durch die Anwendung der Szenariotechnik sowie eines strategischen Ansatzes für die Potenzialsuche werden ein zukunftsfähiges Kompetenzprofil und eine Roadmap für das Innovation Coaching der Zukunft entwickelt. Diese Forschung wird kooperativ am IPEK und der Hochschule Karlsruhe mit dem Ziel der Erstellung eines Innovation Coaching Konzepts durchgeführt, das dazu beitragen soll, dass Organisationen das Spannungsfeld zwischen Flexibilität und Struktur erfolgreich steuern können.

Literatur

- [1] Albers, A., Behrendt, M., Klingler, S., Reiß, N., Bursac, N. (2017). „Agile product engineering through continuous validation in PGE – Product Generation Engineering“ in Design Science Nr. 3, 2017.
- [2] Thomke, S., Reinertsen, D. (1998). “Agile Product Development: Managing Development Flexibility in Uncertain Environments” in California Management Review Nr. 41, Ausgabe 1, S. 8-30.
- [3] Fichter, K., Beucker, S. (2012). “Innovation Communities. Teamworking of Key Persons – A Success Factor in Radical Innovation”. Heidelberg: Springer Verlag.
- [4] Eppinger, S., Chitkara, A. (2006) “The New Practice of Global Product Development” in MIT Sloan Management Review Nr. 47, Ausgabe 4, S. 22-30.
- [5] Folkerts, L. (2001). „Promotoren in Innovationsprozessen: empirische Untersuchung zur personellen Dynamik“. Wiesbaden: Deutscher Universitäts-Verlag.
- [6] Albers, A., Maul, L., Bursac, N. (2013). “Internal innovation communities from a user’s perspective: How to foster motivation for participation“ in: Abramovici, M., Stark, R., “Smart product Engineering”, LNPE, S. 525-534.
- [7] Stern, L.R., (2004). “Executive Coaching: A Working Definition”. Consulting Psychology Journal: Practice and research 56 (3), S. 154-162.
- [8] Waldroop, J., Butler, T. (1996). “The Executive as Coach.” Harvard Business Review. Abgerufen am 2. Mai 2018 von <https://hbr.org/1996/11/the-executive-as-coach>
- [9] Coutu, D., Kauffman, C. (2009). “What Can Coaches Do for You?” in Harvard Business Review, Ausgabe Januar 2009.
- [10] Hahn, C., Albers, A., Stöckner, M., Niever, M., Walter, B., Kerres, R., Bursac, N. (2017). „Innovation Coaching in Foresight Processes for Distributed Product Development” in: CERC 2017 Proceedings.
- [11] Albers, A., Bursac, N., Walter, B., Hahn, C., Schröder, J. (2016). „ProVIL – Produktentwicklung im virtuellen Ideenlabor“. In: ENTWERFEN ENTWICKELN ERLEBEN – Methoden und Werkzeuge in Produktentwicklung und Design 2016.
- [12] Schumpeter, J. A. (1939). “Business Cycles. A Theoretical, Historical and Statistical Analysis of the Capitalist Process.”, McGraw-Hill, New York
- [13] Albers, A., Heimicke, J., Walter, B., Basedow, G. N., Reiß, N., Heitger, N., Ott, S. & Bursac, N. (2018). „Product Profiles: Modelling customer benefits as a foundation to bring inventions to innovations.” Proceedings of CIRP Design 2018.

Autoren

Manuel Niever M.Sc.

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

Luca Gort B.Sc.

Absolvent des Bachelorstudiengangs Wirtschaftsingenieurwesen an der Fakultät für Wirtschaftswissenschaften der Hochschule Karlsruhe

Prof. Dr.-Ing. Markus Stöckner

Professor an der Fakultät für Architektur und Bauwesen der Hochschule Karlsruhe

Prof. Dr. Carsten H. Hahn

Professor an der Fakultät für Wirtschaftswissenschaften 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.stoekner@hs-karlsruhe.de



Weil Erfolg nur im Miteinander entstehen kann. Für jede Aufgabe die beste Lösung finden – dieses Credo ließ die Ed. Züblin AG zur Nummer 1 im deutschen Hoch- und Ingenieurbau aufsteigen. Möglich wird dies durch das Know-how und das Engagement unserer rund 14.000 Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter, die als ein Team komplexe Bauvorhaben termin- und qualitätsgerecht realisieren. Ergreifen Sie die Initiative und steigen Sie bei uns ein: über unser **Trainee-programm**, eine **Ausbildung**, ein **Duales Studium**, ein **Praktikum** oder **direkt im gewünschten Job**. Werden Sie Teil unseres Teams. Wenn wir gemeinsam an einem Strang ziehen, dann sind die Möglichkeiten grenzenlos – auch hinsichtlich Ihres persönlichen Karrierewegs.

WIR SUCHEN SIE!

Baustellenpraktikanten und Baustellenpraktikantinnen sowie Bauingenieure und Bauingenieurinnen

www.zueblin.de



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

HEBERGER

FROM VISION TO REALITY



- Schlüsselfertiger Industriebau
- Betonfertigteilwerk
- 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

Optofluidische On-Chip Absorptionsspektroskopie

Christian Karnutsch und Jörg Knyrim

Die optofluidische On-Chip Absorptionsspektroskopie besitzt vielfältigste Anwendungsgebiete, wie z.B. Blutanalysen direkt im Krankenwagen, Produktüberwachung in der chemischen Industrie oder Schadstoffdetektion in der Umweltanalytik. Um solch ein innovatives Analysesystem realisieren zu können, benötigt man On-Chip Lichtquellen, wie z.B. organische Laser. Deshalb wurden in der Arbeitsgruppe Integrated Optofluidics and Nanophotonics (IONAS) des Instituts für Sensor- und Informationssysteme robuste und reproduzierbare Herstellungsprozesse für organische Laser entwickelt. Hauptaugenmerk liegt dabei auf einem Stempelprozess, der es ermöglicht, Nanostrukturen reproduzierbar abzuformen. Mit dem entwickelten Verfahren können optisch gepumpte organische Laser mit geringem Aufwand in Kleinserie produziert werden. Eine Patentanmeldung ist anhängig.

Optofluidic on-chip absorption spectroscopy has a wide variety of applications, such as e.g. Blood analysis directly in an ambulance, product monitoring in the chemical industry or pollutant detection in environmental analysis. In order to realize such an innovative analysis system, on-chip light sources are required, such as e.g. organic lasers. Therefore, robust and reproducible manufacturing processes for organic lasers were developed in the "Integrated Optofluidics and Nanophotonics (IONAS)" working group of the Institute for Sensor and Information Systems. The main focus is on a stamping process, which makes it possible to replicate nanostructures reproducibly. With the developed process (a patent application is pending), optically pumped organic lasers can be produced in small series with little effort.

Optofluidische On-Chip Analysesysteme ermöglichen vielfältigste Untersuchungen, wie z.B. Blutanalyse direkt im Krankenwagen bzw. Notarztwagen, Produktüberwachung in der chemischen Industrie oder Schadstoffdetektion in der Umweltanalytik. Hierbei soll die Analyse per Absorptionsspektroskopie erfolgen. Absorptionsspektroskopie ist eine zerstörungsfreie Analyseverfahren für Fluide aller Art. Somit ist sie vielseitig verwendbar und sehr gut geeignet für die Überwachung biologischer und chemischer Produkte. Die gilt im Besonderen auch für die Medizin, da sie ideal in der Point-of-Care-Diagnostik eingesetzt werden kann. Das in der Arbeitsgruppe IONAS entwickelte Analysesystem ist aus drei Hauptkomponenten aufgebaut (s. Abb. 1).

Ein organisches Laser-Array mit verschiedenen Laserwellenlängen wird über einer mikrofluidischen Kanalstruktur angeordnet. Das von den organischen Lasern emittierte Laserlicht durchleuchtet die Probe, die sich in der Kanalstruktur befindet. Um die Absorption durch einen bestimmten Analyten zu ermitteln, wird die Intensität des Laserlichts von einem Detektor-Array erfasst.

Wichtigste Komponente des optofluidischen Analysesystems ist das organische Laser-Array. Am IONAS laufen Arbeiten zum Design und zur Fabrikation von organischen Lasern und der Etablierung eines reproduzierbaren Herstellungsprozesses.

Bei organischen Lasern ist besonders die sogenannte Distributed Feedback (DFB) Laser-Architektur von Bedeutung, da sie einfache und kostengünstige Herstellungsverfahren verspricht. Hierbei erfolgt die Selektion der Laserwellenlänge im Grunde durch die Gitterperiodizität Λ des DFB-Gitters, das mit dem organischen Lasermaterial beschichtet ist (s. Abb. 2). Organische Lasermaterialien absorbieren Licht im ultravioletten Spektralbereich (UV) und emittieren ihre Lumineszenz im sichtbaren Spektrum. Es gibt eine Fülle von organischen Lasermaterialien mit Lichtemission im gesamten sichtbaren Spektralbereich. Mit der richtigen Auswahl des organischen Lasermaterials und den passenden geometrischen Eigenschaften ist

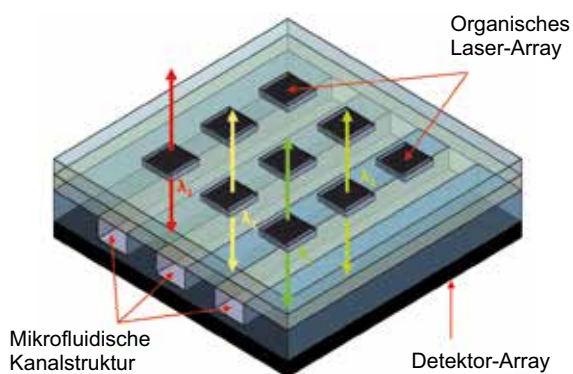


Abb. 1: Schematische Darstellung eines optofluidischen Analysesystems

es möglich, Laserlicht im gesamten sichtbaren Spektrum zu erzeugen.

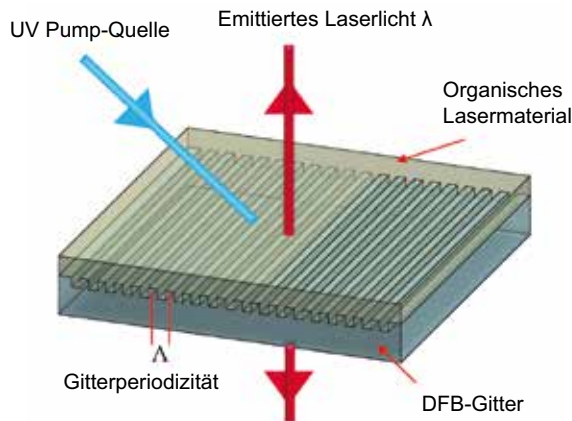


Abb. 2: Optisch gepumpter organischer DFB-Laser

Für die Herstellung von organischen DFB-Lasern muss also eine Gitterstruktur in ein transparentes Grundsubstrat eingebracht werden. Für die Einprägung des DFB-Gitters bietet sich ein Stempelprozess an, bei dem die Gitterstruktur zunächst von einem Masterstempel abgeformt wird. Ein etabliertes Herstellungsprinzip ist die UV-Nanoimprint Lithographie (UV-NIL). Die Anschaffung einer UV-NIL Anlage stellt einen substantiellen Kostenfaktor dar, und für die Bedienung bedarf es geschulten Personals. Das in der Arbeitsgruppe IONAS entwickelte Herstellungsverfahren für organische DFB-Laser verzichtet auf die Verwendung einer solchen UV-NIL Anlage.

Die Grundidee des entwickelten Verfahrens zur Herstellung von organischen Lasern basiert (wie der UV-NIL Prozess auch) auf einem Prägestempelprozess. Inspiriert wurde es durch die aktuellen Forschungsarbeiten zur Lamination von Polymeren auf Glasträger. Bei dem entwickelten Verfahren werden die nötigen Materialien für den organischen DFB-Laser über einen einfachen Spincoating-Prozess aufgetragen, womit

die relevanten Kenngrößen des organischen DFB-Lasers einfach reproduziert werden können.

Für die Herstellung muss zunächst ein PDMS-Stempel von einer Masterstruktur abgeformt werden. PDMS (Polydimethylsiloxan) ist ein farbloses, durchsichtiges und ungiftiges Silikonöl, das aufgrund seiner niedrigen Adhäsionseigenschaften ideal als Stempelmateriale geeignet ist: PDMS geht im Prozessablauf keine feste Verbindung mit den Oberflächen ein und kann sehr leicht wieder entfernt werden. Zur Abformung können Silizium-Master, Glas-Master oder auch Polymer-Master verwendet werden.

Aufgrund der Strukturgröße des DFB-Gitters (Submikrometerbereich) konnten allerdings mit herkömmlichem PDMS keine erfolversprechenden Abformungsergebnisse erzielt werden. Als Lösung wurde ein Multilayer-Stempel zur Abformung verwendet, bei dem eine dünne Schicht hard-PDMS (h-PDMS) auf die Masterstruktur aufgetragen wurde, die von einer dickeren Schicht PDMS stabilisiert wird. h-PDMS zeichnet sich im ausgehärteten Zustand durch eine wesentlich höhere Steifigkeit aus. Die Herstellung eines solchen Multilayer-Stempels ist in Abbildung 3 schematisch dargestellt. Für die Abformung wurde ein Glas-Master mit einer Gitterperiodizität Λ von 330 nm verwendet.

Der Multilayer-Stempel wurde anschließend mit einer Schicht UV-aushärtendem Fotolack (Photoresist) im Spincoating-Prozess beschichtet (s. Abb. 4). Hierfür wurde der Photoresist KMPR verwendet, der sich bereits in der Lamination bewährt hatte. Unter einer UV-Lampe erfolgte im nächsten Schritt die Aktivierung des Photoresist. Danach wurde die Lamination des Photoresist auf einen Glasträger durchgeführt. Die Lamination des Photoresist auf den Glasträger erfolgte bei Wärme und Druck auf den Stempel. Nach der Lamination konnte der Stempel vom Photoresist abgezogen werden. Als Resultat erhielt man eine mit dem

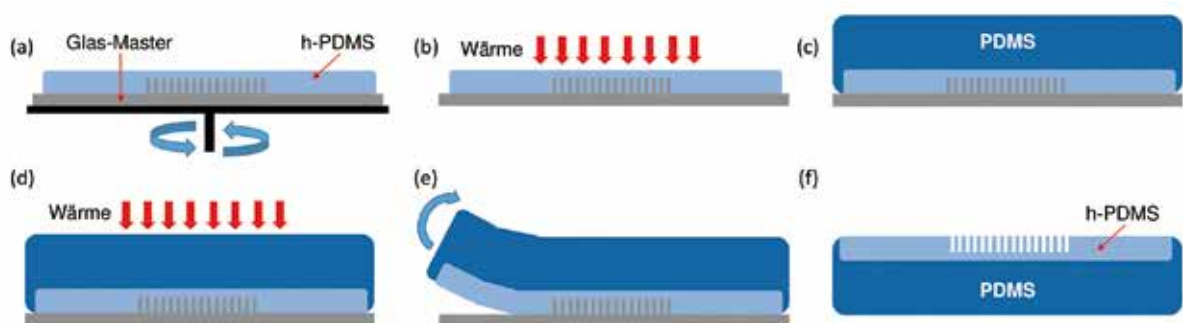


Abb. 3: Herstellung eines h-PDMS Multilayer-Stempels, (a) Aufschleudern von h-PDMS auf den Master, (b) Aushärten der h-PDMS Schicht, (c) Aufgießen mit PDMS, (d) Aushärten des Multilayer-Stempels, (e) Abziehen des Multilayer-Stempels vom Master, (f) fertiger h-PDMS Multilayer-Stempel

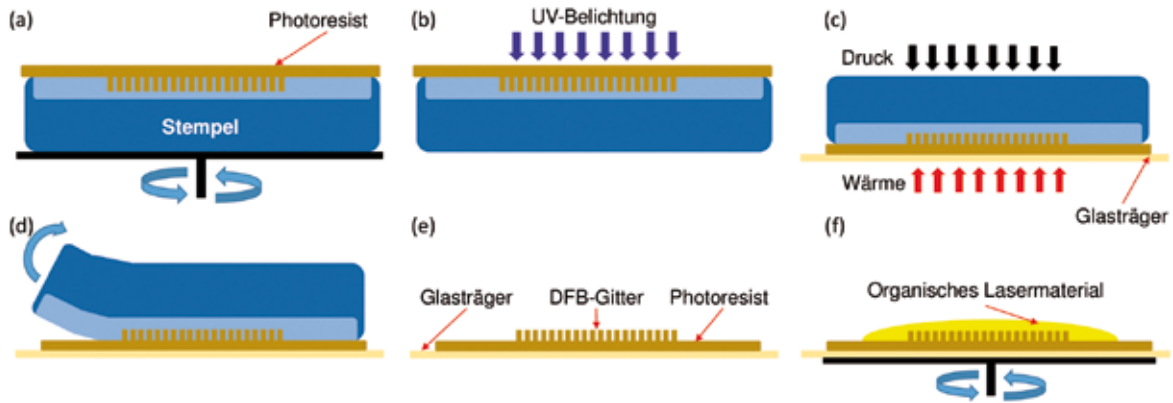


Abb. 4: Prozessabfolge bei der Herstellung eines organischen DFB-Lasers, (a) Aufschleudern des Photoresist auf den Stempel, (b) UV-Belichtung des Photoresist, (c) Lamination, (d) Abziehen des Stempels vom Photoresist, (e) Photoresist mit eingepprägtem DFB-Gitter, (f) Aufschleudern des organischen Lasermaterials

Glasträger verbundene Photoresist-Schicht mit eingepprägter DFB-Gitterstruktur, die als Grundsubstrat für den organischen Laser diente. Zuletzt wurde der nanostrukturierte Photoresist-Layer mit dem ausgewählten organischen Lasermaterial beschichtet.

Mit diesem völlig neuartigen Verfahren konnte ein organischer DFB-Laser mit einer Laserwellenlänge von 540 nm produziert werden (s. Abb. 5) – mittels eines Prozesses, der im Wesentlichen nur einen Spincoater, eine UV-Lampe und eine Heizplatte benötigt! Eine Patentanmeldung ist anhängig.

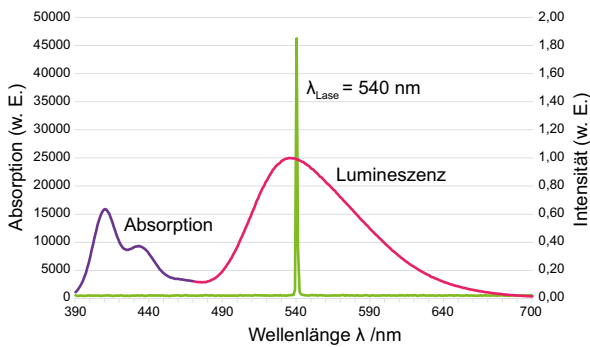


Abb. 5: Laserspektrum im Vergleich zum Absorptions- und Lumineszenzspektrum des organischen Lasermaterials.

Autoren

Prof. Dr.-Ing. Christian Karnutsch

Professor an der Fakultät für Elektro- und Informationstechnik der Hochschule Karlsruhe Leiter der Arbeitsgruppe Integrated Optofluidics and Nanophotonics (IONAS) Leiter des Deutsch-Australischen Studienzentrums für Optofluidik und Nanophotonik (SCON)

Dr.-Ing. Jörg Knyrim

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

Kontakt

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



Finden Sie uns auf Facebook
www.facebook.com/vmkverlag



READY FOR TAKE-OFF?

Seit mehr als 50 Jahren entwickelt und produziert HYDRO mit mehr als 750 Mitarbeitern weltweit innovative Lösungen für den Bau, die Wartung und die Reparatur von Zivil- und Militärflugzeugen. Die Erfahrung und das Wissen unserer Mitarbeiter haben uns zum Marktführer gemacht. Zu unseren über 800 Kunden zählen alle international bedeutenden Flugzeughersteller, Airlines, Flughäfen und Flugzeugwartungsbetriebe. Neben dem Hauptsitz in Biberach hat HYDRO Standorte in China, Dubai, Frankreich, Singapur, UK und den USA.

WAS WIR DIR BIETEN

Vertrauen, Respekt und Verlässlichkeit sind Werte die bei uns täglich gelebt werden. Als Unternehmen in Privatbesitz bieten wir Dir einen Arbeitsplatz mit Perspektive.

Was bei uns zum Standard gehört?

- #afterworkevents
- #flexiblearbeitszeiten
- #sportgruppen
- #modernearbeitsplätze
- #betrieblichesgesundheitsmanagement
- #englischunterricht
- #interneschulungen

Social Media? Check!



www.hydro.aero

Ahfeldstrasse 10 | 77781 Biberach/Baden



In safe hands.

WERDE TEIL
UNSERER CREW!

 **KOCH**

Member of the Uhlmann Group

Stark

Als Sondermaschinenbauer sind wir Impulsgeber und Technologieführer, wollen unsere Marktposition mit neuen Angeboten ausbauen. Dafür 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):

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

Absolventen

Maschinenbau, Mechatronik

Bacheloranden

Praktikanten

Entwicklung und Untersuchung eines natürlichen Kältemittels für Tieftemperaturanwendungen

Timo Maurath und Michael Kauffeld

In der seit 1.1.2015 geltenden EU-Verordnung 517/2014 über fluorierte Treibhausgase wird der „Phase-Down“ bzw. die Reduzierung der treibhausfördernden Kältemittel geregelt. Aufgrund des Fehlens geeigneter Ersatz-Kältemittel gibt es für den Bereich der Tieftemperaturkälte mit Anwendungstemperaturen (Kühlgut) von kleiner -50 °C derzeit noch eine Ausnahmeregelung. Neben den bisher eingesetzten fluorierten Kältemitteln, die einen hohen direkten Beitrag zum Treibhauseffekt aufweisen, gibt es aktuell nur brennbare Alternativen wie z.B. Ethan. Die Entwicklung eines neuen, sicherheitstechnisch unbedenklichen Kältemittels mit thermodynamisch günstigen Eigenschaften stand im Zentrum des hier vorgestellten Projekts. Dazu wurde ein Gemisch aus Distickstoffmonoxid (N₂O), auch bekannt als Lachgas, und Kohlendioxid (CO₂) auf seine Eignung als Tieftemperaturkältemittel hin untersucht. Dies beinhaltete, neben Messreihen an einer Versuchsanlage, entsprechende Untersuchungen zur möglichen Zersetzung des Gemischs sowie der Materialverträglichkeit mit den in einer Kälteanlage üblicherweise vorkommenden Materialien und Betriebsstoffen, wie z. B. das Kältemaschinenöl, das zur Schmierung des Verdichters eingesetzt wird.

EU Regulation 517/2014 (F-Gases Regulation), which came into force on January 1, 2015 regulates the „phase-down“ or reduction of refrigerants that promote the greenhouse effect. Due to the lack of suitable replacement refrigerants, there is currently still an exception for the area of low temperature refrigeration with application temperatures (chilled goods) of less than -50 °C. The new regulation is based on the following criteria in addition to the fluorinated refrigerants previously used, which have a high direct contribution to the greenhouse effect, there are currently only combustible alternatives such as ethane. The development of a new, safety-relevant refrigerant with thermodynamically favourable properties was the focus of the project presented here. A mixture of nitrous oxide (N₂O) and carbon dioxide (CO₂) was investigated for its suitability as a low-temperature refrigerant. In addition to series of measurements on a test plant, this included corresponding investigations on the possible decomposition of the mixture as well as the investigation of the compatibility with the materials commonly found in a refrigeration plant, such as the refrigeration machine oil, which is used to lubricate the compressor.

Problemstellung

Der Klimawandel und die Dekarbonisierung des Energiesektors durch die Substitution fossiler Brennstoffe mit regenerativer Energiequellen ist weiterhin zentrales Thema der führenden westlichen Industrienationen, wie auch der G7 Gipfel in 2015 erneut gezeigt hat. Der Ausbau von Technologien zur Nutzung und Speicherung regenerativen Energien ist hier nur ein, aber sicherlich zielführender Aspekt. Zusätzlich muss jedoch die Effizienz aller Wanklungsketten von der Primär- zur Nutzenergie erhöht werden. Im Bereich der Kälte- und Klimanutzung wird ferner die Substitution der eingesetzten, treibhausfördernden Kälte-träger mit emissionsarmen/emissionsfreien und natürlichen Kältemitteln vorangetrieben. In der neuen F-Gasverordnung (EU 517/2014) legt die Europäische Union hierzu die Reduzierung der verfügbaren Kältemittelmengen bezogen auf deren Treibhauspotenzial (GWP = Global Warming Potential) fest, auch „Phase-Down“ bezeichnet. Bis zum Jahr 2030 sollen mit dem Phase-Down Einsparungen in den Treibhausmissionen um 79 % erreicht werden.

Der GWP ist ein Maß für den Beitrag eines Stoffes am Treibhauseffekt. Er legt die Erwärmungswirkung der Atmosphäre durch ein Kältemittel über einen Zeitraum von z. B. 100 Jahren fest. Als Referenzstoff ist CO₂ mit dem Wert 1 festgelegt. Der durchschnittliche Wert aller auf dem Markt gegenwärtig noch verwendeten Kältemittel liegt derzeit bei 2200 – 2300 GWP. Nach der Verordnung EU 517/2014 werden ab dem Jahr 2030 nur noch Kältemittel eingesetzt werden dürfen, deren Treibhauspotenzial unterhalb GWP 500 liegt. Diese Anforderung wird größtenteils nur von natürlichen Kältemitteln erfüllt. Viele von diesen sind entweder brennbar (z.B. Propan, R290) oder toxisch (z.B. Ammoniak, R717). Anlagen mit diesen Kältemitteln unterliegen speziellen Anforderungen für den Betrieb. So müssen kostentreibende Sicherheitseinrichtungen (explosionsgeschützte Bauteile) verbaut und Anlagen je nach Kältemittelfüllmenge intensiven Überwachungen/-prüfungen unterzogen werden. Die Entwicklung von neuen synthetischen Kältemitteln mit thermodynamisch günstigen Eigenschaften wird

auch aus diesem Grund von den Kältemittelherstellern verfolgt.

Der in diesem Projekt angestrebte Einsatzbereich ist in der Tieftemperaturkälte ($T < -50\text{ °C}$) angesetzt. Aktuell werden für solche Anwendungen die Kältemittel Trifluormethan (R23), Hexafluorethan (R116) und das Azeotrop aus beiden (R508) sowie Tetrafluormethan (R14) verwendet. Diese chlorfreien, aber teilweise bzw. vollständig fluorierten Kohlenwasserstoffe (H-FKW bzw. FKW) tragen vor allem wegen ihrer mittleren atmosphärischen Lebensdauer in hohem Maße zum Treibhauseffekt bei. Neben dem direkten Treibhauspotenzial, verursacht durch Leckagen und die Entsorgung, müssen allerdings zwingend auch die indirekten Auswirkungen im Betrieb (Effizienz, Stromverbrauch) und die Betriebssicherheit Beachtung finden. Ein effizienter Betrieb ist nur durch vergleichbar gute thermodynamische Eigenschaften gegeben, zu denen eine große volumetrische Kälteleistung, eine geeignete Dampfdruckkurve und eine große Verdampfungsenthalpie gehören.

Natürliche Kältemittel mit Verdampfungstemperaturen unterhalb -50 °C sind die brennbaren Stoffe Ethan (R170) und Ethen (R1150) mit einer Siedetemperatur unter Normdruck von -89 °C bzw. $-103,72\text{ °C}$. Kohlendioxid ist als Kältemittel in der stationären Anwendung bereits weit verbreitet (z.B. als Supermarktkälte), ist annähernd klimaneutral und hat eine sehr gute volumetrische Kälteleistung, wodurch die Systemkomponenten klein dimensioniert werden können. Die Einschränkung ist hier allerdings durch seinen relativ hohen Tripelpunkt von $-56,6\text{ °C}$ gegeben. Unterhalb dieses Punktes kommt CO_2 nur noch in fester oder gasförmiger Form vor, was kälteprozessstechnisch nicht verwertbar ist.

Eine bisher kaum beachtete Alternative stellt Distickstoffmonoxid (N_2O) dar, auch bekannt als Lachgas. Die kältetechnische Bezeichnung für N_2O lautet R744A, da es die gleiche molare Masse wie CO_2 (R744) besitzt. Der Normalsiedepunkt (bei einem Druck von 1,013 bar) liegt bei $-88,5\text{ °C}$, weshalb Verdampfungstemperaturen von -88 °C auch dauerhaft erreichbar sind. Tabelle 1 gibt einen Überblick über das Maß des verursachten Treibhauspotenzials bezogen auf das Referenzgas CO_2 über eine Dauer von 100 Jahren an ($\text{GWP}_{\text{CO}_2} = 1$).

	R23	R116	R508	R14	R744A (N_2O)
GWP_{100}	14.800	12.200	12.300	5.700	298

Tab. 1: Global Warming Potential (GWP) einiger Tieftemperaturkältemittel

Alternative $\text{N}_2\text{O}/\text{CO}_2$ -Gemisch

Es ist ersichtlich, dass Lachgas (R744A) deutliches Einsparpotenzial gegenüber R23 besitzt. Im Gegensatz zum konventionell eingesetzten Trifluormethan (R23) kann der GWP um 98 % gesenkt werden. Bisherige Untersuchungen ergaben, dass Lachgas auch ähnliche Werte zum verbreiteten Kältemittel R23 bezüglich der Effizienz und Leistungszahl (Verhältnis Kälteleistung zur elektrischen Leistungsaufnahme des Verdichters) aufweist. Diese Ergebnisse basieren bisher allerdings nur auf theoretischen Erkenntnissen und Grundlagenuntersuchungen. Eine Aussage über die praktische Anwendung unter statischen als auch dynamischen Lasten stand zu Beginn unseres Projekts noch aus. Derartige experimentelle Tests und der Aufbau eines ersten Versuchsträgers im Maßstab einer industriellen Anlage sind die ersten Schritte zur Einführung in den Kältemittelmarkt.

Gemäß Sicherheitsdatenblatt ist N_2O unter normalen Bedingungen zwar weder giftig noch brennbar, muss jedoch nach EG 67/548 als brandfördernd gekennzeichnet werden. Weiter wird darauf hingewiesen, dass sich N_2O bei atmosphärischem Druck ab einer Temperatur von 575 °C irreversibel und exotherm in Stickstoff und Sauerstoff zersetzt. In Gegenwart von Katalysatoren und unter Druck stehendes N_2O kann sich, laut Sicherheitsdatenblatt, ab einer Temperatur von 300 °C zersetzen. Ebenfalls wird vor heftigen Reaktionen mit organischen Stoffen gewarnt. Diese Informationen für sich genommen sprechen noch nicht gegen einen Einsatz von N_2O als Kältemittel, da die oben genannten Temperaturen und Materialien in einer Kälteanlage eigentlich nicht vorkommen und organische Stoffe vermieden werden können.

Eine tiefer gehende Recherche zu der Zersetzungsfähigkeit von N_2O zeigte aber, dass der Einsatz von reinem N_2O in einer Kälteanlage unter sicherheitstechnischen Aspekten nicht ohne weiteres möglich ist. Untersuchungen in verschiedenen Zündautoklaven der Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung (BAM) zeigten, dass sich N_2O selbst bei moderaten Temperaturen von 50 °C und unter einem Druck von 15 bar nach einer Zündung durch einen Drahtzylinder exotherm zersetzt und zu einem Druckanstieg auf über das 10-fache des Anfangsdrucks führen kann. Auch die European Industrial Gases Association (EIGA) beschreibt in dem Dokument „Safe practices for storage and handling of nitrous oxide“ die Gefahren und gibt Hinweise für einen sicheren Umgang mit N_2O .

Aufgrund dieser Ergebnisse und den damit verbundenen Sicherheitsanforderungen ist der Einsatz von

reinem N_2O als Kältemittel in einer Kompressionskälteanlage nicht empfehlenswert.

Weiterführende Untersuchungen der BAM [1] legen nahe, dass sich der Zerfall durch Beimischung anderer Gase phlegmatisieren lässt. Neben Stickstoff, Sauerstoff und Luft lässt sich eine Verhinderung des explosionsartigen Zerfalls auch durch die Beimischung von CO_2 erreichen. Da CO_2 selbst als Kältemittel etabliert ist und eine fast identische Dampfdruckkurve wie N_2O aufweist, bietet sich dieses Gas als Beimischung an. Aufgrund der höheren Wärmekapazität ist das CO_2 auch das besser geeignete Inertgas im Vergleich beispielsweise zu Stickstoff. Aus den durchgeführten Zündversuchen [2] geht hervor, dass ein N_2O/CO_2 -Gemisch selbst bei einer Temperatur von 200 °C und einer CO_2 -Konzentration von 20 Mol-% auch bei einem Druck von über 30 bar stabil bleibt.

Allerdings hat die Zugabe von CO_2 Einfluss auf den Schmelzpunkt. Reines N_2O besitzt unter Normalbedingungen einen Siedepunkt von -88,5 °C und einen Schmelzpunkt von -90,8 °C. Durch die Zugabe von CO_2 erhöht sich der Schmelz- und Siedepunkt des Gemischs und hat damit direkt Einfluss auf die maximal mögliche Verdampfungstemperatur. Bei einer CO_2 -Konzentration von etwa 30 Mol-% liegt der Schmelzpunkt des N_2O/CO_2 -Gemischs bei etwa -78 °C, was in [3] experimentell nachgewiesen wurde. Für den Betrieb der Versuchsanlage bedeutet dies eine maximal mögliche Verdampfungstemperatur von -75 °C, was für den Gefriertrocknungsprozess gerade noch ausreichend ist.

Untersuchungen

Neben dem Kältemittel bzw. dem Kältemittelgemisch befindet sich in einem Kreislauf einer Kompressionskälteanlage auch Kältemaschinenöl, das zwingend für die Schmierung des Verdichters notwendig ist. Bei den Versuchen an der Hochschule Karlsruhe ist dafür ein Kältemaschinenöl auf Polyolester-Basis eingesetzt worden, da dieses bei sehr tiefen Temperaturen noch ausreichend viskos ist, um die Schmierung des Verdichters gewährleisten zu können. Polyolester sind veresterte Alkohole mit mehreren Hydroxygruppen, also organische Verbindungen. In der Regel verbleibt das Kältemaschinenöl zum größten Teil im Verdichter bzw. das vom Verdichter ausgeworfene Öl wird durch eine geeignete Ölrückführung wieder zum Verdichter zurücktransportiert. Wie schon erwähnt, reagiert N_2O als Oxidationsmittel mit organischen Verbindungen unter exothermer Zersetzung in N_2 und O_2 . Es besteht dadurch der berechtigte Verdacht, dass die Anwesenheit des eingesetzten Polyolesteröls sich negativ auf

die Stabilität des N_2O auswirkt. Untersuchungen zu dieser Stoffkombination sind in der einschlägigen Literatur nicht zu finden. Versuche mit Beimischung von (gasförmigem) Propan (C_3H_8 ; eine organische Verbindung aus der Gruppe der Alkane) zeigten, dass schon geringe Anteile von 2-3 Mol-% Propan zu einer nennenswerten Herabsetzung der Stabilitätsgrenze führt und eine exotherme Zersetzung weit heftiger ausfällt als ohne Beimischung von Propan [2].

Das Kältemaschinenöl liegt in der Kälteanlage als reine Flüssigkeit vor und ist mit dem N_2O/CO_2 -Gemisch sehr gut mischbar. Durch die Schleuderschmierung im Verdichter wird das Kältemaschinenöl in sehr feine Tröpfchen verteilt, die dann zu einer möglichen Zersetzung des N_2O beitragen könnten. Daher wurden bei der BAM entsprechende Zündversuche in Auftrag gegeben, bei denen das eingesetzte Kältemaschinenöl mit einem Vordruck von 15 bar bis 50 bar in ein N_2O/CO_2 -Gemisch mittels einer handelsüblichen Heizölbrennerdüse fein vernebelt eingesprüht wurde. Danach wurde versucht, das $N_2O/CO_2/Öl$ -Gemisch bei Anfangsdrücken von 1 bar, 10 bar und 25 bar mit einem Schmelzdraht zu zünden. Es zeigte sich, dass mit 30 Mol-% Kohlendioxid eine Zündung quasi nicht möglich ist, was natürlich sehr stark von der Art des Öl-Nebels abhängt.

Parallele Untersuchungen zur Materialverträglichkeit, Stabilität und Mischbarkeit des Kältemittel-Öl-Gemischs wurden von der Firma Fuchs Schmierstoffe GmbH, ebenfalls Projektpartner in dem hier vorgestellten Forschungsprojekt, durchgeführt. Dabei wurden verschiedene Komponenten wie Lagerschalen, Teile des Zylinderkopfs und Dichtungswerkstoffe, die in der Kälteanlage bzw. im Kältemittelverdichter Verwendung finden, für 14 Tage bei 120 °C mit dem Kältemittel in Kontakt gebracht und danach auf mögliche Materialunverträglichkeiten hin analysiert. Unter diesen Bedingungen waren keine nennenswerten Reaktionen zwischen Kältemittel-Öl-Gemisch und den untersuchten Anlagenkomponenten zu erkennen.

Versuchsanlage

Auf Basis der beschriebenen Erkenntnisse wurde durch die beteiligten Projektpartner eine Sicherheitsbewertung durchgeführt und die Versuchsanlage durch die Martin Christ Gefriertrocknungsanlagen GmbH aufgebaut. Die ausgeführte Anlage ist in Abbildung 1 zu sehen. Um zu hohe Stillstandsdrücke zu vermeiden, ist ein 160-Liter-Ausgleichsbehälter vorgesehen, der im Stillstand das notwendige Volumen bereitstellt, sodass das Kältemittelgemisch im Stillstand nur im gasförmigen Zustand vorliegt und zu hohe Drücke da-

mit vermieden werden. Aufgrund der tiefen Verdampfungstemperatur von bis zu -80 °C ist die Kälteanlage als Kaskade ausgeführt. Die obere Stufe der Kaskade wird dabei mit dem Kältemittel R_{404A} betrieben. Für zukünftige Serienanlagen ist für die obere Stufe ein Kältemittel mit geringerem Treibhauspotenzial angedacht. Entsprechende Ersatzkältemittel mit geringerem GWP sind mittlerweile am Markt erhältlich.



Abb. 1: Versuchsanlage für das N₂O/CO₂-Kältemittelgemisch

Die realisierte Versuchsanlage soll die thermischen Vorgänge und Belastungen einer realen Gefriertrocknungsanlage abbilden. Die von der Firma Martin Christ Gefriertrocknungsanlagen GmbH produzierten Anlagen werden überwiegend in der Pharmaindustrie eingesetzt und dienen zum Haltbarmachen von Medikamenten und Impfstoffen. Es wird je nach Einsatzbereich und Anlagengröße zwischen Labor-, Pilot- und Produktionsgefriertrocknungsanlagen unterschieden. Die ausgeführte Versuchsanlage entspricht dabei der Leistungsklasse der Laboranlagen. Die Anlage verfügt über zwei elektronische Expansionsventile, mit denen es möglich ist, die Eiskondensatortemperatur und die Stellflächentemperatur unabhängig voneinander zu regeln. Wie auch bei realen Anlagen werden durch das verdampfende Kältemittel zwei Silikonölkreisläufe über jeweils einen Plattenwärmeübertrager auf die Solltemperatur gekühlt. Im Gegensatz zu realen Anlagen werden bei den durchgeführten Versuchsrei-

hen keine Produkte getrocknet, sondern die sonst von Produkt und vom ausgetriebenen Wasser eingebrachte Wärmelast durch zwei unabhängig voneinander einstellbare Heizelemente simuliert.

Bei den Versuchsreihen wurde die Temperatur am Eiskondensator auf konstant -75 °C gehalten und die Stellflächentemperatur ausgehend von -50 °C bis auf 20 °C langsam erhöht, was dem normalen Gefriertrocknungsprozess entspricht. Die Anlage lief dabei über 550 Betriebsstunden ohne Ausfälle. Nach ca. 150 Betriebsstunden ist eine Analyse des Kältemaschinenöls sowie eine Analyse der Gaszusammensetzung durchgeführt worden. In beiden Fällen konnten keine Anzeichen für eine Zersetzung des N₂O detektiert werden.

Zusammenfassend wurden die Versuche unter folgenden Bedingungen durchgeführt:

- N₂O/CO₂-Kältemittelgemisch mit 70 Gew.-% N₂O und 30 Gew.-% CO₂
- Über 550 Betriebsstunden mit Kältemaschinenöl auf Polyolesteröl
- Versuche im stationären Zustand
- Variation der Produkt-Stellflächentemperatur von -50 °C bis $+20\text{ °C}$
- Konstante Wärmelast
- Eiskondensatortemperatur -60 °C
- Verdampfungstemperatur -75 °C

In Abbildung 2 sind die Verdampfungstemperaturen von Eiskondensator (T_{o-IC}, orange) und Stellfläche (T_{o-Sh}, blau) über der Produkt-Stellflächentemperatur aufgetragen. Ebenfalls im Diagramm ersichtlich ist die Temperatur des Silikonölkreislaufs des Eiskondensators (IC T23, grün).

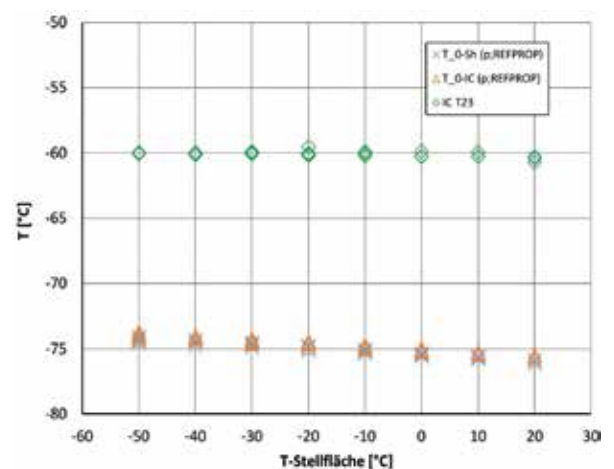


Abb. 2: Verdampfungstemperaturen von Eiskondensator und Stellfläche über der Stellflächentemperatur (Regelgröße)

Die dargestellten Messpunkte sind Mittelwerte aus mehreren Messreihen. Die eigentliche Regelgröße ist die Stellflächentemperatur, die auf der x-Achse aufgetragen ist. Wie zu sehen ist, weist diese eine sehr gute Regelgenauigkeit auf. Die Abweichung zwischen Soll- und Istwert beträgt dabei weniger als 0,05 K. Auch die Reproduzierbarkeit der Ergebnisse ist sehr gut. Es sind jeweils die Mittelwerte aus 5 Messreihen aufgetragen, die bis auf einige Ausnahmen direkt übereinanderliegen.

Ergebnisse

Zusammenfassend konnten bisher folgende Ergebnisse erzielt werden:

- Die thermodynamische Eignung eines N_2O/CO_2 -Kältemittelgemischs wurde nachgewiesen.
- Bisher ist kein negativer Einfluss auf Materialien im Kältekreislauf erkennbar.
- Der Einfluss des Kältemaschinenöls auf die Zersetzungsfähigkeit von N_2O und die phlegmatisierende Wirkung von CO_2 konnten durch die Versuche bei der BAM nachgewiesen werden.
- Für höhere Verdampfungstemperaturen kann der CO_2 -Anteil erhöht werden, was wiederum zu einem niedrigeren GWP und ODP führt.
- Die Verwendung von Perfluorether-Ölen als Schmierstoff ist gegenüber Polyolester-Ölen unter Sicherheitsaspekten vorzuziehen.

Aufgrund dieser positiven Ergebnisse scheint es, dass eine nicht brennbare und ungiftige Alternative zu den bisher eingesetzten H-FKW- und FKW-Kältemitteln gefunden werden konnte. Im Anschluss an das öffentlich geförderte Forschungsprojekt sind weitere Langzeitmessungen mit perfluorierten Ölen geplant, die von den industriellen Partnern finanziert werden.

Literatur

- [1] Bundesanstalt für Materialprüfung, *Untersuchungen zur Zerfallsfähigkeit von Distickstoffoxid*, 1983, Forschungsbericht 89, Berlin.
- [2] M. Gula, *Explosionstechnische Charakterisierung chemisch instabiler Gase*, 2009, Dissertation, Berlin.
- [3] G. Di Nicola, G. Giuliani., F. Polonara, R. Stryjek, *Solid-liquid equilibria for the $CO_2 + N_2O$, $CO_2 + R32$, and $N_2O + R32$ systems*, 2007, Fluid Phase Equilibria, 256(1-2), pp. 86 - 92.
- [4] Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung, Prüfbericht im Auftrag der Fuchs Schmierstoffe GmbH: *Prüfbericht über die experimentelle Untersuchung des Einflusses von Propanverunreinigungen und Öl-Nebeln auf die Explosionsfähigkeit von Gasgemischen aus Distickstoffmonoxid und Kohlendioxid bei erhöhtem Druck und erhöhter Temperatur*; 2018, Berlin.

Autoren

Dipl.-Ing. (FH) Timo Maurath

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

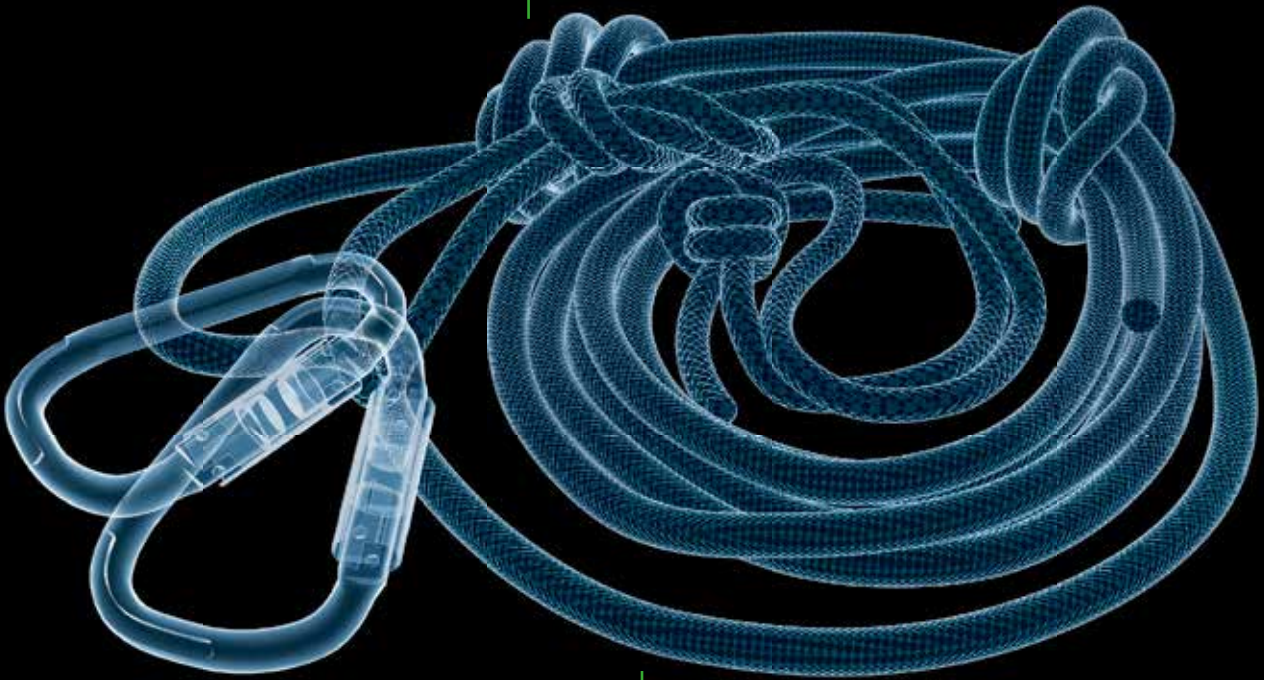
Prof. Dr.-Ing. habil. Michael Kauffeld
Fakultät für Maschinenbau und Mechatronik
Institut für Kälte-, Klima- und Umwelttechnik (IKKU)
Moltkestraße 30
76133 Karlsruhe
E-Mail: michael.kauffeld@hs-karlsruhe.de



Finden Sie uns auf Facebook
www.facebook.com/vmkverlag



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



PERFEKT, UM WEITERZUKOMMEN:
IHRE ZUKUNFT BEI EINEM MARKTFÜHRER.

Sie sind Student und wollen erste Erfahrungen als Praktikant sammeln, Ihre Abschlussarbeit beim Marktführer schreiben oder nach Ihrem Studium richtig durchstarten? Sie lassen sich von spannenden Aufgaben fesseln und möchten schnell Verantwortung übernehmen? Dann helfen Sie 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 Ihnen nicht nur beste Einstiegsmöglichkeiten, sondern auch viele Aufstiegschancen. Weitere Informationen erhalten Sie auf der Karriereseite von www.bitzer.de



DAS HERZ DER FRISCHE

Modeling on lithium-ion inflow in cathode materials of lithium-ion battery

Jay Santoki, Daniel Schneider, Marc Kamlah and Britta Nestler

Lithium-Ionen-Batterien (LIBs) werden bei einer Vielzahl von Anwendungen, wie beispielsweise bei Mobiltelefonen und Laptops, Anwendungen in der Luft- und Raumfahrt, der militärischen Nutzung, bei medizinischen Geräten und bei Elektro- und Hybridfahrzeugen immer beliebter. Aufgrund der hohen Energiedichte, des umweltfreundlichen, geringen Memory-Effekts und der niedrigen Selbstentladung wächst das öffentliche Interesse an diesem wieder aufladbaren Batterietyp für portable Elektronik zunehmend. Mit Hilfe von Experimenten und Computermodellen versuchen Forscher, die mit Lithium-Ionen-Batterien bestehenden Einschränkungen zu minimieren. Forschungsbereiche für Lithium-Ionen-Batterien schließen die Energiedichte, den Schutz vor einem Batteriekurzschluss, die Reduzierung der Ladegeschwindigkeit, die Kostenreduzierung und die zyklische Lebensverlängerung ein. Am Institut für Digitale Materialforschung (IDM) der Hochschule Karlsruhe werden Computermodelle auf Hochleistungsrechnern entwickelt, um Vorhersagen über den Ausfallmechanismus zu treffen und die Batterieleistung zu verbessern.

The use of Lithium-ion batteries (LIBs) is becoming more and more popular in a wide variety of applications such as mobile phones, computer laptops, aerospace appliances, military purposes, medical equipment, electrical and hybrid vehicles. Due to its high energy density, environmentally friendly, tiny memory effect and low self-discharge, public attention on this type of rechargeable battery for portable electronics is continuously increasing. However, there are several limitations associated with lithium-ion batteries, which researchers are trying to minimize with the help of experiments or computer models. Research areas for lithium-ion batteries include; energy density, safety measures against battery short-circuit, charging-time reduction, cost reduction, calendar, and cyclic life extension. At the Institute of Digital Materials Science (IDM), at the Karlsruhe University of Applied Sciences (HSKA), we are developing computer models on high-performance computing facilities to predict failure mechanisms and enhance battery performance.

Introduction

Miniaturization of portable electronic systems demands energy storage devices with high capacity. One solution is Lithium-ion batteries (LIBs), which are used in systems that demand high-power and high capacity such as electric vehicles and storage systems for renewable energy sources. LIBs offer attractive solutions for future energy storage. LIBs consist of intercalated compounds as a cathode material, compared to the metallic lithium used in a non-rechargeable lithium battery. A rechargeable LIB can be used for many cycles throughout its lifespan. During discharging (or charging), lithium atoms are transferred from the anode to the cathode (or from the cathode to the anode) via the electrolyte. The lithium atoms are stored as guest species in the crystal lattice of the electrode materials. The electrodes in LIB are a mixture of lithium ion conducting and electron conducting particles, which form a porous composition to sustain the transport of electrons and lithium ions to and from the active sites, where the energy releasing reaction takes place. During the discharging process, the battery delivers a current. This current transports electrons from

the anode to the cathode through an external circuit, while lithium ions Li^+ transport from the anode to the cathode inside the battery (Fig. 1). At the anode, lithium atoms are oxidized to release electrons and at the cathode, electrons and lithium ions are recombined by reduction. The lithium-ion inflow continues until the reservoir at the anode is empty.

Research activities carried out worldwide over the last decade need further improvement to account for the multi-scale and multi-physics models towards the development of the next generation of batteries for higher power density and longer re-cycling life. While experimental studies provide important insights on structure-property correlations, the computational models can improve fundamental understanding, particularly tailoring material performances and degradation. A systematic parameter study through models is important for optimizing the technical performance of the battery [2]. For instance, computer modeling can predict the lithium insertion rate measured in terms of the C-rate of the battery. A battery charged too quickly, i.e. at a very high C-rate, could lead to a short circuit,

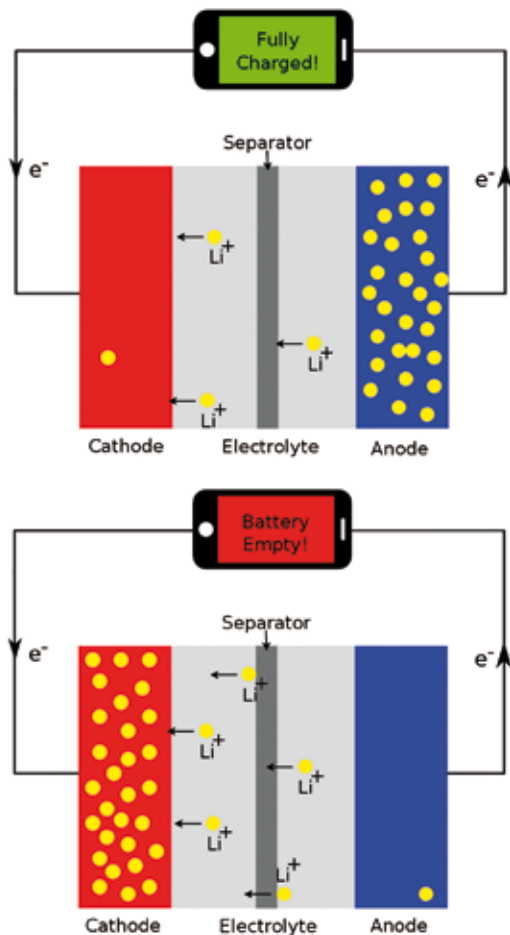


Fig. 1: Schematic diagram of a lithium-ion battery unit according to [1], in discharge condition, attached to an external device, such as a mobile phone. In the fully charged state, there are no more ions on the cathode side and the battery is ready to use. During discharging, lithium-ions depart from the lithiated anode to the delithiated cathode through the electrolyte. When all the ions have moved to the cathode, the battery is fully discharged and needs an external supply for charging again.

and due to the flammable electrolytes in the LIBs, could lead to an explosion or fire. Because of these risks, there are stringent requirements for the favorable performance of the battery in parameter studies. Furthermore, at low C-rate charging conditions, the battery capacity can be almost fully achieved.

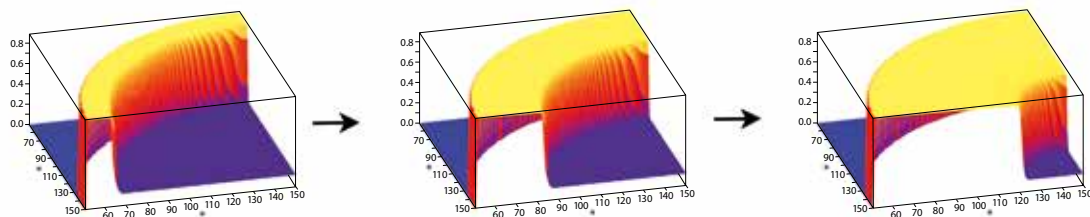


Fig. 2: Temporal evolution of a circular cathode particle during intercalation. The yellow represents the lithium-rich phase while the blue, inside the lithium-rich phase, denotes the lithium-poor phase.

A battery may consist of a collection of one or more electrochemical cells with cell peripherals [3]. A cell is a basic unit that contains electrodes, electrolytes, and separators. Cell peripherals provide electronics such as housing and electrical interconnections, for the proper functioning of cells, as well as to protect them from errors [3]. Additionally, these interconnecting materials are susceptible to void nucleation and migration along the line, which may lead to errors. Therefore, research activities are being carried out worldwide to find ways of preventing such errors and prolonging the lifetime of the interconnectors [4]. In this article, we focus on the modeling of a cathode particle made of an intercalation-type material using a phase-field method. We imitate the two-phase coexistence phenomenon observed during lithiation or delithiation. Furthermore, specific features of the model are discussed.

Model Description

The lithium intercalation into the cathode material shows the coexistence of two phases, which differ in lithium content and crystal structure. In the past, the presence of two phases and the evolution of boundaries between the phases was described using the moving boundary model. In recent decades, the cumbersome tracking of a moving boundary has been modeled by the phase-field approach, in which a continuous order parameter, concentration c (in mol/m^3) is employed to differentiate between the phases. According to [5], conservation of lithium ions during the intercalation is described by the classical Cahn-Hilliard equation [6],

$$\frac{\partial c}{\partial t} = \nabla \cdot (M \nabla \mu), \quad (1)$$

where M denotes the concentration-dependent mobility function (in $\text{mol}^2/(\text{J s m})$), defined as $M = D_0 c (c_{\text{max}} - c) / (k_B T N_A c_{\text{max}})$ where D_0 is diffusion coefficient (in m^2/s), c_{max} represents maximum lithium concentration (in mol/m^3), k_B denotes Boltzmann constant (in J/K), N_A is the Avogadro constant (in $1/\text{mol}$), and T indicates the absolute temperature (in K). The chemical potential μ , in J/mol , is defi-

ned as a variable derivative of the system free energy (in J),

$$F = \int_V \{f^{\text{chem}}(c) + f^{\text{grad}}(\nabla c)\} dV, \text{ shown as:}$$

$$\mu = \frac{\partial(f^{\text{chem}}(c))}{\partial c} - \nabla \cdot \frac{\partial(f^{\text{grad}}(\nabla c))}{\partial \nabla c} \quad (2)$$

We consider the chemical free energy density, in J/m³, in the form of the regular solution model,

$$f^{\text{chem}}(c) = k_B T_{\text{ref}} N_A C_{\text{max}} \left[\alpha_1 \frac{c}{c_{\text{max}}} + \frac{\alpha_2}{2} \left(\frac{c}{c_{\text{max}}} \right)^2 + \frac{T}{T_{\text{ref}}} \left\{ \frac{c}{c_{\text{max}}} \ln \left(\frac{c}{c_{\text{max}}} \right) + \left(1 - \frac{c}{c_{\text{max}}} \right) \ln \left(1 - \frac{c}{c_{\text{max}}} \right) \right\} \right] \quad (3)$$

and assume the gradient-free energy density, in J/m³,

$$f^{\text{grad}}(\nabla c) = \frac{k_B T_{\text{ref}} N_A \kappa}{c_{\text{max}}} \frac{1}{2} |\nabla c|^2, \quad (4)$$

of the form. T_{ref} denotes the reference temperature (in K), the dimensionless parameters α_1 and α_2 are the material properties obtained from mean-field approximations. The gradient energy coefficient κ (in m²), relates to the interface thickness between the two phases. Furthermore, a constant vector-valued lithium flux $\vec{j} = -C c_{\text{max}} R / (3600 d) \vec{n}$ is prescribed on the particle surface, in mol/(m² s). Here, C is the diffusion rate (in 1/s), R denotes the particle radius (in m), d represents the dimensions of the study, i.e. $d = 3$ for a 3D simulation study, and \vec{n} is a normal to the particle surface.

The evolution equation is translated into a dimensionless form for the implementation. Furthermore, we utilize the explicit finite-difference scheme for the model discretization. A Message Passing Interface (MPI) based implementation in PACE3D software, developed at the Institute of Digital Materials Science (IDM), pro-

vides a framework for the large-scale simulations. In this article, only the basic equations of the derivations are described. A complete description of the model can be found in the reference [2].

Results and discussions

For simplicity, only considered one particle of the cathode electrode. In addition, we presumed that other cathode particles would demonstrate the same behavior without any interaction among them. While the

present work focuses on the battery in discharging condition (or lithiation of cathode particle), the same setup is also valid for the charging of the battery with small adjustments in the initial concentration content and changing the sign in the surface flux term. During discharge, lithium-ions vacate the anode and permeate into the cathode through the lithium-ion-abundant electrolyte. Therefore, lithium flux increases concentration in the cathode particle with time. The cathode particle exhibits two-phase coexistence, as shown in Figure 2. The image highlights an evolution of a smooth interface between the two phases during the lithiation. The interface originated from the surface of the particle. Since its inception, the two-phase interface transverses the entire particle with a continuous decrease in the surface area. Finally, it engulfs to the center of the particle.

The predictive ability of the model relies on the realistic reconstruction of the particle geometry. To gain a deeper insight into the mechanism, we consider a particle of an irregular shape. The evolutionary history of a three-dimensional irregular particle is shown in Fi-

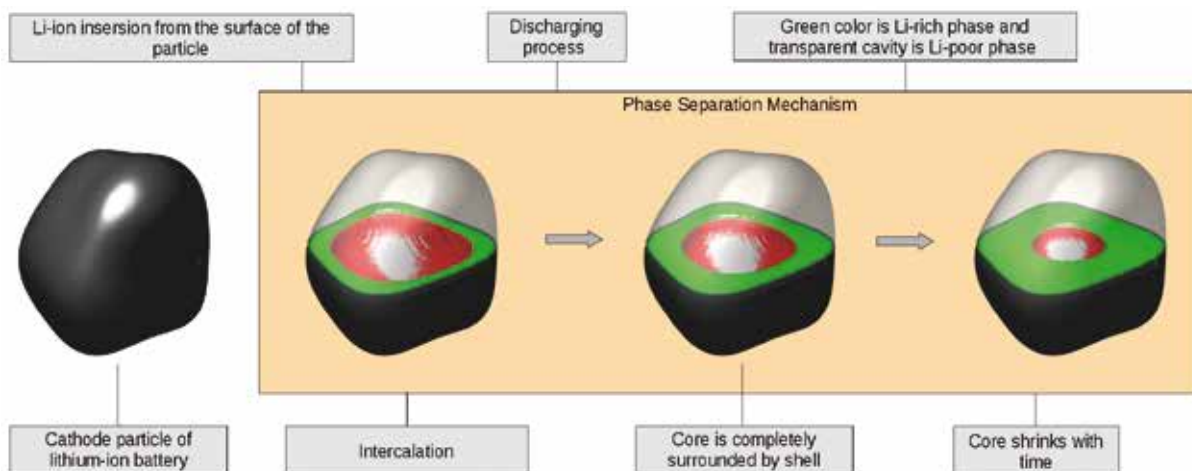


Fig 3: Microstructure evolution of a three-dimensional cathode particle. The opaque black object on the left is a particle with defined, but irregular geometry. Afterwards, the particle is clipped in half for better visual perception. The green color represents the lithium-rich phase and the transparent cavity denotes the lithium-poor phase

Figure 3. The green color phase corresponds to the high lithium phase and completely encloses the transparent cavity of low lithium phase. In addition, the high lithium phase grows at the expense of the other phase over time, and eventually the inner phase vanishes completely.

Conclusions and future scope

Microstructure modeling in the field of energy storage materials can be helpful to better understand changes in the properties of materials and for tailoring the material parameters of the mechanisms underlying the actual process. We demonstrated a simulation study of a cathode particle during discharge and showed that the method is capable of modelling the evolution of two-phase coexistence. In forthcoming research work, the described method will be generalized to incorporate mechanical effects. The development of stresses, due to diffusion gradients in the particle, which pose a threat to the life expectancy of the battery and may ultimately lead to errors, will be reported on in future publications.

Acknowledgements

The presented work was funded by the Ministry of Baden-Württemberg (Ministerium für Wissenschaft und Kunst (MWK)) through the cooperative graduate school “Gefügestrukturanalyse und Prozessbewertung”. The support is gratefully acknowledged.

References

- [1] Zhai Haizhou, Modeling of lithium-ion battery for charging/discharging characteristics based on circuit model (2015), *International Journal of Online Engineering*, 86-95, <https://doi.org/10.3991/ijoe.v13i06.6799>.
- [2] Jay Santoki, Daniel Schneider, Michael Selzer, Fei Wang, Marc Kamlah and Britta Nestler, Phase-field study of surface irregularities of a cathode particle during intercalation (2018), *Modelling and Simulation in Materials Science and Engineering*, 065013, <https://doi.org/10.1088/1361-651X/aad20a>.
- [3] Anup Barai, T. R. Ashwin, Christos Iraklis, Andrew McGordon and Paul Jennings, Scale-up of lithium-ion battery model parameters from cell level to module level – identification of current issues (2017), *Energy Procedia*, 223-228, <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2017.10.154>.
- [4] Jay Santoki, Arnab Mukherjee, Daniel Schneider, Michael Selzer and Britta Nestler, Phase-Field Study of Electromigration-Induced Shape Evolution of a Trans-

granular Finger-Like Slit (2018), *Journal of Electronic Materials*, 1-12, <https://doi.org/10.1007/s11664-018-6619-5>.

[5] Magalie Huttin and Marc Kamlah, Phase-field modeling of stress generation in electrode particles of lithium ion batteries (2012), *Applied Physics Letters*, 133902, <https://doi.org/10.1063/1.4754705>.

[6] John Cahn and John Hilliard, Free energy of a nonuniform system. I. interfacial free energy (1958), *The Journal of Chemical Physics*, 258, <https://doi.org/10.1063/1.1744102>.

Authors

Jay Santoki, M. Tech.

Academic Assistant at the Institute of Digital Material Science (IDM) at Karlsruhe University of Applied Sciences and at the Institute of Applied Materials (IAM-CMS) at Karlsruhe Institute of Technology

Dr.-Ing. Daniel Schneider

Academic Associate at the Institute of Digital Material Science (IDM) at Karlsruhe University of Applied Sciences and at the Institute of Applied Materials (IAM-CMS) at Karlsruhe Institute of Technology

Prof. Dr.-Ing. Marc Kamlah

Head of the Institute of Applied Materials (IAM-WBM) at Karlsruhe Institute of Technology

Prof. Dr. rer. nat. Britta Nestler

Head of the Institute of Digital Material Science (IDM) at Karlsruhe University of Applied Sciences and Professor at the Institute of Applied Materials – Computational Material Science (IAM-CMS) at Karlsruhe Institute of Technology

Contact

Prof. Dr. rer. nat. Britta Nestler
 Karlsruhe University of Applied Sciences
 Head of the Institute of Digital Material Science (IDM)
 Faculty of Computer Science and Business Information Systems
 Moltkestr.30
 76133 Karlsruhe
 E-Mail: britta.nestler@hs-karlsruhe.de

Extensive reduction of the emissions of low-power wood-log fueled fireplaces: An innovative CO/HC gas sensor operation concept for long-term in-situ exhaust gas applications

Xin Zhang, Binayak Ojha, Ulrich Guth and Heinz Kohler

Eine effiziente Absenkung der Emissionen von mit Scheitholz befeuerten Verbrennungsanlagen kleiner Leistung wird nur möglich sein, wenn Fortschritte auf dem Gebiet der Verbrennungsluft-Regelung erzielt werden. Da bisher keine geeigneten CO/HC Gassensoren verfügbar sind, konnten solche innovativen Verbrennungsluft-Regelungssysteme nicht eingeführt werden. In diesem Beitrag werden elektrochemische Verfahren vorgestellt, mit denen es möglich ist, den aktuellen Sensitivitätsstatus von einem marktverfügbaren CO/HC-Gassensor des Mischpotentialtyps zu überprüfen und im Bedarfsfall diesen Sensor am Einsatzort unter Umgebungsluftbedingungen zu regenerieren.

Effective reduction of the emissions of low-power wood-log fueled firing appliances is only possible if advanced combustion air stream control concepts are applied. In the past, lack of appropriate CO/HC gas sensors providing satisfying long-term signal stability hindered the use of those control systems in the market of advanced firing systems. In this paper an electrochemical method is reported, which may solve the problem. It enables checking of the status of CO/HC gas sensitivity of a commercially mixed potential type gas sensor and, if required, regeneration of sensitivity at the place of operation under ambient air conditions.

Background

Small scale furnaces used for heating domestic households, especially wood-log fueled heating systems and wood chips/pellet fueled central heaters are widely used in Europe. They are known to contribute considerably to air pollution and climate change due to the toxic emissions of un-/partly combusted exhaust gas (CO/HC) as well as particulate matter (PM) loaded with organic matter in flue gas (cf. Fig. 1). Particularly in densely populated cities and places where the exchange of environmental air is hindered by landscape profile or by temporary inversion situations in winter time, these emissions can accumulate and pose a high health-risk to humans [1].

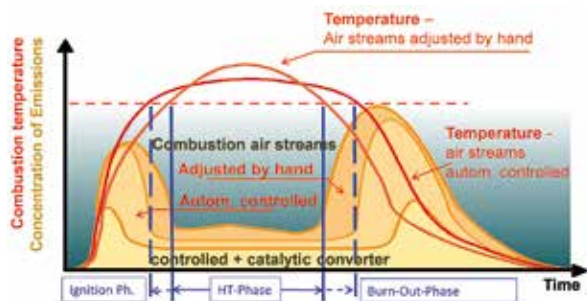


Fig. 1: Schematic illustration of temperature development and toxic emission situations over a firing batch process at hand-adjusted mode, and sensor based automated control mode with/without catalytic converter. A firing batch process is typically divided into an ignition phase, a high temperature (HT) phase and a burn-out phase

Besides the quality of the construction of wood combustion appliances, efficient automatic controlling of the combustion air mass streams plays an essential role in optimizing the combustion process and greatly reducing emissions. The control of the airstreams based on combustion temperature (T_c) and residual oxygen concentration (ROC) in the flue gas is the current state-of-the-art. However, previous investigations, conducted on various fireplaces, have shown that current air stream control methods based only on these two parameters are not sufficient for optimum control of the combustion process [2].

Advanced control concepts for emission reduction of wood-fueled fireplaces and future challenges.

Over the past two decades, the Institute for Sensor and Information Systems (ISIS) at Karlsruhe University of Applied Sciences has been devoted to investigating a novel control concept (cf. Fig. 2) for toxic emission reduction of wood-fueled fireplaces using not only an oxygen and a temperature sensor but also a CO/HC sensor. These CO/HC sensors cover both commercial and laboratory prototypes, which work on a broad range of sensing principles including chemo-resistive, calorimetric and solid state electrochemical (mixed-potential) types of sensors (cf. Fig. 3) [2-4].

In addition, by taking sensor signals representing CO/HC content in the exhaust gas into account, the quality of combustion can be further improved resulting in

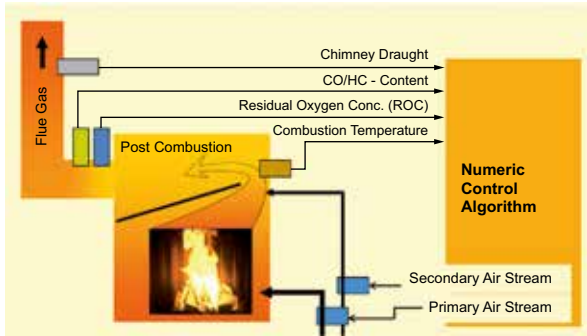


Fig. 2: ISIS control concept for toxic emission reduction of wood-fuelled fireplaces by adjustment of airstreams supplied to the fireplaces based on temperature, ROC, CO/HC-content and air mass stream sensors

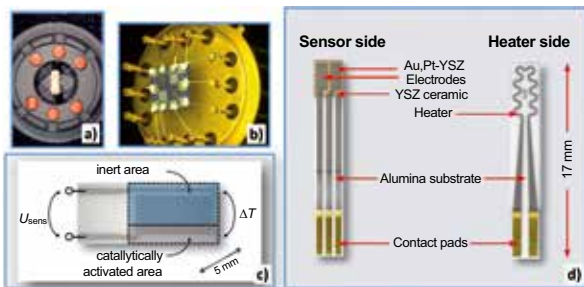


Fig. 3: a) TGS 823 chemo-resistive type sensor, Figaro, Japan; b) four fold sensor array prepared at ISIS (chemo-resistive type); c) Thermo-electric CO/HC sensor provided by department of Functional Materials, University of Bayreuth; d) CarboSen mixed-potential type CO/HC sensor, Lamtec, Germany

a tremendous reduction of toxic gas emissions, e.g.: up to about 80% compared to the emissions of hand operated single room wood-log fueled fireplaces [4].

Although the high efficiency of automated airstream control algorithms for low-power wood combustion processes based on gas sensors, including continuous CO/HC analysis, has been reported in the past [4,5], suitable and long term stable sensor elements for continuous in-situ CO/HC monitoring at those harsh exhaust gas conditions are still not available.

An innovative operation concept of mixed-potential type sensors for long-term in-situ exhaust gas applications

Recently, we proposed a novel operation concept for the commercial mixed potential CO/HC sensors (CarboSen type, cf. Fig. 3d), which includes a sensitivity estimation step by electrochemical impedance spectroscopy (EIS) and a regeneration step by cathodic polarization. The CarboSen sensor elements have a planar design (cf. Fig. 3d), which comprises a pair of layered Au,Pt-YSZ sensing electrodes (Fig. 4b) (APE) on a porous YSZ layer and a Pt reference (RE) electrode buried beneath (cf. Fig. 4a), both structured on an alumina substrate. The potential difference (ΔU) between the APE and the Pt-RE is mea-

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
Melanie Stock/Marion Stoll
Hauptstraße 1
79689 Maulburg
Tel.: +49 7622 28 3000
students@pcn.endress.com

Endress+Hauser



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.

sured by open circuit potentiometry (OCP) and represents the CO/HC content in gas atmospheres.

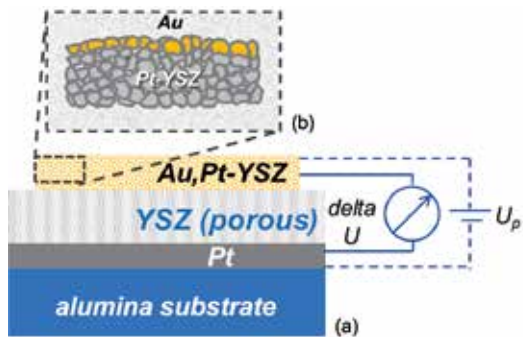


Fig. 4: (a) Schematic illustration (cross section) of the planar CarboSen sensor element and the electrical wiring arrangement for electrochemical measurements and treatments, (b) Layer structure of the Au, Pt-YSZ sensing electrode

Our results of a sensor operated at laboratory conditions show that the initially measured ΔU (day 1) at 1000 ppm CO in air was drastically reduced after 100 days of operation in ambient air (cf. Fig. 5). This correlates with a clear change in the shape of the EIS characteristic and a considerably increased impedance after aging (cf. Fig. 6).

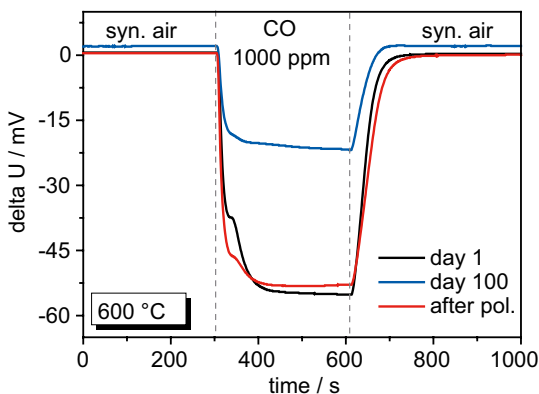


Fig. 5: OCP responses to CO at 600 °C on the 1st and 100th day, and after polarization of the APE

The reduction of the sensing response (cf. Fig. 5) and the increase of the impedance (cf. Fig. 6) are assumed to be a consequence of oxidation of metallic parts of the APE [6]. This results in a decrease of the concentration of the active electrochemical reaction sites in the potential forming processes and, accordingly, causes depress of the mixed potential formation observed under exposure of CO. However, as found by extended investigations [7], these oxidized parts seem to be reduced again to the metallic state by cathodic polarization at elevated temperature (700°C) and synthetic air conditions. As a result, the blocked reaction sites are assumed to be reactivated, and accordingly very

similar OCP (cf. Fig. 5) and EIS characteristics (cf. Fig. 6) to those before aging are observed.

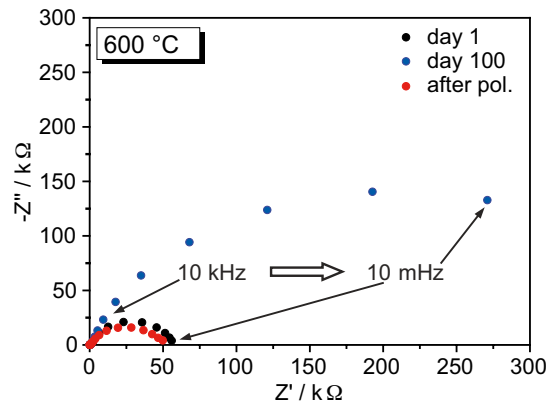


Fig. 6: EIS characteristics in synthetic air at 600 °C on the 1st and 100th day, and after polarization

Finally, this regeneration concept was validated on another individual of this type of sensor, which had been used for in-situ analysis in the flue gas of wood combustion processes. The stability of the sensor was periodically checked by sensitivity tests in CO/synthetic air-mixtures after operation in the flue gas (cf. Fig. 7). After 12h of operation, ΔU clearly declines, but rises again after cathodic polarization to values even higher than the original ones. This regeneration effect of gas sensitivity was shown to be stable for at least 36 hours of further operation in the flue gas (cf. Fig. 7).

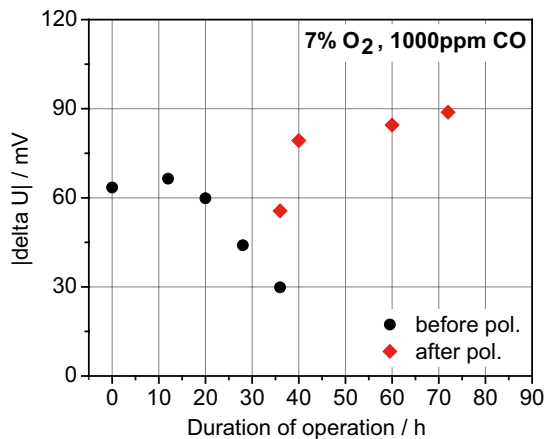


Fig. 7: Signals of a CarboSen CO/HC gas sensor measured at repeated exposure of 1000 ppm CO, 7 vol.% O₂ model gas vs. the duration of operation in the flue gas of wood-log batch firing experiments. After 36 hours, one regeneration procedure was conducted

Conclusions

EIS and cathodic polarization enable sensitivity evaluation and regeneration of CarboSen Au,Pt-YSZ sensor elements on site of operation at ambient air conditions. These procedures can be conducted between two consecutive firing sequences and prospectively

enable long-term operation in advanced combustion air-stream control systems which allow substantial decrease of uncombusted, toxic gas emissions [2-5]. This will be proven by long-term firing experiments in the next steps of investigation.

References

- M. Tapanainen, P.I. Jalava, M.-R. Hirvonen et al. Atmospheric Environment 45 (2011) 7546-7554.
 B. Ojha, N. Illyaskutty, H. Kohler et al. J. Sens. Sens. Syst. 6 (2017) 237–246.
 B. Ojha, G. Hagen, H. Kohler, R. Moos. MDPI Proceedings. 1 (2017) 457–460.
 H. Kohler, B. Ojha, M. Dambacher et al. J. Sens. Sens. Syst. 7 (2018) 161 – 167.
 P. Butschbach, F. Hammer, H. Kohler et al. Sen. and Actuators B 137 (2009) 32-41.
 X. Zhang, H. Kohler, U. Guth et al. Sens. and Actuators B (2018) in preparation.
 X. Zhang. Doctoral Thesis, TU Dresden, Feb. 2019.

Acknowledgement

The authors acknowledge the support of this work with CarboSen gas sensors by the Lamtec Mess- und Regelungstechnik für Feuerungen GmbH&Co KG, Wall-dorf, Germany.

Authors

Xin Zhang, M. Sc.

Doctoral student, sensor group of Prof. Dr. Heinz Kohler, Institute for Sensor and Information Systems (ISIS), Karlsruhe University of Applied Sciences

Binayak Ojha, M. Sc.

Project Engineer, sensor group of Prof. Dr. Heinz Kohler, Institute for Sensor and Information Systems (ISIS) at Karlsruhe University of Applied Sciences

Prof. Dr. rer. nat. Ulrich Guth

Emeritus Professor at the Department of Chemistry and Food Chemistry, Dresden University of Technology

Prof. Dr. rer. nat. Heinz Kohler

Speaker of the Institute for Sensor and Information Systems (ISIS) at Karlsruhe University of Applied Sciences and head of the ISIS sensor group

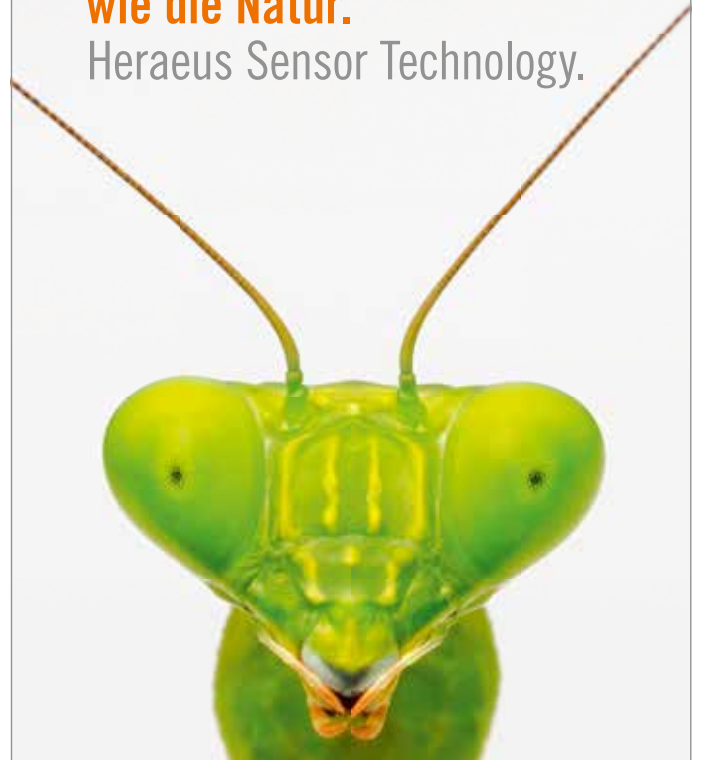
Contact

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

Heraeus

**Präzise und feinfühlig
wie die Natur.**

Heraeus Sensor Technology.



Hochpräzise Temperaturmessung ist für viele Schlüsseltechnologien unerlässlich und eine wichtige Voraussetzung für erfolgreiche technische Lösungen. Durch unsere Experten vor Ort und jahrelange Erfahrung entwickeln wir maßgeschneiderte Lösungen – heute und in Zukunft. Allen angehenden Ingenieuren bieten wir eine spannende Herausforderung in einer der faszinierendsten Branchen der Zukunft. Interessiert? Wir freuen uns auf Ihre Bewerbung.

Heraeus Sensor Technology GmbH

Reinhard-Heraeus-Ring 23
 63801 Kleinostheim, Germany
 Tel. +49 6181 35-8098
 info.hst@heraeus.com



www.heraeus-sensor-technology.de

Saubere Gasmotorentechnologie für Blockheizkraftwerke

Youssef Beltaifa und Maurice Kettner

Blockheizkraftwerke (BHKW) mit flexibler und sauberer Gasmotorentechnologie stellen einen idealen Partner für erneuerbare, schwankend verfügbare Energien dar und sind damit ein Baustein der Energiewende. Zur Einhaltung zukünftiger strengerer Grenzwerte für Stickoxide (NO_x) von erdgasbetriebenen BHKW-Otto-Motoren bei gleichzeitig hohem Wirkungsgrad und ohne Leistungsabfall wird im Rahmen des Projekts LiquidEGR eine geregelte Motorbetriebsstrategie mit einer in Echtzeit durchgeführten NO_x -Ionen-Strommessung im Brennraum und in Kombination mit der Rückführung des Abgaskondensats (direkte/indirekte Kondensat-Einspritzung in den Brennraum) mithilfe experimenteller sowie numerischer Simulationsmethoden entwickelt. Die bisherigen Untersuchungen ergaben, dass die Saugrohrwassereinspritzung mit der aktuellen Einbaulage und der verwendeten Konfiguration unmittelbar nach Öffnen des Einlassventils – trotz der schlechten Verdampfung im Saugrohr und der leichten Beeinträchtigung des Ladungswechselliefergrads – eine Leistungserhöhung bei gleichbleibenden Stickoxidemissionen und Motorwirkungsgrad ermöglicht.

Combined heat and power plants (CHP) with flexible and clean gas engine technology are an ideal partner for renewable, fluctuating energy sources and are thus an essential component of the energy transition. In order to comply with future stricter NO_x limits for natural gas-powered CHP engines with high efficiency levels 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 by the project LiquidEGR. The project will apply experimental and numerical simulation methods. In recent investigations, it has been found that with the current configuration, port-water-injection just as the intake valve is opened allows a power increase at constant NO_x emissions and constant engine efficiency despite poor evaporation in the intake manifold and a slight degradation of the effective volumetric efficiency.

Einleitung

Blockheizkraftwerke (BHKW) mit flexibler und sauberer Gasmotorentechnologie stellen einen idealen Partner für erneuerbare, schwankend verfügbare Energien dar und sind damit ein Baustein der Energiewende. Zur Einhaltung zukünftiger strengerer Grenzwerte für Stickoxide (NO_x) von erdgasbetriebenen BHKW-Otto-Motoren bei gleichzeitig hohem Wirkungsgrad und ohne Leistungsabfall wird im Rahmen des Projekts LiquidEGR eine geregelte Motorbetriebsstrategie mit einer in Echtzeit durchgeführten NO_x -Ionen-Strommessung im Brennraum und in Kombination mit der Rückführung des Abgaskondensats (direkte/indirekte Kondensat-Einspritzung in den Brennraum) mithilfe experimenteller sowie numerischer Simulationsmethoden entwickelt.

Grundlagen der Wassereinspritzung

Unter den meisten motorischen Bedingungen entstehen die Stickoxide aufgrund der hohen Verbrennungstemperaturen im Brennraum. Daher kann die Reduktion der NO_x -Emissionen durch Absenkung der Brennraumtemperatur erreicht werden. Dies kann mithilfe der direkten/indirekten Einspritzung des flüssigen Kondensats in den Brennraum aufgrund der hohen spezifischen Wärmekapazität des Wasserdampfs

und der Verdampfungsenthalpie (ΔH_v) des flüssigen Wassers gewährleistet werden. Infolge der Verdampfungsenthalpie weist die Einspritzung des flüssigen Wassers gegenüber der Abgas-Rückführung einen wesentlichen Vorteil bezüglich der Abkühlung der Zylinderladung vor der Verbrennung auf. Dies ist auf Abbildung 1 (links) ersichtlich.

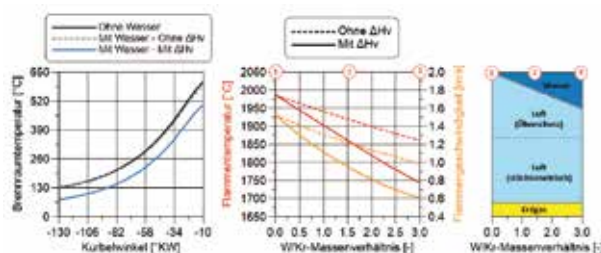


Abb. 1: Einfluss der Wassereinspritzung auf die Absenkung der Brennraumtemperatur vor und nach der Verbrennung (links und Mitte); Gemisch-Zusammensetzung bei den Simulationen mit zunehmendem Wasseranteil (rechts)

Dabei entsprechen die Verläufe den Brennraumtemperaturen in Abhängigkeit vom Kurbelwinkel (°KW) während des Kompressionstakts bei einer 1D-Motorprozesssimulation in AVL BOOST ohne und mit Saugrohr-Wassereinspritzung bei einem Wasser-zu-

Kraftstoff-Massenverhältnis (W/Kr) von 2. Bei festgelegtem Verdichtungsverhältnis, Kraftstoffmenge und Zündzeitpunkt führt die Wassereinspritzung nicht nur zur Absenkung der Verbrennungstemperatur, sondern auch zur Abnahme der Verbrennungsgeschwindigkeit. Dies kann durch die Simulationsergebnisse einer adiabatischen laminaren Flamme bei gleichen Anfangsbedingungen und bei unterschiedlichen Gemisch-Zusammensetzungen mit konstantem Erdgasanteil (Methan) und zunehmendem Wasseranteil (s. Abb. 1, rechts) mittels der Chemoinformatik-Software Cantera mit dem Reaktionsmechanismus GriMech 3.0 bestätigt werden (s. Abb. 1, Mitte). Die Flammgeschwindigkeits-Abnahme führt zur Verspätung der Verbrennungsschwerpunktage und somit zunächst zur Verschlechterung der Leistung und des Wirkungsgrads. Um diesen nachteiligen Effekten entgegen zu wirken, kann aufgrund der besseren Klopfestigkeit (niedrige Brennraumtemperaturen) zum einen der Zündzeitpunkt nach früh verschoben und somit eine optimale Verbrennungsschwerpunktage behalten werden. Zum zweiten kann das geometrische Verdichtungsverhältnis durch Veränderung der Kolbenform (Kolbenmulde) angehoben und folglich eine Steigerung des Motorwirkungsgrads erreicht werden. Weitere Maßnahmen zur Beseitigung des hemmenden Einflusses der Wassereinspritzung auf die Verbrennung können durch die Beimischung von Wasserstoff erreicht werden, dank dessen besseren Entflammungseigenschaften im Vergleich zu Erdgas, auch bei niedrigen Temperaturen. Das Abgaskondensat kann sowohl direkt (Direkteinspritzung) als auch indirekt (Saugrohreinspritzung) in den Brennraum eingeführt werden. Beide Methoden weisen Vor- und Nachteile auf. Diese werden im Laufe des Forschungsvorhabens näher untersucht und gegenübergestellt. Ebenso wie bei der Direkteinspritzung spielt die Einspritzstrahlausbreitungs-Untersuchung bei der Entwicklung der Saugrohreinspritzung eine grundlegende Rolle. Bei der Saugrohreinspritzung soll darauf geachtet werden, möglichst die Wasserwandfilmbildung im Saugrohr zu minimieren und die Verdampfung des Wassers in der Ansaugluft zu erleichtern. Aus diesem Anlass sind detaillierte Untersuchungen zur Einspritzstrahlausbreitung im Zuge dieses Projekts sowohl für die Direkt- als auch für die Saugrohreinspritzung von einer besonderen Bedeutung.

Untersuchungen zum Einspritzstrahl

Die Entwicklung und Optimierung moderner Einspritzsysteme für Verbrennungsmotoren erfordert den Einsatz hochpräziser Analysewerkzeuge, so wie auch die experimentellen Untersuchungen an optisch zugänglichen Motoren oder Prüfständen unter motorähnlichen Bedingungen. Daher wird im Rahmen des Projekts

LiquidEGR der im Forschungsbereich Motorentechnik entwickelte Einspritzstrahlprüfstand zwecks Vergleich und Auswahl eines geeigneten Injektors für die Saugrohrwassereinspritzung verwendet. Abbildung 2 zeigt eine schematische Darstellung des verwendeten Prüfstands mit kurzer Beschreibung zu den einzelnen Komponenten.

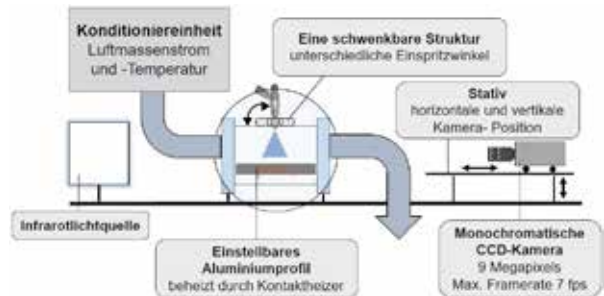


Abb. 2: Einspritzstrahlprüfstand am Forschungsbereich Motorentechnik

Laut [1] erreichen Drall-Direkteinspritzinjektoren selbst bei niedrigem Einspritzdruck relativ gute Zerstäubung, obwohl sie üblicherweise mit hohen Einspritzdrücken eingesetzt werden. Daher wurden für die Einspritzstrahlausbreitungs-Untersuchungen zunächst zwei Hohlkegel-Direkteinspritzinjektoren von Denso und Bosch herangezogen. Die Versuche wurden bei einem absoluten Einspritzdruck von 8,5 bar – ohne und mit Luftströmung (0 und 100 kg/h) – und mit destilliertem Wasser durchgeführt. In Abbildung 3 wurden die Einspritzstrahlausbreitungen bei einer elektrischen Ansteuerungsdauer von 3 ms erfasst.

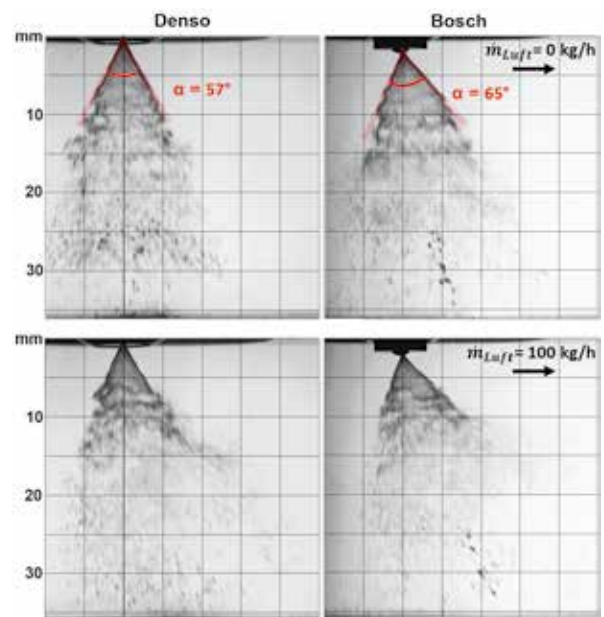


Abb. 3: Einspritzstrahlausbreitungen der Injektoren Denso (links) und Bosch (rechts) bei 3 ms elektrischer Ansteuerungsdauer bei Luftströmung von 0 kg/h (oben) und 100 kg/h (unten)

Aus den Bildern geht hervor, dass die Anströmung des Einspritzstrahls eine Beschleunigung des Primärzerfalls (von einer dünnen Flüssigkeitsschicht zu Tropfen) und somit eine bessere Zerstäubung herbeiführt. Der Primärzerfall erfolgt aufgrund der instabilen sinusförmigen Wellen, die beim Einspritzen von dünnen Flüssigkeitsschichten in die Atmosphäre entstehen. Diese Wellen wirken senkrecht zur dünnen Flüssigkeitsschicht. Der Einfluss dieser Wellen wird mit zunehmender Anströmungsgeschwindigkeit begünstigt, was zur Beschleunigung des Primärzerfalls führt. Der Bosch-Injektor weist gegenüber dem Denso-Injektor einen größeren Hohlkegel-Öffnungswinkel α auf und somit eine bessere Verteilung der Wassertröpfchen über den Strömungsquerschnitt. Zudem spritzt der Bosch-Injektor um ca. 10° geneigt gegenüber der Injektor-Achse ab, was den Einbau im Motorsaugrohr vereinfacht. Daher wurde der Bosch-Injektor für die ersten motorischen Versuche mit Saugrohrwassereinspritzung ausgesucht. Mit den Einspritzstrahlbildern für den Bosch-Injektor aus dem Einspritzstrahlprüfstand werden die numerischen Spraymodelle in den 3D-CFD-Simulationen (AVL-FIRE) abgestimmt, wobei die Einspritzstrahlen unter prüfstand-identischen Bedingungen simuliert werden. Anschließend werden die abgestimmten Spraymodelle in das 3D-CFD-Motormodell integriert, um die komplexen Vorgänge bei der Einspritzung im Saugrohr zu untersuchen.

Untersuchungen zum Einspritzzeitpunkt bei der Saugrohrwassereinspritzung

1. Versuchsträger

Der für die Untersuchungen verwendete Versuchsträger basiert auf einem stationären (2450 U/min) gemischansaugenden BHKW-Otto-Gasmotor mit einem Zylinder und einer Nennleistung von 5,5 kW_{el} der Firma SenerTec. Die Zündung erfolgt mithilfe einer Vorkammerzündkerze. Das Verdichtungsverhältnis beträgt 13,2. Für das Vorhaben wurde der Versuchsträger mit einem speziellen Saugrohr-Adapter für den Bosch-Injektor ohne Änderung des Motorblocks ausgerüstet. Der Neigungswinkel des Injektors beträgt 45° in Bezug auf die Strömungsrichtung im Saugrohr. Die technischen Daten des Versuchsträgers sowie ein Schema des Gaspfads mit den verwendeten Messstellen sind Abbildung 4 zu entnehmen. Die kurbelwinkelgenaue Steuerung des Einspritzzeitpunkts und der Einspritzdauer erfolgt anhand gepulster Spannungssignale über die Steuerungseinheit ADwin Gold-II.

2. Versuchsbeschreibung

Die Entwicklung einer effizienten Saugrohr-einspritzung erfordert eine Optimierung des Zusammenwirkens verschiedener Faktoren wie Einspritzdruck,

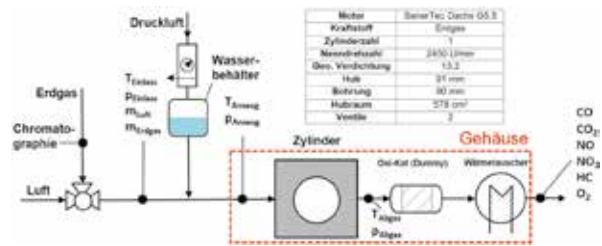


Abb. 4: Technische Daten Versuchsträger

-menge und -zeitpunkt mit dem motorischen Ansaugprozess. Der Einspritzzeitpunkt steht im Fokus der vorliegenden Untersuchungen. Daher wurde eine Variation des Einspritzzeitpunkts am Versuchsträger durchgeführt, wobei die in Tab. 1 aufgeführten Parameter konstant gehalten wurden.

Parameter	Wert
NO	1,44 g/kWh
Verbrennungsschwerpunktlage	19,7°KW
Ansauglufttemperatur	25 °C
Ansaugluftdruck	995 mbar
W/	15 %
Wassereinspritzdruck (Absolut)	8,5 bar

Tab. 1: Konstant gehaltene Parameter bei der Einspritzzeitpunkt-Variation am Versuchsträger

Bei jedem Einspritzzeitpunkt (SOI = Start of Injection) wurde die Messung drei Mal durchgeführt. Alle Messungen wurden an einem Tag bei nahezu gleichen Bedingungen und Erdgaszusammensetzung durchgeführt. Die NO_x-Konzentration wurde über den Kraftstoffmassenstrom und damit dem Luftverhältnis eingestellt. Für eine konstante Verbrennungsschwerpunktlage wurde der Zündzeitpunkt angepasst.

3. Beschreibung des numerischen Modells

Die versuchs begleitenden numerischen Untersuchungen zu besserer Interpretation der Versuchsergebnisse erfolgten mittels der 1D-Motorprozesssimulationssoftware AVL-BOOST, in der der Gaspfad des Motors sowie der Brennraum für den Serienbetriebspunkt detailgenau nachmodelliert und validiert wurden. Die gemessenen und simulierten Einlass- sowie Auslassdruckverläufe sind auf Abbildung 5 dargestellt.

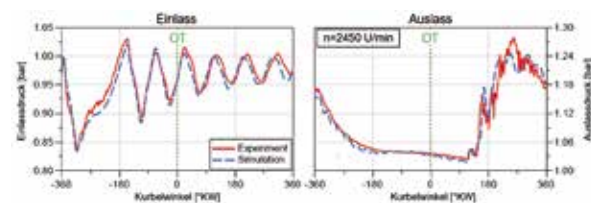


Abb. 5: Gemessene und simulierte Einlass- (links) und Auslassdruckverläufe (rechts) über Kurbelwinkel für den Serienbetriebspunkt [3]

4. Ergebnisse und Diskussion

Die Wassereinspritzung im Saugrohr führt abhängig vom Einspritzzeitpunkt (SOI) zu unterschiedlichen Saugrohrtemperaturen (s. Abb. 6, rechts). Trotz der Absenkung der Saugrohrtemperatur führte die Wassereinspritzung zur Verringerung des Luftmassenstroms (s. Abb. 6, links).

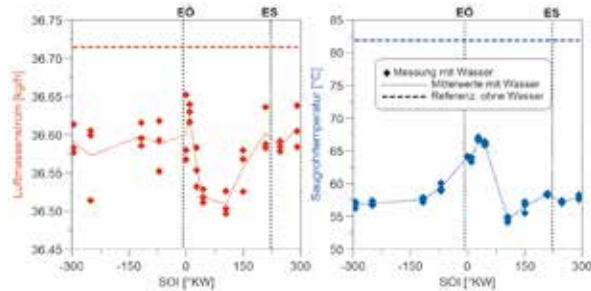


Abb. 6: Luftmassenstrom (links) und Saugrohrtemperatur (rechts) in Abhängigkeit vom Einspritzzeitpunkt (SOI)

Ein möglicher Grund dafür ist, dass ein wesentlicher Anteil des eingespritzten Wassers an der Saugrohrwand verdampft. Das führt dazu, dass der Wasserdampf einen Anteil des Ansauggemischs verdrängt. Abbildung 7 zeigt die Ergebnisse einer 1D-Simulations-Variationsstudie, wobei der Anteil der Wandwärme bei der Verdampfung des Wassers und das Wasser/Kraftstoff-Massenverhältnis von 0 bis 1 variiert wurden. Abbildung 7 zeigt auch, dass die Erhöhung des Anteils der Wandwärme bei der Verdampfung des Wassers sowohl zur Minimierung der Kühlung des angesaugten Gemisches als auch zur Beeinträchtigung des Ladungswechselliefergrads führt. Bezüglich des Liefergrads sind zwei unterschiedliche Tendenzen zu erkennen. Bis zu einem gewissen Wandwärmeanteil bei der Verdampfung (in diesem simulierten Fall $\approx 0,65$) führt die Erhöhung der eingespritzten Wassermenge zur Verbesserung des Liefergrads, da die Zunahme der eingespritzten Wassermenge für zusätzliche Kühlung

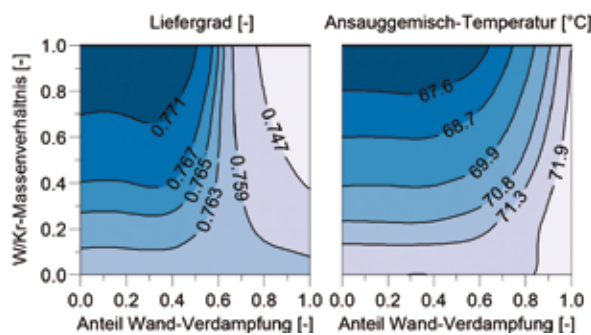


Abb. 7: Ladungswechselliefergrad (links) und Ansauglufttemperatur am Einlassventil (rechts) in Abhängigkeit von Wasser/Kraftstoff-Massenverhältnis und Anteil der Wandwärme bei der Wasserverdampfung

des Ansauggemischs sorgt und somit zur Erhöhung der Gemischdichte führt. Eine Erhöhung der eingespritzten Wassermenge beim Überschreiten dieses Anteils ($\approx 0,65$) führt hingegen zu einer Verschlechterung des Liefergrads, trotz der Absenkung der Ansauglufttemperatur, weil die Zunahme der Wassermenge, die im Saugrohr verdampft, eine zusätzliche Verdrängung des angesaugten Gemischs verursacht.

Die Verdampfung des eingespritzten Wassers im Saugrohr hängt von der Temperatur des Ansauggemischs ab. Je höher die Gemischtemperatur im Saugrohr ist, desto besser ist die Verdampfung und somit der Ladungswechselliefergrad. Zur Darstellung des Temperaturverlaufs im Saugrohr in Abhängigkeit vom Kurbelwinkel wurde im 1D-Modell eine Messstelle MP (Messpunkt) zwischen dem Injektor und dem Einlassventil herangezogen. Der Temperaturverlauf an der Stelle MP ist auf Abbildung 8 dargestellt und zeigt einen unmittelbaren Zusammenhang zwischen dem Temperaturniveau im Saugrohr und dem gemessenen Ansaugluftmassenstrom.

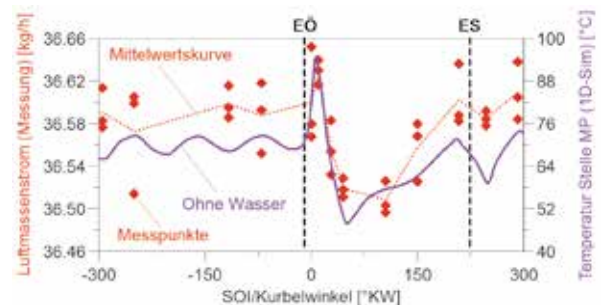


Abb. 8: Luftmassenstrom aus Messungen über Einspritzzeitpunkt (SOI) und Temperaturverlauf an der Stelle MP aus 1D-Simulation über Kurbelwinkel (°KW)

Die Einspritzung bei höherer Gemischtemperatur führt zu einem höheren Luftmassenstrom und somit zu besserer Füllung. Der höchste Ansaugluftmassenstrom wurde bei einer Einspritzung bei $SOI = 10$ °KW erfasst, wo die Gemischtemperatur im Saugrohr nahezu an ihrem Maximum liegt. Die Gemischtemperatur im Saugrohr unmittelbar nach dem Einlassventil-Öffnen ist besonders hoch. Das ist darauf zurückzuführen, dass sich gerade beim Öffnen des Einlassventils eine heiße Rückströmung ausgehend vom Brennraum im Saugrohr ausbreitet. Das liegt daran, dass der Druck im Brennraum beim Öffnen des Einlassventils höher ist als der Druck im Saugrohr (s. Abb.9).

Bei höherem Ansaugluftmassenstrom kann mehr Kraftstoff verbrannt werden, ohne die Emissionsgrenzwerte zu überschreiten. Dadurch kann aus der Verbrennung mehr Energie freigesetzt werden. Dies kann

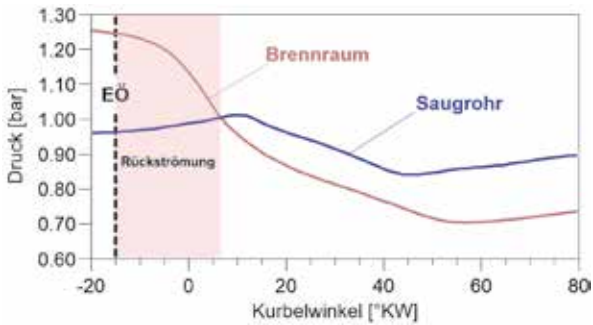


Abb. 9: Drücke im Brennraum und im Saugrohr beim Beginn des Ansaugtakts aus 1D-Simulation

durch die Verläufe von Luft-, Kraftstoffmassenstrom und indiziertem Mitteldruck (IMEP) auf Abbildung 10 bestätigt werden. Die verbrannte Kraftstoffmenge ist hierbei durch den NO_x-Grenzwert limitiert. Die Erhöhung der Kraftstoffmenge ist mit Zunahme der Leistung (Mitteldruck im Brennraum) und des Wirkungsgrads verbunden. Im Fall einer Einspritzung bei SOI = 0 °KW nach LOT oder SOI = 10 °KW nach LOT konnte eine deutlich höhere Motorleistung bei gleichen NO_x-Emissionswerten und nahezu dem gleichen Wirkungsgrad wie im Referenzbetrieb erreicht werden.

Ausblick und Danksagungen

Für eine bessere Interpretation der experimentellen Ergebnisse werden im Laufe der weitergehenden Untersuchungen 3D-CFD- Simulationen mit bewegten Netzen des Einspritzvorgangs und der anschließenden Verbrennung im Brennraum durchgeführt. Dies erfolgt durch Anwendung geeigneter Modelle. Zusammenfassend erfordert die Entwicklung einer effi-

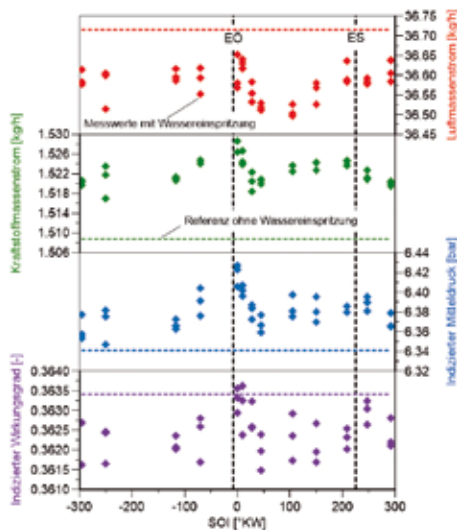


Abb. 10: Luft- und Kraftstoffmassenströme, indizierter Mitteldruck (IMEP) und Wirkungsgrad bei unterschiedlichen Einspritzzeitpunkten (SOI), konstanten NO_x-Emissionen und konstanter Verbrennungsschwerpunktlage

zienten Abgaskondensatrückführungs-strategie – zur Entschärfung des Zielkonflikts zwischen Stickoxidemissionen, Leistung und Wirkungsgrad – bei einem BHKW-Gasmotor eine enge Verzahnung numerischer und experimenteller Simulationsmethoden, um die komplexen und simultan wirkenden Vorgänge bei der Wassereinspritzung zu analysieren.

Schließlich gilt ein besonderer Dank allen Projektpartnern: Der SenerTec Kraft-Wärme-Energiesysteme GmbH und der BOMAT Heiztechnik GmbH für die Bereitstellung des Versuchsträgers, AVL AST für die Simulations-Werkzeuge, Weissgerber Engineering GmbH für die Ionenstrommesstechnik und dem Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) für die finanzielle Förderung des Vorhabens in der Förderlinie Ingenieur-Nachwuchs. Ein herzlicher Dank richtet sich an Herrn Prof. Dr.-Ing. Peter Eilts (Institut für Verbrennungskraftmaschinen, Technische Universität Braunschweig) für die Betreuung der kooperativen Promotion im Rahmen des Forschungsprojekts LiquidEGR.

Literatur

- [1] N. Ashgriz, Handbook of Atomization and Sprays, 2011
- [2] M. Kettner et al., Investigating the influence of water injection on the emissions of a diesel engine, <http://dx.doi.org/10.15282/jmes.10.1.2016.11.0179>, 2016
- [3] D. Neher, Miller Cycle and Exhaust Gas Recirculation for a Naturally Aspired Lean-burn Gas Engine, Doctoral Thesis, 2017

Autoren

Youssef Beltaifa M.Sc.

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

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

Institut für Kälte-, Klima- und Umwelttechnik

Moltkestr. 30

76133 Karlsruhe

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



Seit über 35 Jahren sind wir als unabhängiger Dienstleister in den Bereichen Motorenentwicklung, Messtechnik sowie Forschung und Schadensanalytik aktiv. Von Motorentests über Prüfstandmessgeräte und ganzen Prüfzentren bis hin zur Werkstoffkunde decken wir somit den gesamten Prozess im Bereich Motorentest ab.

IHR SPEZIALIST FÜR ANTRIEBSTECHNIK

„Neue Messergebnisse zu liefern ist uns zu wenig.
Wir liefern direkt umsetzbare Lösungen für die Produkte unserer Kunden.“

IAVF Antriebstechnik GmbH

Im Schleiert 32
76187 Karlsruhe

info@iavf.de
www.iavf.de



Entwickle mit uns die Zukunft der Mobilität als

Softwareentwickler (m/w/d)
Verkehringenieur (m/w/d)
Projektleiter / Consultant (m/w/d)
Absolvent / Berufseinsteiger (m/w/d)



www.hacon.de

Bewirb Dich jetzt: jobs@hacon.de



Bau auf Uponor mit S-Press PLUS

Uponor

Uponor präsentiert die neue Generation Pressfittings für Verbundrohre. Mit der Praxiserfahrung aus 25 Jahren und 500 Millionen installierter Fittings. DIE Fittings ohne Kompromisse.

- ✓ **ROBUST:** Für den Einsatz unter härtesten Bedingungen
- ✓ **SICHER:** Sorgt für perfekte Pressergebnisse
- ✓ **EINFACH:** Planungs- und montagefreundlich
- ✓ **SMART:** Jederzeit technische Informationen über QR-Code abrufen



www.uponor.de/s-press-plus

Pilotanlage für eine nachhaltige Aquakultur in der Region um den Victoriasee in Afrika

Ephraim Gukelberger und Jan Hoinkis

Als zweitgrößtem Süßwassersee der Erde kommt dem Victoriasee in Ost-Afrika eine besondere Bedeutung zu. Doch der See ist in einem besorgniserregenden Zustand. Eine immer stärkere Überfischung sowie Verschmutzung bedrohen langfristig das ökologische System und die Überlebensgrundlage für viele Fischereibetriebe und Industrien vor Ort. Das EU-Projekt „Integrated aquaculture based on sustainable water recirculation system for the Victoria Lake Basin“ (VicInAqua) verfolgt den Ansatz einer nachhaltigen Aquakultur durch die Nutzung von gereinigtem Abwasser was auch zur Renaturierung des Gewässers beitragen wird. Die Nutzung von regenerativen Energien ist essentieller Teil dieser Strategie. Der Technologietransfer durch Schulungen und Informationsveranstaltungen sollen zudem die Akzeptanz innerhalb der Bevölkerung fördern.

As the second biggest fresh water lake in the world, Lake Victoria plays a major role in the East African region. However, the ecosystem is endangered by a fast growing fish industry which is leading to a rapid depletion of fish stocks. Moreover, over-fertilization due to the direct discharge of wastewater into the lake is leading to a rapid spread of the invasive water hyacinth. The EU-project “Integrated aquaculture based on sustainable water recirculation system for the Victoria Lake Basin” (VicInAqua) has the purpose of achieving sustainable aquaculture by using wastewater streams to contribute to the re-naturalization of the Lake Victoria basin. Using regenerative energies is an essential aspect of this strategy. To raise awareness amongst the local African population, there is a focus on transferring and disseminating technology during training and information sessions.

Einleitung

Der Victoriasee, zweitgrößter Süßwassersee weltweit, ist in einem besorgniserregenden Zustand. Die schnell ansteigende Bevölkerung und Urbanisierung rund um das Einzugsgebiet machen dem Ökosystem stark zu schaffen. Der Nahrungsbedarf und die fischverarbeitende Industrie sind angewachsen wodurch die Überfischung stetig zunimmt. Viele größere Fischereibetriebe verzeichnen deshalb bereits heute einen Umsatzrückgang von teilweise 85 %. Der starke Rückgang der Fischbestände ist besonders existenzbedrohend für kleinere Fischereien. Hinzu kommt die invasive Wasserhyazinthe, die sich durch die starke Überdü-

ngung (Stickstoff und Phosphat) rapide ausbreitet (s. Abb. 1). Die größtenteils unzureichende Aufbereitung und Direkteinleitung kommunaler sowie industrieller Abwässer sind hier als Ursache auszumachen. Große Mengen an organischer Substanz verbrauchen den im Wasser gelösten Sauerstoff, was die Fischbestände weiter schrumpfen lässt.

Das Projekt VicInAqua adressiert beide grundlegenden Probleme, indem kommunales Abwasser durch ein innovatives, selbstreinigendes Filtersystem gereinigt und als Brauchwasser einer Aquakultur zur Verfügung gestellt wird. Als geschlossenes und kont-



Abb. 1: Karte vom Victoriasee (links) und invasiver Befall durch Wasserhyazinthen (rechts) [1] [2]

rolliertes Kreislaufsystem bietet die Aquakultur beste Voraussetzungen zur Aufzucht qualitativ hochwertiger Zuchtfische. Die Sterblichkeitsrate wird so geringgehalten und der Wasserverbrauch sinkt im Vergleich zu lokalen Aquakulturen, die meist als platzintensive Teichsysteme angelegt sind. Infolgedessen sind niedrigere spezifische Kosten zu erwarten. Das neuartige System ermöglicht es, die Fischzucht näher am Verbraucher zu platzieren und als Onshore-Konzept direkt an die fischverarbeitende Industrie zu koppeln, was den Kühlkreislauf erheblich verkürzt. Neben der technischen Umsetzung gilt als weitere wichtige Säule die Schulung der Menschen vor Ort, um die Bewusstseinsbildung für die Notwendigkeit eines solchen Projekts zu fördern und eine möglichst hohe Akzeptanz innerhalb der Bevölkerung zu erreichen. Die skalierbare Pilotanlage wird als Schulungszentrum genutzt und kann auf heimische Fischarten (Buntbarsch, Nilbarsch, Wels) angepasst werden. Eine nachhaltige Stärkung der lokalen und nationalen Wirtschaft (Kenia, Uganda, Tansania) wird angestrebt.

Planungsphase

Kernelement ist ein Membranbioreaktor zur Abwasserreinigung, der eine biologische Reinigung mit einer physikalischen Filtration durch Membranen vereint. Als Vorteil dieser Technologie gelten die hohe Wasserqualität bei kleiner Grundfläche im Vergleich zu konventionellen Anlagen mit Sedimentation und Flotationsbecken. Das Anhaften von organischem Material an der Membranoberfläche sowie in den Membranporen (sog. Fouling) führt grundsätzlich zur Verschlechterung der Leistung und Erhöhung des Energieverbrauchs. VicInAqua verfolgt den Ansatz einer innovativen, antimikrobiellen Beschichtung der Membranen durch eine polymerisierbare, bikontinuierliche Mikroemulsion (PBM), die die Foulingneigung verringert und langfristig zur Einsparung von Chemikalien zur Membranreinigung sowie zu längeren Membranstandzeiten führt [3]. Durch die antimikrobielle sowie modifizierte, wesentlich glattere Oberfläche der Membranen ist der Membranbioreaktor besonders robust gegenüber stark verschmutzter Abwässer. Das aufbereitete Wasser (Filtrat) wird hauptsächlich in die Aquakultur gepumpt. Zusätzliches Frischwasser wird durch den Kreislaufbetrieb der Fischzucht nicht benötigt. Betrieben wird die Gesamtanlage über ein teilautonomes Energiesystem bestehend aus einer Photovoltaikanlage inklusive Batteriespeicher, einem Netzanschluss und einer Biogasanlage, die über Kuhdung und Schlämme aus dem System gespeist wird. Thermoelektrische Generatoren sind dem Stromgenerator nachgeschaltet und nutzen dessen Abwärme, um den Gesamtwirkungsgrad der Anlage weiter zu verbes-

sern. Alle Teilsysteme sind so miteinander gekoppelt, dass eine maximale Betriebssicherheit gewährleistet werden kann. Dies ist aufgrund der häufig und lang auftretenden Stromausfälle notwendig. Insbesondere Buntbarsche sind sehr empfindlich gegenüber einer Sauerstoffunterversorgung. Als letzte Instanz sind Sauerstoffflaschen installiert, die sich automatisch öffnen, wenn alle anderen Systeme ausfallen. Trotz des hohen Technologiegrads der Gesamtanlage (s. Abb. 2) kann das Gesamtsystem durch Verwendung lokaler am Markt erhältlicher Produkte, Komponenten und Kompetenzen gut an die Anforderungen in Afrika angepasst werden. Begleitend zur Pilotierungsphase wird ein Simulationsmodell zur ökologischen und ökonomischen Beurteilung aufgebaut. Eine genauere Abschätzung zur Skalierbarkeit auf andere Systemgrößen ist somit möglich.

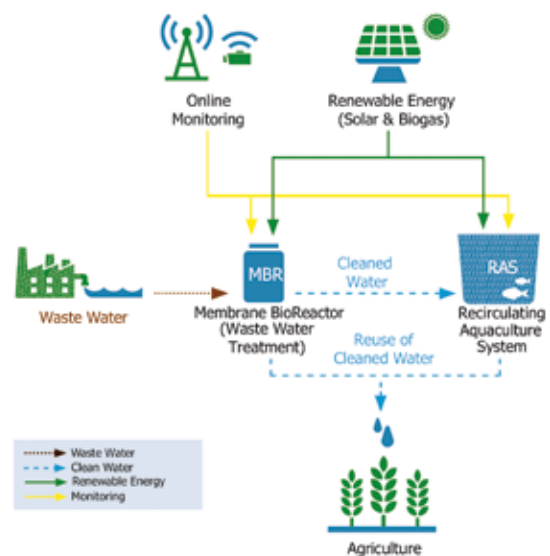


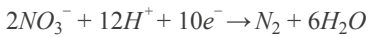
Abb. 2: Fließschaubild der Gesamtanlage VicInAqua in Kisumu, Kenia

Systembeschreibung

Der Membranbioreaktor (MBR) (s. Abb. 3) baut im vorgeschalteten, anoxischen Denitrifikationstank unter Mitwirkung hetero- und autotropher Bakterien, die in der Biomasse enthalten sind, die im Abwasser enthaltenen Nitrat-Anionen (NO_3^-) in einer Redoxreaktion über Nitrit-Anionen (NO_2^-) zu molekularem Stickstoff (N_2) ab, bevor die weitere Reinigung im Nitrifikationstank unter Zufuhr von Luftsauerstoff geschieht. Dort werden die organischen Stoffe aerob zu Wasser und Kohlenstoffdioxid, sowie Ammoniak (NH_3) bzw. Ammonium-Kationen (NH_4^+) mittels bakterieller Oxidation über Nitrit-Anionen zu Nitrat-Anionen umgewandelt. Die Bakterien vermehren sich unter Luftzufuhr und Biomasse wird gebildet. Ein Teilstrom des aerob behandelten Abwassers wird durch Rezirkulation in die

anoxische Denitrifikationsstufe zurückgeführt und – wie oben erwähnt - zu molekularem Stickstoff abgebaut, der dann in die Atmosphäre entweicht.

Denitrifikation:



Nitrifikation:



bzw.

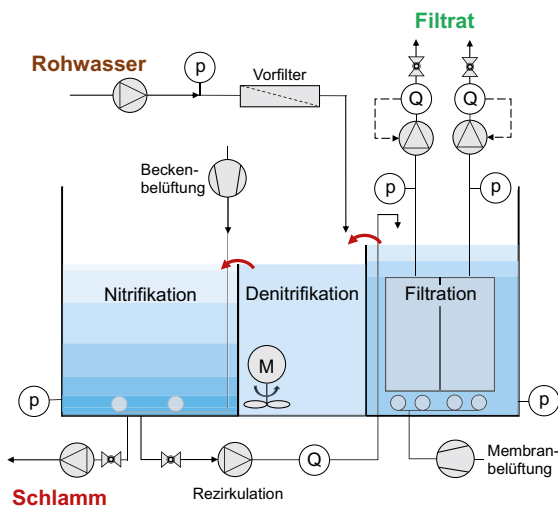


Abb. 3: Membranbioreaktor in Kisumu (unten) und Fließschaltbild (oben)

Im Filtrationstank, der letzten Reinigungsstufe, halten die Membranen organisches Material, Bakterien sowie feinste Partikel zurück. Der akkumulierende Schlamm (Biomasse) wird nach und nach aus dem MBR abgepumpt um eine effiziente Wasserreinigung zu gewährleisten. Das saubere Wasser wird abgezogen, gespeichert und in die Aquakultur (s. Abb. 4) gepumpt. Dies macht einen Anteil von ca. 5-10 % des

Gesamtvolumens der Aquakultur pro Tag aus, der über die Verdunstung und Rückspülung des Systems verloren geht. Die Aquakultur (AquaBioTech Group, Malta) beinhaltet ein separates Filtrationssystem zum Abbau von NH_3/NH_4^+ , Proteinen und anderen Verunreinigungen, die durch die Fische ins Wasser abgegeben werden. Eine UV-Lampe ist dem System zur Hygienisierung des Wassers nachgeschaltet.

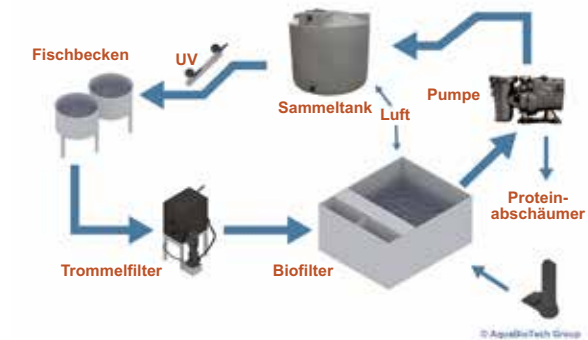


Abb. 4: Aquakultur als Zirkulationssystem in Kisumu (unten) und vereinfachtes Fließschaltbild (oben)

Eine monatliche Produktion von 25 000 Zuchtfischen (1-2 g) ist angestrebt. Überschüssiges Wasser und Regenwasser kann mit einzelnen Systemteilströmen gemischt werden um eine optimale Bewässerung des Gemüsegartens mit natürlichen Düngern zu erreichen. Ein internes Labor wird zur Überwachung aller Wasserparameter, von Systemeingang bis -ausgang (inklusive Schwermetalle) genutzt. Das PV System ist mit rund $15 \text{ kW}_{\text{peak}}$ auf einen Autonomiegrad von 20 % ausgelegt. Die Pilotanlage (s. Abb. 5) ist dabei auch an das Hauptstromnetz des örtlichen Energieversorgers *Kenya Power* angeschlossen, um zum einen die Investitionen gering zu halten, aber auch Störungen im System vorzubeugen. Die Li-Ionen Akkus (BYD, $LiFePO_4$) mit einer Kapazität von 30 kWh (48V DC) werden vorwiegend als Back-up genutzt. Je nach Betriebssicherheit, Höhe der Stromerzeugung und bei auftretenden Stromausfällen werden die Batterien im weiteren Projektverlauf zur Lastverlagerung eingesetzt. Das Biogassystem

ist auf eine Rohgasproduktion von 5 m³/h ausgelegt. Über mehrere Reinigungsstufen kann ein Methangehalt von min. 65% erzielt werden. Der Biogasgenerator speist damit 3 kW_{el} ins eigene Netz ein. Thermoelektrische Generatoren aus Bismuttellurid (Bi₂Te₃) werden die thermische Energie der ca. 350°C heißen Abgase zusätzlich in Strom wandeln. Diese Technologie steckt noch in den Kinderschuhen, der Wirkungsgrad liegt bei 3-5 %.



Abb. 5: VicInAqua Gesamtanlage in Kisumu (oben) und Gartenanlage zum Gemüseanbau (unten)

Ausblick

Das Interesse am Projekt ist durch alle Bevölkerungsschichten gegeben, der Bedarf an hochwertigem Fisch riesig. Je nach örtlicher Begebenheit kann zur Unterstützung der Stromproduktion aus Photovoltaik vermehrt auf Wind-, Wasser- oder Biogasenergie gesetzt werden. Der Autonomiegrad richtet sich dabei nach den Stromkosten des jeweiligen Landes aber auch nach der zu erwartenden Betriebssicherheit (Stromausfall, Wartungsaufwand, Personalschulung).

Neben der Aufzucht für Fischfiletproduktion können die Zuchtfische auch zur Besatzmaßnahme Schritt-für-Schritt in den Victoriasee wiedereingeführt werden. Dies würde auch zur Unterstützung lokaler Interessensgruppen, wie z.B. Farmern, beitragen. Neben der Nutzung des gereinigten Wassers zur Fischzucht und Agrarwirtschaft stellt der MBR auch ein optimales Verfahren zur Abwasseraufbereitung dar, der die herkömmlichen Abwasseraufbereitungsanlagen ersetzen bzw. ergänzen könnte. Dadurch wird der Anteil an unbehandelten Abwasserströmen in den Viktoriasee weiter minimiert und zu dessen Renaturierung beigetragen.

Danksagung

Das Projekt VicInAqua wird im Rahmen der Fördervereinbarung Nr. 689427 aus dem Forschungs- und Innovationsprogramm der Europäischen Union Horizont 2020 gefördert.

Referenzen

- [1] © *OpenStreetMap-contributors* (CC BY-SA license)
- [2] *Photo Credit: sarah_mccans via flickr* (CC BY 2.0 license)
- [3] MARTIN Systems GmbH, Friedrichstr. 95, 10117 Berlin

Autoren

Ephraim Gukelberger, M.Sc.

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

Prof. Dr. Jan Hoinkis

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

Kontakt

Prof. Dr. Jan Hoinkis

Hochschule Karlsruhe – Technik und Wirtschaft

Fakultät für Elektro- und Informationstechnik

Moltkestraße. 30

76133 Karlsruhe

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

Experimentelle, analytische und numerische Untersuchung der Ausbreitung von Lüdersbändern in Werkstoffen mit ausgeprägter Streckgrenze

Rainer Schwab und Anton Harter

Dehnt man Werkstoffe mit ausgeprägter Streckgrenze im Zugversuch, so verformen sie sich im Bereich der unteren Streckgrenze nicht gleichmäßig plastisch, sondern ungleichmäßig in Form von Lüdersbändern. In diesem Beitrag zeigen wir, wie wir die Entstehung und Ausbreitung von Lüdersbändern im Zugversuch umfangreich beobachtet und dann mit Hilfe eines neuen Werkstoffmodells analytisch sowie numerisch berechnet haben. Experimente und Berechnungen passen gut zusammen und bestätigen das Werkstoffmodell.

When materials with yield point phenomena are strained in a tensile test, they do not show uniform plastic deformation in the area of the lower yield strength, but localised deformation in the form of Lüders bands. This article describes how we extensively observed the initiation and propagation of Lüders bands in the tensile test and then calculated them analytically and numerically using a new material model. Experiments and calculations correspond well and confirm the material model.

Einleitung

Dehnt man duktile metallische Werkstoffe vorsichtig im Zugversuch, so verformen sie sich zunächst elastisch. Elastisch bedeutet, dass sie nach Entlastung wieder in den ursprünglichen Zustand zurückfedern. Dehnt man solche Werkstoffe über den elastischen Bereich hinaus, so verformen sie sich zusätzlich zur elastischen Dehnung auch plastisch, das heißt bleibend.

- Die anfängliche elastische Verformung innerhalb einer typischen Zugprobe ist immer gleichmäßig. Gleichmäßig bedeutet, dass die Verformung an jeder Stelle der Zugprobe die gleiche ist, so wie in einem Gummiband, das man auseinander zieht.
- Die plastische Verformung innerhalb einer typischen Zugprobe kann – je nach Werkstoffverhalten – gleichmäßig oder auch ungleichmäßig sein. Ungleichmäßige plastische Verformung äußert sich darin, dass sich die plastische Verformung auf bestimmte Stellen der Probe konzentriert.

Ob sich ein Werkstoff im anfänglichen Teil des Zugversuchs nun gleichmäßig oder ungleichmäßig plastisch verformt, ist nicht unwichtig. Zwar lästig, aber eher harmlos ist ungleichmäßige plastische Verformung bei streckgezogenen Karosserieblechen, sie führt dort zu unerwünschten Mustern an der Oberfläche. Viel gravierender ist ungleichmäßige Verformung, wenn sie in Verbindung mit der klassischen Einschnürung im Zugversuch zu einem frühzeitigen lokalen Versagen durch plastische Instabilität führt. Dies kann zum Beispiel bei ultrafeinkörnigen Baustählen der Fall sein

[1]; es führt dort zu extrem verminderter mechanischer Sicherheit und zur Unmöglichkeit, solche Werkstoffe sinnvoll im Zugbereich umzuformen.

Einer der wichtigsten Gründe, warum sich ein Werkstoff (abgesehen von der klassischen Einschnürung) ungleichmäßig plastisch verformt, ist das Auftreten einer sogenannten „ausgeprägten Streckgrenze“. Werkstoffe mit ausgeprägter Streckgrenze zeigen im Zugversuch am Ende des elastischen Verhaltens einen charakteristischen abrupten Spannungsabfall, gefolgt von einem Bereich mit fast konstanter Spannung und kleinen Spannungsschwankungen (s. Abb. 1). In diesem Bereich dehnt sich die Zugprobe nicht gleichmäßig plastisch, sondern ungleichmäßig in Form von plastischen Verformungsbändern, siehe Punkte 1 bis 3 in Abbildung 1.

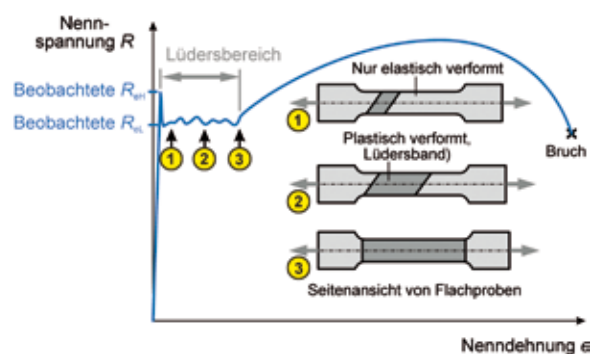


Abb. 1: Plastisches Verhalten von Werkstoffen mit ausgeprägter Streckgrenze im Zugversuch

Erst wenn sich die Verformungsbänder vollständig durch den eigentlichen Prüfbereich der Zugprobe ausgebreitet haben, erfolgt die weitere plastische Verformung gleichmäßig mit der typischen Verfestigung, wie sie bei vielen metallischen Werkstoffen auftritt. Die plastischen Verformungsbänder wurden erstmals vor mehr als 150 Jahren unabhängig von Piobert et al. und Lüders beschrieben. Zu Ehren des Ingenieurs Wilhelm Lüders nennt man sie häufig „Lüdersbänder“.

Oftmals als Ausnahmeverhalten beschrieben, tritt die ausgeprägte Streckgrenze bei einer überraschenden Vielzahl von Werkstoffen auf. Am bekanntesten und bedeutendsten ist es bei den oft verwendeten kohlenstoffarmen normalgeglühten Baustählen.

Problemstellung und Zielsetzung

Obwohl das Phänomen der ungleichmäßigen plastischen Dehnung in Verbindung mit der ausgeprägten Streckgrenze schon lange bekannt ist, blieben viele Fragen offen [2]. Erst mit einem neuen makromechanischen Werkstoffmodell [3] lassen sich die wesentlichen Erscheinungen widerspruchsfrei erklären (s. Abb. 2):

- Die „wirkliche“ obere Streckgrenze (real upper yield strength $R_{eH(\text{real})}$) ist viel höher, als üblicherweise beobachtet.
- Das „wirkliche“ Werkstoffverhalten zu Beginn der plastischen Verformung ist nicht das beobachtete, sondern das „ganz normale“ mit „normaler“ Verfestigung, beginnend mit einer „wirklichen“ unteren Streckgrenze $R_{eL(\text{real})}$.
- Das Spannungsniveau an der beobachteten unteren Streckgrenze (observed lower yield strength $R_{eL(\text{obs})}$) ist überwiegend eine Folge des dreiachsigen Spannungszustands, der sich am Rand des Lüdersbands (der Lüdersfront) von selbst entwickelt.

Die Zielsetzung des hier beschriebenen Forschungsvorhabens war es, das neue makromechanische Werkstoffmodell an einem wichtigen Beispiel zu verifizieren. Umfangreiche Experimente bildeten den Schwerpunkt. Analytische und numerische Berechnungen sollten zeigen, dass sich die experimentellen Ergebnisse mit dem Werkstoffmodell sinnvoll und widerspruchsfrei erklären lassen.

Experimentelle Untersuchungen

Als Versuchsmaterial diente der häufig angewandte Baustahl S235JR in Form von warmgewalztem und langsam abgekühltem Flachmaterial mit verschiedenen Querschnittsabmessungen (hier $5 \times 20 \text{ mm}^2$). Normgerechte Flachzugproben mit rechteckiger Querschnittsfläche von $5 \times 10 \text{ mm}^2$ und einem eigentlichen Prüfbereich von 40 mm Länge wurden spanabhebend herausgearbeitet und im klassischen Zugversuch geprüft.

Um die plastische Verformung der Probe während des Zugversuchs zu erfassen, haben wir im Rahmen eines umfangreichen Versuchsaufbaus drei Seiten des Prüfbereichs poliert und die vierte Seite mit einem unregelmäßigen Punktemuster versehen (s. Abb. 3 oben). An den polierten Seiten heben sich die plastisch verformten Stellen gegenüber den nicht plastisch verformten Stellen gut ab, wenn man sie geeignet mit einem Streifenmuster beleuchtet. Der Vorzug dieser Methode: sehr gute Ortsauflösung; der Nachteil: keine quantitative Aussage über die Höhe der plastischen Verformung möglich.

Das Punktemuster war die Grundlage für die Erfassung der plastischen Verformung mit der Digitalen Bildkorrelation DIC. Vorzug dieser Methode: quantitative Aussage möglich; Nachteil: die Ortsauflösung ist nicht besonders gut.

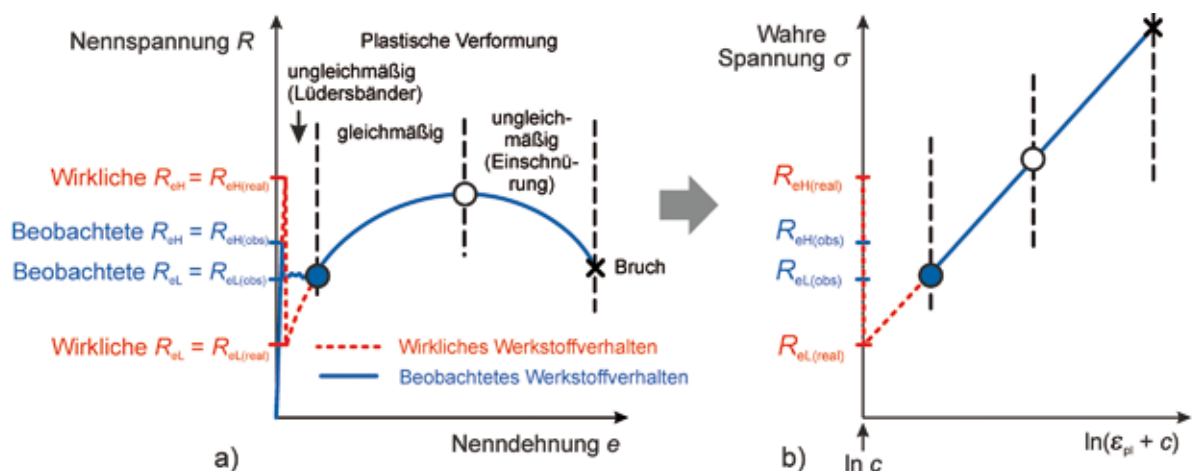


Abb. 2: Beobachtetes und wirkliches Werkstoffverhalten im Zugversuch an einem typischen Baustahl; a) nominelles Spannungs-Dehnungs-Diagramm; b) zugehörige Fließkurve in spezieller halblogarithmischer Darstellung

Beide Methoden ergänzen sich also. Die Abbildung 3 zeigt zwei Seiten des polierten Prüfbereichs der Flachzugprobe in verschiedenen Stadien des Zugversuchs. Der nur elastisch verformte Bereich der Zugprobe ist anhand eines an der Probenoberfläche reflektierten Streifenmusters zu erkennen, das aufgrund von optischer Defokussierung unscharf erscheint. Die plastisch verformten Bereiche erkennt man an der matten Oberfläche. Die ursprünglich polierte Probenoberfläche raut sich durch die plastische Verformung auf und reflektiert das Licht diffus. Deutlich heben sich die plastisch verformten Bereiche (die Lüdersbänder) vom noch elastischen Bereich der Zugprobe ab.

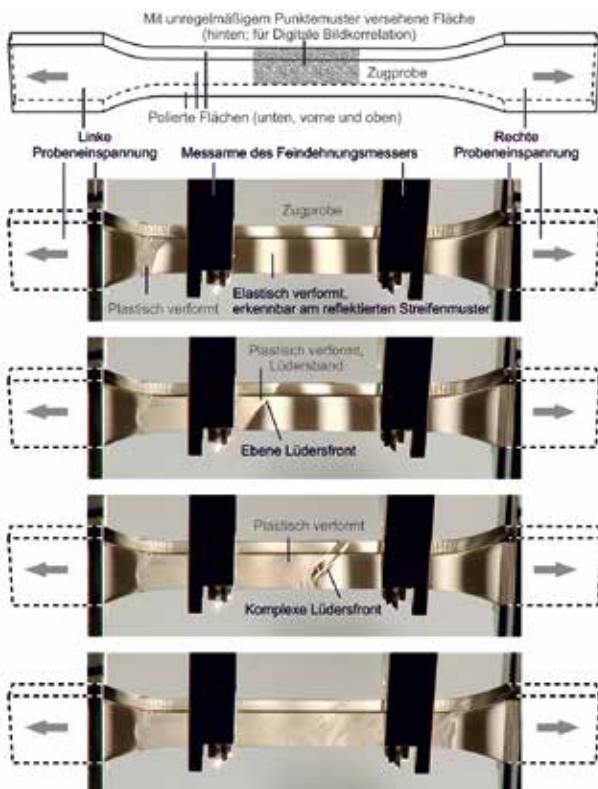


Abb. 3: Flachzugprobe in verschiedenen Stadien des Zugversuchs; Auszug aus einem Videofilm

Im dargestellten Zugversuch bildet sich die Lüdersfront anfangs komplex aus, wird dann eben und entwickelt sich später wieder zu einer komplexen Front. Die in Abbildung 3 gezeigten Bilder sind Ausschnitte aus umfangreichen Videofilmen, die die Zugversuche detailliert dokumentieren.

Die Ergebnisse der Digitalen Bildkorrelation, die aus Platzgründen hier nicht dargestellt werden können, decken sich hervorragend mit den optischen Ergebnissen und zeigen die Verteilung der plastischen Verformung quantitativ auf der Probenrückseite.

Analytische und numerische Berechnungen

Eine der interessantesten Fragen ist nun, wie die beobachtete ungleichmäßige plastische Verformung im Lüdersbereich zustande kommt. Hierzu gibt es eine Reihe von Arbeiten mit verschiedenen Ansätzen, die aber nicht frei von Widersprüchen sind. Erst mit dem makroskopischen Ansatz des oben erwähnten wirklichen Werkstoffverhaltens mit der wirklichen Fließkurve, wie sie in Abbildung 2 b) dargestellt ist, kommt man zu einer widerspruchsfreien Beschreibung. Interessanterweise lässt sich das Problem vereinfacht analytisch und hervorragend numerisch erfassen.

Hinter der analytischen Berechnung steckt die Überlegung, dass sich die beobachtete untere Streckgrenze $R_{eL(obs)}$ als dynamisches Spannungsgleichgewicht aus der wahren oberen und der wahren unteren Streckgrenze ergibt. Das Ergebnis einer längeren Herleitung [3] ist:

$$R_{eL(obs)} = \frac{R_{eH(real)} + \sqrt{R_{eH(real)}^2 + 8R_{eL(real)}^2}}{4}$$

Für die numerische Berechnung bietet sich die Finite-Elemente-Methode (FEM) an. Obwohl die in Abbildung 2 b) gezeigte Fließkurve große Herausforderungen an die Stabilität der Berechnung stellt, lässt sich die ungleichmäßige plastische Verformung mit den modernen FE-Verfahren hervorragend berechnen. Der Start, die Form und die Ausbreitung der Lüdersbänder werden gut erfasst.

Vergleich der Ergebnisse

Aus Platzgründen können die umfangreichen experimentellen, analytischen und numerischen Ergebnisse hier nur kompakt in Form des Spannungs-Dehnungs-Diagramms dargestellt werden. Abbildung 4 zeigt die Ergebnisse im Vergleich.

Im Bereich der beobachteten unteren Streckgrenze passen das Experiment und die Berechnungen hervorragend zusammen. Hiermit ist gezeigt, dass das neue Werkstoffmodell die Ausbreitung von Lüdersbändern gut erklärt. Die sehr hohen oberen Streckgrenzen bei den Berechnungen stehen nicht im Widerspruch zum Experiment. Im Experiment misst man viel niedrigere Werte durch nicht ganz symmetrische Belastungen der Probe, durch Werkstoffinhomogenitäten und durch Eigenspannungen.

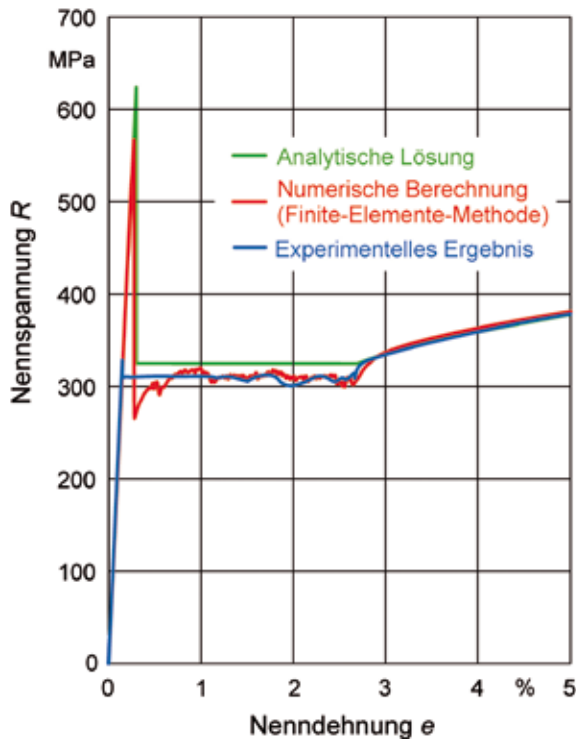


Abb. 4: Vergleich der analytischen Lösung und der numerischen Berechnung mit dem Experiment im nominellen Spannungs-Dehnungs-Diagramm

Literatur

- [1] R. Schwab, *Understanding the complete loss of uniform plastic deformation of some ultrafine-grained metallic materials in tensile straining*, 2019, International Journal of Plasticity 113, pp. 218-235.
- [2] R. Schwab und O. E. Bernhardt, *Ein neues makromechanisches Werkstoffmodell zur Erklärung des Phänomens der ausgeprägten Streckgrenze mit Lüderseffekt*, Forschung aktuell 2015, Hochschule Karlsruhe.
- [3] R. Schwab, V. Ruff, *On the nature of the yield point phenomenon*, 2013, Acta Materialia 61, Heft 5, pp. 1798–1808.

Autoren

Prof. Dr.-Ing. Rainer Schwab

Professor an der Fakultät für Maschinenbau und Mechatronik der Hochschule Karlsruhe

Anton Harter B.Eng.

Absolvent des Bachelorstudiengangs Maschinenbau an der Hochschule Karlsruhe

Kontakt

Prof. Dr.-Ing. Rainer Schwab

Hochschule Karlsruhe – Technik und Wirtschaft

Fakultät für Maschinenbau und Mechatronik

Moltkestraße 30

76133 Karlsruhe

E-Mail: rainer.schwab@hs-karlsruhe.de

The advertisement features a smiling man in a grey cardigan and white t-shirt, gesturing towards the camera. In the background, three other people are sitting on a bench, looking at a laptop. The Bosch logo and tagline "Technik fürs Leben" are in the top right corner. A blue box contains the text: "Lieber kreativ statt eingeschränkt? Lassen Sie Ihre Ideen in einem inspirierenden Arbeitsumfeld wachsen." Below this is the website "www.start-a-remarkable-career.de". At the bottom, a blue box contains the text: "Willkommen bei Bosch. Hier bewegen Sie Großes. Ob flexible Arbeitszeitmodelle oder eine moderne Arbeitsumgebung; Wir bieten unseren Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern jede Menge Raum, um Ihrer Kreativität freien Lauf zu lassen. Weil wir der Meinung sind: Nur so können sie mit neuen Ideen sinnstiftende Produkte entwickeln, die das Leben der Menschen verbessern. Starten auch Sie etwas Großes." and the slogan "Let's be remarkable."

Rotational Speed Sensor for High Temperatures

Klemens Gintner

Es wird ein neues Sensorkonzept für zukünftige Raddrehzahlenanwendungen in Lkws vorgeschlagen, das auf einem Serienresonanzkreis mit einer Sensorspule basiert. Dieser Sensor deckt nicht nur den gesamten Drehzahlbereich ab Stillstand ab, sondern auch einen Temperaturbereich bis über 200°C. Zusätzlich sind eine digitale Stromschnittstelle, Selbstdiagnosefähigkeit und zusätzliche Informationen über Luftspalt und Temperatur aus dem Signal ableitbar, um die Zuverlässigkeit des Systems zu erhöhen. All dies kann mit Hilfe der Signalverarbeitung erreicht werden. Mit diesem Sensorkonzept ist es möglich, die bisher verwendeten induktiven Sensoren mit Rotationssymmetrie und mit einem Durchmesser kleiner als ca. 10 mm zu ersetzen.

A new sensor concept for future wheel speed applications in trucks based on a series resonant circuit with a sensor coil is proposed. This sensor is able to cover the full rotational speed range beginning at vehicle standstill and to cover a temperature range of up to more than 200°C. In addition, a digital current interface, self-diagnosis-capability and additional information about airgap and temperature is available to enhance the reliability of the system. All this can be achieved with the help of signal processing. As a result, it is possible to replace the currently used inductive sensors with rotational symmetry and a diameter of less than approximately 10 mm.

1 Rotational Speed Sensor for High Temperatures

1.1 Background – state of the art

In future, the rotational wheel speed sensors of autonomous driving trucks should be able to cover the full speed range starting from standstill. The currently used inductive (or variable reluctance) wheel speed sensors are not able to meet this requirement because they are not able to detect low speed as the output signal due to the physical principle proportional to the rotational speed. Furthermore, the analogue voltage interface does not meet the requirements of reliable transfer from the sensor to the ECU (Electronic Control Unit).

Conventional active wheel speed sensors for cars meet some of the future requirements mentioned above, but they are not able to cover the full temperature range of up to more than 200°C. The current limit for active wheel speed sensors in cars is about 170°C (for a short period it can go up to 190°C). Additionally conventional rotational speed sensors for cars are based on the differential principle with at least two sensor elements in order to detect the rotational direction. However, in current wheel speed applications for trucks sensors with rotational symmetry (so-called Twist Insensitive Mounting - TIM) are required because there is no flange used and therefore the sensors cannot be installed with defined rotational orientation. These are the main reasons conventional active speed sensors for cars with current interface (7 mA/14 mA) cannot be used in truck applications.

1.2 Sensor Concept - electronics

In the new sensor concept, the relevant sensor element is a coil with a soft magnetic core - as depicted in figure 1 - that is located in front of a rotating target wheel (see figure 2). The basic circuit is a series resonant circuit with a voltage source V_1 (with constant amplitude and frequency f_0), a sensor coil - represented by the inductance L_1 and the ohmic resistance R_{L1} - and a capacitor C_1 (see figure 3). Due to the presence of a tooth or a notch in front of the sensor coil the inductance L_1 is changed; this change of L_1 can be detected by the change of the amplitude and the phase shift of the voltage U_{C1} at the capacitor C_1 - resulting in an output voltage U_{OUT} ; see figure 5. The capacitor C_1 can be located inside the sensor (e.g. at a place with lower temperature e.g. opposite the target wheel) or even outside the sensor in the ECU (Electronic Control Unit). Further details are seen in [2].

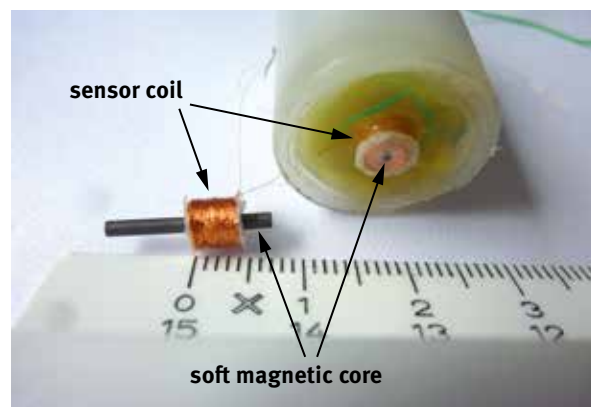


Fig. 1: Picture of the sensor (with / without housing)

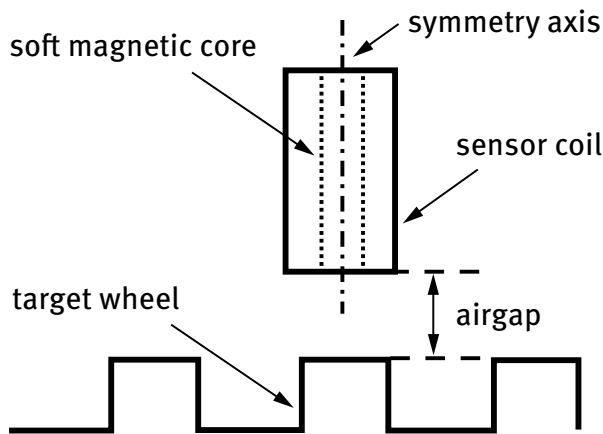


Fig. 2: Cross-sectional view of the sensor in front of a target wheel

In order to detect small changes of U_{C1} a reference voltage U_{C2} is provided by an equivalent resonant circuit (as reference circuit, see figure 3: $L2$, R_{L2} and $C2$). The relevant (reference) value of U_{C2} can preferably be defined by measuring U_{C1} at the end of the production process at reference conditions (at airgap AG_{REF}) and programmed in an ASIC; this can be regarded as “teaching” the sensor with $U_{C2} = U_{C1_REF}$ at an appropriate airgap AG_{REF} ; see figure 4. This calibration facilitates the elimination of all tolerances of the components as capacitors usually show a tolerance of about 20 %. The voltage $U_{OUT} (= U_{C1} - U_{C2})$ in figure 3 and figure 4 as the difference between U_{C1} and U_{C2} (with U_{C2} as reference voltage) is used to detect the rotational speed due to the timing between tooth or notch in front of the sensor. The resonant circuit is connected to a sinusoidal voltage source $V1$ with constant amplitude and frequency f_0 close to the resonance frequency f_{RES} in equation (1). Due to the rotational symmetry, TIM (Twist Insensitive Mounting) is provided.

$$f_{RES} = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \quad (1)$$

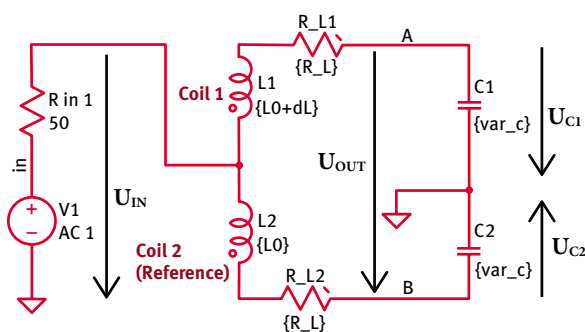


Fig. 3: Basic circuit with sensing resonant circuit (sensor coil is represented by $L1$ and R_{L1} , external capacitor by $C1$) and reference resonant circuit (defined by $L2$, R_{L2} and $C2$); U_{C2} can be defined as U_{C1} at an adequate airgap AG_{REF} : $U_{C2} = U_{C1_REF}$; $U_{OUT} = U_{C1} - U_{C2}$

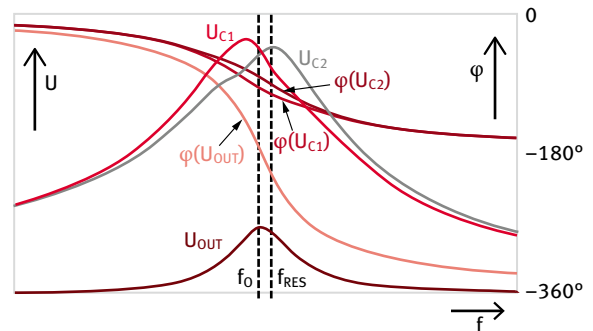


Fig. 4: AC-Analysis of U_{C1} and U_{C2} (= reference voltage) and U_{OUT} (see figure 3), simulated with LTspice

In figure 4 the AC-analysis with LTspice is shown. If the inductance $L1$ of the sensor coil is increased due to the presence of a tooth in front of the sensor, the resonance frequency f_{RES} is changed (U_{C1} in figure 4); as a result the voltage $U_{OUT} (= U_{C1} - U_{C2})$ depends on the change of $L1$ with a maximum value close to the frequency f_0 . Hence, as shown in figure 5 if the sensor is located in front of a notch, U_{OUT} is at its minimum ($U_{OUT} = U_{C1} - U_{C2} \approx 0$, $U_{C2} = U_{C1_REF}$; see paragraph above) and if the sensor is in front of a tooth, the amplitude of U_{C1} and correspondingly U_{OUT} increase. The time T_{ROT} of the contour of U_{OUT} represents the rotational speed of a rotating target wheel with teeth and notches; the frequency $f_0 (= 1/T_R)$ is clearly visible in figure 5 and determines the resolution of the detection of the transition from tooth to notch.

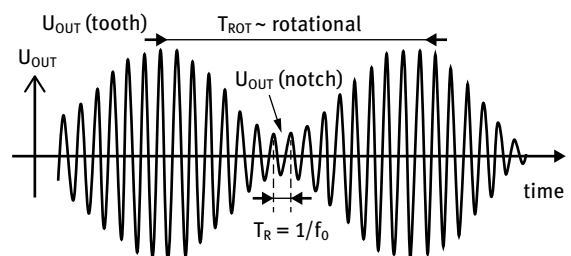


Fig. 5: Sensor in front of a rotating target wheel: U_{OUT} (see fig. 3) depending on time: Large amplitude of U_{OUT} represents “sensor is located in front of a tooth”; small amplitude of U_{OUT} represents “sensor is located in front of a notch”

1.3 Additional features and plausibility checks

If a digital current interface is realized – such as in wheel speed applications in cars with digital (7 mA/14 mA) current interface – even more information can be transferred to the ECU by changing the duty cycle of the digital signal. This can be used to transfer additional information such as temperature and critical airgap.

This sensor concept makes a plausibility check feasible by monitoring the voltages U_{IN} and U_{C1} . Both vol-

tages U_{IN} and U_{C1} should be in the expected range; the voltage range of U_{C1} depends on the magnetic and electronic circuit defined by the target wheel (airgap AG), the inductance L_1 , the ohmic resistance of the coil and the capacitance C_1 (see figure 3). If U_{IN} or U_{OUT} (resp. U_{C1}) are out of range, then it is likely that an error has occurred; for instance, a larger airgap AG will result in a decreased amplitude and phase shift of U_{C1} that can be detected subsequently.

In wheel speed applications it is possible to monitor the whole drivetrain by comparing the signals of the rotational speed sensor of the gear shaft and of the wheel speed sensor at the start of the rotation. Additional information can be derived by analyzing the change of the phase shift between these signals (data fusion) – e.g. for maintenance or service or condition monitoring in general.

Furthermore, in wheel speed applications with at least two sensors at a non-driven axle, it is possible to detect a reversal of the rotation direction. In this case the phase shift between two rotational speed sensor signals will change significantly (e.g. from positive to negative); however, this is not always feasible because if there is no phase shift between two rotational speed sensors, no change will occur; this is less likely if there are more than two sensors used for the evaluation.

2 Conclusion

The basic concept is the use of a voltage-source with constant frequency f_0 and amplitude connected to a series-resonant circuit that consists of a sensor coil (with soft magnetic core) with inductance L_1 , the ohmic resistance R_{L1} of the sensor coil, and an external capacitor C_1 . The voltage source and capacitor can be located outside the sensor (in the ECU) or in a region of the sensor with a lower temperature; the frequency f_0 is close to the resonance frequency f_{RES} of the resonant circuit.

The second equivalent resonant circuit (L_2 , R_{L2} and C_2) represents a reference circuit. However, the reference voltage U_{C2} should preferably be defined by U_{C1} at the end of the production process at a predefined operational point (U_{C1} at defined air gap AGREF; then $U_{C2} = U_{C1_REF}$). This calibration (resp. teaching) of the sensor is also feasible in the ECU. The output voltage U_{OUT} is the difference between the voltages U_{C1} at the airgap AG and the reference Voltage U_{C2} : $U_{OUT} = U_{C1_AG} - U_{C2}$. Additional information can be derived by evaluating the phase and amplitude of U_{OUT} and U_{C1} : Rotational speed (timing between transition tooth/notch), temperature and the airgap. The digital current inter-

face with two levels of the current (7 mA and 14 mA) is proposed; further information can be transferred by changing the duty cycle.

The main results of this sensor concept:

- Same temperature range as currently used variable reluctance (inductive) sensors.
- Rotational speed-sensor signal starting at standstill (output signal does not depend on speed).
- Additional information can be derived: Ambient temperature (@ sensor located in front of notch) and airgap (@ sensor located in front of tooth).
- Self-diagnosis feasible by evaluating the output signal and data fusion (plausibility check of relevant parameters, evaluation of various sensor signals of the drive train).
- Small geometry (diameter < 10 mm) with Twist Insensitive Mounting (TIM); hence the currently used inductive sensors can be replaced.
- No permanent magnet required.
- A small bandwidth is required; hence, noise can be significantly suppressed.
- Digital current interface (7 mA/14 mA); two-wire-interface with broken-wire-detection,
- Reference voltage can be defined at the end of production (adjustment of tolerances).
- ASIC for the entire signal conditioning has not yet been developed.

References

- [1] German utility patent AZ 20 2016 000 534.1 (28.01.2016)
- [2] 18th Stuttgart International Symposium Automotive and Engine Technology, FKFS Stuttgart, volume 1, 2018, pp. 761-772

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

Onset of particle motion on a vibratory conveyor

Christof Krülle

Mechanische Schwingförderer werden in der industriellen Fertigung routinemäßig zum kontrollierten Transport von Stück- und Schüttgütern eingesetzt. Die Vielfalt unterschiedlicher Parameter für den mechanischen Antrieb der Schwingungserregung erschwert die theoretische Beschreibung des Transportverhaltens. Typische Designparameter sind die Vibrationsmoden (linear, elliptisch oder zirkular) und die Amplitude und Frequenz der Schwingungen. Im Gegensatz zu den komplexen Wechselwirkungen mehrerer Teilchen auf der vibrierenden Unterlage, die bisher nur in numerischen Simulationsrechnungen behandelt werden konnten, ist es möglich, den Bewegungsbeginn, d.h. die Überwindung der Haftreibung einzelner Partikel analytisch zu beschreiben.

Vibratory conveyors are well established in routine industrial production for controlled transport of bulk solids. Considering the many parameters involved, the performance of a vibratory conveyor is difficult to predict theoretically. Obvious design parameters are the vibration mode (linear with an inclination angle, elliptic, and circular), or the amplitude and frequency of the oscillations. Despite the complex interactions between the particles and the vibrating trough during the transport process, which up to now can only be handled via numerical simulations, it is interesting that the onset of motion for a single particle subject to static friction can be described analytically.

Introduction

Vibratory conveyors are well established in routine industrial production for controlled transport of bulk solids, for example in the chemical industry, gravel and stone quarries, and for small-parts assembly mechanics [1, 2, 3]. Some of the main advantages of vibratory conveyors are their simple construction and their suitability for handling hot and abrasive materials. In addition, they are often used in the food industry, since the use of stainless steel troughs makes it easy to comply with hygienic standards.

The transported goods can be moved through three different mechanisms in the desired direction: (a) Sliding of the particles by asymmetric horizontal vibration (“gliding principle”), (b) Ballistic trajectories of the particles caused by inclined linear oscillation (“throw principle”), and (c) Horizontal transport through vertical vibration of a support with an asymmetric saw tooth profile of the base (“ratchet principle” [4]).

Considering the many parameters involved, the performance of a vibratory conveyor is difficult to predict theoretically. Obvious design parameters are: (i) amplitude A and frequency f of the oscillations, combined as dimensionless machine number $K=A(2\pi f)^2/g$, (ii) smoothness of the trough’s surface, and (iii) the modulus of elasticity of the trough’s inner surface, which can be coated with rubber, plastic, etc.

Because of the complicated interactions between the vibrating trough and the bulk solids both glide and throw movements of the particles frequently appear

within one oscillation cycle. Apart from the amplitude and frequency, the form of the trajectory of the conveyor’s motion also exerts an influence. The goal of our project is a systematic investigation of the dependence of the transport behaviour on three principle oscillation forms: linear, elliptic, and circular.

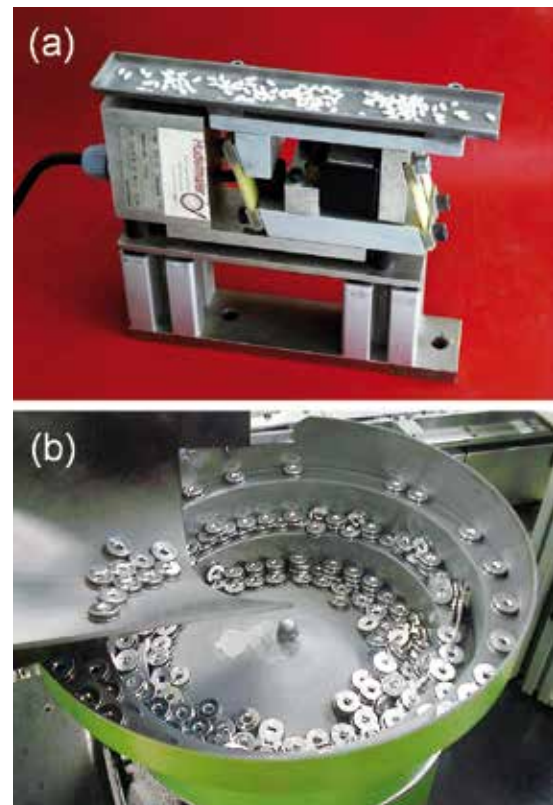


Fig. 1: (a) Rice grains on a linear vibratory conveyor, (b) Vibratory bowl feeder conveying steel washers in an automated assembly chain

Experimental setup

The main part of the vibratory conveyor (cf. Fig. 2(a)) is a lightweight channel (carbon fiber strengthened epoxy), firmly connected to a driving module of four rotating unbalanced masses connected via a gearbox. The complete oscillation system, channel and driver, is suspended with elastic bands in a highly adjustable frame.

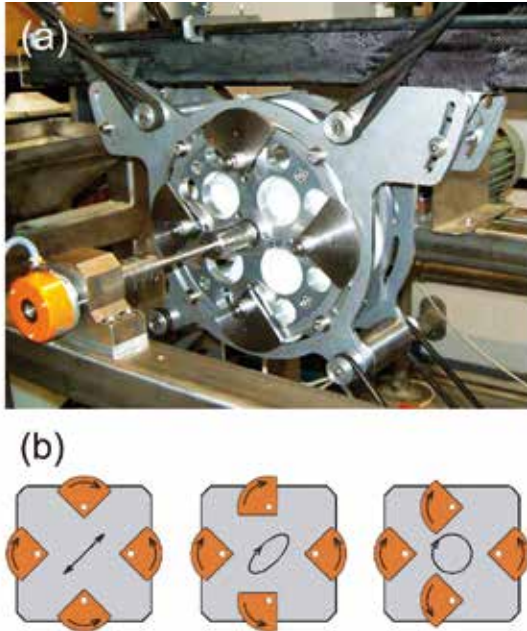


Fig. 2: (a) Transport channel and driving module with four unbalanced masses, (b) Side views for the three principal modes of operation: linear (phase shift $\varphi=0$), elliptic ($\varphi=\pi/4$), and circular ($\varphi=\pi/2$)

This prototype apparatus is supposed to vibrate with defined amplitude and oscillation pattern consisting of a horizontal oscillation $x(t)=A\cos(2\pi ft)$ superimposed with a vertical vibration $y(t)=A\cos(2\pi ft+\varphi)$, where φ is the fixed phase shift between the two oscillations. If, for example, the phase shift φ is chosen to be $\pi/2$, then each point on the trough traces a circular path in a vertical plane tangent to the trough at that point.

To achieve this kind of motion, with the inherent option of generating different modes of oscillation, a special adjustable drive has been designed [5, 6]. Unbalanced-mass vibrators have been well established in industrial applications for a long time. Their working principle is based on a centrifugal force $F=m_u r_u (2\pi f)^2$ produced by a mass m_u rotating with frequency f , with r_u being the distance between the center of gravity of the eccentric mass and its axis of rotation. A motor driving a load M with one single unbalanced mass will create, for frequencies well above resonance, a vibration with amplitude $A=r_u m_u / M$. Four unbalanced masses, shaped as quarter disks, are fixed to the carrying plates by bolts located in circular grooves, which ena-

ble the adjustment of the inclination angle α between 8° and 82° . The oscillation amplitude can be increased in steps by changing the number of such impaled disks. It is well known that a linear motion can be excited by the joint action of two equal masses rotating in opposite directions. As a consequence, by combining two such linear vibrators oriented perpendicularly to each other, it is possible to generate any desired Lissajous figure by adjustment of the phase shift φ between the two perpendicular oscillations. Three examples of possible modes are shown in Figure 2(b).

Onset of particle motion

Despite the complex interactions between the particles and the vibrating trough during the transport process, up to now, can only be handled via numerical simulations, it is interesting that the onset of motion for a single particle subject to static friction can be described analytically.

A linear harmonic motion of the conveyor with amplitude A and vibration angle α (see inset of Fig. 3) can be expressed as $x(t)=A \cos \alpha \cos(2\pi ft)$ for the horizontal and $y(t)=A \sin \alpha \cos(2\pi ft)$ for the vertical component, respectively. Due to the periodic acceleration a particle with mass m lying on the trough experiences a horizontal force $F_h(t)=m\ddot{x}(t)$ and a modulated effective weight $N(t)=m(g+\ddot{y}(t))$. The mass is hindered from sliding if the resulting frictional force $F(t)=\mu_s N(t)$ is larger than $|F_h(t)|$, where μ_s is the static coefficient of friction. At the onset of particle motion both forces are equal, which leads to the balance equation

$$|m\ddot{x}(t)|=\mu_s m(g+\ddot{y}(t))$$

This condition is first met at the highest point of the conveyor's trajectory where the horizontal acceleration is maximal while the friction force is minimal, yielding a critical throw number K_{onset} for which the partic-

$$K_{\text{onset}} = \frac{\mu_s \tan \alpha}{1 + \mu_s \tan \alpha} = \left(1 + \frac{1}{\mu_s \tan \alpha}\right)^{-1}$$

le starts to move:

Figure 3 shows the monotonous but nonlinear dependence of K_{onset} as a function of both the vibration angle α and the static friction coefficient μ_s .

For a similar calculation for the circular motion of the conveyor both vibration amplitudes are set equally, with a fixed phase shift $\varphi=\pi/2$, i.e. $x(t)=A \cos(2\pi ft)$ and $y(t)=A \cos(2\pi ft+\pi/2)$ leading to the expression for the

$$K_{\text{onset}} = \frac{\mu_s}{\sqrt{1 + \mu_s^2}} = \left(\sqrt{1 + \frac{1}{\mu_s^2}}\right)^{-1}$$

slipping threshold.

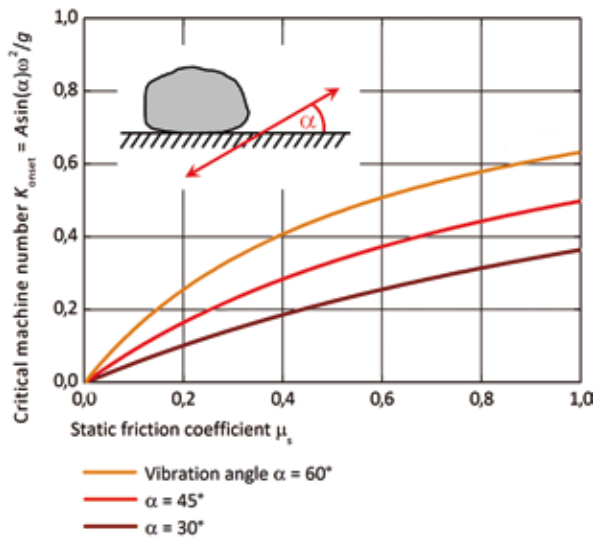


Fig. 3: Critical machine number K_{onset} for the onset of particle motion on a linearly vibrating conveyor at various vibration angles α

Finally, the most general, i.e. *elliptic* case is characterized by both parameters, inclination angle α and phase shift φ , with the corresponding horizontal and vertical orbital components $x(t) = A \cos \alpha \cos(2\pi ft)$ and $y(t) = A \sin \alpha \cos(2\pi ft + \varphi)$ and, respectively, which yields the general solution of this problem as

$$K_{\text{onset}} = \frac{\mu_s \tan \alpha}{\sqrt{1 + 2\mu_s \tan \alpha \cos \varphi + \mu_s^2 (\tan \alpha)^2}}$$

A comparison of all three vibration modes, linear, elliptic, and circular, is given in Figure 4, which shows that it is easiest to overcome static friction by linear vibrations of the trough. The elliptic and circular modes seem to be ‘softer’, i.e. less effective for setting particles in motion.

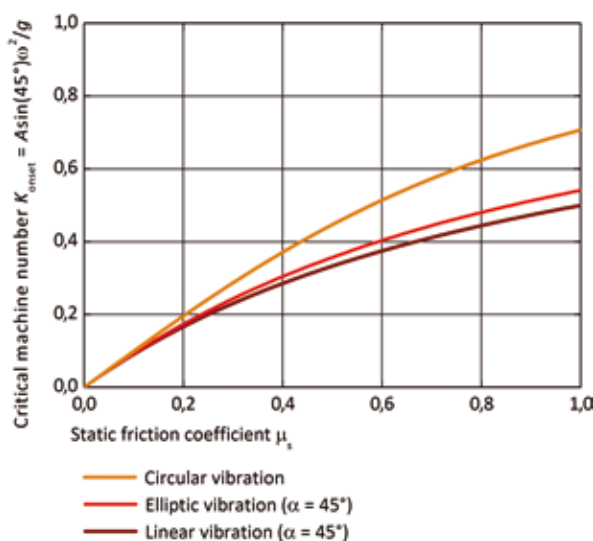


Fig. 4: Comparison of the critical machine numbers K_{onset} for the onset of particle motion for circular, elliptic and linear vibration modes

Conclusions

To conclude, the vibratory conveyor system introduced here opens up the possibility of investigating the transport properties of granular materials in a systematic way. In general, the delicate interactions of the particles with the support as well as among themselves have to be taken into account. First clues indicate that a detailed analysis of the frictional forces is important. This suggests that before tackling the full problem of many interacting particles it may be rewarding to investigate the complex behavior of a single object in a controlled environment. These considerations can be seen as a starting point for the systematic investigation of the transport behavior for all parameters of a vibratory conveyor.

References

- [1] G. Pajer, H. Kuhnt, F. Kuhnt, *Fördertechnik - Stetigförderer*, VEB Verlag Technik, Berlin, 1988, pp. 226-255.
- [2] F.J.C. Rademacher, L. Ter Borg, *On the theoretical and experimental conveying speed of granular solids on vibratory conveyors*, Forschung im Ingenieurwesen, 60, 1994, pp. 261-283.
- [3] E.M. Slood, N.P. Kruyt, *Theoretical and experimental study of the transport of granular materials by inclined vibratory conveyors*, Powder Technology, 87, 1996, pp. 203-210.
- [4] Z. Farkas, P. Tegzes, A. Vukics, T. Vicsek, *Transitions in the horizontal transport of vertically vibrated granular layers*, Physical Review E, 60, 1999, pp. 7022-7031.
- [5] M. Rouijaa, C. Krülle, I. Rehberg, R. Grochowski, P. Walzel, *Transport and pattern formation in granular materials on a vibratory conveyor*, Chemical Engineering and Technology, 28, 2005, pp. 41-44.
- [6] R. Grochowski, P. Walzel, M. Rouijaa, C.A. Kruelle, I. Rehberg, *Reversing granular flow on a vibratory conveyor*, Applied Physics Letters, 84, 2004, pp. 1019-1021.

Author

Prof. Dr. rer. nat. habil. Christof Krülle
Professor an der Fakultät für Maschinenbau und Mechatronik an der Hochschule Karlsruhe

Kontakt

Prof. Dr. rer. nat. habil. Christof Krülle
Hochschule Karlsruhe – Technik und Wirtschaft
Fakultät für Maschinenbau und Mechatronik
Moltkestraße 30
76133 Karlsruhe
E-mail: christof.kruelle@hs-karlsruhe.de

Personalbemessung im Facility Management öffentlicher Einrichtungen

Carolin Bahr, Joachim Liers und David Durukan

Im Zuge der Professionalisierung des Facility Managements (FM) und der damit einhergehenden Prozess- und Kostenoptimierung stellt sich für Eigentümer und Betreiber größerer Liegenschaften die Frage nach den notwendigen finanziellen und personellen Ressourcen, um einen unterbrechungsfreien und rechtssicheren Gebäudebetrieb zu gewährleisten. Bisher existieren im Facility Management keine oder nur unzureichende Ansätze zur Kapazitäten-Planung, in der Praxis werden diese jedoch dringend benötigt. Die Instandhaltung und das Betreiben von technischen Anlagen ist eine der Kernaufgaben im Gebäudemanagement, sodass im Rahmen des vorliegenden Projekts für diese Themen eine Methode zur Budgetplanung und Personalbemessung erarbeitet wird.

Due to ongoing professionalization in the field of facility management (FM) owners and operators of large-scale property portfolios are seeking to optimize processes and save costs by applying non-disruptive and legally conform building operations. In order to achieve this, suitable resource planning methods, including the assessment of financial and personnel needs are urgently required. Currently used capacity planning methods have not matured yet, therefore more developed solutions are needed. Since the maintenance and operation of technical facilities is seen as the core business of facilities management, this project aims to create a reliable and integrative budget and personnel planning method.

Einführung

Im Zuge der Professionalisierung und Optimierung von Sekundärprozessen innerhalb öffentlicher Einrichtungen übernimmt das Facility Management (FM) eine tragende Rolle. Eine der Kernaufgaben stellt hierbei der unterbrechungsfreie und rechtssichere Betrieb von Gebäuden und technischen Anlagen dar. Eigentümer, Betreiber und Nutzer streben neben der technischen Funktionalität insbesondere den optimalen Einsatz der zur Verfügung stehenden Ressourcen an, wobei die Personalkosten für den ordnungsgemäßen Betrieb und Unterhalt der Objekte über den gesamten Lebenszyklus hinweg einen bedeutenden Kostentreiber darstellen. Bisher existieren im Facility Management keine oder nur unzureichende Ansätze zur Kapazitäten-Planung, in der Praxis werden diese jedoch dringend benötigt.

Damit über die gesetzlichen Mindestanforderungen hinaus eine optimale Deckung des Instandhaltungsbedarfs gewährleistet werden kann, gewinnt die richtige Bemessung der Personalstellen, unter Einhaltung vordefinierter Instandhaltungsbudgets, maßgeblich an Bedeutung.

Kooperatives Forschungsprojekt

Finanziell unterstützt durch die Arbeitsgemeinschaft Technischer Abteilungen deutschsprachiger Hochschulen (ATA) wird durch eine Kooperation der Hochschule Karlsruhe mit der Johannes-Gutenberg-

Universität Mainz (JGU) und dem GEFMA-Arbeitskreis „Personalbemessung im FM“ an einer möglichen Methodik für den optimalen Ressourceneinsatz in der Instandhaltung gearbeitet. Dies beinhaltet die Entwicklung geeigneter Werkzeuge zur Feststellung zukünftiger Instandhaltungsbedarfe sowie daraus folgender Instandhaltungsbudgets, über die dann der Personalbedarf ermittelt werden soll.



Abb. 1: Kooperationspartner des Forschungsprojekts

Die Teilnehmer des GEFMA Arbeitskreises „Personalbemessung im FM“ sind Vertreter wichtiger Unternehmen, Verbände und öffentlicher Einrichtungen aus dem Immobilien- und Facility Managementbereich, die für die Bewirtschaftung umfangreicher Liegenschaften zuständig sind. Die Bereitstellung von Daten, sowie der Erfahrungsaustausch über die jeweiligen Geschäftsprozesse und Vorgehensweisen spielen für den Erfolg des Projektes eine wichtige Rolle.

Zielsetzung

Ziel ist es, zunächst verschiedene Ansätze zur Personalbemessung aufzuzeigen und deren jeweilige Vor- und Nachteile herauszuarbeiten. Als Hilfestellung für Immobilienbesitzer wird darüber hinaus eine kurze Übersicht mit entsprechenden Verweisen zu bisher existierenden Personalbemessungsverfahren erstellt, die verschiedene Themen des Facility Management abdecken. Die Themenbereiche technisches Betreiben und Instandhaltung von Gebäuden und der TGA (Technische Gebäudeausrüstung) werden detailliert aufgearbeitet. Ziel ist es, valide Methoden zur Bestimmung des notwendigen Ressourcenbedarfs in Form von Budget & Personal unter Berücksichtigung der maßgeblichen Einflussgrößen zu erhalten, wobei auf bisher existierende Verfahren aufgebaut wird. Diese sollen es Immobilienbesitzern im privatwirtschaftlichen Bereich wie auch der öffentlichen Hand ermöglichen, die erforderlichen Ressourcen rational und belastbar zu bestimmen.

Vorgehensweise & Datenerhebung im Themenbereich Instandhaltung und technischem Betreiben

Aufgrund der umfangreichen Thematik wurden zunächst existierende Budgetierungsmodelle und zugehörige Teilprozesse im Bereich des Instandhaltungsmanagements recherchiert. Nach Analyse der bestehenden Methoden wurden schließlich das Budgetierungsverfahren nach AMEV (Arbeitskreis Maschinen- und Elektrotechnik staatlicher und kommunaler Verwaltungen) [1] und das PABI-Verfahren (Praxisorientierte adaptive Budgetierung von Instandhaltungsmaßnahmen) [2] als geeignet eingestuft. Beide Verfahren dienen zunächst der Ermittlung notwendiger Budgets welche zum Betreiben bzw. Instandhalten von Gebäuden und technischen Anlagen notwendig

sind. Diese werden vereinfacht über einen prozentualen Richtwert des Wiederbeschaffungswertes und mittels Korrekturfaktoren zur Berücksichtigung von gebäudespezifischen Eigenschaften, wie z.B. das Alter, berechnet. Ausgehend vom berechneten Budget können dann in einem nächsten Schritt die Eigenpersonalkosten und die Anzahl der Personalstellen bestimmt werden, wobei dieses Vorgehen bisher lediglich im AMEV-Verfahren beschrieben ist und beim PABI-Verfahren noch zu ergänzen ist.

Ziel des Projektes ist es, zunächst die Eignung der beiden Methoden hinsichtlich Anwendbarkeit in der Praxis und Genauigkeit zu validieren und diese gegebenenfalls anzupassen oder zu ergänzen.

Wichtig ist hierbei zu erwähnen, dass sich die beiden Verfahren hinsichtlich der berücksichtigten Maßnahmenarten und Kostengruppen unterscheiden. Während bei Anwendung des AMEV-Verfahrens ausschließlich die Kosten der Kostengruppe 400 „Bauwerk-Technische Anlagen“ nach DIN 276 angesetzt werden, berücksichtigt das PABI-Verfahren darüber hinaus auch die KG 300 „Bauwerk-Baukonstruktion“. Außerdem umfasst AMEV ausschließlich das klassische Betreiben der technischen Anlagen ohne größere Instandsetzungs- und Verbesserungsmaßnahmen. Das PABI-Verfahren hingegen nutzt zur Bestimmung der Instandhaltungskosten sowohl regelmäßige als auch außerordentliche Instandhaltungsmaßnahmen, die zum Beispiel Modernisierungen oder auch Verbesserungen einschließen.

Sechs Teilnehmer des GEFMA Arbeitskreises haben Immobiliendaten sowie tatsächlich angefallene Instandhaltungskosten Ihrer Liegenschaften für die

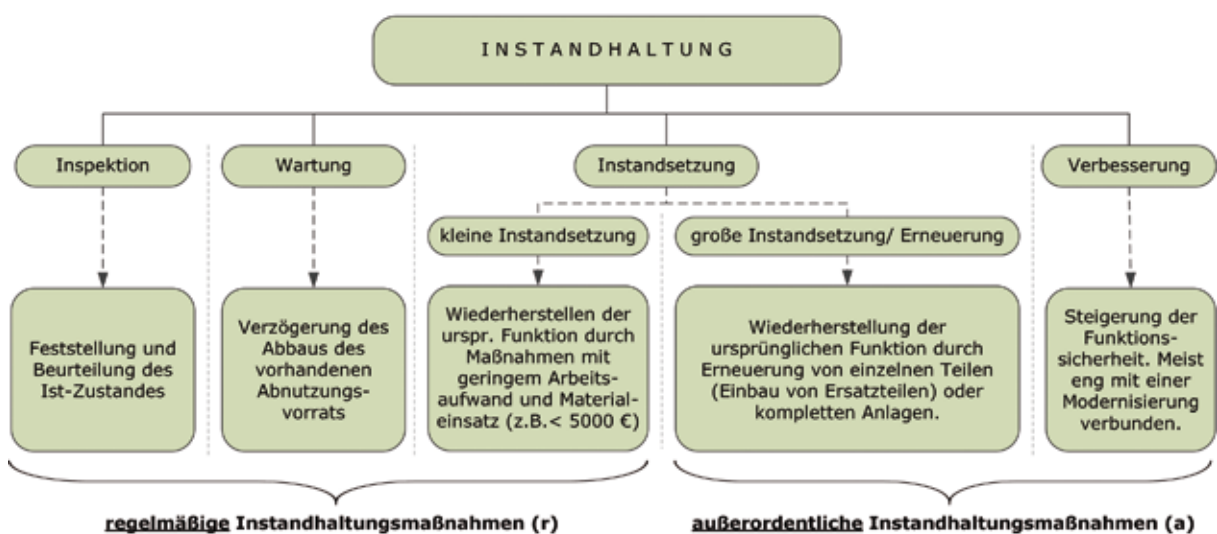


Abbildung 2: Abgrenzung der Instandhaltungsmaßnahmen gem. DIN 31051 und VDI 2067 Blatt 50

Analysen zur Verfügung gestellt. Somit konnten 633 Immobilien mit 2.058.525 m² Nutzfläche (NUF) untersucht werden, wobei das Portfolio öffentliche und private Immobilien umfasst. Um möglichst aussagekräftige Ergebnisse zu erhalten, wurden drei Jahre (2014, 2015 und 2016) betrachtet. Diese tatsächlich in der Vergangenheit getätigten „Ist-Kosten“ wurden den nach dem AMEV- bzw. PABI-Verfahren berechneten „Soll-Kosten“ gegenübergestellt, wobei letztere auf Basis des ermittelten Wiederbeschaffungswertes und durch die Erhebung notwendiger gebäudespezifischer Merkmale, wie beispielsweise dem Gebäudealter, der Nutzungsart oder der Ausprägung des Technikanteils kalkuliert wurden.

Ergänzung von Korrekturfaktoren

Die Gegenüberstellung der tatsächlich angefallenen Instandhaltungskosten mit den berechneten Soll-Kosten und die daran anschließende Diskussion hat gezeigt, dass neben den Gebäudeeigenschaften, insbesondere auch der geforderte Qualitätsstandard der FM-Leistung einen wesentlichen Einfluss auf die Höhe der Instandhaltungskosten hat. Während bei den bisherigen Bemessungsverfahren die Soll-Kosten ausgehend von einem mittleren Service Level B berechnet werden, können die tatsächlichen Bedarfe in der Praxis davon abweichen, wenn diese mit einem höheren oder einem niedrigeren Service-Level bewirtschaftet werden. Für einen aussagekräftigen Vergleich muss daher auch die Qualität der Instandhaltungsleistung berücksichtigt werden. Zur Abbildung der Servicequalität wurden auf Basis der Erfahrungswerte der Arbeitskreisteilnehmer entsprechende Korrekturfaktoren erarbeitet. In Anlehnung an die von der Real FM definierten Servicelevel (A-D) [3] wurden drei Service-

Level und eine Kategorie für stillgelegte Gebäude definiert (s. Abb. 3).

Die nach dem AMEV- bzw. PABI-Verfahren ermittelten Soll-Kosten wurden für alle Gebäude in Abhängigkeit der praktizierten Instandhaltungsqualität mit Hilfe der ermittelten Korrekturfaktoren entsprechend erhöht bzw. abgemindert. Abbildung 4 zeigt exemplarisch für vier Liegenschaften, dass sich der Deckungsgrad hierdurch zum Teil erheblich verändert. Der Deckungsgrad gibt an, welchen Anteil die tatsächlichen Ist-Kosten an den berechneten Soll-Kosten haben. Werden alle Gebäude einer Liegenschaft mit Service-Level B bewirtschaftet, so ändert sich der Deckungsgrad nicht. Dies ist zum Beispiel bei Liegenschaft vier zu erkennen.

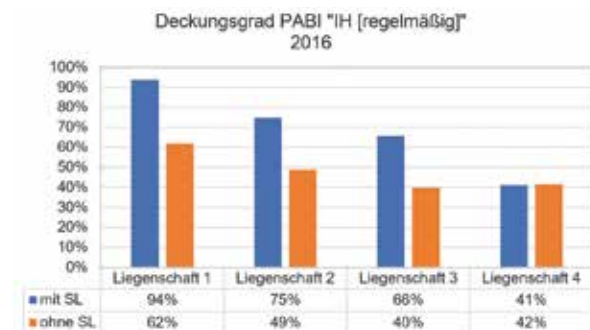


Abb. 4: Soll-Kostendeckung PABI-Verfahren mit und ohne Service-Level-Korrektur

Darüber hinaus haben die Analysen gezeigt, dass neben der Servicequalität auch der Standort bzw. die Herkunft des Dienstleistungs-Erbringers bei der Ermittlung der erforderlichen Ressourcen zu berücksichtigen sind. Aufgrund erheblicher regionaler Unter-

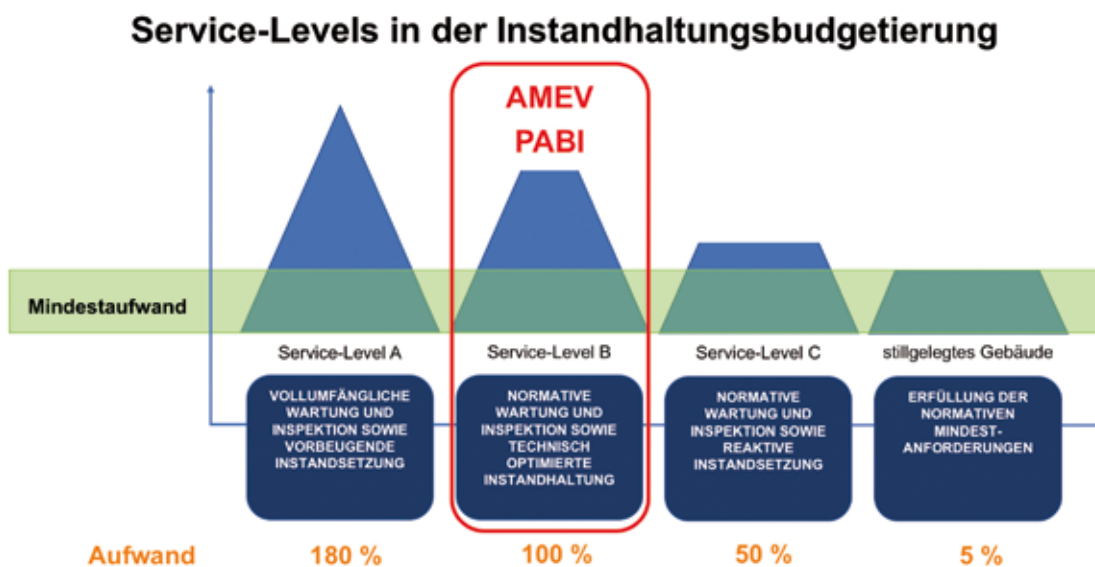


Abb.3: Service-Levels zur Definition der geforderten Qualitätsstandards der FM-Dienstleistung modifiziert nach Real FM (2017) [3]

schiede hinsichtlich der Gehälter wurde das Bundesgebiet in vier Regionen aufgeteilt und entsprechende Zu- und Abschläge erarbeitet.

Weiteres Vorgehen

Nachdem die Korrekturfaktoren für die Instandhaltungsqualität und den Standort identifiziert und in die beiden Bemessungsverfahren AMEV und PABI integriert sind, ist der nächste Schritt die Umrechnung der Instandhaltungskosten in Personal-Soll-Stellen. Herausforderung hierbei ist zunächst die Berechnung der Eigen-Personalkosten in Abhängigkeit von der anvisierten Eigenleistungstiefe. Des Weiteren ist es erforderlich, die Methode zur Ermittlung des sogenannten Personalkostenäquivalents festzulegen. Das Personalkostenäquivalent entspricht den mittleren Jahreskosten einer Stelle, wobei Lohnkosten einschließlich Personalgemein- und Sachkosten darin enthalten sind. Erste Diskussionen haben gezeigt, dass es für aussagekräftige Berechnungen erforderlich ist, die entsprechenden Vollkosten genau zu definieren.

Ausblick

Das Bedürfnis zur Anpassung des Personalbedarfs wird bei Immobilienbesitzern aufgrund stetig zunehmender gesetzlicher Regelungen, z.B. hinsichtlich der Betreiberverantwortung mit zusätzlichen Prüf- und Wartungspflichten, in Zukunft noch weiter steigen. An die Personalbemessung werden heute im Vergleich zur Vergangenheit neue Anforderungen gestellt, wobei auch die gestiegenen Erwartungen der Nutzer sowie der gesellschaftliche Wandel hinsichtlich Ökologie und Ressourcenschonung eine Rolle spielt.

Neben dem Betreiben und Instandhalten von Gebäuden und Technischen Anlagen gibt es zahlreiche weitere Aufgabenbereiche im Facility Management, für die bisher noch keine Bemessungsverfahren bekannt sind, wie z.B. das Energiemanagement oder das kaufmännische Gebäudemanagement. Hier sind in weiteren Projekten entsprechend neue Ansätze und Methoden zu entwickeln.

Literatur

- [1] AMEV Empfehlung *TGA-Kosten Betreiben 2013 – Ermittlung der Kosten für das Betreiben von technischen Anlagen in öffentlichen Gebäuden*, 2013, AMEV-Empfehlung Nr. 120, Berlin.
- [2] C. Bahr, *Realdatenanalyse zum Instandhaltungsaufwand öffentlicher Hochbauten*, 2008, Universitätsverlag Karlsruhe.
- [3] A. Damm, D. Otto, P. Stadlöder, *Grosser Leitfaden Instandhaltung 2017 – Praxisorientierte Lösungen für sicheres und ergebnisbasiertes Handeln in der Instandhaltung von Liegenschaften und Gebäuden*, Leitfaden des RealFM e.V., RealFM e.V. Association for Real Estate and Facility Managers, 2017.

Autoren

Prof. Dr.-Ing. Carolin Bahr

Professorin an der Fakultät für Architektur und Bauwesen der Hochschule Karlsruhe

Dr. rer. nat. Joachim Liers

Leiter Abteilung Technik an der Johannes Gutenberg-Universität Mainz

David Durukan B.A.

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

Kontakt

Prof. Dr.-Ing. Carolin Bahr

Hochschule Karlsruhe – Technik und Wirtschaft

Fakultät für Architektur und Bauwesen

Moltkestraße 30

76133 Karlsruhe

E-Mail: carolin.bahr@hs-karlsruhe.de



Finden Sie uns auf Facebook
www.facebook.com/vmkverlag



Robustheit von Schleusen mit Schwergewichtskammerwänden

Simon Weiler und Jan Akkermann

Um die notwendigen, umfangreichen Instandsetzungsmaßnahmen der Bauwerke an den Bundeswasserstraßen durchführen zu können, ist eine objektivierte Priorisierung einzelner Bauwerke erforderlich. Mit der Ermittlung einer qualitativen Ausfallwahrscheinlichkeit, dem Schadensindex, wird hierfür eine Methode im Erhaltungsmanagement bereitgestellt. Sie setzt sich aus der Kombination der Bauwerksrobustheit und dem aktuellen Zustand des Bauwerks zusammen. Die hier betrachteten Schifffahrtsschleusen mit Schwergewichtskammerwänden erwiesen sich als sehr robuste Bauwerke und besitzen eine niedrige Ausfallwahrscheinlichkeit.

In order to carry out necessary and extensive repair work on the structures of the Federal Waterways Authority, an objective prioritization of individual structures is necessary. The determination of qualitative default probability, the damage index, provides a maintenance method. The method combines information about the structural robustness with the current condition of the structure. The ship locks with heavyweight chamber walls considered here are very robust and have a low probability of failure.

Einleitung

Die Verkehrswasserbauwerke im Verantwortungsbereich der Wasserstraßen- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes (WSV) weisen altersbedingt (s. Abb. 1) einen zunehmend schlechteren Zustand auf.



Abb. 1: Altersstruktur der Schleusenanlagen der WSV

Die erforderlichen Instandsetzungsarbeiten bzw. Neubaumaßnahmen können nicht alle zeitgleich umgesetzt werden. Die Bauwerke sind daher mithilfe eines risikobasierten Erhaltungsmanagements zu priorisieren. Für die Beurteilung einer qualitativen Ausfallwahrscheinlichkeit wurde an der Hochschule Karlsruhe in Kooperation mit der Bundesanstalt für Wasserbau (BAW) für Schifffahrtsschleusen aus Stahlbeton ein technisches Managementsystem zur Ermittlung einer erweiterten Schadensbewertung entwickelt [1, 2]. Die grundsätzliche Methodik des Systems wurde aktuell auf Schifffahrtsschleusen mit Schwergewichtskammerwänden übertragen [3].

Methodik

Die entwickelte Methode fokussiert sich auf die Bestimmung der qualitativen Ausfallwahrscheinlichkeit eines Bauwerks. Diese ergibt sich aus der Bauwerksleistungsfähigkeit, die durch deren Robustheit beschrieben wird, und aus dem Bauwerkszustand, der von der WSV im regelmäßigen Turnus festgestellt wird. Hieraus wird eine erweiterte Zustandsnote, der Schadensindex, ermittelt und eine Reihung von Bauwerken zur Maßnahmenpriorisierung ermöglicht [1].

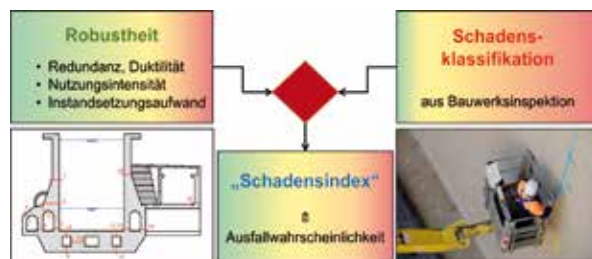


Abb. 2: Schadensindex als eine Kombination aus Bauwerksrobustheit und Schadensklassifikation [1]

Die Robustheit in diesem Kontext wird beschrieben durch die Differenz in der strukturellen Leistungsfähigkeit zwischen einem ungeschädigten und einem geschädigten System (s. Abb. 3).

Die Ermittlung der Bauwerksrobustheit erfolgt mittels einer Bewertung von sieben relevanten Robustheitskriterien. Diese Kriterien lassen sich in drei verschiedene Bereiche gliedern: Bauwerk (B), Nutzung (N) und globale Standsicherheit (G). Jedes Kriterium erhält eine Robustheitsbewertung R_j und eine Wichtung W_j

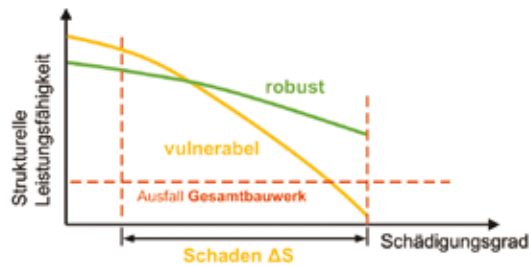


Abb. 3: Robustheit als Bauwerksantwort auf Schädigung [1]

(s. Tab. 1). Die Bewertung erfolgt in Übereinstimmung mit dem BAW-Merkblatt MSV [4] mit Robustheitsnoten zwischen 1 und 4:

0 → Es kann keine Aussage getroffen werden.]

1 → Das Kriterium ist (voll) erfüllt.

2 → Das Kriterium kann nicht ganz erfüllt werden.

3 → Das Kriterium kann nur zum Teil erfüllt werden.

4 → Das Kriterium ist nicht eingehalten.

	Robustheitskriterium R_j	Wichtung W_j
Bauwerk (B)	Redundanz	3
	Progressiver Kollaps	3
	Duktilität	2
	Verformungsfähigkeit	1
Nutzung (N)	Intensität – Dauer	1
	– Nutzung	
	Instandsetzungsaufwand	1
(G)	Globale Standsicherheit	2

Tab. 1: relevante Robustheitskriterien R_j und Wichtung W_j

Die Bewertung der Robustheitskriterien erfolgt an typisierten Betrachtungsorten bzw. Schnitten (s. Abb. 4a), die in Bereiche (s. Abb. 4b) zusammengefasst werden können:

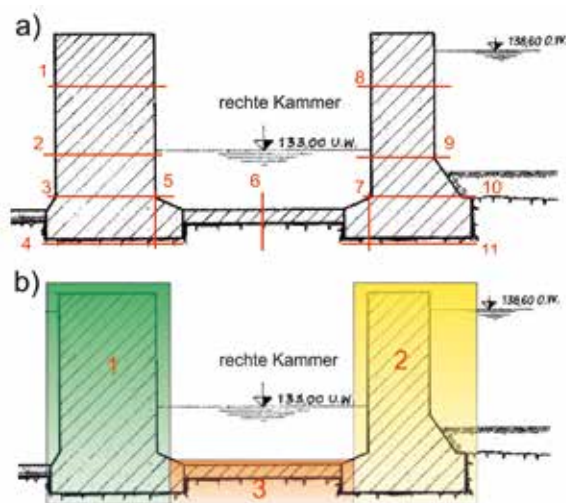


Abb. 4: a) typisierte Betrachtungsorte (11 Nachweisschnitte) der Robustheitskriterien und b) zusammengefasste Bereiche (3) am Beispiel der Schleuse Neckarzimmern

An den Betrachtungsorten werden innere und äußere Standsicherheitsnachweise gemäß BAW-TbW [5] und Gutachten der BAW geführt:

- der Biegenachweis,
- der Querkraftnachweis,
- der Grundbruchnachweis und
- das Gleiten in der Sohlfuge.

Mithilfe der Berechnungsergebnisse können die Robustheitskriterien bewertet werden, wie z. B. die Redundanz. Hier spielt der Auslastungsgrad eine maßgebende Rolle. Andere Kriterien werden berechnungsunabhängig bewertet, wie z. B. der Instandsetzungsaufwand bei Schäden. Sämtliche Bewertungen werden in einer Robustheitsmatrix des (Teil-)Bauwerks zusammengefasst.

Bauwerkszustand

Zur Berücksichtigung der Bauwerksschädigung werden die tatsächlich festgestellten und zeitlich veränderlichen Schadensklassifikationen mit den Robustheitsnoten überlagert [1]. Für die hier betrachteten Schleusenammern mit Schwergewichtswänden sind die nachfolgenden Schadens- und Verfallsprozesse:

- „kein“ Verfallsprozess (VP) (1)
- Oberflächenschäden Beton (2)
- Risse im unbewehrten Beton (3)
- Verformungen im Massivbau (4)
- Fugen und Dichtungen (5)

maßgebend [3, 6]. Die lokale Zuordnung der Schäden ist mithilfe der Zustandsberichte aus Bauwerksinspektionen nicht immer eindeutig den Betrachtungsorten zuzuordnen. Es werden daher vereinfachend die Schäden gesamten Bereichen (s. Abb. 4b) zugeordnet. Das Schadensbeispiel der Kammerwand in Abbildung 5 ist mit einer Schadensklassifikation SK2 ausgewiesen [3]. Oberflächenschäden am Beton sind in dieser Klassifikation an der linken und rechten Kammerwand vorzufinden. Es werden diese Schäden daher den Bereichen 1 und 2 (s. Abb. 4b) zugeordnet.

Schadensindex

Die Ermittlung des Schadensindex erfolgt mittels des gewichteten Mittelwerts aus der Multiplikation der Robustheitsnoten mit den Schadensklassifikationen sowie mit den jeweiligen Wichtungen. Die Ergebnisse werden mithilfe der „Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution“ (TOPSIS) [2] weiter ausgewertet. Die Ergebnisse für Robustheit und Schadensindex liegen in dem Wertebereich zwischen 0 und 1.

Die Schleuse Neckarzimmern verdeutlicht beispielhaft den Effekt der Robustheitsbetrachtung. Die Schleuse weist in fast allen Schnitten eine hohe Robustheit auf. Trotz offensichtlicher Schäden sind die Schadensin-

dizes daher niedrig, was eine geringe Ausfallwahrscheinlichkeit bedeutet (s. Abb. 5). Die Schäden des Bauwerks sind demnach nicht prioritär zu behandeln.

VP	Redundanz	Progressiver Kollaps	Duktilität	Verformungsfähigkeit	Nutzungsintensität	Instandsetzungsaufwand	Globale Standsicherheit
Nachweise der inneren Standsicherheit							
1	X	X	X	X	X	X	o
2	X	X	X	X	X	X	X
3	X	X	X	X	X	X	X
4	o	o	o	X	X	X	X
Nachweise der äußeren Standsicherheit							
1	o	o	o	o	o	o	o
2	X	X	X	X	X	X	X
3	X	X	X	X	X	X	X
4	X	X	X	X	X	X	X

Tab. 2: Zuordnung der Schadensprozesse zu den Robustheitskriterien

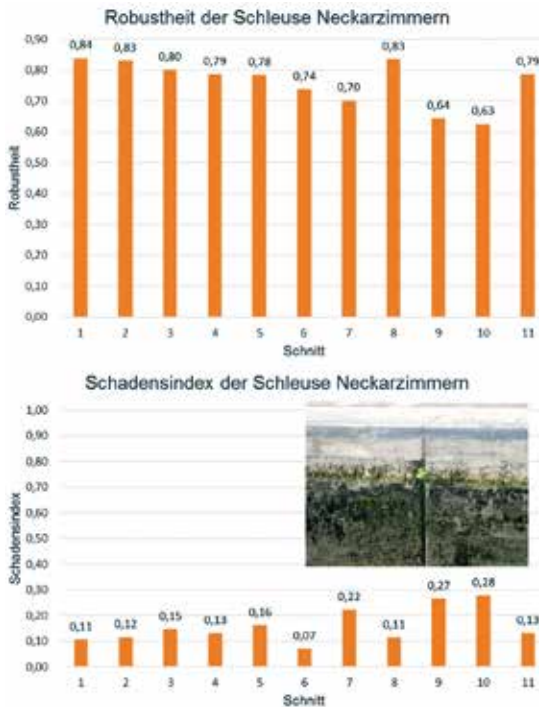


Abb. 5: Schleuse Neckarzimmern: Robustheitswerte (oben) und Schadensindizes (unten)

Systemanwendung

Der Vergleich verschiedener Schleusen mit Schwergewichtskammerwänden zeigt die Leistungsfähigkeit der Methode (s. Tab. 3). Bei ähnlicher Zustandsnote, die alleine auf den Schäden basiert, weisen vergleichbare Schleusen unterschiedliche Schadensindizes auf. Hierdurch gelingt die eindeutige Priorisierung von Instandsetzungsmaßnahmen. Bedeutend hierbei ist auch die Feststellung, dass sich alte Schleusen mit Schwergewichtskammerwänden deutlich robuster als neuere Stahlbetonschleusen erweisen [1].

Schleuse	Zustandsnote Inspektion	Zustandsnote Konstruktion	Schadensindex
Viereth	3,2	3,2	0,29
Neckarzimmern	3,2	2,2	0,28
Heubach	3,2	3,2	0,25
Rothenfels	4	3,2	0,17
Wallstadt	3,1	3,2	0,17

Tab. 3: Instandsetzungspriorisierung durch Vergleich von Schadensindizes und Zustandsnote verschiedener Schleusen

Literatur

- [1] J. Akkermann, S. Weiler, J. Bödefeld, J. Meier, *Die Bauwerksrobustheit im Kontext eines risikobasierten Erhaltungsmanagements*, Beton- und Stahlbetonbau 113 (2018) H. 10, doi.org/10.1002/best.201800057.
- [2] J. Akkermann, S. Weiler, *Abschlussbericht: Robustheit von Stahlbetonschleusen*, unveröffentlicht, Karlsruhe, April 2018.
- [3] J. Akkermann, S. Weiler, *Abschlussbericht: Robustheit von Scheusenkammern mit Schwergewichtswänden*, unveröffentlicht, Karlsruhe, Oktober 2018.
- [4] Bundesanstalt für Wasserbau, *BAWMerckblatt: Schadensklassifizierung an Verkehrswasserbauwerken (MSV)*, Karlsruhe, 2015.
- [5] Bundesanstalt für Wasserbau, *Bewertung der Tragfähigkeit bestehender, massiver Wasserbauwerke (TbW)*, Karlsruhe, 2016.
- [6] J. Bödefeld, *Parameter identification of deterioration models by Delphi interview*, in: *Life-Cycle of Engineering Systems: Emphasis on Sustainable Civil Infrastructure*, Bakker, Frangopol & van Breugel (Eds), Taylor & Francis Group, London, 2017.

Autoren

Simon Weiler M.Eng.

Akademischer Mitarbeiter am Institut für Angewandte Forschung (IAF) der Hochschule Karlsruhe

Prof. Dr.-Ing. Jan Akkermann

Professor für Konstruktiven Ingenieurbau an der Fakultät für Architektur und Bauwesen der Hochschule Karlsruhe

Kontakt

Prof. Dr.-Ing. Jan Akkermann
 Hochschule Karlsruhe – Technik und Wirtschaft
 Fakultät für Architektur und Bauwesen
 Moltkestraße 30
 76133 Karlsruhe
 E-Mail: jan.akkermann@hs-karlsruhe.de



High-tech since 1931.



Herausforderungsliebhaber.

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