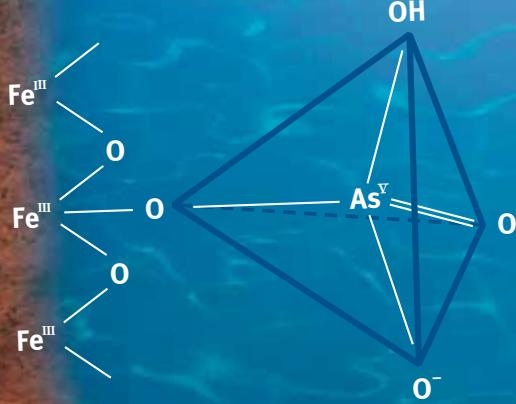




Näher dran.



Forschung aktuell 2018





DISCOVER NEW DIMENSIONS

Ida (Test Engineer, Shared Services – System Verification)

DREAM IT, OR LIVE IT!

Ihr seid Daimler? Die Frage hören wir oft: Ja, wir sind Daimler, aber nein, wir sind nicht die Daimler AG, wir sind Daimler TSS. Wir bauen keine Autos, aber wir begleiten sie auf Seiten der IT während des kompletten Produktlebenszyklus und bieten innovative, ganzheitliche IT-Lösungen in den Kernthemen Car IT & Mobility, Analytics, Information Security, Innovation, Digital Customer Experience und Shared Services. In Summe können wir Dir die Freiheiten eines modernen mittelständischen IT-Unternehmens mit der Sicherheit eines global agierenden Automobilkonzerns bieten. Neugierig?

Gestalte mit uns die digitale Mobilität, unter einem guten Stern.

<https://www.daimler-tss.com/de/karriere/>

Noch schneller geht's mit Video:
15-Sekunden.de



DEUTSCHLANDS
BESTE
ARBEITGEBER



Liebe Leserinnen und Leser,

die Hochschule Karlsruhe – Technik und Wirtschaft gehört zu den forschungsstärksten Hochschulen für Angewandte Wissenschaften (HAWs) in Deutschland. Die hier geleistete angewandte Forschung beeindruckt durch ihre große Bandbreite und internationale Vernetzung.

Wie sehr auch elementare Bedürfnisse der Menschen weltweit im Mittelpunkt der Forschungsanstrengungen an der Hochschule stehen, zeigt exemplarisch der Titelbeitrag der diesjährigen Ausgabe: Die Forschungsgruppe von Professor Dr.-Ing. Jan Hoinkis, dem aktuellen Forschungspreisträger der Hochschule Karlsruhe, berichtet darin über die Entwicklung einer modularen Anlage zur Arsenentfernung und Entsalzung von Grundwasser für die Trinkwasserversorgung in Vietnam.

Die Stärkung der Forschung ist ein strategisches Ziel 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 eingeleitet. Inhaltliche Kernpunkte sind die Institutsstruktur, die Mitsprache der Forschenden, die Förderung des wissenschaftlichen Nachwuchses und die Forschungsunterstützung. In der neuen qualitätsgesicherten Institutsstruktur auf zentraler Ebene sind 2017 bereits vier Institute gegründet worden. Der beschlossene 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 sind die Einführung

eines Doktorandenkonvents, die Weiterentwicklung des bereits bestehenden Doktorandenstatus und eine verpflichtende Betreuungsvereinbarung geplant. Die Einrichtungen zur Forschungsunterstützung sind zu einer zentralen, von den Instituten unabhängigen Verwaltungseinheit, dem Center of Applied Research (CAR), zusammengelegt worden.

Zum ersten Dezember 2017 habe ich mein Amt als Prorektor für Forschung, Kooperationen und Qualitätsmanagement angetreten. Ich habe an der Hochschule Karlsruhe die Professur für Kommunikationssoftware und informationstechnische Netze an der Fakultät für Elektro- und Informationstechnik inne und freue mich auf die neue zusätzliche Aufgabe. Meinem Vorgänger Prof. Dr.-Ing. Markus Stöckner möchte ich an dieser Stelle für sein elfjähriges Engagement als Prorektor und insbesondere für seine Vorarbeit bei der Neuordnung der Forschungsstruktur und -organisation danken.

In der aktuellen Ausgabe unserer jährlich erscheinenden Forschungsberichte möchten wir Ihnen in gewohnter Weise einen Einblick in die vielfältigen Forschungsaktivitäten und -projekte der Hochschule geben. Schwerpunkte dieser Ausgabe sind die Themen:

- Elektro- und Informationstechnik
- Maschinenbau und Mechatronik
- Informatik und Wirtschaftsinformatik
- Wirtschaftswissenschaften

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



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

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

A handwritten signature in black ink, appearing to read "Quint".

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

Impressum

ISSN 1613-4958
Hochschule Karlsruhe – Technik und Wirtschaft
Forschung aktuell 2018

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
Alfons Muntean

Titelbilder:
Papaya-Plantage im Mekongdelta,
Südvietnam (Foto: E. Cañas Kurz);
Innersphärischer, monodentaler
Oberflächenkomplex durch
Lewis-Base-Elektronentransfer von einem
Monohydrogenarsenat(V)-Anion
an eine Eisen(III)-hydroxidoxid-Matrix
(Grafik: Erwin Fieber);

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 2018

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
----------------------------------------------------------------------------------------------------------------	---

Elektro- und Informationstechnik

Verbundprojekt WaKap: Entwicklung eines nachhaltigen modularen Verfahrens zur Wasserentsalzung und Entfernung von geogenem Arsen für die Trinkwasserversorgung in Vietnam <i>Edgardo E. Cañas Kurz, Ulrich Hellriegel und Jan Hoinkis</i>	8
Hierarchically self-assembled metal-oxide gas-sensing materials <i>Navas Illyaskutty, Krishnaveni Krishnaramanujam, Sreeja Sreedharan Nair, Christof Wöll, Hartmut Gliemann and Heinz Kohler</i>	14
Simulation und Optimierung des Anteils von erneuerbaren Energien in elektrischen Netzen und Automatisierung von Redox-Flow-Batterien mit quelloffener Hard- und Software <i>Jens Noack und Karsten Pinkwart</i>	18
Direct Plenoptic Odometry – Visual Odometry based on a Light Field Camera <i>Niclas Zeller and Franz Quint</i>	22
Gib Schatten keine Chance <i>Angelika Neumann und Rainer Merz</i>	28

Maschinenbau und Mechatronik

Entwicklung eines Klima- und Höhensimulationsprüfstands <i>Artur Martel, Fino Scholl, Dennis Weierter und Maurice Kettner</i>	33
Experimentelle Untersuchungen zur laminar-turbulenten Bypass-Transition <i>Holger Albiez, Christoph Gramespacher und Matthias Stripf</i>	38
Direkte Numerische Simulation einer inkompressiblen turbulenten Kanalströmung mit Rauheitselementen und gekoppeltem Wärmeübergang <i>Florian Theobald und Matthias Stripf</i>	43
Numerical studies of crystal lattice rotation and pile-up patterns during nanoindentation of tungsten single crystals <i>Tillmann Volz, Jin Wang, Ruth Schwaiger and Sabine M. Weygand</i>	48
Aktuelle Fortschritte in der Entwicklung von Eisbreisystemen <i>Sebastian Gund und Michael Kauffeld</i>	52

Inhalt

Informatik und Wirtschaftsinformatik

Computergestütztes Design gradierter Metallschäume <i>Anastasia August, Aron Kneer und Britta Nestler</i>	56
Groundwater remediation – numerical models and experiments <i>Aron Kneer, Andres A. Gonzalez, Pavan Laxmipathy Veluvali, Patrick Altschuh, Eduard Alesi und Britta Nestler</i>	59
Kontextsensitive Vorschläge für eine semantische Suchmaschine <i>Andreas Schmidt</i>	64
Ausgewählte Data-Mining-Algorithmen zur Ermittlung von Streckenalternativen im öffentlichen Nahverkehr <i>Yael Widmann und Karl Dübon</i>	67
Akzeptanz des Notrufsystems eCall <i>Vjollca Sadikaj, Ingo Stengel und Stefanie Regier</i>	70

Wirtschaftswissenschaften

Industrie 4.0: Aufgabenschwerpunkte der gegenwärtigen Technik <i>Maja Jeretin-Kopf und Rüdiger Haas</i>	73
Digitale Geschäftsmodellinnovation im mittelständischen Maschinenbau <i>Roman Kerres, Larissa Herberger, Jessica Thomann und Carsten H. Hahn</i>	76
Veränderung gestalten statt von ihr getrieben zu werden: Mit sozialen Lerntechnologien die Weiterentwicklung des beruflichen Selbstverständnisses fördern <i>Andreas Peter Schmidt</i>	80
Produktionslogistik im Zeitalter von Industrie 4.0: Entwicklung eines vollautomatisierten, robotergestützten Logistikkonzepts für die Produktion <i>Christian Wurll</i>	83

Schlaglichter

Modell- und Sensorintegration zum integrierten 3D-Geomonitoring in moderner Datenkommunikationsstruktur mit Anwendung auf dem Stuttgarter Fernsehturm <i>Reiner Jäger</i>	87
Entwicklung ressourcenschonender Betone durch Einbindung von 100 % Recyclingmaterial: Vorgehen und technische Hintergründe für die Praxisumsetzung <i>Sandra Lichtblau, Stefan Linsel und José Fernando Martírena Hernández</i>	92



Studienplatz gesucht?

Die GMT Gruppe zählt seit 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 an für Ausbildungen, Studiengänge, Praktika und Abschlussarbeiten. Profitieren Sie davon – mit besten Aussichten für Ihre Zukunft.

Studiengänge

- **Bachelor of Engineering**
(Studiengang Technik, Maschinenbau – Konstruktion und Entwicklung)
- **Bachelor of Engineering**
(Studiengang Technik, Maschinenbau – Produktionstechnik)
- **Bachelor of Arts**
(Studiengang Wirtschaft, BWL – Industrie)

Berufseinsteigern

Wir suchen **Entwicklungsingenieure, Produktdesigner, Prüfingenieure, Maschinenbautechniker, Energieelektroniker, Projekteinkäufer uvm.**

Wir bieten viele Möglichkeiten in den Bereichen Entwicklung, Konstruktion, Vertrieb, Einkauf und weiteren Abteilungen. Informieren Sie sich über unsere aktuellen Stellenangebote im Karrierebereich unserer Homepage. Bewerben Sie sich unter:



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

www.gmt-gmbh.de

GMT
Gummi · Metall · Technik

Stand der Forschung an der Hochschule Karlsruhe – Technik und Wirtschaft

Um ihre Spitzenposition als eine der forschungsstärksten 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.

Die immer umfangreicheren Forschungsaktivitäten der Hochschule Karlsruhe wurden bis zur Neuordnung der Forschungsstruktur und -organisation im Wintersemester 2017/18 in zwei zentralen Forschungseinrichtungen gebündelt – dem Institut für Angewandte Forschung (IAF) und dem Institute of Materials and Processes (IMP). Während das IAF als zentrale anwendungsorientierte Forschungs- und Entwicklungseinrichtung allen Forschenden offen stand, konzentrierte sich das IMP thematisch auf die Materialforschung und die Entwicklung neuer Fertigungsverfahren. Neben diesen beiden zentralen Instituten bestanden bisher weitere dezentrale Forschungseinrichtungen an den Fakultäten. Wie bereits im Vorwort erläutert, wird die Forschung zukünftig in qualitätsgesicherten und zentralen Forschungsinstituten durchgeführt. Damit wird eine bessere Unterstützung der Forschenden gewährleistet und die Sichtbarkeit ihrer Ergebnisse wird erhöht.

Die Forschungsstärke der Hochschule Karlsruhe spiegelt sich auch in ihrem Drittmittel-, Promotions- und Publikationsaufkommen wider. Aufgrund der unterjährigen Umstrukturierung und übergangsweise noch fortbestehenden bisherigen Institute werden die Zahlen des diesjährigen Statusberichts ein letztes Mal nach IAF, IMP und Sonstigen unterteilt.

1. Drittmittelaufkommen

Die Drittmitteleinnahmen der Hochschule Karlsruhe in der Forschung beliefen sich in 2017 auf insgesamt ca. 5,9 Mio. Euro. Wie in Abbildung 1 zu erkennen ist,

verzeichnen die Drittmitteleinnahmen der Hochschule gegenüber 2016 einen durch Einmaleffekte bedingten Rückgang, aber im Vergleich zu 2015 und den Vorjahren eine Steigerung. Mit Ausnahme der Jahre 2012 und 2015 war die Hochschule Karlsruhe jeweils die drittmittelstärkste HAW in Baden-Württemberg. Aktuell arbeiten die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler der Hochschule Karlsruhe an rund 144 Forschungsprojekten.

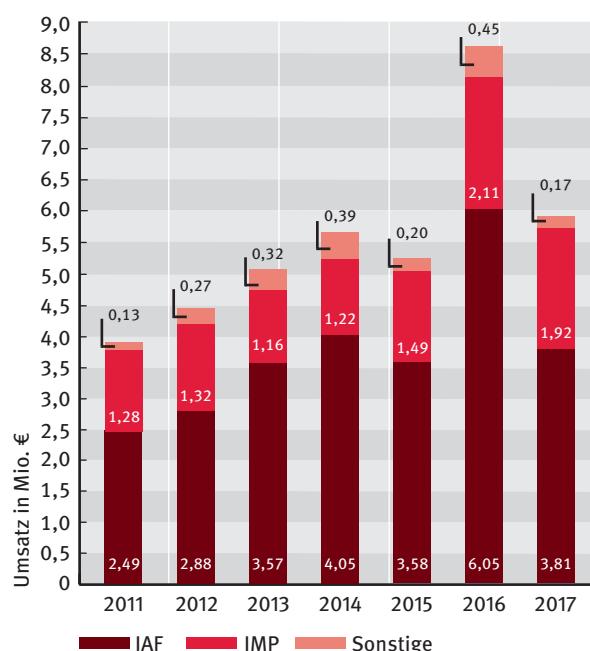


Abb. 1: Umsatzentwicklung IAF, IMP und Sonstige von 2011 bis 2017

2. Promotionsaufkommen

Insgesamt 76 laufende Promotionsvorhaben wurden Ende 2017 kooperativ in Form einer Individual- oder einer strukturierten Promotion an der Hochschule Karlsruhe betreut und 13 Doktoranden schlossen ihre Promotion 2017 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.

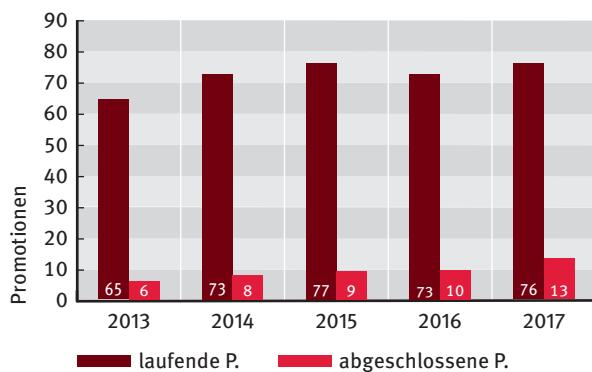


Abb. 2: Entwicklung der kooperativen Promotionen 2013 bis 2017

3. Publikationsaufkommen

Die Professorinnen und Professoren sowie die Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter der Hochschule haben 2017 insgesamt 155 wissenschaftliche Publikationen veröffentlicht, wovon 40 als Zeitschriftenaufsatz oder Dissertation erfolgreich ein Peer-Review-Verfahren durchlaufen.

4. Forschungsprofil

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. Kälte- und Umwelttechnik, energieeffiziente Mobilität, Verkehrsplanung und Infrastrukturmanagement sind Thema im Forschungsschwerpunkt „Energieeffizienz und Mobilität“. Im Forschungsschwerpunkt „Intelligente Systeme“ werden solche Systeme erforscht, die sich über die Verarbeitung von Signalen oder die Interpretation des Nutzerverhaltens an die Gegebenheiten oder den individuellen Nutzer anpassen. Der Fokus des Forschungsschwerpunkts „Materialien, Prozesse und Systeme“ liegt auf neuen Modellierungstechniken für die Werkstoffsimulation, Optimierungen in der Produktions- und Fertigungstechnik sowie auf der Fluidodynamik.

Ende 2017 waren 59 Professorinnen und Professoren am IAF und IMP tätig, die von insgesamt 260 Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern in den jeweiligen Instituten unterstützt wurden. Diese arbeiteten entweder in den Projekten selbst und in der Verwaltung oder brachten sich beispielsweise als Netzwerkadministratoren, Übersetzer oder als wissenschaftliche Hilfskräfte ein. Auch in anderen Organisationseinheiten der Hochschule Karlsruhe betätigten sich Professorinnen und Professoren sowie Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter in der Forschung; sie wurden aber nicht gesondert erfasst. Die Finanzierung der Projektmitarbeiter der beiden zentralen Forschungseinrichtungen IAF und IMP erfolgt ausschließlich aus Drittmitteln. Zusätzlich stellt die Hochschulleitung Forschungscoordinatoren für die fachliche Organisation der Forschung in den verschiedenen Forschungsbereichen zur Verfügung.

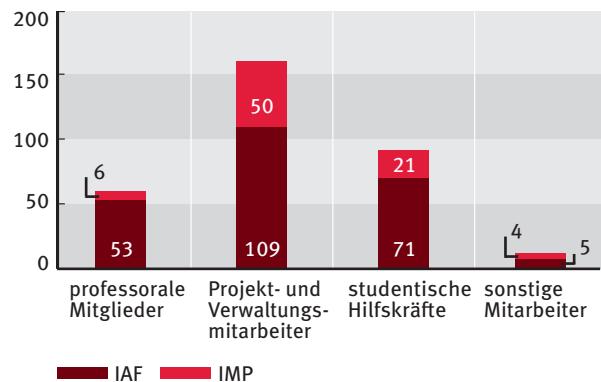


Abb. 3: Anzahl der Professorinnen und Professoren sowie der Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter des IAF und des IMP 2017

Autoren

Prof. Dr.-Ing. Franz Quint

Prorektor für Forschung, Kooperationen und Qualitätsmanagement

Elena Stamm, M.A.

Referentin des Rektorats

Verbundprojekt WaKap: Entwicklung eines nachhaltigen modularen Verfahrens zur Wasserentsalzung und Entfernung von geogenem Arsen für die Trinkwasserversorgung in Vietnam

Edgardo E. Cañas Kurz, Ulrich Hellriegel und Jan Hoinkis

Einleitung

Trinkwassermangel zählt zu den Hauptproblemen der Weltbevölkerung. Heute leiden etwa 700 Millionen Menschen in 43 Ländern an Wasserarmut und es wird erwartet, dass diese Zahl bis 2025 auf etwa 1,8 Milliarden Menschen ansteigt. Auch die Trinkwasserversorgung vieler Länder Südostasiens ist durch stark ansteigende Bevölkerungszahlen und den Klimawandel bedroht. In vielen dieser Ländern, wie etwa in Vietnam, kommt noch hinzu, dass viele Grundwasserquellen hohe Konzentrationen sehr giftiger Arsenverbindungen aufweisen [1]. Zur Entwicklung einer nachhaltigen Lösung startete im September 2016 das Verbundprojekt WaKap mit dem Ziel, ein Verfahren zur Arsenentfernung und Entsalzung von Grund-, Meer- und Brackwasser zu entwickeln. Die modulare Anlage soll in Deutschland konzipiert und dann in Vietnam aufgebaut und getestet werden [10].

Die Problemstellung

Durch das Eindringen von Meerwasser in küstennahen Regionen Südostasiens, wie z. B. dem Mekongdelta im Süden Vietnams, weist das Grundwasser einen hohen Salzgehalt auf. In den nächsten Jahren wird der Meeresspiegel aufgrund des Klimawandels noch deutlich ansteigen, was zu einer weiteren Versalzung, insbesondere während der Trockenzeiten, führen wird [3]. Zusätzlich ist das Grundwasser in vielen dieser Regionen mit teilweise sehr hohen geogenen, also aus der Natur stammenden Arsen-Konzentrationen belastet, die den empfohlenen Grenzwert der World Health Organization (WHO) von 0,01 mg/l bis um das 300-fache übersteigen, wodurch Millionen Menschen schwersten Erkrankungen ausgesetzt sind. Am giftigsten sind anorganische Arsen(III)-Spezies und genau diese Verbindungen gelangen durch geochemische Prozesse gelöst ins Grundwasser besagter Regionen. Sie wirken auf menschliches Gewebe und Organe toxisch und sind zusätzlich karzinogen wirksam. Krebs-Erkrankungen wie Lungen-, Blasen-, Nieren- und Prostatakrebs sind die Folge sowie Leberschädigungen und schwerste Hauterkrankungen (z. B. „black foot disease“). Der Mangel an unbelastetem Süßwasser

ist natürlich auch ein bedeutender Faktor in der soziökonomischen Entwicklung Vietnams [2].

Die Arsen(III)-Verbindungen, vornehmlich Arsenolith As_2O_3 , reichert sich sekundär als oxidative Verwitterungsprodukte arsenhaltiger Eisensulfiderze (v. a. Arsenopyrit FeAsS) aus dem Himalaja durch geologische Transportprozesse in den grundwasserführenden Sedimenten Südostasiens an. Als Anhydrit der arsenigen Säure H_3AsO_3 ist es als solche in Wasser löslich (37 g/l bei pH 7). Bei gleichzeitiger Anwesenheit von wasserunlöslichen Eisen- und Manganhydroxiden bliebe sie aber unter oxischen Bedingungen aufgrund von Sorption an diesen zumindest teilweise in den Sedimenten gebunden. Durch organisches Material und Mikroorganismen, die letzteres unter Sauerstoffzehrung abbauen, entstehen aber reduzierende Bedingungen, wodurch das As(III) als arsenige Säure H_3AsO_3 im Grundwasser freigesetzt wird.

Modulares Lösungskonzept durch Kapazitive Deionisierung und in-situ-Arsenentfernung durch Sauerstoffeinleitung

Capacitive Deionisation (CDI) ist eine neuartige und energieeffiziente Technologie zur Entsalzung wässriger Lösungen mit geringem Energieverbrauch [8]. Durch die Kombination von CDI und klassischen Verfahren wie Umkehrosmose (UO) und Nanofiltration (NF) soll im Vergleich zu bestehenden Entsalzungsverfahren der Energieverbrauch deutlich reduziert und die produzierte Trinkwassermenge erhöht werden. Beim CDI-Verfahren fließt das salzhaltige Wasser zwischen zwei porösen Elektroden aus Aktivkohle, an die eine Spannung angelegt wird. Die im Wasser gelösten Ionen (v. a. Alkali-Kationen und Halogenid-Anionen) werden dabei von den jeweils gegenteilig geladenen Elektroden angezogen und können entfernt werden (s. Abb. 1). Durch die Nutzung regenerativer Energiequellen wie Sonne und Wind soll der Gesamtprozess energieautonom erfolgen.

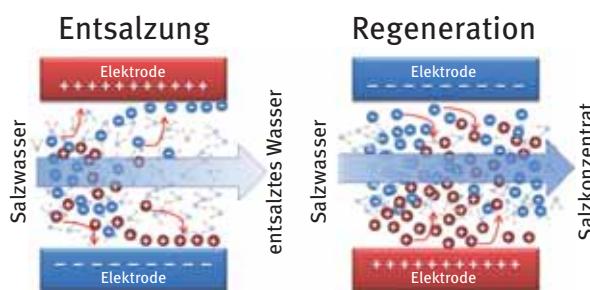


Abb. 1: Prinzip der Kapazitiven Deionisierung

Zur Arsenentfernung arsenhaltigen Grundwassers ist eine in-situ-Behandlung vorgesehen. Bei dieser Technik wird der Sedimentuntergrund als Festbettreaktor verwendet. Hierfür wird Luftsauerstoff mit Hilfe einer FERMANOX®-Anlage in den Grundwasserleiter, also in die Sedimentschichten unterhalb des Grundwasserspiegels eingeleitet, wodurch sich unterirdisch ein Reaktionsraum bildet, in dem Oxidationsprozesse stattfinden: Durch die Anreicherung des Sauerstoffs wird gelöstes $\text{Fe}^{2+}(\text{aq})$ und $\text{Mn}^{2+}(\text{aq})$ oxidiert (UEE-Verfahren: Unterirdische Enteisenung und Entmanganung). Letzteres scheidet sich in Form hydratisierter $\text{Mn}(\text{IV})\text{O}_2$ -Aggregationen ab und das Eisen fällt als amorphes $\text{Fe}(\text{II})$ -hydroxidoxid aus, das in den Sedimenten, zusammen mit xenomorphen Anteilen von Hämatit (Fe_2O_3) und Goethit ($\alpha\text{-FeO(OH)}$), bereits vorliegt.

Zugleich oxidiert As(III) zu As(V), d. h. aus der sehr schwachen, neutral gelösten arsenigen Säure H_3AsO_3 entsteht die deutlich stärkere, ebenfalls dreibasische Arsensäure, die bei pH-Werten unterhalb von pH 6,6 überwiegend zum primären Dihydrogenarsenat(V)-Anion H_2AsO_4^- (mit zwei OH^- -Gruppen am As(V)), oberhalb von pH 6,6 überwiegend zum sekundären Monohydrogenarsenat(V)-Anion HAsO_4^{2-} (mit einer OH^- -Gruppe am As(V)) im Wasser dissoziert. Wie Abbildung 2 zeigt, dominieren bei neutralen Bedingun-

gen (pH 7) arsenige Säure H_3AsO_3 (= $\text{As}^{\text{III}}(\text{OH})_3$) und HAsO_4^{2-} (= $\text{O}^-\text{As}^{\text{V}}\text{O}(\text{OH})\text{O}^-$).

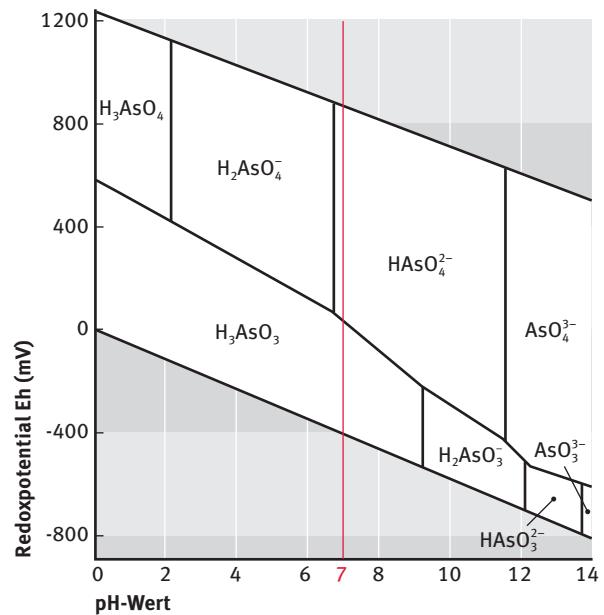


Abb. 2: Eh – pH – Diagramm von As(III)- und As(V)-Säure sowie ihren korrespondierenden Basen im System As – O_2 – H_2O (bei 25 °C und 1 bar) aus [11]

Die oben erläuterten $\text{Fe}(\text{III})$ -hydroxidoxidaggregate sind seit langem bekannt als wichtigstes Sorbens für die Adsorption von gelösten Arsenaten unter oxischen Bedingungen [5]. Die Adsorption an den entsprechenden Kornoberflächen innerhalb der unterirdischen grundwasserführenden Sedimente kann prinzipiell durch zwei Mechanismen erfolgen: So kann es durch elektrostatische Anziehung der Arsenat anionen an die Sorbenoberfläche zu sogenannten außersphärischen Oberflächenkomplexen kommen, falls diese durch Hydratation positiv geladen ist. Dies ist allerdings nur in saurem Milieu zu erwarten und die Adsorptionsstärke ist relativ gering. Viel stärker ist

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, Wirtschaftswissenschaften, Versorgungstechnik und Bauingenieurwesen.

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



b.i.g.-Gruppe



die Adsorption des HAsO_4^{2-} -Anions über intramolekularen Elektronentransfer durch eine oder zwei der tetraedrisch um das As(V) gruppierten O⁻-Gruppen, wodurch innersphärische Oberflächenkomplexe entstehen. Dieser Adsorptionsprozess ist demnach als Lewis-Säure-Base-Komplexierung aufzufassen, wobei das HAsO_4^{2-} -Anion als Lewis-Base (Elektronenpaardonor) fungiert und eine kovalente Bindung mit einem oder zwei der als Lewis-Säuren (Elektronenpaarakzeptoren) dienenden Fe(III)-Zentren auf der Oberfläche der Eisenhydroxid-Matrix bildet. Folgende drei innersphärische Oberflächenkomplexstrukturen des HAsO_4^{2-} -Anions werden angenommen [5]: monodental-mononuklear (s. Abb. 3(a)), bidental-mononuklear (s. Abb. 3(b)) und bidental-binuklear (s. Abb. 3(c)), wobei die Struktur (3a) als die stabilste gilt [5].

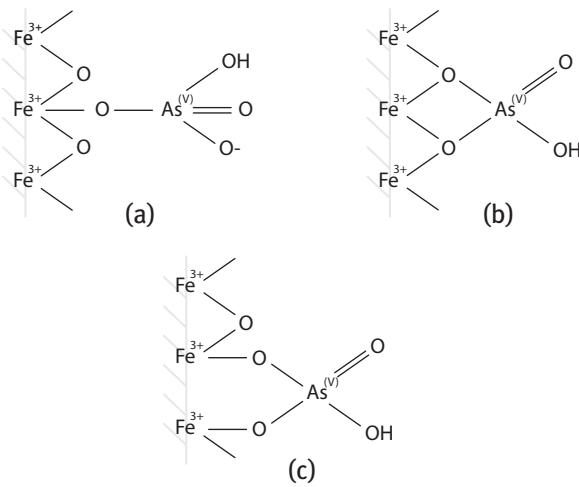


Abb. 3: Innersphärische Oberflächenkomplexe der Lewis-Base $\sim\text{OAs}^{\text{V}}(\text{O(OH)}\text{O}^-$ an Fe(II)-Zentren (aus [5])

Auf diese Weise wird Arsen von der wässrigen Phase getrennt. Wesentliche Vorteile dieses Verfahrens sind die hohe Effizienz, der niedrige Energiebedarf und vor allem der chemikalien- und abfallfreie Prozess (s. Abb.

4). Das Verfahren benötigt außerdem keine großen Anlagen, da der Grundwasserleiter selbst als Reaktionsraum für den Prozess fungiert ([5], [7], [9]).

Ziel des Projekts ist es, ein modulares und kombinierbares Konzept zur nachhaltigen Wasserentsalzung und Arsenentfernung zu entwickeln (s. Abb. 5). Da die Verhältnisse in Vietnam für viele Länder in Südostasien als repräsentativ angesehen werden können, wird das Verbundprojekt dort durchgeführt.

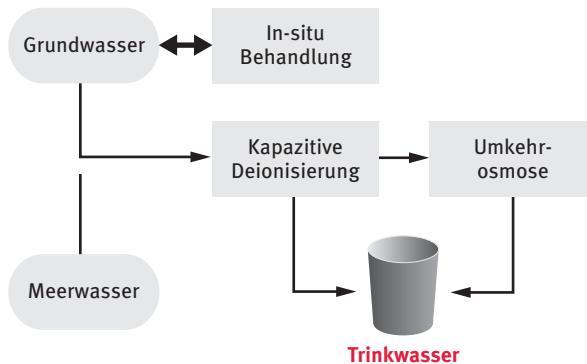


Abb. 5: Modulares und kombinierbares Konzept zur nachhaltigen Wasserentsalzung und Arsenentfernung

Die Grundwasseraufbereitung mit dem in-situ-Verfahren zur Arsenentfernung (s. Abb. 6) und dem CDI-Verfahren zur Entsalzung von Brackwasser wird in der vietnamesischen Provinz An Giang im Landesinneren des Mekongdeltas pilotiert. Die Arsenkonzentration am Pilotierungsstandort lag zu Beginn des Aufbereitungsprozesses bei As = 0,08 mg/l. Außerdem wurden hohe Werte für Eisen, Ammonium und Mangan gemessen: Fe = 7,0 mg/l, $\text{NH}_4^+ = 1,1 \text{ mg/l}$ und Mn = 1,7 mg/l. Darüber hinaus werden Leitfähigkeits- und pH-Messungen vorgenommen. Der pH-Wert des Grundwasserbrunnens der Pilotanlage beträgt 7.

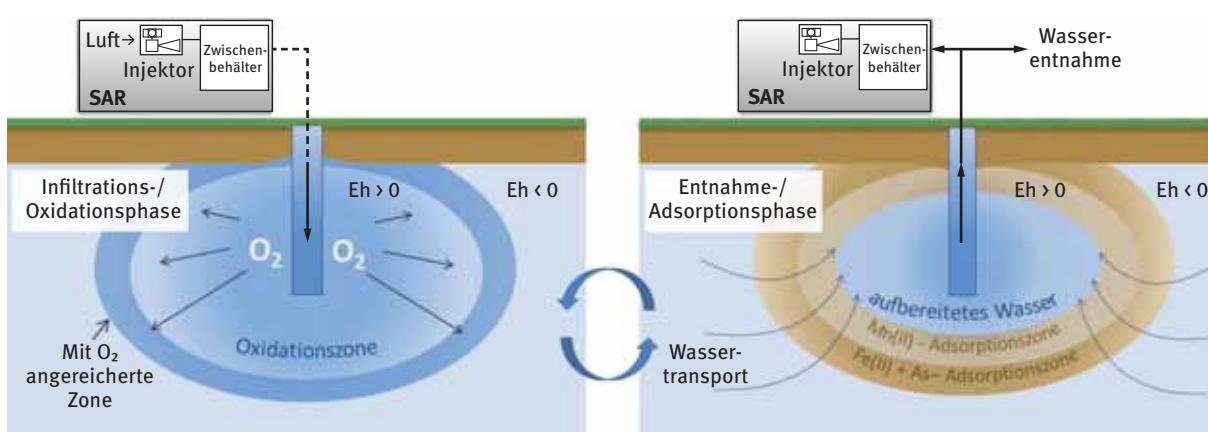


Abb. 4: Prinzip der in-situ-Behandlung: Unterirdische Eisen- und Arsenentfernung durch Sauerstoffanreicherung in den Bohrbrunnen und anschließende Bildung von Oxidations- bzw. Adsorptionszonen im Grundwasserleiter

Nach der ersten Pilotierungsphase von 30 Tagen konnte – neben einer kompletten Eisenentfernung – bereits eine hervorragende Arseneliminierung von über 97 % festgestellt werden. Parallel zum weiteren Monitoring der Arsenkonzentrationen im Grundwasser wird auch die Fähigkeit der Anlage zur Ammonium- und Manganentfernung untersucht.



Abb. 6: Erste Pilotanlage zur in-situ-Arsenentfernung in der Provinz An Giang, Mekongdelta, Südvietnam (Foto: Felix Leidinger)

Das Verbundprojekt WaKap wird durch die Hochschule Karlsruhe koordiniert und von den Industriepartnern Karl Spiegelm & Co. KG und Winkelkemper GmbH (FERMANOX®-Verfahren) unterstützt, desgleichen vom Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung ISI, das eine Nachhaltigkeitsbewertung des Kombinationsverfahrens entwickelt. Zudem soll auf Basis der Projekt-Ergebnisse durch die beteiligten Unternehmen ein marktfähiger Prototyp für Kommunen und private Nutzer in Südostasien entwickelt werden [10]. Das Verbundprojekt WaKap (www.wakap.de) wird im Zeitraum vom 01. 09. 2016 bis zum 30. 08. 2019 vom Bundesministerium für Bildung und Forschung unter dem Förderkennzeichen 02WAV1413A gefördert.

Literatur

- [1] M. Berg, H. C. Tran, T. C. Nguyen, H. V. Pham, R. Schertenleib, W. Giger, *Arsenic contamination of groundwater and drinking water in Vietnam: A human health threat*, 2001, Environ. Sci. Technol. Vol. 35, pp. 2621–2626. <https://doi.org/10.1021/es010027y>
- [2] J. Buschmann, M. Berg, C. Stengel, L. Winkel, M. L. Sampson, P. T. K. Trang, P. H. Viet, *Contamination of drinking water resources in the Mekong delta floodplains: Arsenic and other trace metals pose serious health risks to population*, 2008, Environ. Int., Vol. 34, pp. 756–764. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2007.12.025>
- [3] T. R. Green, M. Taniguchi, H. Kooi, J. J. Gurdak, D. M. Allen, T. R. Green, J. J. Gurdak, D. M. Allen, K. M. Hiscock, H. Treidel, A. Aureli, *Beneath the surface of global change: Impacts of climate change on groundwater*, 2011, J. Hydrol., Vol. 405, pp. 532–560.
- [4] K. A. James, J. R. Meliker, J. O. Nriagu, *Arsenic*, 2017, Int. Encycl. of Public Health, 2nd edition, pp. 170–175. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-803678-5.00025-4>
- [5] V. T. Luong, E. E. Cañas Kurz, U. Hellriegel, T. L. Luu, J. Hoinkis, J. Bundschuh, *Iron-based subsurface arsenic removal technologies by aeration: A review of the current state and future prospects*, 2018, Water Research, Vol. 133, pp. 110–122. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2018.01.007>
- [6] R. B. Merola, T. T. Hien, D. T. T. Quyen, A. Venugosh, *Arsenic exposure to drinking water in the Mekong Delta*, 2015, Sci. Total Environ., Vol. 511, pp. 544–552. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2014.12.091>

**REINES TRINKWASSER OHNE
EISEN, MANGAN UND ARSEN
- DIREKT AUS DEM BRUNNEN**

- **Unterirdische Enteisenung und Entmanganung**
keine Filter, keine Wartung, kein Abfall / Abwasser
- **Vermeidung von Ablagerungen (Verockerungen)**
Brunnen, Pumpen, Leitungen - alles bleibt sauber
- **Wasseraufbereitung mit Qualitätsgarantie**
über 30 Jahre Erfahrung - 10.000 Referenzanlagen

Winkelkemper GmbH
Fon: +49 (0) 2523 / 7408

FERMANOX.DE

- [7] U. Rott, H. Kauffmann, *A contribution to solve the arsenic problem in groundwater of Ganges Delta by in-situ treatment*, 2008, Water Sci. Technol., Vol. 58, pp. 2009–2015. <https://doi.org/10.2166/wst.2008.751>
- [8] M. E. Suss, S. Porada, X. Sun, P. M. Biesheuvel, J. Yoon, V. Presser, *Water desalination via capacitive deionization: what is it and what can we expect from it?*, 2015, Energy Environ. Sci., Vol. 8, pp. 2296–2319. <https://doi.org/10.1039/C5EE00519A>
- [9] D. van Halem, S. G. J. Heijman, G. L. Amy, J. C. van Dijk, *Subsurface arsenic removal for small-scale application in developing countries*, 2009, Desalination, Vol. 248, Issues 1-3, pp. 241–248. <https://doi.org/10.1016/j.desal.2008.05.061>
- [10] WaKap – Ein Projekt zur Wasseraufbereitung mittels Kapazitiver Deionisierung, 2016. <https://projektwakap.wordpress.com/>
- [11] P. L. Smedley, D. G. Kinniburgh, *A review of the source, behavior and distribution of arsenic in natural waters*, 2002, Applied Geochemistry, Vol. 17, Issue 5, pp. 517–568.

Abstract

The Joint Research Project WaKap (www.wakap.de) started in September 2016 with the aim of developing a sustainable, energy-efficient, modular process for the desalination of brackish and seawater as well as the in-situ removal of arsenic. Both problems are of particular relevance in Vietnam, where the salt and arsenic concentrations in groundwater are high due to seawater intrusion and the dissolution of anorganic arsenic compounds from sedimentary rocks. The first pilot plant in the Mekong Delta in the south of Vietnam has shown good results so far, demonstrating the feasibility of in-situ technology for arsenic mitigation.

Zusammenfassung

Im September 2016 startete das Verbundprojekt WaKap (www.wakap.de) mit dem Ziel, ein nachhaltiges, energieeffizientes, modulares Verfahren zur Entsalzung von Brack-, Meer- und Grundwasser sowie zur in-situ-Entfernung von Arsen aus Grundwasser zu entwickeln. Beide Aspekte sind von besonderer Bedeutung in Vietnam, da hier das Grundwasser durch das Eindringen von Meerwasser und durch die Freisetzung von Arsen aus den grundwasserführenden Sedimenten sowohl eine hohe Salinität als auch hohe Arsenkonzentrationen aufweist. Die erste Pilotanlage im Mekongdelta im Süden Vietnams zur in-situ-Arsenentfernung zeigt vielversprechende Ergebnisse.

Autoren

Edgardo E. Cañas Kurz M.Sc.

Ulrich Hellriegel M.Sc.

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

Prof. Dr.-Ing. Jan Hoinkis

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

Kontakt

Prof. Dr.-Ing. Jan Hoinkis

Hochschule Karlsruhe – Technik und Wirtschaft

Fakultät für Elektro- und Informationstechnik

Moltkestraße. 30

76133 Karlsruhe

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

Telefon: 0721 925-2359



Steinbeis

STEINBEIS – TRANSFERPARTNER DER HOCHSCHULE KARLSRUHE

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

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



**GRÜNDEN
mit Steinbeis**

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

136678-2018-01

A WIRTGEN GROUP COMPANY

8.000
+ MITARBEITER WIRTGEN GROUP

100%
+ KARRIERECHANCEN

STAR

KLEEMANN

155
+ NIEDERLASSUNGEN UND
HÄNDLER WELTWEIT

160
+ JAHRE TRADITION

DIE BASIS DEINES BERUFSWEGS.

- > Technologieführer im Anwendungsbereich mobiler Brech- und Siebanlagen
- > Arbeiten im weltweit tätigen, familiengeführten Unternehmensverbund der WIRTGEN GROUP

> www.kleemann.info

KLEEMANN GmbH · Tel.: +49 (0)7161 206-0 · [karriere@kleemann.info](mailto:kariere@kleemann.info)

Hierarchically self-assembled metal-oxide gas-sensing materials

Navas Illyaskutty, Krishnaveni Krishnaramanujam, Sreeja Sreedharan Nair, Christof Wöll, Hartmut Gliemann and Heinz Kohler

Introduction

Apart from classical applications like leakage detection and gas monitoring, nowadays chemo-resistive semiconductor gas sensors are very useful in the context of quality of life, safety and security applications such as room air quality monitoring, breath analysis, monitoring of roots degradation processes of living trees, food quality control, early fire detection etc. [1]. The enormous potential of these sensors is due to their extremely high sensitivity to several gases, low production costs, the possibility to miniaturize them and their compatibility with Si technology and portable instrumentations.

For several years, the Institute for Sensor and Information Systems (ISIS) has been investigating the scope of using these sensors in novel applications. Some examples are: early stage detection of fires caused by electrical installations due to current-overloading [2], improvement of wood combustion processes of house warming furnaces by lowering gas emissions [3] and actually their suitability for analysis of organic acids dissolved in bio-fermentation liquids is studied.

Typically, the sensors are operated at an elevated temperature; atmospheric oxygen adsorbed on the surface of the sensing material can capture electrons from within the material and reduce conductivity (in case of n-type semiconductors). In the presence of target gases like CO, methane or solvent vapors etc., the electrons trapped by the oxygen adsorbate will return to the material, leading to an increase in conductivity. The main challenge in using this kind of metal oxide semiconductors is their inability to distinguish between different gases (due to the above-mentioned nature of sensing), generally called selectivity. In particular, water vapor produced during wood combustion can affect the sensitivity of these sensors to other harmful gases. In the past, several methods have been introduced to overcome this problem: framing sensor arrays, operating at varying temperatures (periodically varied, pulsed or pseudo random - temperature sequences), admixing surface additives/catalysts, advanced approaches of signal analysis etc. [4]. With this focus, ISIS and the Institute of Functional Interfaces at Karlsruhe Institute of Technology (KIT), are develop-

ping a sensor system based on a combination of metal oxide gas sensors (MOG) and surface-anchored metal-organic frameworks (SURMOFs), in which MOG acts as the principal sensing component and the SURMOFs as a molecular sieving agent. The pore size of the SURMOFs is within the range of molecular dimensions, so they could act as gas-filters [5], resulting in an increase in selectivity of the MOG sensor to several toxic gas components (typical for the combustion process) and decrease in the cross-sensitivity to harmless, but cross-active gases like water vapor.

ZnO nanopillars and nanoflowers covered by SURMOFs

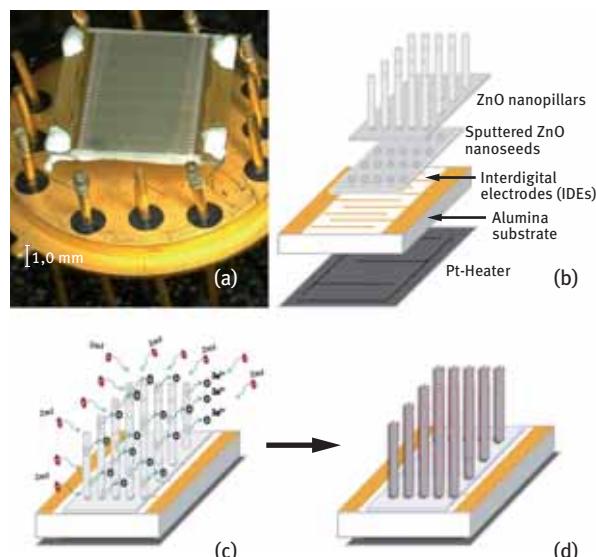


Fig. 1: Gas sensing element comprised of sensor chip, sensitive layer and sensor header (a); on chip growth of self-assembled nanopillars by a two-step process: ZnO nanoseeds by RF magnetron sputtering and pillar growth by hydrothermal synthesis (b); SURMOF (ZIF-8) anchoring on ZnO nanopillars by sacrificial template method (c); SURMOF on ZnO nanopillars (d)

It is widely accepted that hierarchical nanostructures with open porous features have better sensing performance than the dense nanoparticles aggregates due to their large surface-to-volume ratio, more surface active sites, as well as their high surface reactivity. Recently, in a master thesis at ISIS, a systematic procedure for on chip fabrication of ZnO nanostructures was developed using diverse physical and chemical

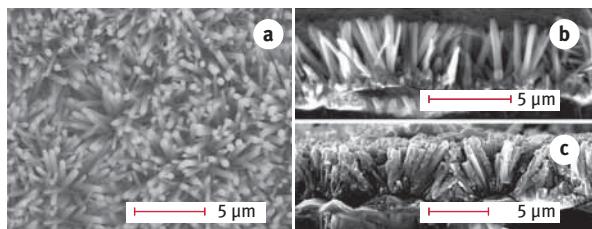


Fig. 2: Scanning electron microscope (SEM) images of ZnO nanopillars: top view (a); cross section view (b); and ZIF-8 grown on ZnO nanopillar gas sensor elements (c)

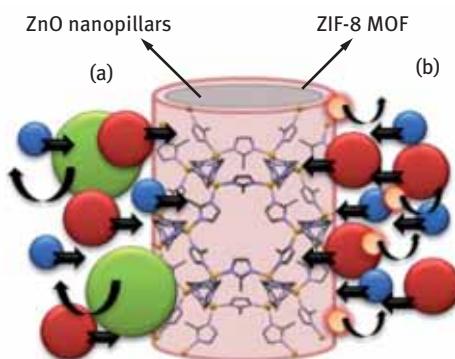


Fig. 3: Schematic representation of molecular sieving by porous SURMOF layer. The pore size of the MOF is in the range of molecular dimensions-size dependent sieving (a); molecules bigger than the pore aperture are blocked and small molecules are selectively repelled depending on polarity of the MOF linkers and approaching gas molecules (b)

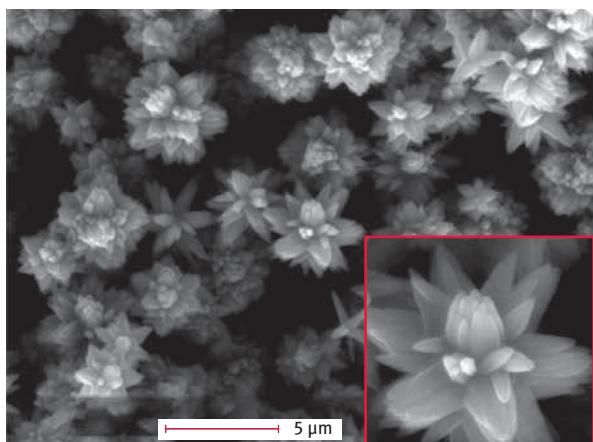


Fig. 4: Scanning electron microscope (SEM) image of self-assembled ZnO nanoflowers; lower right: a single ZnO nanoflower (5000× magnification)

methods (cf. Fig. 2 and 4).

The gas sensitivity studies at ISIS with bare and SURMOF coated ZnO nanopillars show that these kinds of special hierarchical nanostructures are excellent candidates for developing gas sensors for various special applications. In particular the results demonstrate that selective coating of MOF on ZnO nanopillars could result in an interesting response to water; change of water concentrations do not affect the sensitivity to organic gases like propene and ethane (cf. Fig. 5).

Als Mitarbeiter entwickle ich Mess-technik für die Prozessautomatisierung, die weltweit im Einsatz ist.

LEITER-PLATTE + KARRIERE-LEITER

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



Entdecken auch Sie Ihre Formel für Zufriedenheit

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

Wir suchen regelmäßig Interessenten (m/w) 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@pcm.endress.com

Endress+Hauser EH

Heraeus

Präzise und feinfühlig wie die Natur. Heraeus Sensor Technology.



Energieeffizienz und Ressourcenschonung sind Kernherausforderungen unserer Zeit. Mit unseren besonders feinfühligen, präzisen und zuverlässig messenden Temperatur-Sensoren bieten wir unseren Kunden zukunftsweisende und maßgeschneiderte Lösungen. 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

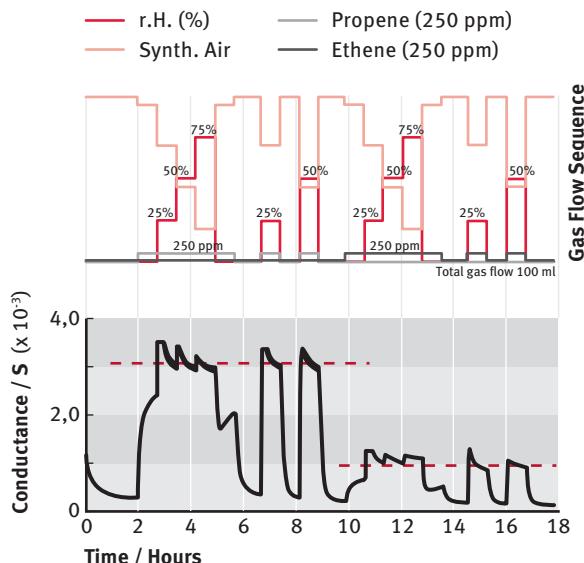


Fig. 5: Response of SURMOF coated ZnO nanopillars. The variation of conductance over time when exposed to propene and ethene at different relative humidities is shown. The broken horizontal line shows the stability of the response to propene and ethene at different humidity concentrations.

Acknowledgement

This project is funded by the CleanTech initiative of the Baden-Württemberg foundation (Project Nr. CT-7)

References

- [1] S. Matindoust, M. Baghaei-Nejad and M. H. S. Abadi, *Sensor Review*, 2016, Vol. 36, pp. 169-183.
- [2] Rolf Seifert, Hubert B. Keller, Navas Illyaskutty, Jens Knoblauch and Heinz Kohler, *Sensors & Transducers*, 2015, Vol. 193, pp. 74-79.
- [3] Binayak Ojha, Navas Illyaskutty, Jens Knoblauch, Muthu Raman Balachandran, and Heinz Kohler, *J. Journal of Sensors and Sensor Systems*, 2017, Vol. 6, pp. 237-246.
- [4] Navas Illyaskutty, Jens Knoblauch, Matthias Schwotzer, Heinz Kohler, *Sensors and Actuators B*, 2015, Vol. 217, pp. 2-12.
- [5] Elvia Valadez Sánchez, Hartmut Gliemann, Katja Haas-Santo, Christof Wöll, Roland Dittmeyer, *Chemie Ingenieur Technik*, 2016, Vol. 88, pp. 1798-1805.

Zusammenfassung

Metalloxid-Gassensoren ermöglichen den empfindlichen Nachweis spezifischer Gasmoleküle und sind einsetzbar in der Umweltüberwachung, der chemischen Prozesskontrolle, der Landwirtschaft und in medizinischen Anwendungen. Insbesondere sind gassensitive, hierarchisch selbstorganisierte Metalloxid-Nanostrukturen aufgrund ihrer Vorteile hinsichtlich Empfindlichkeit, Reversibilität und Stabilität ein attraktives Material. In diesem Artikel wird über die Unterdrückung der Querempfindlichkeit von selbstorganisierten ZnO-Nanostäben gegenüber Wasserdampf durch Abscheidung oberflächenverankerter metallorganischer Gerüststrukturen (SURMOFs) berichtet.

Abstract

Metal oxide gas sensors enable the sensitive detection of specific gas molecules and are useful devices for environmental monitoring, chemical process control, agricultural, and medical applications. Especially gas sensitive hierarchically self-assembled metal oxide nanostructures are attractive materials owing to their high sensitivity, reversibility and stability. In this article, the suppression of the cross-sensitivity of ZnO self-assembled nanopillars to water vapor by deposition of surface-anchored metal-organic frameworks (SURMOFs) is reported.

Authors

Navas Illyaskutty, Ph.D.

Post-doctoral researcher in the research group of Prof. Dr. rer. nat. Heinz Kohler at the Institute for Sensor and Information Systems (ISIS) at Karlsruhe University of Applied Sciences

Krishnaveni Krishnaramanujam, M.Sc.

Graduate of the international master program Sensor Systems Technology, who prepared the nanostructures during her master thesis at the Institute for Sensor and Information Systems (ISIS) at Karlsruhe University of Applied Sciences

Sreeja Sreedharan Nair, Ph.D.

Post-doctoral researcher at the Institute for Functional Interfaces at Karlsruhe Institute of Technology (KIT)

Prof. Dr. rer. nat. Christof Wöll

Head of the Institute of Functional Interfaces at Karlsruhe Institute of Technology (KIT)

Dr. rer. nat. Hartmut Gliemann

Department Leader Chemistry of oxydic and organic Interfaces group at Karlsruhe Institute of Technology (KIT)

Prof. Dr. rer. nat. Heinz Kohler

Head of the Institute for Sensor and Information Systems (ISIS) at Karlsruhe University of Applied Sciences

Contact

Prof. Dr. rer. nat. Heinz Kohler

Karlsruhe University of Applied Sciences

Faculty of Electrical Engineering & Information Technology

Moltkestr. 30

76133 Karlsruhe

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

Simulation und Optimierung des Anteils von erneuerbaren Energien in elektrischen Netzen und Automatisierung von Redox-Flow-Batterien mit quelloffener Hard- und Software

Jens Noack und Karsten Pinkwart

Mit der Zunahme an erneuerbaren Energien in elektrischen Netzen steigt der Bedarf an Energiespeichern, um Versorgungslücken durch ungenügende Produktion von fluktuierenden Energieerzeugern wie Photovoltaik und Wind vermeiden zu können [1]. Die Energiespeicher müssen dabei unterschiedliche Aufgaben erfüllen, die zum Beispiel zu Speicherzeiten im Bereich von Millisekunden (Frequenzregulierung) bis zu mehreren Monaten (Saisonspeichern) führen. Für diese Aufgaben gibt es unterschiedliche Technologien, die sich in physikalische, elektrische, elektrochemische und chemische Energiespeicher unterteilen lassen [2]. Die verschiedenen Typen unterscheiden sich vor allem in der Speicher- und der Zugriffszeit, aber letztendlich mit vielen weiteren Eigenschaften auch in den Kosten für den Energiedurchsatz bezüglich der jeweiligen Anwendung [3]. Elektrochemische Energiespeicher besitzen den Vorteil einer relativ einfachen Skalierbarkeit und einer effizienten Umwandlung der elektrischen Energie mit einer kaum überschaubaren Vielfalt an unterschiedlichen Technologien. Für stationäre Anwendungen sind vorrangig Blei-Säure-, Lithium-Ionen-, Natrium-Schwefel- und Redox-Flow-Batterien (RFB), aber auch Brennstoffzellen in Kombination mit Elektrolyseuren interessant. Jede dieser Technologien hat dabei wiederum ihre eigenen spezifischen Eigenschaften und unterscheidet sich je nach Hersteller im Detail in Bezug auf Lebensdauer, Leistung, Energie und Kosten.

Elektrische Netze mit Energie aus Photovoltaik und Windkraft haben keine zeitlich konstante Leistungseinspeisung, sondern fluktuieren über die Zeit. Zusätzlich variieren diese Fluktuationen mit dem Standort durch unterschiedliche Energieertragspotenziale und dem Wetter. Je nach Art des elektrischen Netzes fluktuieren aber auch Verbraucher, wodurch sich ein mehrdimensional komplexes Gebilde aus den Eigenschaften von fluktuierenden Erzeugern und Verbrauchern sowie Wandlern und Speichern bildet, das bezüglich einer ökonomischen Optimierung in einem Microgrid simuliert werden muss, um die Bestandteile bezüglich Energie und Leistung korrekt auslegen zu können.

Aufgrund vielfältiger Probleme verfolgt Indien derzeit eine Strategie der Stadtplanung, bei der die Neuerichtung von Stadtteilen mit Hilfe von unterschiedlichsten Fachplanern konzeptioniert und schließlich umgesetzt wird. In einem solchen Projekt wurde in einer deutsch-indischen Zusammenarbeit im Rahmen einer Masterarbeit [4] eine Simulation, Analyse und Optimierung des elektrischen Netzes des geplanten Stadtteils Gatha-Gram durchgeführt, um das Potenzial an erneuerbaren Energien möglichst optimal bezüglich Kosten und Umweltauswirkungen nutzen zu können. Das Projekt wurde dabei in drei Teile gegliedert, wobei sich der erste Teil mit dem Lastgang der verschiedenen optionalen Verbraucher beschäftigte, um möglichst reale Lastkurven zu ermitteln. Dazu wurden die Lasten von Teilbereichen wie Wohnungen, Einkaufszentren, Büros und Ladevorgängen von elektrischen Fahrzeugen angenommen und teilweise mit Messergebnissen von indischen Haushalten hinterlegt, skaliert und schließlich zu je einem Lastgang für Wohn- und Gewerbegebiete kombiniert. Der zweite Teil beschäftigte sich mit dem Potenzial von erneuerbaren Energiequellen (Photovoltaik, Wind, Hydrokinetik, Biomasse). Dazu wurden die möglichen Energieflüsse anhand von ortsbezogenen Jahresverläufen von Strahlung und Wind zusammen mit Fließgeschwindigkeiten von Flüssen und Biomasseerträgen analysiert und mit eigenen Messwerten verifiziert. Der dritte Teil beschäftigte sich mit der Analyse von unterschiedlichen kommerziellen Batteriespeichern wie Blei-Säure-, Lithium-Ionen- und Vanadium-Redox-Flow-Batterien, die auch Gegenstand der Entwicklungen am Fraunhofer-Institut für Chemische Technologie (Fraunhofer ICT) sind. Mit Hilfe der Eingangsdaten und mit Hilfe der Microgrid-simulationsssoftware HOMER wurden Rechnungen zur Skalierung des elektrischen Netzes der Komponenten des Stadtteils durchgeführt, analysiert und optimiert. Hauptsächlich basierend auf Photovoltaik in Dachanlagen konnte so ein Anteil von 28 % an erneuerbaren Energien für die Wohngebiete und 20 % für Gewerbegebiete ausgelegt werden (s. Abb. 1).

Redox-Flow-Batterien speichern Energie in fließenden Medien und ermöglichen dadurch, wie bei Brennstoffzellen, eine Entkopplung der Skalierung von Energie

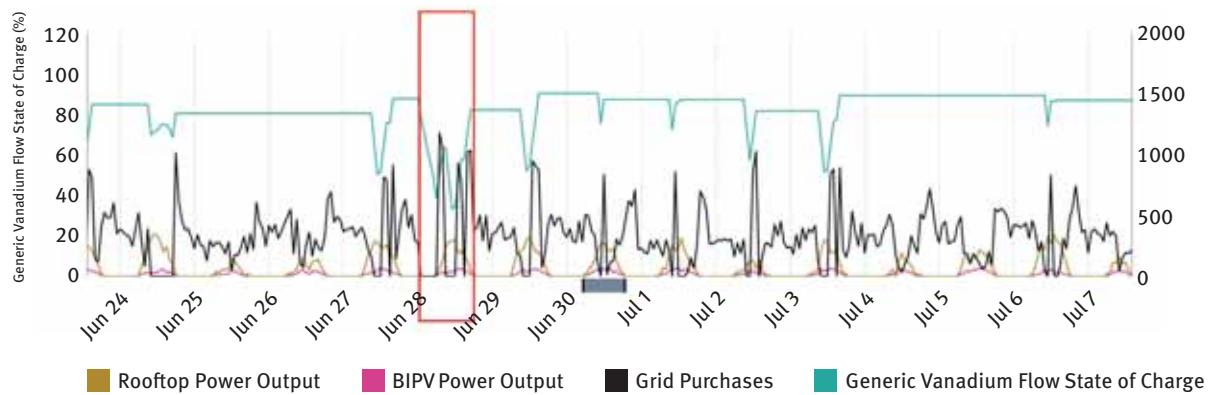


Abb. 1: Simulationsergebnis der Energiefüsse für eine Kombination von Photovoltaik und Vanadium-Redox-Flow-Batterie mit Netzanbindung für Wohngebiete in Gatha-Gram (Indien) für einen ausgewählten Zeitraum

und Leistung, wodurch preiswerte Energiespeicher ermöglicht werden, wenn die Speicherzeit mehrere Stunden betragen soll [5]. Die Abbildungen 2 und 3 zeigen schematisch den Aufbau eines solchen Speichers sowie einen Versuchsaufbau aus dem Labor.

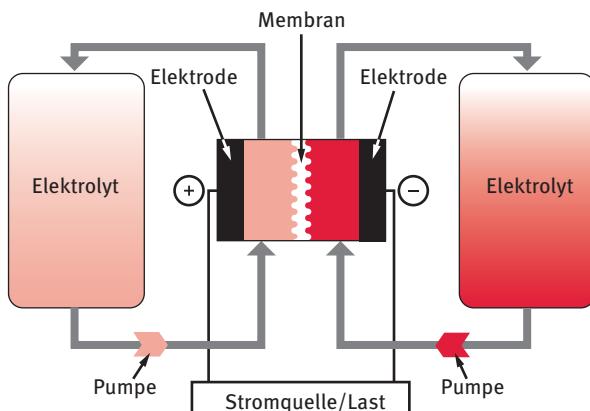


Abb. 2: Schema der Funktionsweise von Redox-Flow-Batterien

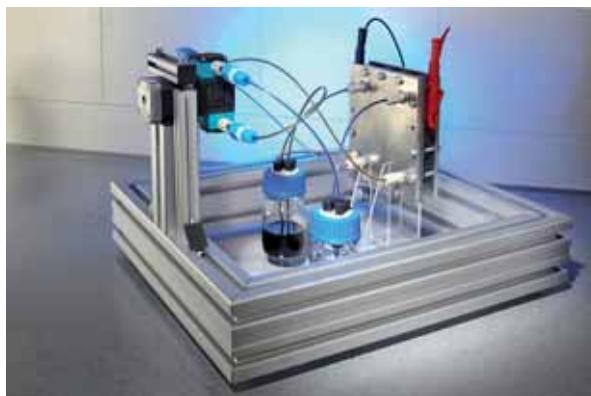


Abb. 3: Vanadium-Redox-Flow-Batterie (Foto: Fraunhofer ICT)

Redox-Flow-Batterien wurden bereits in der Mitte des 20. Jahrhunderts vor dem Hintergrund der Speicherung von erneuerbaren Energien entwickelt [6], [7], wobei das Thema unter dem Eindruck der ersten Ölkrise in den 1970er Jahren von der US-amerikanischen

National Aeronautics and Space Administration (NASA) deutlich intensiver behandelt wurde und zu einem Fe-Cr-basierten Demonstrator im kW-Maßstab führte [8]. In den 1980er Jahren wurde die Vanadium-Redox-Flow-Batterie (VRFB) entwickelt [9], die aufgrund ihrer Vorteile, wie z. B. hoher Standzeit, heute als die am besten untersuchte RFB gilt. Aufgrund der in den letzten zehn Jahren stark gestiegenen Gewinnung erneuerbarer Energien, wächst der Bedarf an preiswerten Energiespeichern und führte im gleichen Zeitraum zu einer Intensivierung der Forschung an Redox-Flow-Batterien, was zum Beispiel zur Entwicklung einer 2 MW / 20 MWh VRFB-Demonstrationsanlage am Fraunhofer ICT führte. Sie stellt in Europa die größte Anlage dieser Art dar und wird als Anwendungszentrum für weitere Redox-Flow-Speichertechnologien von Forschungspartnern genutzt (s. Abb. 4 und 5).



Abb. 4: Tankhalle der am Fraunhofer ICT installierten 2 MW / 20 MWh Vanadium-Redox-Flow-Batterie (Foto: Fraunhofer ICT)

Gerade bezüglich erfolgreicher Kommerzialisierung ist eine Reduktion der Investitionskosten sowie die Erhöhung der Standzeit notwendig. Da es sich bei dieser Art von Batterien um komplexe verfahrenstechnische Anlagen handelt, werden bei industriellen Redox-Flow-Batterien zumeist speicherprogrammierbare Steuerungen (SPS) im Zusammenhang mit einer Software als Batteriemanagementsystem eingesetzt,



Abb. 5: Windrad und Batteriegebäude am Fraunhofer ICT (Foto: Fraunhofer ICT)

die in kleinen Anlagen im Bereich von einigen kW überproportional hohe Kosten verursachen. Eine Alternative dazu ist die Entwicklung von eigener Elektronik oder die Verwendung von preiswerten und hochgradig flexiblen Einplatinenrechnern. Kleinstrechner, wie der Raspberry Pi, erlauben durch ein modulares Hardwaresystem das individuelle Skalieren von unterschiedlichen analogen und digitalen Ein- und Ausgängen sowie die Verwendung von unterschiedlichen Bussystemen eine preiswerte Anpassung an die Steuerungsaufgaben einer Redox-Flow-Batterie.

Eine weitere Arbeit beschäftigte sich mit der Optimierung der Steuer- und Regelungstechnik von Vanadium-Redox-Flow-Batterien [10]. Neben der kompletten Auslegung und Beschaffung der Aktoren und Sensoren (Temperatur-, Durchfluss-, Druck- und Füllstandsmessung) sowie der Kalibrierung der Sensoren wurden Regelalgorithmen entwickelt, um die Batterie sicher, effizient und vollautomatisiert betreiben zu können.

Literatur

- [1] H. M. Henning, A. Palzer, *100 % Erneuerbare Energien für Strom und Wärme in Deutschland*, 2012, Hg. v. Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme ISE, Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme ISE, zuletzt geprüft am 13.09.2015.
- [2] T. Kousksou, P. Bruel, A. Jamil, T. El Rhafiki, Y. Zeraouli, *Energy storage: Applications and challenges*, 2014, Solar Energy Materials and Solar Cells 120 (o), S. 59–80. DOI: 10.1016/j.solmat.2013.08.015.
- [3] B. Dunn, H. Kamath, J.M. Tarascon, *Electrical Energy Storage for the Grid: A Battery of Choices*, 2011, Science 334 (6058), S. 928–935.
- [4] M. M. M. Eskander, *Design and Simulation of Renewable Energy Sources and Energy Storage Systems for a City District*, 2017, Master-Thesis, Hochschule Karlsruhe – Technik und Wirtschaft.
- [5] J. Noack, N. Roznyatovskaya, T. Herr, P. Fischer, *The Chemistry of Redox-Flow Batteries*, 2015, Angew. Chem. Int. Ed., 54 (34).
- [6] W. Kangro, *Verfahren zur Speicherung von elektrischer Energie*, 1949, Patent 914264.
- [7] W. Kangro, H. Pieper, *Zur Frage der Speicherung von elektrischer Energie in Flüssigkeiten*, 1962, Electrochimica Acta, Vol. 7, S. 435-448.
- [8] N. H. Hagedorn, *NASA Redox Storage System Development Project*, 1984, (NASA-TM-83677, E-2125, NAS 1.15:83677).
- [9] M. Skyllas-Kazacos, M. Rychcik, R. G. Robins, A. G. Fane, M. A. Green, *New All-Vanadium Redox Flow Cell*, 1986, Journal of The Electrochemical Society 133 (5).
- [10] S. Ehrismann, *Automatisierung eines Redox-Flow-Batterieteststandes unter Einsatz von quelloffener Hard- und Software*, 2017, Bachelor-Thesis, Hochschule Karlsruhe – Technik und Wirtschaft.

Abstract

For an inexpensive and environmentally friendly energy supply, the district of Gatha-Gram in the Republic of India was analyzed with regard to the potential of renewable energies and the electrical network was optimized by means of simulations. The renewable energy sources included photovoltaics, wind energy, hydroelectric power, biomass and electrical energy storage. Furthermore, a control and regulation of vanadium redox flow batteries based on a single-board computer with open source and hardware was developed to reduce the costs of small-scale battery systems.

Zusammenfassung

Eine preiswerte und umweltfreundliche Energieversorgung ist vielerorts sehr gewünscht. Die Republik Indien schlägt hierzu vollkommen neue Wege ein und errichtet ganze Städte und Stadtteile, die sich zu 100 % selbst mit elektrischer Energie versorgen. Ein solcher Stadtteil ist Gatha-Gram. Im Rahmen der Forschungsarbeiten wurde das Potenzial an erneuerbaren Energien analysiert und das zukünftige elektrische Netz anhand von Simulationen optimiert. Die erneuerbaren Energiequellen beinhalteten dabei Photovoltaik, Windenergie, Wasserkraft, Biomasse sowie elektrische Energiespeicher.

Ohne elektrische Energiespeicher wird auch der Umbau der Energieversorgung in Deutschland nicht gelingen. Die verfolgten Ansätze reichen von Speicherlösungen für Privathaushalte bis hin zu Großspeicheranlagen, wie etwa der Redox-Flow-

Batterie vor den Toren Karlsruhes auf dem Gelände des Fraunhofer Instituts für Chemische Technologie in Pfinztal. In einem weiteren Arbeitsgebiet wird sich der Entwicklung einer Steuerung und Regelung für Vanadium-Redox-Flow-Batterien auf der Basis eines Einplatinencomputers mit offener Quell- und Hardware gewidmet, um die Kosten von kleinskaligen Batteriesystemen, zum Beispiel für Hausanwendungen, zu reduzieren.

Autoren

Dipl.-Ing. (FH) Jens Noack

Fraunhofer-Institut für Chemische Technologie ICT,
76327 Pfinztal;

German-Australian Alliance for Electrochemical Technologies for Storage of Renewable Energy, Mechanical and Manufacturing Engineering, University of New South Wales, Sydney NSW, 2052, Australia

Prof. Dr. rer. nat. Karsten Pinkwart

Professor an der Fakultät für Elektro- und Informationstechnik der Hochschule Karlsruhe sowie Stellv. Produktbereichsleiter Angewandte Elektrochemie im Fraunhofer-Institut für Chemische Technologie ICT, 76327 Pfinztal

Kontakt

Prof. Dr. rer. nat. Karsten Pinkwart
Hochschule Karlsruhe – Technik und Wirtschaft
Fakultät für Elektro- und Informationstechnik
Moltkestraße 30
76133 Karlsruhe
E-Mail: karsten.pinkwart@hs-karlsruhe.de
Telefon: 0721 925-1360



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



Direct Plenoptic Odometry – Visual Odometry based on a Light Field Camera

Niclas Zeller and Franz Quint

Introduction

Visual Odometry (VO) is the task of estimating the self-motion of a single camera or a multi camera system based on the images recorded only by that camera or camera system. Hence, VO algorithms allow for self-localization in unknown environments without any additional infrastructure (e.g. GPS). For the estimation of the camera motion, the 3D structure of the environment is reconstructed. As a result, in addition to the trajectory of the camera, VO algorithms supply a 3D map of the environment more or less as a byproduct.

So far, VO approaches have been developed for monocular [1] and stereo cameras [2] as well as active RGB-D sensors (e.g. Microsoft Kinect) [3]. However, while pure monocular approaches cannot recover scale, stereo cameras or RGB-D sensors are generally large and heavy which makes them impractical for certain applications.

During the last decade plenoptic cameras (or light field cameras) [4, 5] have attracted considerable interest. While such cameras are similar in size to monocular cameras, they are able to retrieve depth from single images based on the recorded light field. Hence, a plenoptic camera based VO algorithm could combine key features from both monocular and stereo approaches and close the gap between the two.

This article presents Direct Plenoptic Odometry (DPO), which is a plenoptic camera based VO algorithm. This algorithm relies on a new mathematical model for micro lens array (MLA) based light field cameras. Based on this model we are able to formulate a multiple view geometry (MVG) for plenoptic cameras. This plenoptic MVG allows us to estimate the current camera position relative to a given reference frame (keyframe) and to obtain accurate depth estimates based on multiple images from the moving camera.

Our DPO algorithm combines advantages of monocular VO, like a single sensor system or scale invariance with those of multi camera systems, like static stereo and scale awareness. In this way the algorithm is able to accurately and robustly estimate the trajectory of a moving camera and at the same time create highly detailed (semi-dense) point clouds of the environment (cf. Fig. 6). For a more detailed description of our algorithm refer to [6].

The Plenoptic Camera

Placing a MLA in front of the image sensor transforms a regular camera into a plenoptic camera, which is able to record 4D light field information in a single image. While all plenoptic cameras rely on this concept, such cameras can be made in different configurations depending on the camera parameters. In general we distinguish between the unfocused plenoptic camera (or plenoptic camera 1.0) [4, 7] and the focused plenoptic camera (or plenoptic camera 2.0) [8].

Focused plenoptic cameras produce focused micro images on the sensor, where each micro image captures a small portion of the complete scene (cf. Fig. 5a). Because a single object point is projected to multiple micro images, corresponding image points are found and hence the depth (distance to the camera) of the object point can be retrieved. Our DPO algorithm was developed based on a Raytrix R5 camera, which is shown in Figure 1.

Figure 2 shows the cross-view of a focused plenoptic camera. Each dashed line corresponds to a specific light ray, which is reflected from an object point and results in an image point in a certain micro image on the sensor.



Fig. 1: Plenoptic camera from Raytrix GmbH (Model R5)

Multiple View Stereo for Plenoptic Cameras

Figure 2 shows that the light rays captured in the micro images on the sensor are refracted by the main lens.

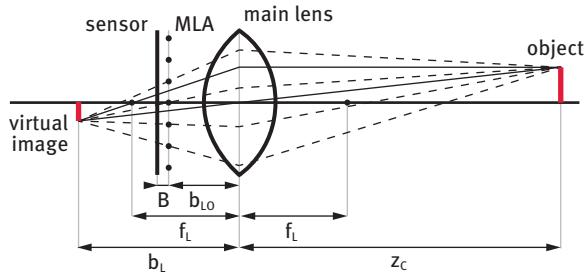


Fig. 2: Cross-view of a focused plenoptic camera

Although this refraction can be described mathematically, it results in a non-linear term in the projection model. This makes the handling of the camera for multiple view tasks difficult. We adjust the model shown in Figure 2 by projecting the MLA and the image sensor through the main lens into the object space. The new model is shown in Figure 3.

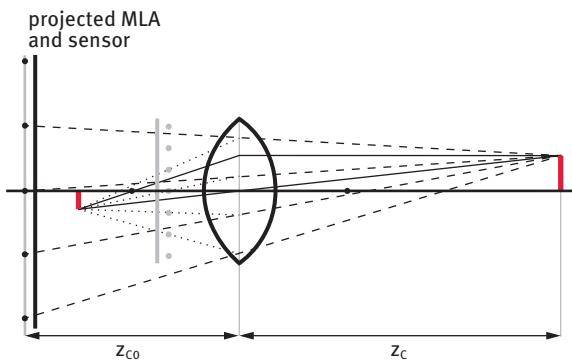


Fig. 3: Plenoptic camera modeled as a virtual camera array

Here it is clear that with respect to the projected MLA the captured light rays (dashed lines) are not refracted anymore. However, the overall projected image of the new model is identical to the original one shown in Figure 2. This model shows that a plenoptic camera can actually be considered as a standard multiple view configuration. In this configuration, the MLA forms a virtual camera array in the distance z_{c0} behind the main lens, where z_{c0} is defined based on the thin lens equation as follows:

$$z_{c0} = \frac{f_L \cdot b_{L0}}{f_L - b_{L0}} \quad (1)$$

Since we are able to model a plenoptic camera as a standard multiple view configuration, with a virtual camera array in distance z_{c0} behind the main lens, we are also able to formulate a multiple view epipolar geometry based on this model. This multiple view configuration is shown in Figure 4. Here, the two coordinate systems define the origin and orientation of the so called camera coordinates \mathbf{x}_C for two views (view i and view j). The origin of the camera coordinate systems is at the center of the respective main lenses while the

axis is aligned with the optical axis of the main lens and points towards the object space. Furthermore, the projected MLA and the sensor lie behind the origin of the camera coordinates as visualized in Figure 4.

If the transformation \mathbf{G}_{ij} from the i -th to the j -th view is known, one is able to find stereo correspondences within the two views similar to a standard stereo setup.

$$\mathbf{x}_C^{(j)} = \begin{pmatrix} x_C^{(j)} \\ y_C^{(j)} \\ z_C^{(j)} \\ 1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \mathbf{R}_{ij} & \mathbf{t}_{ij} \\ \mathbf{0} & 1 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} x_C^{(i)} \\ y_C^{(i)} \\ z_C^{(i)} \\ 1 \end{pmatrix} = \mathbf{G}_{ij} \cdot \mathbf{x}_C^{(i)} \quad (2)$$

The respective epipolar line defines the search range in a micro image. Figure 4 shows the epipolar constraint for two different pairs of micro images.

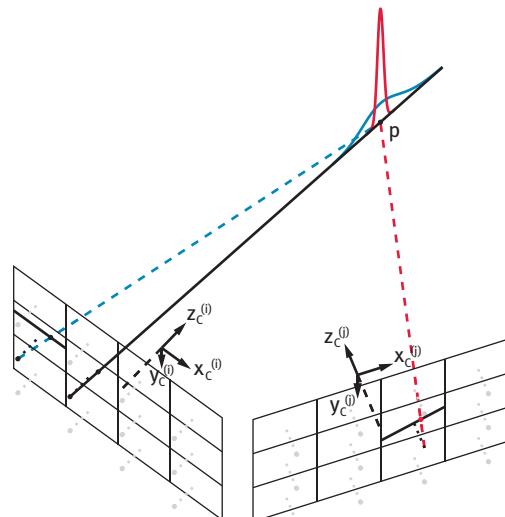


Fig. 4: Plenoptic camera based multiple view geometry

For both cases, we consider the micro image point, which is connected to the object point p by the black line (light ray) as the reference. This reference forms a stereo pair with a point in the same plenoptic camera frame (i -th view) shown by the blue dashed line. The red dashed line corresponds to a point in the micro image of a different frame (j -th view). Here, the black line in the respective micro image visualizes the epipolar line. The two micro images from different views are separated by a much longer baseline than those from the same view, so one can expect a more accurate depth estimate. This is schematically visualized by the distribution functions drawn around the point p , along the reference light ray, in the Figure.

Direct Plenoptic Odometry

Our DPO algorithm is based on the plenoptic camera based MVG shown above. The described model, which is shown in Figure 3, relies on a number of intrinsic camera parameters, which have to be known. Therefore, the plenoptic camera has to be calibrated in advance in order to run DPO [6].

The DPO algorithm defines different types of depth and intensity representations as shown in Figure 5. The image formed on the sensor is a set of micro images as shown in Figure 5a. For each pixel in these micro images which lies in a textured region, we are able to estimate depth (the object distance z_c) based on corresponding points in neighboring micro images, as well as in micro images of subsequent frames, using the defined MVG. A color-coded representation of this depth map is shown in Figure 5b. Here we have a color gradient for distances from near (red) to far (blue). Based on the raw image depth map we can reconstruct the virtual image, which would be formed by the main lens behind the image sensor (cf. Fig. 2). The depth map and corresponding intensities of the virtual image are shown in Figure 5c and 5d, respectively. The red parts in Figure 5d carry no information, as these points lie in regions without texture, for which no depth is obtained. For the virtual image, we obtain a one to one mapping from object to image space, instead of one to many as for the projection on the micro images. Our DPO algorithm works as follows: The first recorded frame is set as the keyframe. Keyframes are selected light field frames with respect to which, tracking and mapping of all recorded frames takes place. For this keyframe a depth map is calculated. Using the calculated virtual image depth map (cf. Fig. 5c) and intensities (cf. Fig. 5d) the relative orientation between the keyframe and the new frame is estimated by optimizing the intensity difference between both frames (see [6] for details). Since after the optimization the relative orientation between the two frames is known, new depth observations are obtained based on our MVG formulation and thereby the existing depth maps (raw image and virtual image depth map) are refined. This is continued for each new frame.

During progress of the DPO algorithm, the orientation of newly recorded frames differs more and more from the one of the initially established keyframe. If a point is reached where the overlap between the current keyframe and the new frame is under a certain threshold, the new frame is set as the new keyframe.

For the new keyframe once again depth is estimated based on its raw image. Furthermore this depth map

is merged with the one propagated from the last keyframe. Afterwards, the algorithm proceeds by tracking new frames based on the new keyframe.

As during the progress of DPO, depth observations have to be merged continuously. The depth maps are defined in a probabilistic manner, where each depth value carries an estimation uncertainty. In this way, we are able to weight the estimates correctly when we merge them. In the merging routine, we take advantage of the fact that stereo baselines are increasing on average, as the camera is moving in a certain direction. While for a short baseline, correspondences can be found more reliably, depth estimation on longer baselines is not as robust and thus benefits from the information of previous estimates. At the same time correct correspondences obtained from long baselines, result in more accurate depth estimates.

Results

We tested the DPO algorithm based on different datasets with indoor and outdoor sequences. Figure 6 shows the estimated trajectory overlaid with the 3D point cloud calculated by DPO for a large-scale outdoor sequence.

Figure 7 shows subsections of the results for an indoor sequence. This clearly shows the scale invariance of the algorithm.

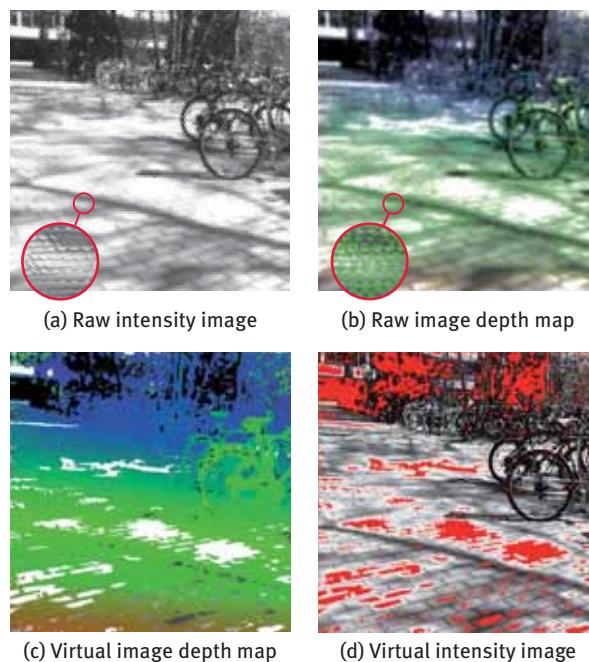


Fig. 5: Depth maps and intensity images of the plenoptic camera. (a) Raw image recorded by a focused plenoptic camera. (b) Raw image depth map established on micro images. (c) Virtual image depth map. Calculated based on raw image depth map. (d) Virtual intensity image. Synthesized based on virtual image depth map and raw intensity image (Fotos: Niclas Zeller)



Wenn Sie dabei an
Amplituden denken,
dann ticken Sie wie wir!



**Begeistern Sie sich total für Technik
und Wissenschaft?**

Möchten Sie als Student ein Praktikum absolvieren, Ihre Master-Thesis schreiben oder als Uni-Absolvent einsteigen? Dann schwingen Sie sich auf zu Polytec!

Als innovatives High-Tech-Unternehmen entwickeln, produzieren und vertreiben wir seit 50 Jahren laserbasierte Messtechnik-Lösungen für Forschung und Industrie. Wir bieten engagierten Studenten sowie angehenden Wissenschaftlern den Kick für eine Karriere in Technik und Wissenschaft.

Bewerben Sie sich jetzt bei Polytec!

Polytec GmbH · Polytec-Platz 1-7 · 76337 Waldbronn
Tel: +49 7243 604-0 · personal@polytec.de · www.polytec.de



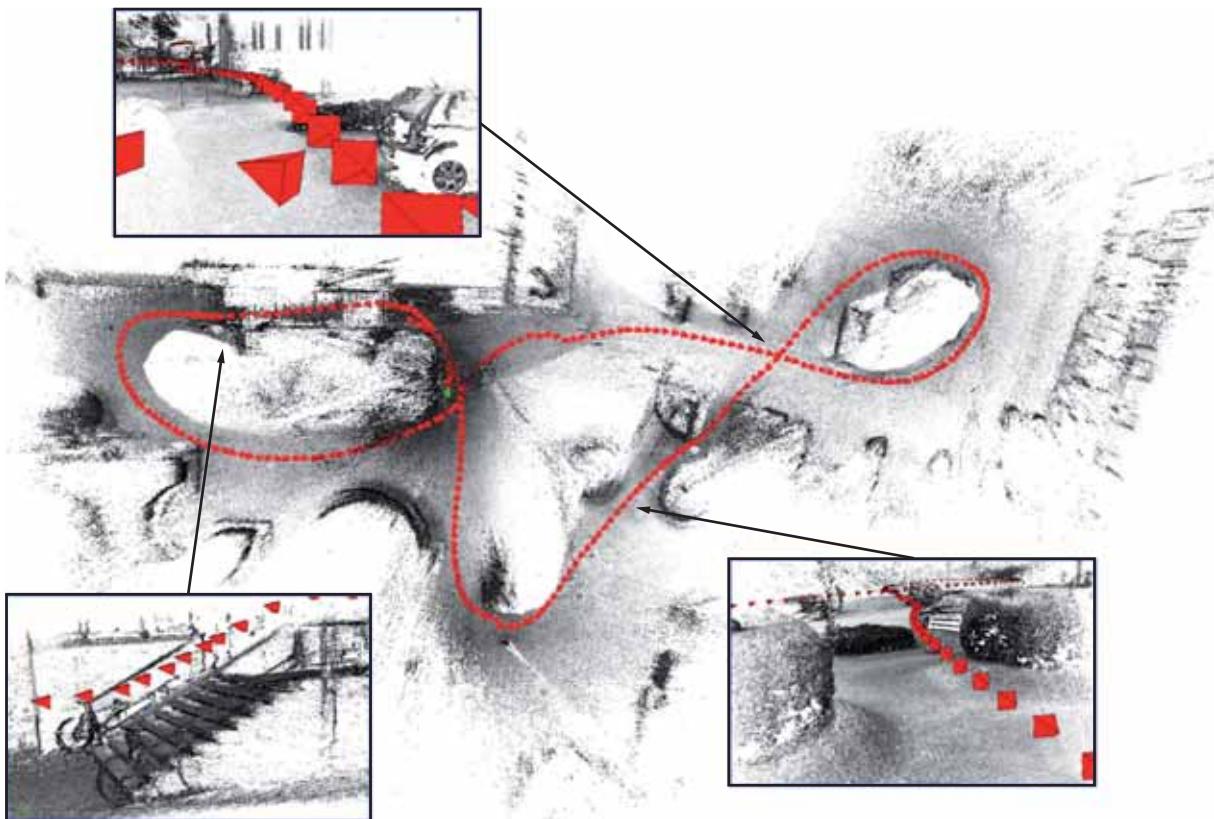


Fig. 6: 3D Point cloud and trajectory estimated by our DPO algorithm for a large-scale outdoor sequence

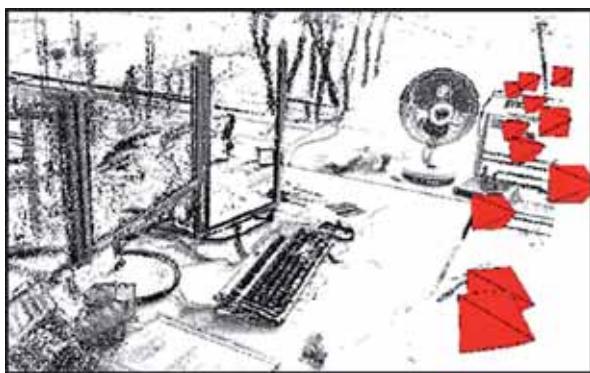


Fig. 7: Subsections of the point cloud estimated by our DPO algorithm for an indoor sequence

Comparisons to state of the art monocular and stereo algorithms can be found in [6].

References

- [1] J. Engel, T. Schöps, D. Cremers, *LSD-SLAM: Large-Scale Direct Monocular SLAM*, 2014, European Conference on Computer Vision (ECCV), pp. 834-849.
- [2] R. Mur-Artal and J. D. Tards, *ORB-SLAM2: An Open-Source SLAM System for Monocular, Stereo and RGB-D Cameras*, 2017, IEEE Transactions on Robotics, pp.1-8.
- [3] C. Kerl, J. Stückler, D. Cremers, *Dense Continuous-Time Tracking and Mapping with Rolling Shutter RGB-D Cameras*, 2015, IEEE International Conference on Computer Vision (ICCV), pp. 2264-2272.
- [4] R. Ng, M. Levoy, M. Brédif, M., G. Duval, M. Horowitz, P. Hanrahan, *Light Field Photography with a Hand-held Plenoptic Camera*, 2005, Stanford Tech Report CTSR 2005-02.
- [5] C. Perwass, L. Wietzke, *Single Lens 3D-Camera with Extended depth-of-field*, 2012, Proceedings Vol. 8291, Human Vision and Electronic Imaging XVII.
- [6] N. Zeller, F. Quint, U. Stilla, *From the Calibration of a Light-Field Camera to Direct Plenoptic Odometry*, 2017, IEEE Journal of Selected Topics in Signal Processing, Vol. 11.
- [7] E. H. Adelson, J. Y. A. Wang, *Single Lens Stereo with a Plenoptic Camera*, 1992, IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence (PAMI), Vol. 14, No. 2, pp. 99–106
- [8] A. Lumsdaine, T. Georgiev, *Full Resolution Lightfield Rendering*, 2008, Adobe Tech Report, Adobe Systems Inc.

Zusammenfassung

Dieser Artikel beschreibt DPO, einen Algorithmus zur visuellen Odometrie (VO) basierend auf einer plenoptischen Kamera. Der Algorithmus beruht auf einer neu hergeleiteten Multiple-View-Geometrie (MVG) für plenoptische Kameras. Die MVG erlaubt die Berechnung von Kameraorientierung und 3D-Punkten der Umgebung direkt aus den von der Kamera aufgenommenen Mikrolinsenbildern.

Unseres Wissens ist DPO der erste VO-Algorithmus für plenoptische Kameras. Er schätzt gleichzeitig die genaue Trajektorie der bewegten Kamera sowie eine detaillierte 3D-Punktfolke der Umgebung. Der auf den Aufnahmen einer plenoptischen Kamera basierende Ansatz kombiniert Schlüsseleigenschaften von bereits existierenden Methoden, die auf monokularen Kameras sowie Stereokamerasystemen beruhen.

Abstract

This article presents DPO, which is a visual odometry algorithm based on a plenoptic camera. As the foundation of this method, we established a new multiple view geometry for plenoptic cameras. This multiple view geometry allows DPO to perform tracking and mapping directly on the micro images recorded by the camera. To the best of our knowledge, currently DPO is the first visual odometry approach tailored for plenoptic cameras. It accu-

rately estimates the trajectory of a moving camera and at the same time generates a highly detailed 3D point cloud of the environment. By performing visual odometry based on the recordings of a plenoptic camera we are able to combine key features from existing algorithms, which are based on monocular cameras or stereo camera systems.

Authors

Niclas Zeller, M.Eng.

Academic Assistant at the Faculty of Electrical Engineering and Information Technology at Karlsruhe University of Applied Sciences

Prof. Dr.-Ing. Franz Quint

Vice-President for Research, cooperations and quality management
and Professor at the Faculty of Electrical Engineering and Information Technology at Karlsruhe University of Applied Sciences

Contact

Prof. Dr.-Ing. Franz Quint
Karlsruhe University of Applied Sciences
Vice-President for Research, cooperations and quality management
Moltkestraße 30
76133 Karlsruhe
E-mail: franz.quint@hs-karlsruhe.de



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



Gib Schatten keine Chance

Angelika Neumann und Rainer Merz

Einleitung

Photovoltaikanlagen (PV-Anlagen) bestehen aus mehreren einzelnen Solarmodulen. Solarmodule nutzen die Photonenenergie der Sonne und wandeln diese in elektrischen Strom um. Dabei steigt der Strom, den ein Solarmodul bereitstellen kann, mit zunehmender Beleuchtungsstärke nahezu linear an. Die Spannung der Module sinkt logarithmisch mit abnehmender Beleuchtung und ist somit wesentlich unempfindlicher gegenüber den Beleuchtungsverhältnissen. Eine Serienschaltung aus mehreren Solarmodulen bildet einen Strang, der die Spannung der einzelnen Module zur Strangspannung aufaddiert. Heute übliche Wechselrichter besitzen für jeden Strang einen Maximum Power Point Tracker (MPPT), der für jeden Strang den optimalen Betriebspunkt mit maximaler Leistung (MPP) findet und den Strang mit maximaler Leistung betreibt. Aufgrund der Serienschaltung der Module fließt durch jedes Modul derselbe Strom, weswegen das am wenigsten beleuchtete Modul den gesamten Strangstrom vorgibt und die Leistung unverschatteter Module und damit die Strangleistung limitiert. Insbesondere bei Teilverschattung, z.B. durch Kamine oder Bäume, stellen sich so signifikante Leistungsverluste ein. Eine verbreitete Methode zur Reduzierung der Leistungsverluste durch Teilverschattung ist der Einsatz von Bypass-Dioden D_{BP} . Eine aktive Bypass-Diode betreibt verschattete Module nahezu im Kurzschluss (SC) mit der Modulspannung $V_{MY} \approx 0$ V. Der Strom I_{BP} der Bypass-Diode verhindert, dass ein verschattetes Modul den Strangstrom limitiert. Jedoch gibt das verschattete Modul bei aktiver Bypass-Diode keine Leistung mehr ab und die Strangleistung bleibt unter dem theoretischen Maximalwert, der die Maximalleistung aller Module berücksichtigt. Inaktiv beeinträchtigt die Bypass-Diode die Strangleistung nicht. Damit auch verschattete Module noch einen Beitrag zur Strangleistung liefern können, betreibt der aktive Low Cost Maximum Power Point Tracker (LCMPPT) verschattete Module individuell mit maximaler Leistung und transformiert hierzu den begrenzten Modulstrom auf den höheren Strangstrom. Ohne Schatten ist der LCMPPT, vergleichbar mit der Bypass-Diode, inaktiv und beeinträchtigt die Strangleistung nur unwesentlich. Das Kapitel LCMPPT erklärt zunächst den Einsatz der LCMPPTs anhand einer Strangkonfiguration auf einem durch Teilverschattung beeinträchtigten PV-Strang. Darüber hinaus zeigt es auf, wie ein aktivierter LCMPPT den Strom eines verschatteten Moduls an den höhe-

ren Strangstrom angleicht und das verschattete Modul gleichzeitig an seinem MPP betreibt. Das Kapitel Experimentelle Ergebnisse misst eine prototypische LCMPPT-Elektronik und vergleicht deren Wirkungsgrad im aktiven Betrieb, wie er bei Teilverschattung vor kommt, mit dem inaktiven Betrieb ohne Schatten.

LCMPPT

Abbildung 1 zeigt einen typischen PV-Strang aus zehn PV-Modulen in Reihe auf einem Einfamilienhaus. Die Module M_x werden im Jahresverlauf nicht durch Objekte verschattet und geben immer ihre maximale Leistung. Die standardmäßig eingesetzten Bypass-Dioden sind stets inaktiv und dienen dem Schutz der PV-Module vor thermischer Zerstörung. Die Module M_y sind temporär durch ein Nachbargebäude verschattet. Um das System mit nahezu theoretischem Maximalertrag betreiben zu können, werden LCMPPTs an den potenziell verschatteten Modulen M_y eingesetzt. Im Vergleich zu den Modulen M_x aktivieren sich bei Verschattung der Module M_y die LCMPPTs statt der sonst üblichen Bypass-Dioden. Dabei erfolgt die Aktivierung der LCMPPTs analog zur Bypass-Diode durch die globale MPP-Suche des Strangwechselrichters ohne zusätzlich erforderliche Kommunikation der Module untereinander. Aktivierte LCMPPTs betreiben das betroffene PV-Modul unabhängig von den nicht verschatteten Modulen und alle Module können individuell ihre maximale Leistung an den PV-Strang abgeben. Inaktive LCMPPTs verursachen unwesentliche Verluste und der PV-Strang wird bei homogener Beleuchtung, im Gegensatz zu sonst üblichen, dauerhaft aktiven Modul-MPPTs oder Modulwechselrichtern, nicht beeinträchtigt ([1], [2], [3]).



Abb.1: PV-Strang aus 10 PV-Modulen in Reihe auf einem Einfamilienhaus. Module M_x ohne Verschattungspotenzial sind zum Schutz mit Bypass-Dioden ausgerüstet. Bei temporär verschatteten Modulen M_y betreibt der LCMPPT die Module individuell am MPP. Ohne Schatten verursacht der inaktive LCMPPT im Vergleich zur Bypass-Diode minimale Verluste

Produkte von E.G.O. stehen nicht im Rampenlicht – sie spielen die entscheidende Rolle im Hintergrund. Heiz- und Steuerelemente von E.G.O. machen aus Hausgeräten erst das, wozu wir sie brauchen: zu nützlichen Helfern, die das Leben leichter machen. Weltweit führend in Hightech für Hausgeräte: Kochen. Backen. Waschen. Spülen. Trocknen. Regeln. Steuern.

www.egoproducts.com



High-tech since 1931.

E.G.O. – steht nie drauf. Steckt immer drin.



Der LCMPPT basiert auf der Topologie eines synchron-schaltenden Tiefsetzstellers [1]. Abbildung 2 ersetzt für ein Modul M_Y die Bypass-Diode D_{BP} durch den LCMPPT. Bei Verschaltung aktiviert die globale MPP-Suche des Strangwechselrichters die Body-Diode des Schalters SW_2 und dadurch den MPP-Tracking–Algorithmus analog zur Funktion der Bypass-Diode [4]. Das pulsweitenmodulierte Signal (PWM-Signal) eines µC öffnet den Schalter SW_1 für die Dauer t_{off} und schließt ihn für die Dauer t_{on} mit dem duty cycle $d = t_{on} / (t_{on} + t_{off})$ und regelt den Modulstrom $I_{MY} = I_{MY,MPP} = d \cdot I_{St}$. Das Modul M_Y arbeitet bei optimalem duty cycle $d = d_{MPP}$ an seinem MPP bei der Spannung $V_{MY} = V_{MY,MPP} > 0$ V und gibt die maximale Leistung $P_{MY,MPP} = d_{MPP} \cdot I_{St} \cdot V_{MY,MPP}$ ab. Die Kapazität C_1 puffert I_{MY} während t_{off} . Die Kapazität C_2 filtert den Rippelstrom der Induktivität L an den Ausgangsklemmen des LCMPPT. Ohne Verschaltung ist der LCMPPT inaktiv und der Schalter SW_1 durch $d = 100\%$ dauerhaft geschlossen. Dabei minimieren sich die Verluste des inaktiven LCMPPT auf die Leistungsverluste der Induktivität L und des Schalters SW_1 . Das Modul M_Y liefert den Strangstrom $I_{MY} = I_{St}$ [4].

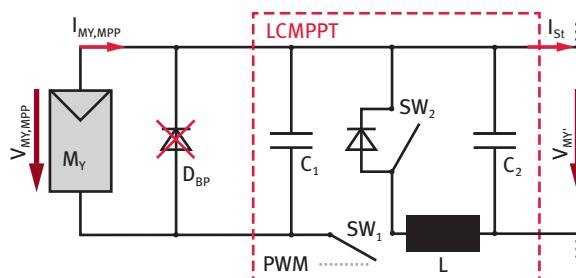


Abb. 2: Verschaltetes Modul M_Y mit LCMPPT in Tiefsetzsteller-Topologie anstelle D_{BP} . PWM-Signal gleicht $I_{MY} = I_{MY,MPP} = d \cdot I_{St}$ über den duty cycle d an. Betrieb M_Y bei $V_{MY} = V_{MY,MPP}$ möglich

Die Anordnung der Schalter SW_1 und SW_2 erlaubt den Betrieb des LCMPPT mit $d = 100\%$ trotz Verwendung von zwei kostengünstigeren n-Kanal-Metalloxid-Halbleiter-Feldeffekttransistoren (MOSFETs). Durch die Verwendung von handelsüblichen Bauteilen und einer einfachen Topologie ist ein Kostenrahmen für den LCMPPT von unter fünf Euro realistisch.

Experimentelle Ergebnisse

Die Elektronik des LCMPPT ist für den Einsatz in Standard-PV-Modulen mit einer Leerlaufspannung von $V_{oc} < 40$ V und einem Kurzschlussstrom $I_{sc} \approx 8$ A konzipiert.

Der LCMPPT beinhaltet nach Abbildung 3 mehrere aktive und passive elektronische Bauteile. Dabei erzeugt ein Stromfluss durch jedes Bauteil während des Betriebs eine bestimmte Verlustleistung $P_V = I^2 \cdot R$ die quadratisch mit dem Strom ansteigt und zur Erwärmung des Bauteils führt. Unzulässig hohe Erwärmung beschädigt oder zerstört dabei die Bauteile. Zusätzlich reduziert ein sinkender Wirkungsgrad des LCMPPT den gesamten Energieertrag eines PV-Moduls. Die Verlustleistung soll in Form von Wärme ohne erzwungene Konvektion abgeführt werden können und die Integration des LCMPPT direkt in die Anschlussbox eines PV-Moduls ermöglichen. Hierzu optimieren Verlustleistungsberechnungen ([5], [6], [7]) die Bauauswahl sowie Betriebsbedingungen, wie z.B. die Schaltfrequenz des PWM-Signals des entwickelten Prototyps.

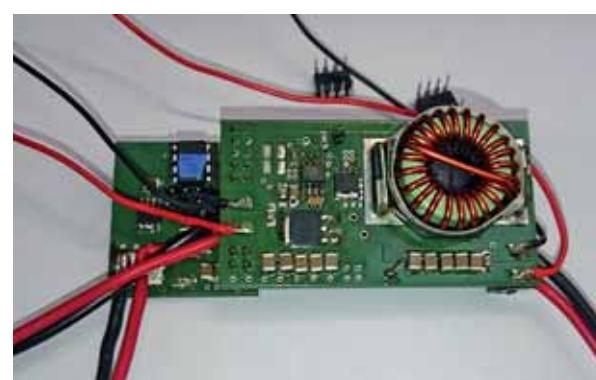


Abb. 3: Prototypen-Elektronik des LCMPPT (Foto: Angelika Neumann)

Abbildung 4 vergleicht die erzielten Messergebnisse der Prototypen-Elektronik des LCMPPT im Labor im aktiven Betrieb mit einer Teilverschaltung des Moduls von 50 % und im inaktiven Betrieb ohne Schatten. Der Wirkungsgrad der eingesetzten Tiefsetzsteller-Topologie steigt dabei mit sinkendem Strangstrom I_{St} bei Schwachlicht.

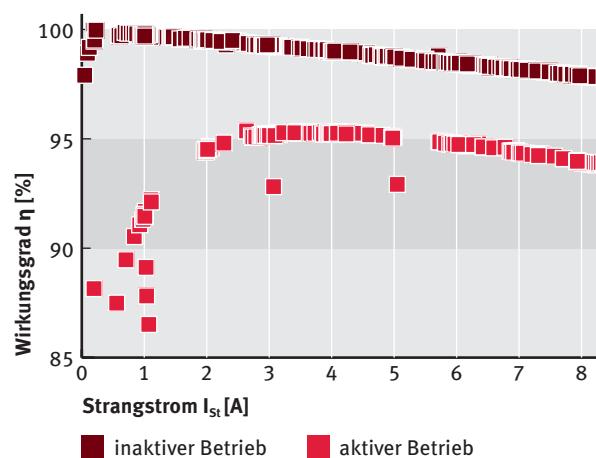


Abb. 4: Wirkungsgrad η_{LCMPPT} des LCMPPT im aktiven Betrieb mit 50 % Teilverschaltung und im inaktiven Betrieb ohne Schatten. Mit sinkendem Strangstrom I_{St} bei Schwachlicht steigt der Wirkungsgrad der Tiefsetzsteller-Topologie. Ohne Schaltverluste erreicht der LCMPPT im inaktiven Betrieb Spitzenwirkungsgrade $\eta_{LCMPPT} > 99\%$.

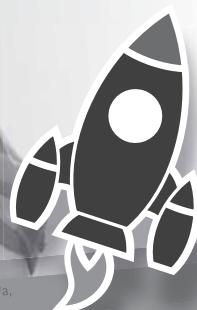
Der aktive Schaltbetrieb im Verschatzungsfall erlaubt den individuellen Betrieb des Moduls am MPP und maximiert die Modulleistung im Vergleich zum Einsatz von Bypass-Dioden. Im aktiven Schaltbetrieb addieren sich zu den Leistungsverlusten der Bauteile die Schaltverluste der beiden Schalter SW₁ und SW₂ und reduzieren dabei den Energieertrag des PV-Moduls.

Der inaktive LCMPPT vermeidet unnötige Schaltverluste und begünstigt den Energieertrag ohne Schatten und bei Schwachlicht. Ohne Schaltverluste reduzieren sich die Verluste im Wesentlichen auf die ohmschen Leistungsverluste der Induktivität L sowie des nicht idealen Schalters SW₁. Unter Vernachlässigung der Standby-Verluste des µC und des Treibers ermöglicht der LCMPPT Spitzenzwirkungsgrade $\eta_{LCMPPT} > 99\%$. Zusätzlich verringert der temporäre Schaltbetrieb die Belastung der elektronischen Bauteile und erhöht deren Lebensdauer.

Mit Herzblut für Startups!



*Wir bieten
innovativen Köpfen
den Raum
für ihre Ideen!*



Verbrauchsausweis, Heizenergieverbrauchs kennwert 97 kWh/m²a,
Stromverbrauchs kennwert 75 kWh/m²a, Erdgas

0721-174 271

www.technologiefabrik-ka.de



IHK Technologiefabrik
Karlsruhe



Willkommen an Bord

Die Würth Elektronik Gruppe mit über 8.000 Mitarbeitern in 50 Ländern fertigt und vertreibt elektronische, elektromechanische Bauelemente, Leiterplatten und intelligente Power- und Steuerungssysteme. Der Unternehmensbereich Würth Elektronik CBT ist Europas führender Hersteller von Leiterplatten und der Ursprung der gesamten Würth Elektronik Gruppe.

Zukunft ausloten und Neuland entdecken!

Raum für Entwicklung und Karriere geboten.

Trainee (m/w)

Produktentwicklung | Prozessentwicklung | Qualitätsmanagement | Verfahrenstechnik
für unseren Standort Schopfheim



www.we-online.de/karriere

more than you expect

Literatur

- [1] D. Stellbogen, P. Lechner, M. Senger, Proc. of the 32nd EUPVSEC, WIP, Munich, 2016, p. 1508.
- [2] R. Merz, Patent DE 10 2011 111 255B4
- [3] S. Krauter, J. Bendfeld, Proc. Of the 33rd EUPVSEC, WIP, Munich, 2017, to be published
- [4] T. Czarnecki, A. Schneck, R. Merz, Proc. of the 32nd EUPVSEC, edited by M. TOPIČ, N. Taylor, P. Helm, WIP, Munich, 2016, p. 1641
- [5] D. Jauregui, B. Wang, R. Chen, *Power Loss Calculation With Common Source Inductance Consideration for Synchronous Buck Converters*, 2011, Texas Instruments, Application Report SLPA09A.
- [6] D. Graovac, M. Pürschel, A. Kiep, *MOSFET Power Losses Calculation Using the Data-Sheet Parameters*, 2006, Infineon Application Note.
- [7] E. Wang, *Current Ripple Factor of a Buck Converter*, 2014, RICHTEK Application Note ANo10.

Abstract

Due to the mutable position of the sun, many conventional photovoltaic systems (PV systems) become temporarily partially shaded by objects in their environment. Partially shaded PV-modules within a PV-string of several modules connected in series, reduce string current I_{St} and significantly reduce the power of every module in the string.

Common module-inverters as well as power optimizers increase the energy yield compared to bypass diodes by permanently operating each PV-module at its maximum power point (MPP). However, devices for independent operation of each module cause power conversion losses during homogeneous irradiation. Consequently, permanent operation requires efficiency optimization and therefore expensive power electronics.

The Low Cost Maximum Power Point Tracker (LCMPPT) only operates PV-modules temporarily in case of shading in their individual MPPs. Thus, the LCMPPT avoids unnecessary losses due to partial shade, enables cost-optimized power electronics, and reduces system costs without sacrificing individual MPP-Tracking while partially shaded.

Zusammenfassung

Der Low Cost Maximum Power Point Tracker (LCMPPT) basiert auf der Topologie eines synchron schaltenden Tiefsetzstellers. Die Aktivierung des LCMPPT über den Strangwechselrichter benötigt keine Kommunikation zwischen den einzelnen Modulen eines PV-Strangs. Standardbauteile und einfache Integration bzw. Nachrüstung reduzieren

zusätzlich die Kosten der Elektronik, wodurch ein Preis von unter fünf Euro für den LCMPPT realistisch ist.

Der aktive Schaltbetrieb des LCMPPT ist nur bei Teilverschattung eines PV-Moduls erforderlich. Der LCMPPT betreibt dabei ein teilverschattetes Modul M_Y im MPP mit einer Leistung $P_{MY, MPP} > 0 \text{ W}$ und die Strangleistung steigt gegenüber aktiven Bypass-Dioden. Ohne Verschattung setzt der Mikrokontroller $\mu\text{C } d = 100\%$ und schließt den Schalter SW_1 dauerhaft. Es entstehen keine Schaltverluste und der LCMPPT erreicht einen Spitzenwirkungsgrad $\mu_{LCMPPT} > 99\%$. Der inaktive LCMPPT erhöht die Lebensdauer der Bauteile und senkt deren Ausfallwahrscheinlichkeit.

Autoren

Angelika Neumann M.Eng.

Akademische Mitarbeiterin an der Fakultät für Elektro- und Informationstechnik der Hochschule Karlsruhe

Prof. Dr.-Ing. Rainer Merz

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

Kontakt

Prof. Dr.-Ing. Rainer Merz
Hochschule Karlsruhe – Technik und Wirtschaft
Fakultät für Elektro- und Informationstechnik
Moltkestraße 30
76133 Karlsruhe
E-Mail: rainer.merz@hs-karlsruhe.de

Entwicklung eines Klima- und Höhensimulationsprüfstands

Artur Martel, Fino Scholl, Dennis Weierter und Maurice Kettner

Einleitung

Derzeit auf dem Markt verfügbare Kraftstoffe für den Einsatz in handgeführten motorbetriebenen Geräten für Forstwirtschaft, Landschaftspflege und Bauwirtschaft basieren ausschließlich auf fossilen Rohstoffen. Ziel dieses Forschungsprojekts ist die Entwicklung eines Bio-Gerätebenzins, das bis zu 100 % auf Basis nachwachsender Rohstoffe besteht und dadurch eine deutliche Senkung der klimaschädlichen CO₂-Emissionen ermöglicht. Für die Herstellung dieses Kraftstoffs werden pflanzliche Reststoffe wie Stroh und Restholz verwendet, die nicht mit der Nahrungsmittelproduktion in Konkurrenz stehen. Vor der Markteinführung eines neuen Biokraftstoffs gilt es, diesen auf seine ökologische, ökonomische und motorische Eignung hin zu untersuchen und zu bewerten. Um weltweit anwenderelevante Umgebungsbedingungen (verschiedene Klimazonen und geodätische Höhen) zu realisieren, wird für dieses Forschungsvorhaben eigens ein Geräteprüfstand mit Klima- bzw. Höhenkammer entwickelt, in der Temperatur, Druck und Luftfeuchte konditioniert werden können. Sie ermöglicht dadurch die Durchführung von Motorversuchen bei Bedingungen im Bereich arktischer Kälte bis hin zu tropischer Hitze. Auch die Simulation verschiedener Höhenlagen (von 0 m bis 3000 m ü. NN) ist in der 6 m³ großen Prüfzelle möglich. Im Rahmen dieses Beitrags wird nachfolgend auf den Aufbau des Klima- und Höhensimulationsprüfstands eingegangen.

Aufbau

Der entwickelte Klima- und Höhensimulationsprüfstand basiert auf dem Konzept der Gesamtkammeranlage. Bei diesem befindet sich der Versuchsträger innerhalb der konditionierten Prüfkammer und ist somit vollständig den Umgebungseinflüssen im Inneren der Prüfzelle ausgesetzt. Der entscheidende Vorteil dieses Konzepts liegt einerseits in der Konditionierung der Betriebsstoffe, wie z.B. dem Kraftstoff, der sich bei handgeführten Arbeitsgeräten unmittelbar am Arbeitsgerät befindet und somit zusammen mit dem Motor in der Kammer abgekühlt wird und andererseits in der Möglichkeit, dass der Prüfling seine Verbrennungsluft frei aus der Kammer ansaugen und das Abgas an die Umgebung wieder abgeben kann. Mit diesem Anlagenkonzept lassen sich somit realitätsnahe Bedingungen im Laborumfeld simulieren.

Wie im Anlagenschema in Abbildung 1 dargestellt, kann die gesamte Anlage in drei Module unterteilt werden:

1. Konditioniereinheit: Kühlen, Erwärmen und Entfeuchten der Verbrennungsluft des Prüflings
2. Prüfzelle: Aufnahme des Prüflings; Klimatisierung der Umgebungsluft
3. Höhensimulation: Kühlung des Abgases; Einstellung des Druckniveaus

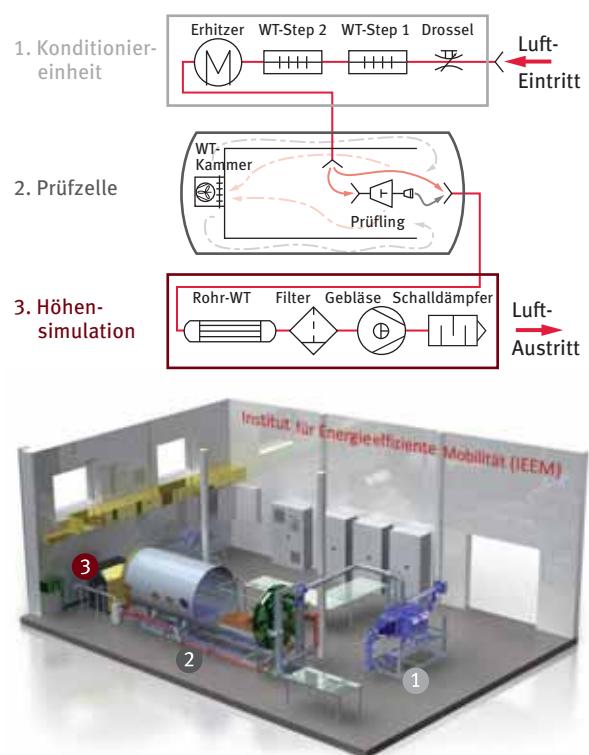


Abb. 1: Anlagenschema des Klima- und Höhensimulationsprüfstands und Umsetzung in den Laborräumen des Instituts für Energieeffiziente Mobilität (IEEM)

1. Konditioniereinheit

In der Konditioniereinheit (s. Abb. 2) wird die ange saugte Hallenluft auf die gewünschte Temperatur gebracht, in die Prüfzelle eingeleitet und dem Prüfling als Verbrennungsluft zur Verfügung gestellt. Dabei wird beim Eintritt in das Rohrleitungssystem die Luftmenge messtechnisch erfasst um sicherzustellen, dass einerseits der Motor ausreichend mit Frischluft versorgt und andererseits das Abgas im Absaugsystem soweit verdünnt wird, dass sich kein explosionsfähiges Gemisch durch unverbrannten Kraftstoff bilden kann. In der Druckzelle der Konditioniereinheit wird der Luftstrom in zwei Stufen abgekühlt. Bei

Bedarf wird im ersten Wärmetauscher (Step 1) die Luft zunächst entfeuchtet und die Temperatur auf bis zu 5 °C abgesenkt. Im zweiten Schritt (Step 2) kann die Druckkammereintrittstemperatur zusätzlich auf bis zu -20 °C abgekühlt werden. Um auch trockene und heiße Lufttemperaturen zu simulieren, kann anschließend ein im Rohrleitungssystem installierter Durchlauferhitzer die Luft auf bis zu 40 °C erhitzen.

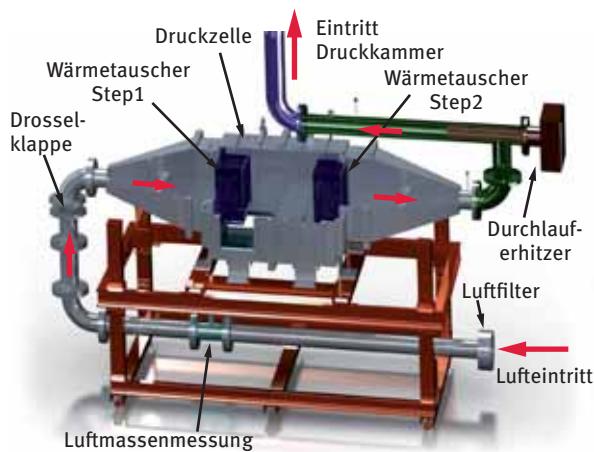


Abb. 2: CAD-Modell der Konditioniereinheit im Schnitt

2. Prüfzelle

Die Prüfzelle ist dergestalt dimensioniert, dass das gesamte Gerät (z.B. Kettenägen, Heckenschneider oder Blasgeräte) aufgenommen werden kann. Da die Zelle bei einer simulierten Höhenlage von 3000 m ü. NN (ca. 300 mbar Unterdruck) hohen Belastungen (ca. 3000 kg/m²) ausgesetzt ist, wurde bereits beim Zellenentwurf darauf geachtet, dass sowohl technische als auch sicherheits- und bedienungsrelevante Aspekte frühzeitig mit in die Konstruktion einflossen.

Anforderungen an die Zelle:

- Frischluftzuführung in die Zelle (Verbrennungsluft)
- Absaugung von heißen Abgasen aus der Zelle
- Unterdruckregelung für Höhensimulationen innerhalb der Zelle
- Belastung von max. 3000 kg/m²
- Kühlung des Prüflings und Luftführung in der Zelle
- Aufnahme von Schwingungen des Geräts mittels Schwingungsdämpfern
- Zuführung von Versorgungsleitungen in die Unterdruckkammer
- Gute Zugänglichkeit während des Einrichtbetriebs

Abbildung 3 zeigt die zylindrische Variante der Prüfzelle, die alle gestellten Anforderungen erfüllt und anschließend umgesetzt wurde. Sämtliche Versorgungsleitungen (elektrisch, pneumatisch, Messtechnik, Zu- und Abluft) werden dabei durch einen feststehenden Teil durchgeführt (s. Klöpperboden), zu dem

auch die freitragende Tischkonstruktion gehört, auf die der Prüfling aufgespannt werden kann. Der Behälter ist auf einem elektrisch angetriebenen Schlitten befestigt und kann entlang eines Schienensystems verschoben und damit geöffnet werden, wodurch ein einfacher und bequemer Einrichtbetrieb möglich ist.

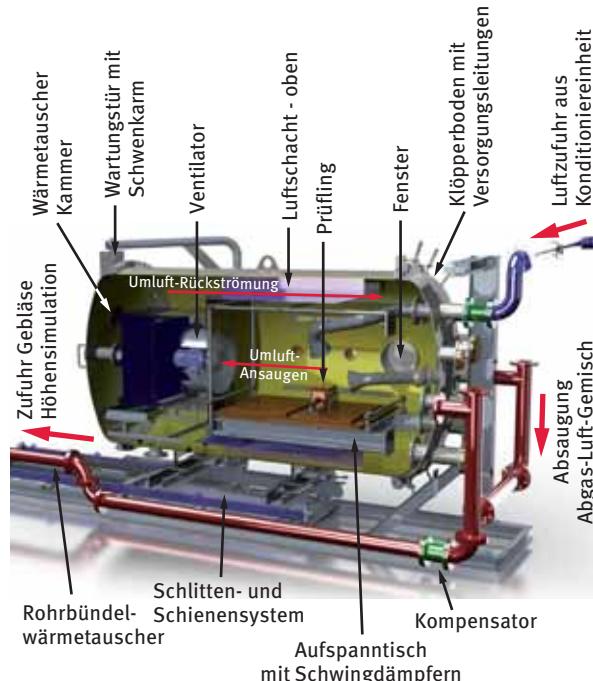


Abb. 3: Klima- und Höhensimulationskammer als CAD-Schnittmodell

Die Motorkühlung im Inneren der Zelle wird mittels eines Umluftsystems realisiert. Dabei wird die Motorabwärme von einem Axialventilator angesaugt, im Wärmetauscher abgekühlt und der Luftstrom an der Wartungstür umgelenkt, bevor dieser durch Luftschächte im Decken- und Bodenbereich nach vorne gefördert wird. Der Vorteil der axialen Luftführung liegt vor allem in der kompakten Bauweise des Wärmetauschers, erfordert jedoch einen leistungsstarken Ventilator, der die entstehenden Druckverluste durch Wärmetauscher, Umlenkung des Luftstroms an der Wartungstür und Luftschachttransport ausgleichen muss. Zur Ermittlung von Druckverlusten und der Darstellung der Geschwindigkeitsverteilung bei der axialen Luftförderung wurde eine CFD-Analyse durchgeführt (s. Abb. 4). Deutlich zu erkennen ist das Aufeinandertreffen der Decken- und Bodenströmung und die dadurch ausgeprägte Strömungsgeschwindigkeit entlang der Mittelachse des Behälters. Die Höhe des Tischaufbaus wurde dabei so gewählt, dass die aufsteigende Wärme des Prüflings mit der ausgeprägten Strömung mitgerissen wird. Unterhalb der Hauptströmung soll eine freie Konvektion der Motorabwärme ermöglicht und dadurch eine realitätsnahe Abbildung des Betriebs im Freien erzielt werden.

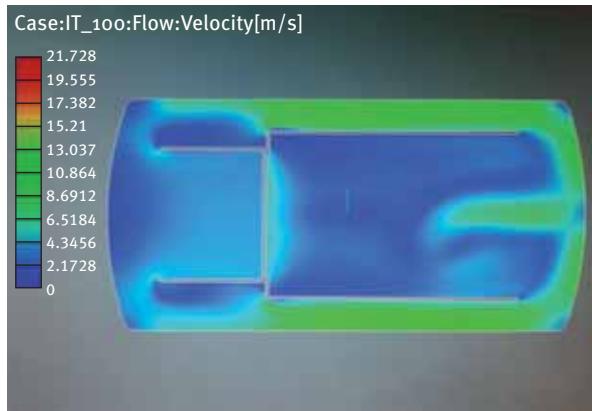


Abb. 4: Geschwindigkeitsverteilung im Behälter bei axialer Förderung

3. Höhensimulation

Das bis zu 700 °C heiße Abgas des Prüflings wird zusammen mit der konditionierten Luft im Inneren der Prüfzelle abgesaugt und dadurch verdünnt, bevor es durch ein Rohrleitungssystem in das Höhensimulationsmodul geleitet wird. Anschließend wird das Mischgas in einem Rohrbündelwärmetauscher auf unter 40 °C abgekühlt, ehe es das Drehkolbengebläse durchströmen kann. Ein zusätzlicher Filter mit Abscheider schützt das Gebläse und verhindert das Ansaugen von schwefelsäurehaltigem Kondensat, das durch Kondensation nach dem Kühlprozess im Rohrbündelwärmetauscher entstanden ist. Der Unterdruck in der Prüfzelle wird messtechnisch erfasst und im Zusammenspiel mit der Drosselklappe in der Konditioniereinheit und dem frequenzgeregelten Drehkolbengebläse in dem Höhensimulationsmodul automatisch auf einen vorgegebenen Wert eingestellt.

Fernsteuerung

Ein anpassungsfähiges Fernsteuerungssystem zur Bedienung unterschiedlicher Geräte innerhalb der Höhensimulationskammer wurde eigens an der Hochschule entwickelt und dient dazu, die Prüflinge bei geschlossenem Behälter per Seilzug zu starten, Choke-Einstellungen vorzunehmen und den Gashebel zu betätigen (s. Abb. 5). Dabei wird der Fernstart per Seilzug mit Hilfe eines Pneumatikzylinders umgesetzt. Für die Fernsteuerung weiterer Bedienelemente, wie die manuelle Kraftstoffpumpe, Choke- und Gashebel werden Servomotoren verwendet.

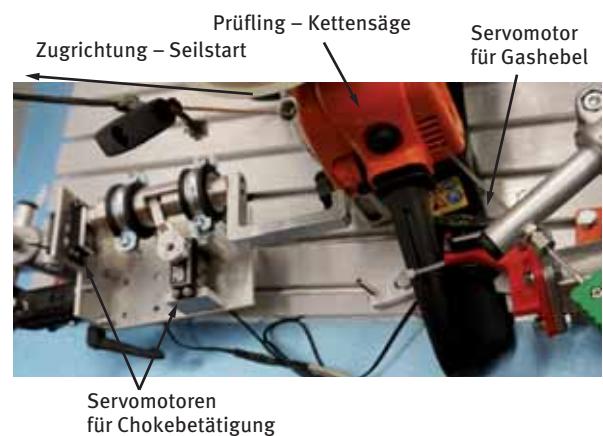


Abb. 5: Vorrichtung für die Fernsteuerung (Foto: Artur Martel)

Inbetriebnahme und Ausblick

In der einjährigen Entwicklungsphase wurden unterschiedliche Konzepte des Klima- und Höhensimulationsprüfstands in Betracht gezogen, Entwürfe ausgearbeitet und die Funktionsfähigkeit verschiedener

MOTORENTECHNIK // OPTIK // THERMODYNAMIK

INDIVIDUELLE MESSTECHNIK-ANWENDUNGEN

PHÄNOMENOLOGISCHE BRENNVERFAHRENS- ENTWICKLUNG

HIGH-SPEED MECHANIK- ENTWICKLUNG

www motweb de • info@motweb de • 76187 Karlsruhe

Teilkomponenten durch Berechnungen oder computergestützte Simulationen nachgewiesen. In den darauffolgenden acht Monaten erfolgten Fertigung und Montage sowohl in der hausinternen MMT-Werkstatt als auch durch beauftragte Industrieunternehmen. Im Frühjahr 2017 wurde die Inbetriebnahme erfolgreich durchgeführt. Dabei wurden im Inneren der Zelle Temperaturen von bis zu -27 °C gemessen und ein Unterdruck von 500 mbar erzielt, was einer simulierten Höhe von etwa 5000 Meter ü. NN entspricht. Aktuelle Arbeiten am Prüfstand umfassen die Installation der Anlagen- und Prüflingsmesstechnik, den Aufbau der Leitwarte sowie die Programmierung der Bedienoberfläche. Sobald alle mechanischen Arbeiten an der Anlage durchgeführt sind, wird die gesamte Anlage, von der Konditioniereinheit über die Druckkammer bis hin zur Höhensimulation, mit einem 25 mm dicken Dämmmaterial isoliert. Damit soll einerseits der Wärmeeintrag in die Zelle verringert, die Kondenswasserbildung und damit das Gefrieren an der Manteloberfläche verhindert (s. Abb. 6) und andererseits der Schallschutz verbessert werden.

Für die motorischen Untersuchungen, die im Frühjahr 2018 beginnen sollen, werden sechs Monate veran-



Abb. 6: Vereiste Druckkammer während der Inbetriebnahme
(Foto: Artur Martel)

schlagt. Die unterschiedlichen Prüfräger sollen sowohl mit konventionellen Betriebsstoffen als auch mit den neuartigen Bio-Kraftstoffen betrieben und bei verschiedenen Temperaturen und Höhenlagen untersucht werden. Weitere Einsatzmöglichkeiten für den Klima- und Höhensimulationsprüfstand sind z. B. Untersuchungen an elektrischen Antriebssystemen von unbemannten Luftfahrzeugen (Drohnen). Auch die Auswirkung von Temperatur und geodätischer Höhe auf Batterien und Schmierstoffe können untersucht werden.

**WE MOVE AVIATION.
ARE YOU READY TO MOVE?**

Seit mehr als 50 Jahren entwickelt und produziert HYDRO mit 700 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 mehr als 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.

Werde Teil unserer Crew!
www.hydro.aero/karriere

HYDRO Systems KG, 77781 Biberach i.K., Tel. +49 7835 787-0, info@hydro.aero

In safe hands.

Abstract

The Institute of Energy Efficient Mobility (IEEM) is engaged researching and evaluating the economic and motor suitability of innovative biofuels for small internal combustion engines. Within the framework of the research project funded by the Federal Ministry of Food and Agriculture, the IEEM cooperates with MOT (Forschungs- und Entwicklungsgesellschaft für Motoren-technik, Optik und Thermodynamik mbH) and the Institute for Catalysis Research and Technology (IKFT) of the Karlsruhe Institute of Technology (KIT). For this purpose, a climate and altitude test bench is developed for simulating and investigating the starting and operating performance of handheld power tools under changing ambient conditions in terms of temperature, pressure and humidity. The test bench can be used to set cell conditions ranging from arctic cold to tropical heat. Furthermore, different altitude levels can be simulated in the 6 m³ test cell.

Zusammenfassung

Im Rahmen eines durch das Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft geförderten Forschungsprojekts in Kooperation mit der MOT Forschungs- und Entwicklungsgesellschaft für Motoren-technik, Optik und Thermodynamik mbH und dem Institut für Katalyseforschung und -technologie (IKFT) am Karlsruher Institut für Technologie (KIT) befasst sich das Institut für Energieeffiziente Mobilität (IEEM) der Hochschule Karlsruhe mit der Untersuchung und Bewertung von neuartigen Biokraftstoffen für Kleinmotoren hinsichtlich ihrer

ökologischen, ökonomischen und motorischen Eignung. Hierfür wird eigens ein Klima- und Höhensimulationsprüfstand entwickelt, in dem das Start- und Betriebsverhalten von handgeführten Arbeitsgeräten bei unterschiedlichen Umgebungsbedingungen wie Temperatur, Druck und Feuchte untersucht werden soll. Mit dem Prüfstand lassen sich Geräte bei Bedingungen von arktischer Kälte bis hin zu tropischer Hitze untersuchen. Auch die Simulation verschiedener Höhenlagen ist in der 6 m³ umfassenden Prüfzelle möglich.

Autoren

Artur Martel M.Sc.

Fino Scholl M.Sc.

Dennis Weierer B.Eng.

Akademische Mitarbeiter am Institut für Energieeffiziente Mobilität (IEEM) und 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

Telefon: 0721 925-1845



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



Experimentelle Untersuchungen zur laminar-turbulenten Bypass-Transition

Holger Albiez, Christoph Gramespacher und Matthias Stripf

Einführung und Zielsetzung

Der Wärmeübergang und die strömungsmechanischen Verluste von durch- und umströmten Bauteilen hängen maßgeblich vom Zustand der Grenzschicht ab. Die in Abbildung 1 beispielhaft dargestellte Grenzschicht einer Gasturbinenschaufel kann in einen laminaren, einen prätransitionalen, einen transitionalen und einen vollturbulenten Bereich unterteilt werden.

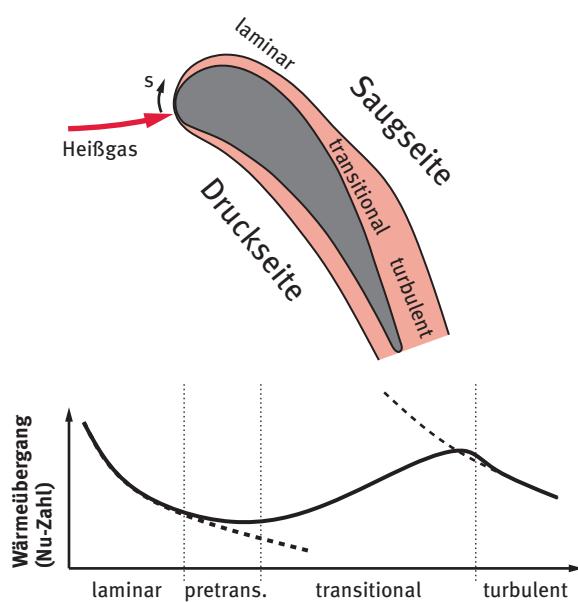


Abb. 1: Grenzschicht einer umströmten Gasturbinenschaufel

Der Einfluss des Grenzschichtzustands auf den lokalen Wärmeübergangskoeffizienten ist im darunterliegenden Diagramm dargestellt. Im Staupunktbereich ist die Grenzschicht noch sehr dünn und der Wärmeübergang maximal. Mit steigender, laminarer Grenzschichtdicke fällt der Wärmeübergang auf ein niedriges Niveau ab. Im prätransitionalen Bereich ist die Grenzschichtströmung weiterhin laminar, es bilden sich jedoch bereits von der Außenturbulenz induzierte Fluktuationen darin. Im transitionalen Bereich steigt der Wärmeübergangskoeffizient an, bis er das vollständig turbulente Niveau erreicht. Der Gesamtwärmeeintrag in eine Turbinenschaufel ist somit maßgeblich von der Startstelle der Transition und deren Verlauf abhängig.

Die Vorhersage des Transitionsverlaufs und dessen Startstelle von dreidimensionalen Grenzschichten

ist mit modernen CFD-Berechnungstools bisher nur mit einer hohen Unsicherheit möglich. Viele Korrelationen beruhen auf integralen Größen wie der Grenzschichtdicke, auf die in universellen 3D-Strömungsberechnungsprogrammen nicht zurückgegriffen werden kann. Zudem finden Einflussgrößen wie die turbulenten Längenmaße oder die Oberflächenbeschaffenheit bisher keine Berücksichtigung, da für die Modellierung hierfür kaum ausreichend dokumentierte Messdaten zur Verfügung stehen. Im Rahmen von Forschungsprojekten der Hochschule Karlsruhe soll diese Lücke durch detaillierte Messungen im neu entwickelten Thermowindkanal geschlossen werden.

Versuchseinrichtung

Der neue Thermowindkanal (TWINKA – Thermal Windtunnel Karlsruhe) besteht aus einem mehrstufigen Gebläse, welches einen Volumenstrom von bis zu 3 kg/s bei einem Druckverhältnis von 1,6 liefert (s. Abb. 2). Nach dem Gebläse durchströmt die Luft eine Beruhigungsstrecke und tritt anschließend über eine Düse in den ebenfalls neu entwickelten Turbulenzgenerator ein. Dort werden Turbulenzwirbel mit definierter Energie und Größe erzeugt. Durch diese Neuentwicklung ist es erstmals möglich, Energieinhalt und Längenmaß unabhängig voneinander zu variieren. Die darauffolgende Messstrecke besteht aus einer ebenen Messplatte mit konturierten Seitenwänden. Die Seitenwand wurde so ausgelegt, dass die Geschwindigkeitsverteilung an der Messplatte der einer Turbinenschaufel nachempfunden ist. Nach der Messstrecke wird die Luft durch einen Rückkühler wieder zurück zum Gebläse geleitet.

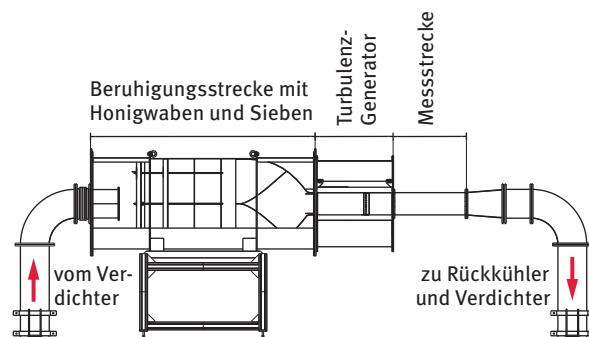


Abb. 2: Thermowindkanal der Hochschule Karlsruhe

Der Kanal ist mit modernster Messtechnik wie Konstant-Temperatur- und Laser-Doppler-Anemometer, einer hochauflösenden Infrarotkamera sowie mehreren pneumatischen Sonden ausgestattet. Durch die installierte Messtechnik können die Randbedingungen für die Testfälle vollständig bestimmt werden.

Turbulenzgenerator für variable Turbulenzintensitäten und Längenmaße

In vorangegangenen Untersuchungen wurden meist Turbulenzgitter eingesetzt, durch die sich eine turbulente Strömung erzeugen lässt. Durch verschiedene Gitter und unterschiedliche Positionierung konnte die Turbulenzintensität als auch die turbulenten Längenmaße variiert werden. Eine Variation beider Größen unabhängig voneinander war bisher nicht möglich.

Mit dem an der Hochschule neu entwickelten Turbulenzgenerator wird dies erstmals möglich. Das Gitter des Turbulenzgenerators besteht aus vier senkrechten und zehn waagrechten, rotatorisch gelagerten Metallstreifen, die über Schrittmotoren gegen die Strömung angestellt werden können. Das gesamte Gitter kann zusätzlich in Hauptströmungsrichtung verschoben werden. Durch die Kombination beider Bewegungen können die beiden relevanten Kenngrößen stufenlos und unabhängig voneinander eingestellt werden. In Abbildung 3 ist das Turbulenzgitter für die beiden Extremstellungen mit minimaler (A) und maximaler Turbulenzintensität (B) dargestellt.

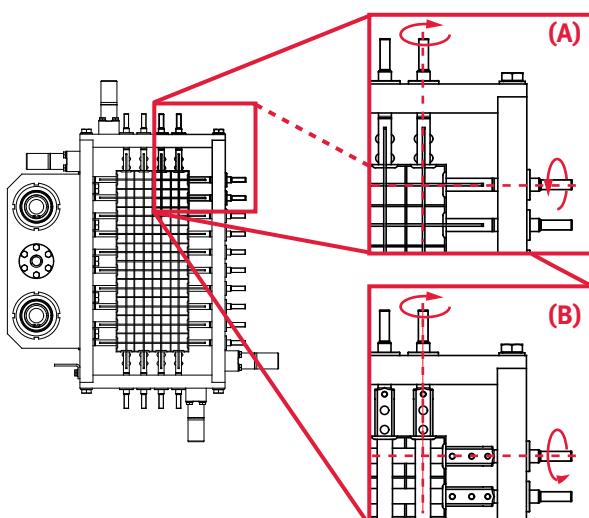


Abb. 3: Turbulenzgitter für minimale (A) und für maximale (B) Turbulenzintensitäten

Für niedrige Turbulenzen wird durch ein zweites, nicht anstellbares Gitter eine homogene Anströmung sichergestellt. Für große Turbulenzintensitäten hat dieses Gitter keinen bedeutenden Einfluss auf die Anströmung. Abbildung 4 zeigt den Turbulenzgenerator mit

Anbindung an die Messstrecke. Zusätzlich ist eine traversierbare Hitzdrahtsonde dargestellt. Die Sonde ist so gelagert, dass im Mittelschnitt der Messplatte Geschwindigkeits- und Turbulenzprofile in Strömungsrichtung und senkrecht dazu aufgenommen werden können.

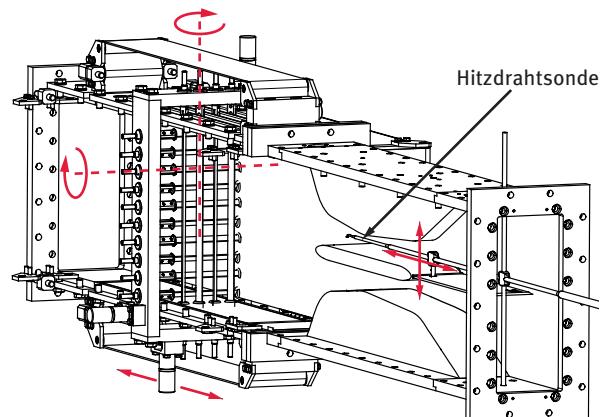


Abb. 4: Turbulenzgenerator mit angeschlossener Messstrecke und traversierbarer Hitzdrahtsonde

Messtechnik zur Bestimmung des laminar-turbulenten Übergangs

Zur Bestimmung der konvektiven Wärmeübergangsverteilung dient eine Messplatte, die über 23 Kühlbohrungen mit Wasser gekühlt wird. Für jede der Kühlbohrungen werden Ein- und Austrittstemperaturen sowie der jeweilige Massenstrom ermittelt. Mit Korrelationen für turbulente Rohrströmungen lässt sich hieraus der Wärmeübergang in jeder Kühlbohrung bestimmen. Weiterhin wird über 79 Thermoelemente, die in die Oberfläche der Messplatte eingebettet sind, das Temperaturfeld entlang der Plattenoberfläche bestimmt.

Zusammen mit der Temperatur der Freiströmung als Referenztemperatur kann über ein Finite-Elemente-Modell der Verlauf des Wärmeübergangskoeffizienten ermittelt werden. Abbildung 5 zeigt den Aufbau der Wärmeübergangsmessplatte. Die Oberfläche der Platte wird mit einer zusätzlichen Metallfolie mit glatter oder rauer Oberfläche beklebt. Die Rauheit der Folie wird über ein Ätzverfahren hergestellt, mit der sich eine definierte Rauheit erzeugen lässt. Hierdurch lassen sich sowohl die Größe und Form der einzelnen Rauheitselemente als auch deren Verteilung über die Oberfläche vorgeben.

Ergebnisse

Mit dem Prüfstand und der dazugehörigen Messtechnik lässt sich eine breite Datenbasis schaffen, mit der die Einflussgrößen auf die Transition untersucht werden können. Abbildung 6 zeigt hierfür beispielhaft den Einfluss der Reynoldszahl und der Freistromturbulenz auf die Transition.

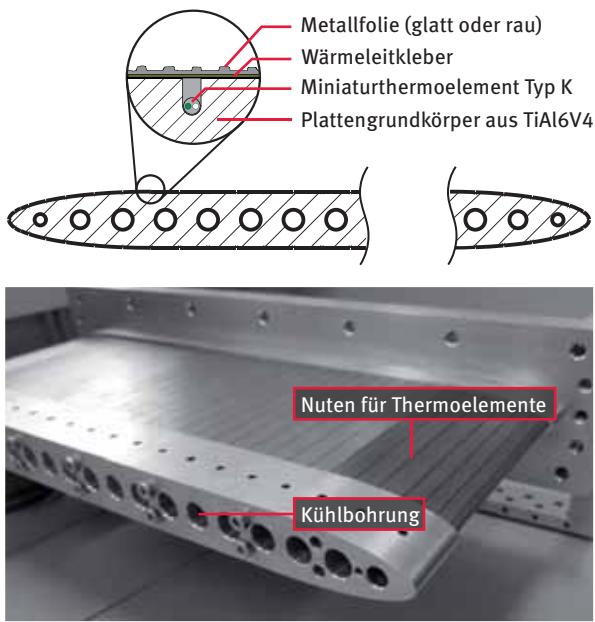


Abb. 5: Wärmeübergangsmessplatte

Es wird deutlich, dass die Startstelle des laminar-turbulenten Übergangs mit zunehmender Turbulenzintensität stromaufwärts in Richtung Staupunkt wandert. Der mittlere Wärmeübergang an der Oberfläche nimmt damit stark zu.

Modellentwicklung

Im Bereich der Turbomaschinen wird der laminar-turbulente Übergang durch eine Anregung der laminaren Grenzschicht durch die turbulente Außenströmung hervorgerufen. Diese im prätransitionalen Bereich induzierten Fluktuationen können mithilfe eines durch die Autoren weiterentwickelten Modells auf Grundlage von [4] mit guter Genauigkeit vorhergesagt werden. Bis heute ist es jedoch nicht möglich vorherzusagen, an welcher Stelle die laminaren Fluktuationen aufbrechen und sogenannte Turbulenzflecken ausbilden. Erst ab dieser Stelle ist ein merklicher Anstieg des Wärmeübergangs zu beobachten.

Aus diesem Grund ist es ein primäres Ziel der Modellentwicklung herauszufinden, unter welchen Voraussetzungen die Turbulenzflecken entstehen (s. Abb. 7).

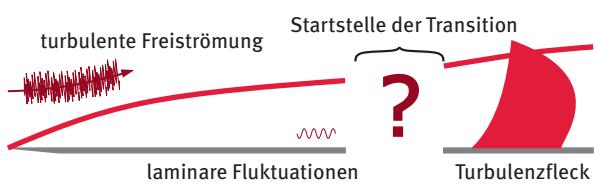


Abb. 7: Modellansatz zur Modellierung transitionaler Grenzschichtströmung

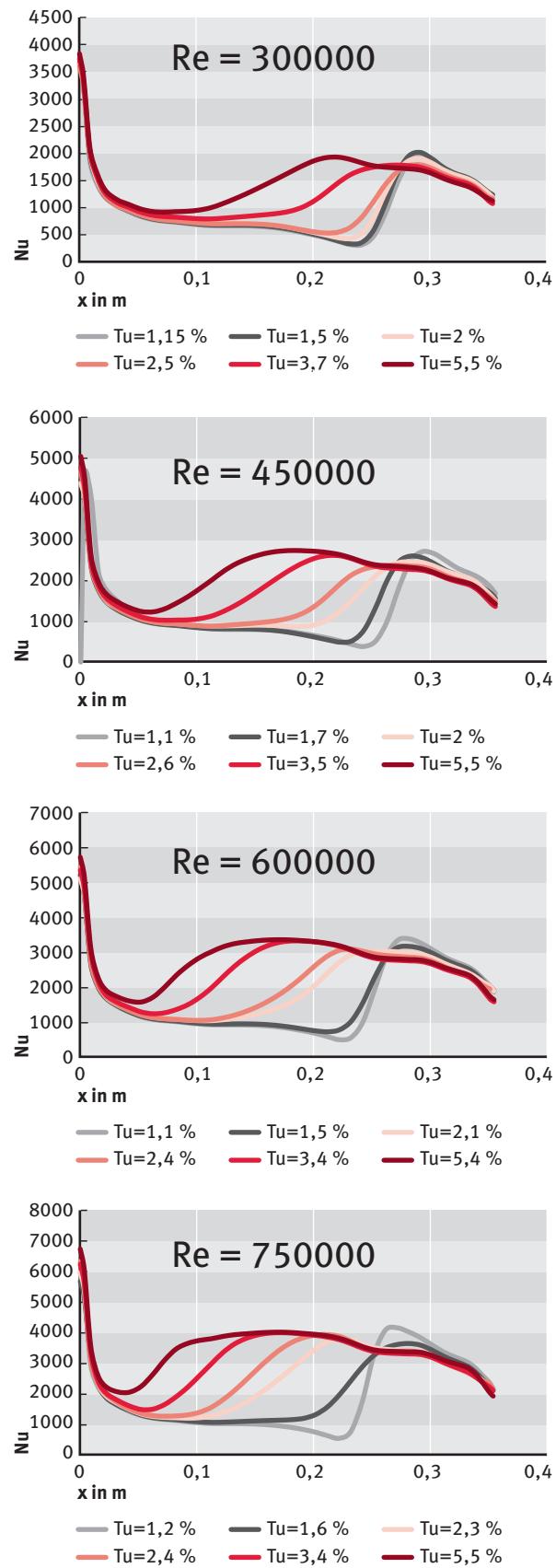
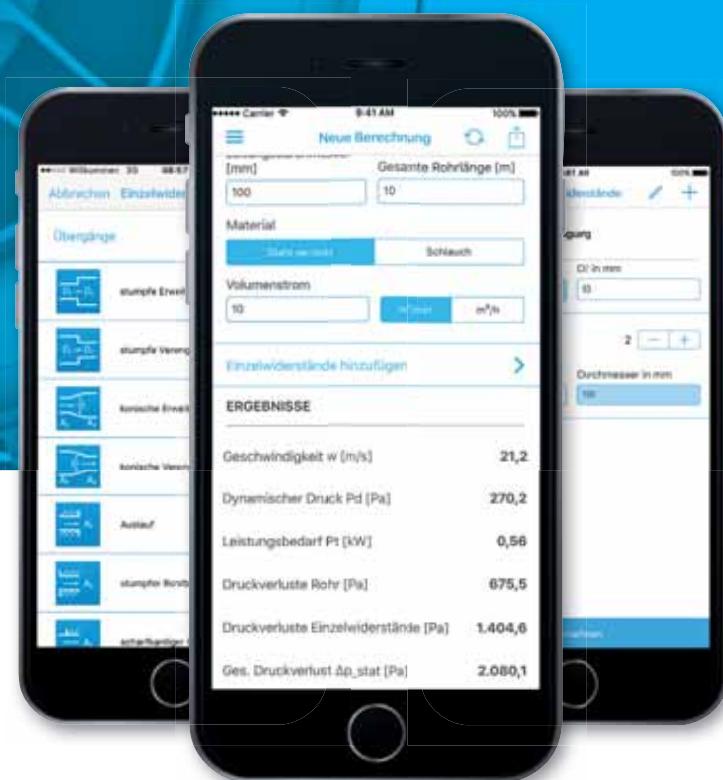


Abb. 6: Gemessene Wärmeübergangsverteilungen (Nusseltzahlen)

LUFT BERECHNEN?

Mit Smart Air ganz einfach!



Die intelligente App für die schnelle und einfache Berechnung lufttechnischer Kennzahlen in einer Anlage.

Es können in einem Rohrsystem Druckverluste, Luftgeschwindigkeit und Leistungsbedarf einfach ermittelt werden. Nach der Eingabe von Leitungsdurchmesser/ Quadratseite und Rohrlänge, kann die Berechnung durch die Angabe des Materials und des gewünschten Volumenstroms angestoßen werden.

Auch Einzelwiderstände, die Einfluss auf die Luftströmung in Rohren haben, können ausgewählt werden. Dazu zählen Formstücke (Rohr-, Segment- und Rechteckbögen) und Übergänge (Erweiterungen, Verengungen, Auslauf, Rohrbeginn und T-Stücke).

Die App funktioniert auch offline und alle Berechnungen können gespeichert und per E-Mail versendet werden.

Jetzt kostenlos downloaden!



Wir sind immer auf der Suche nach Verstärkung! JETZT BEWERBEN!

Erste Anzeichen deuten darauf hin, dass nicht, wie bisher angenommen, die Intensität der Turbulenzbewegung in der Außenströmung hierfür verantwortlich ist, sondern die Größenverteilung der Wirbel. Wie Abbildung 8 zeigt, dringen die Wirbel nur in einem kleinen Bereich der turbulenten Längenmaße (Wirbelgrößen) tief in die Grenzschicht ein und bewirken dort ein Aufbrechen der laminaren Fluktuationen [2, 3].

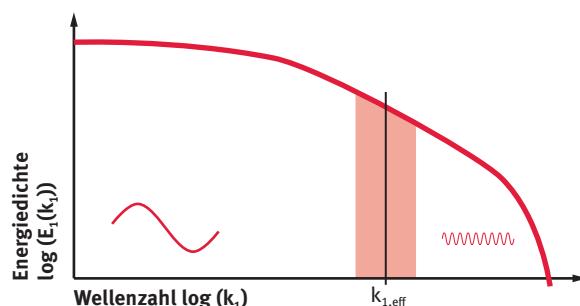


Abb. 8: Energiespektrum mit effektiver Wellenzahl

Die im Rahmen dieser Forschungsarbeit erzielten Messergebnisse enthalten erstmals alle Daten, wie die Reynoldsspannungen in der Außenströmung entlang der Platte sowie die zugehörigen Wärmeübergangsverteilungen, sodass die bisher auf rein theoretischen Überlegungen basierenden Theorien überprüft und in Modelle umgewandelt werden können.

Literatur

- [1] R. Mayle, *The Role of Laminar-Turbulent Transition in Gas Turbine Engines*, 1991, ASME.
- [2] K. Dullenkopf, R. E. Mayle, *An Account of Free-Stream-Turbulence Length Scale on Laminar Heat Transfer in Gas Turbines*, 1995, ASME Journal of Turbomachinery, Bd. 116, S. 401-406.
- [3] R. E. Mayle, K. Dullenkopf, A. Schulz, *The Turbulence that Matters*, 1998, ASME, Journal of Turbomachinery, Bd. 120, S. 402-409.
- [4] R. Mayle, *Elements of Transition Boundary-Layer Flow*, 2015, Logos Verlag Berlin GmbH, Berlin.

Abstract

The prediction of laminar-to-turbulent boundary layer transition is one of the key unsolved problems of fluid dynamics engineering. A newly developed wind tunnel at the University of Applied Sciences in Karlsruhe, now gives detailed insights into transitional boundary layer flows. It provides the missing data required to develop precise models for the prediction of laminar-to-turbulent transition in a variety of flows on smooth and rough surfaces under the influence of a turbulent freestream flow.

Zusammenfassung

Die Vorhersage des laminar-turbulenten Umsturzs einer Grenzschichtströmung ist selbst mit modernen Auslegungstools bisher nur mit unzureichender Genauigkeit möglich. Durch den an der Hochschule Karlsruhe neu entwickelten Thermowindkanal wird es nun erstmals möglich, den Einfluss der turbulenten Längenmaße auf die laminar-turbulente Transition experimentell zu bestimmen. Die somit gewonnene Datenbasis dient der Entwicklung neuer Transitionsmodelle unter

Berücksichtigung der turbulenten Längenmaße und der Oberflächenbeschaffenheit.

Autoren

Holger Albiez M.Sc.
Christoph Gramespacher M.Sc.
 Akademische Mitarbeiter an der Fakultät für Maschinenbau und Mechatronik
 der Hochschule Karlsruhe
Prof. Dr.-Ing. Matthias Stripf
 Professor an der Fakultät für Maschinenbau und Mechatronik
 der Hochschule Karlsruhe

Kontakt

Prof. Dr.-Ing. Matthias Stripf
 Hochschule Karlsruhe – Technik und Wirtschaft
 Fakultät für Maschinenbau und Mechatronik
 Institut für Kälte-, Klimate- und Umwelttechnik (IKKU)
 Moltkestraße 30
 76133 Karlsruhe
 E-Mail: matthias.stripf@hs-karlsruhe.de
 Telefon: 0721 925-1919

Direkte Numerische Simulation einer inkompressiblen turbulenten Kanalströmung mit Rauheitselementen und gekoppeltem Wärmeübergang

Florian Theobald und Matthias Stripf

Einführung und Zielsetzung

Eine Schwachstelle heutiger Strömungsberechnungsverfahren (CFD) ist die unzureichende Berücksichtigung der Oberflächenrauheit, die bei realen Bauteilen durch Herstellungsverfahren oder Beanspruchung im Betrieb fast immer vorhanden ist. Die Rauheit hat einen großen Einfluss auf den Wärme- und Impuls austausch sowie auf die laminar-turbulente Transition in der Strömungsgrenzschicht und muss heute durch entsprechend große Unsicherheitsfaktoren berücksichtigt werden. Fluidmechanische Grenzen und Effizienzpotenziale können damit nicht ausgenutzt werden.

Voraussetzung für die Entwicklung neuer Berechnungsverfahren ist ein besseres Verständnis des überlagerten Einflusses von Rauheit, Turbulenz und Druckgradient. Hierzu werden neben Messungen entlang einer ebenen Platte unter Variation der Einflussgrößen auch Direkte Numerische Simulationen (DNS) durchgeführt. Diese geben einen detaillierten Einblick in die Vorgänge, die in der Strömungsgrenzschicht an einer rauen Oberfläche ablaufen.

Bei einer DNS wird die Strömung durch direktes numerisches Lösen der Navier-Stokes-Gleichungen simuliert. Die Gleichungen beschreiben die Strömung exakt, wenn die Skalen der turbulenten Bewegung wesentlich größer sind als die molekularen Skalen des Fluids. Weiterhin muss beim numerischen Lösen der Gleichungen das Rechengitter feiner sein als die kleinsten turbulenten Wirbel. Unter diesen Bedingungen kann vollständig auf Turbulenzmodelle verzichtet und die damit zusammenhängenden Ungenauigkeiten vermieden werden. Der damit verbundene Rechenaufwand ist jedoch immens, sodass für die Praxis relevante Strömungen auch auf den schnellsten Supercomputern nicht in einer zufriedenstellenden Zeit berechnet werden können.

Ziel dieser Arbeit ist die exakte Simulation von Strömungen an rauen Wänden einfacher Geometrie mit Wärmeübergang, um daraus in der Praxis anwendbare Modelle mit verbesserter Genauigkeit zu entwickeln.

Simulationsaufbau

Die direkte numerische Simulation einer turbulenten Grenzschicht erfordert nicht nur eine sehr große Rechenleistung, sondern auch die Vorgabe der detaillierten Turbulenzstruktur am Eintritt in das Rechengebiet. Diese ist jedoch in der Regel nicht bekannt. Dagegen lässt sich die Simulation einer ausgebildeten Kanalströmung (s. Abb. 1) mit wesentlich weniger Rechenaufwand durchführen. Weiterhin entfällt die Schwierigkeit der Vorgabe einer Einlassrandbedingung, da diese bei der Kanalströmung durch die in Strömungsrichtung periodischen Randbedingungen automatisch erzeugt wird. Die so generierten turbulenten Strukturen am Einlass sind realistisch, wenn die Größe des simulierten Kanals ausreichend groß ist. Dies ist dann der Fall, wenn kein Zusammenhang zwischen der Strömung in der Nähe des Einlasses und der halben Kanallänge bzw. -breite mehr besteht. Durch eine Zweipunktcorrelation des Zeitsignals an den entsprechenden Stellen kann diese Voraussetzung leicht überprüft werden. Im wandnahen Bereich, auf dem in diesem Projekt der Fokus liegt, können die Ergebnisse aus der Simulation der Kanalströmung gut auf die turbulente Grenzschicht übertragen werden (s. Daten von [1] für die Kanalströmung und [2] für die Grenzschichtströmung).

Um den Einfluss der Rauheit auf den Wärmeübergang untersuchen zu können, wird das Fluidegebiet um ein Festkörpergebiet erweitert, wie Abbildung 1 zeigt.

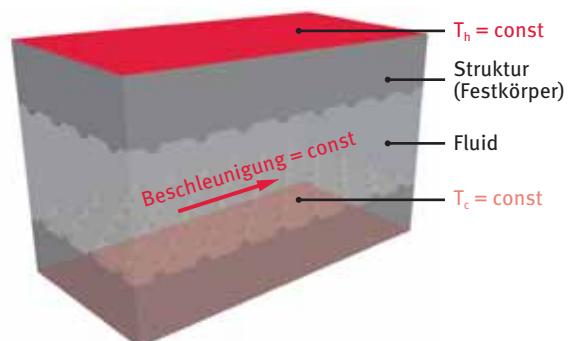


Abb. 1: Skizze der Kanalströmung mit Rauheitselementen

Für die Kanalströmung werden typischerweise periodische Randbedingungen in Strömungsrichtung

(x-Richtung) und Spannweitenrichtung (z-Richtung) für die Geschwindigkeit, Druck und Temperatur vorgegeben. An der Schnittstelle zwischen Fluid und Festkörper wird die Haftbedingung für die Geschwindigkeit verwendet. Der Druckgradient wird hierbei mit Null angegeben. Die Temperatur wird an den äußeren oberen und unteren Wänden festgehalten, sodass sich im Fluid eine bestimmte Temperaturdifferenz einstellt. Die Temperaturreibungsbedingung an der Schnittstelle koppelt das Temperaturfeld von Fluid und Festkörper, sodass die Wärmeströme und die Temperaturen auf beiden Seiten gleich sind. Ohne weitere Anpassungen würde die Strömung durch andauernden Impulsverlust zum Erliegen kommen. Um dem zeitlich gemittelten Verlust entgegenzuwirken wird ein Quellterm zur Impulsgleichung hinzugefügt. Dieser hat den gleichen Effekt wie der Gravitationsterm bei Simulationen mit Erdschwereeinfluss. Um die späteren Ergebnisse zwischen verschiedenen Rauheiten und Literaturdaten vergleichen zu können, werden alle Größen mit der Wandschubspannung entdimensioniert. Der Quellterm stellt dabei in allen Simulationen die gleiche Wandschubspannung ein. Die Reynoldszahl im Kanal passt sich dementsprechend an und ist umso geringer, je mehr Strömungsverluste auftreten.

Die Rauheitsgeometrie wird nach [3] gewählt und ist in Abbildung 1 erkennbar. Die Höhe der Rauheitselemente entspricht der Höhe, wie sie auch bei Gasturbine nenschaufeln typisch ist. Um die Phänomene an den einzelnen Elementen untersuchen zu können, sind zwecks statistischer Aussagekraft alle Rauheitselemente identisch.

Numerik

Die Simulation wird mit dem Open Source CFD Tool OpenFOAM durchgeführt. Die Diskretisierung erfolgt dabei mit dem Finite-Volumen-Verfahren. Für die zeitliche Diskretisierung kommt ein implizites Verfahren zweiter Ordnung zum Einsatz. Im Ort wird ebenfalls ein Verfahren zweiter Ordnung verwendet, welches keine numerische Diffusion erzeugt. Aufgrund des hohen Rechenaufwands wurde die Simulation auf dem Landeshochleistungsrechner ForHLR I, gefördert vom Ministerium für Wissenschaft, Forschung und Kunst Baden-Württemberg (MWK) und der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG) durchgeführt.

Ergebnisse

Die direkte Lösung der Navier-Stokes-Gleichungen liefert momentane Felder für Geschwindigkeit, Druck und Temperatur (s. Abb. 2 und Abb. 3, links).

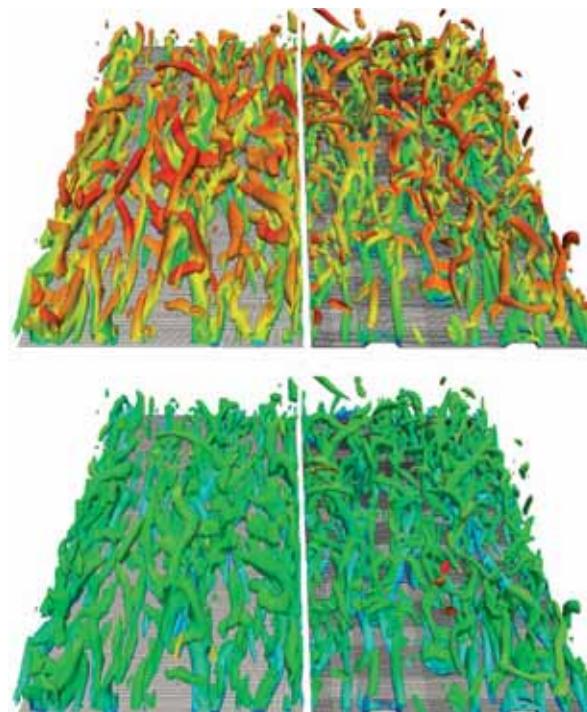


Abb. 2: Darstellung von kohärenten Strukturen mithilfe von Isoflächen des Q-Kriteriums in verschiedenen Einfärbungen (oben Temperatur, unten Geschwindigkeit): glatte Wände links, rau Wände rechts

Diese geben einen qualitativen Einblick in die Phänomenologie der turbulenten Strömung. Die dargestellten Strukturen in Abbildung 2 stellen Flächen mit konstantem Wert für das Skalarfeld Q dar. Dieses Feld berechnet sich aus Geschwindigkeitsgradienten und identifiziert kohärente Strukturen als die Gebiete, in denen die Rotation größer ist als die Scherung des Fluids. Die Strukturen deuten darauf hin, dass die wandnahen turbulenten Strukturen bei der rauen Wand (s. Abb. 2, rechts) kleiner und feingliedriger sind als die bei der glatten Wand (s. Abb. 2, links). Weiterhin ist die Anisotropie der Strukturen bei der rauen Wand geringer ausgeprägt. Bei der rauen Wand fällt auf, dass die vordere Halbseite eines jeden Rauheitselements zu jeder Zeit von turbulenten Strukturen überzogen ist. Daraus lässt sich schließen, dass die Rauheit in hohem Maße permanent die Turbulenz anfacht.

Obwohl die Visualisierung des Momentanzustands interessante Einblicke in die Struktur der turbulenten Strömung ermöglicht, haben sie für eine spätere Modellentwicklung eine eher geringe statistische Aussagekraft. Aus diesem Grund werden die Felder über eine ausreichend große Anzahl von Zeitschritten gemittelt (s. Abb. 3, rechts). Da die Kanalströmung eindimensionalen Charakter hat, erfolgt weiterhin eine örtliche Mittelung in Strömungsrichtung x und Spannweitenrichtung z.

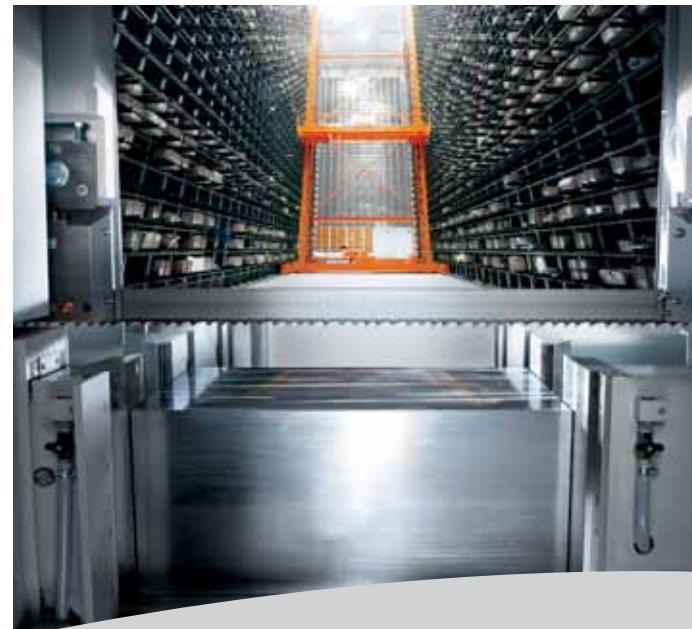
BOSCH
Technik fürs Leben

Lieber kreativ statt eingeschränkt?
Lassen Sie Ihre Ideen in einem inspirierenden Arbeitsumfeld wachsen.

www.start-a-remarkable-career.de

Willkommen bei Bosch. Hier bewegen Sie Grobes. 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.

Let's be remarkable.



Talente gesucht!

Immer am Puls der Zeit sein? Mit dem neuen Verfahren der Schallemissionsanalyse prüfen wir Druckgeräte auf Herz und Nieren. Klingt spannend? Ist es auch! Bewirb Dich jetzt für diese und andere Stellen unter: www.tuev-sued.de/industriejobs

TÜV SÜD
Industrie Service

Mehr Sicherheit.
Mehr Wert.

www.tuev-sued.de/industriejobs

TÜV SÜD Industrie Service GmbH Westendstraße 199 80686 München

Sägen. Lager. Mehr.

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

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

Sägen. Lager. Mehr. **KASTO®**

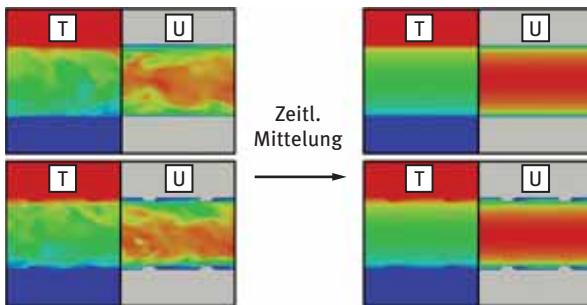


Abb. 3: Visualisierung der Simulationsergebnisse in geteilten Ansichten: Temperatur T links, Geschwindigkeit U rechts; glatte Wände oben, rau Wände unten; Momentanzustand links, quasi-stationärer Zustand rechts

Die Strömungsgrößen können dann auf eine Funktion des Wandabstandes $f(y)$ reduziert und daraus dann einfache Turbulenzmodelle abgeleitet werden. Das Ziel der Turbulenzmodelle besteht darin, den sogenannten Reynolds-Spannungstensor zu approximieren. Dieser Tensor beschreibt den Einfluss der turbulenten Schwankungsbewegung auf das mittlere Strömungsfeld und beinhaltet allgemein sechs verschiedene Komponenten. Bei der vorliegenden Strömungskonfiguration sind zwei davon gleich Null. Die verbleibenden relevanten Komponenten sind in Abbildung 4 für die glatte und raue Wand dargestellt.

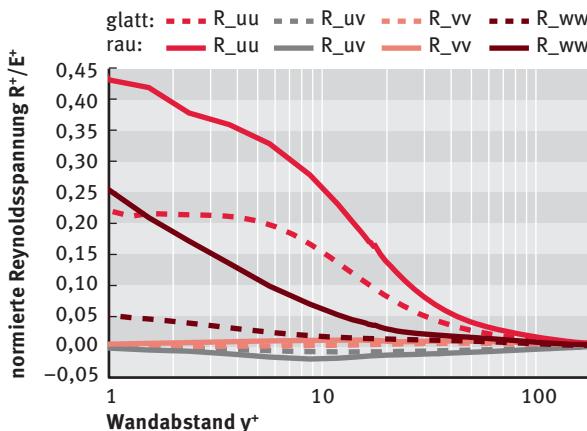


Abb. 4: Die mit der gesamten kinetischen Energie E^+ normierten Reynolds-Spannungen R^+ . Das hochgestellte + kennzeichnet mit der Wandschubspannung und Viskosität entdimensionierte Größen. Die Rauheitshöhe entspricht $y^+ = 18$

Daraus geht hervor, dass die hier behandelte Rauheit einen großen Einfluss auf die Reynolds-Normalspannungen in Strömungsrichtung R_{uu} und Spannweitenrichtung R_{ww} hat. Die Normalkomponente in wandnormaler Richtung R_{vv} sowie die Scherspannung R_{uv} zeigen nur geringe Unterschiede zwischen der glatten und der rauen Wand. Bei der glatten Wand dominiert R_{uu} stark. Bei der rauen ist diese Spannung immer noch dominierend, allerdings ist hier auch R_{ww} stark ausgeprägt. Die Turbulenzstruktur verliert somit an

Anisotropie, was auch qualitativ aus Abbildung 2 hervorgeht. Die in dieser Arbeit behandelten Rauheitselemente haben einen großen Abstand zueinander, sodass die Oberfläche nur spärlich mit Rauheit besetzt ist. Bei einer dichten Rauheitsverteilung ist deshalb von einer noch höheren Isotropie der Turbulenz in der Nähe der Rauheitselemente auszugehen.

Für die Temperaturgleichung ist der Vektor der sogenannten turbulenten Wärmeströme zu modellieren. Die einzelnen Komponenten verlaufen analog zu ausgewählten Komponenten des Reynolds-Spannungstensors und sind deshalb hier nicht dargestellt.

In Abbildung 5 sind die Profile für die mittleren dimensionslosen Geschwindigkeiten und Temperaturen dargestellt.

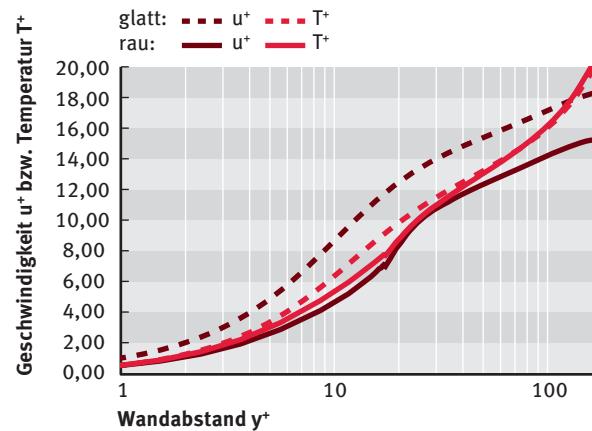


Abb. 5: Dimensionslose Geschwindigkeits- und Temperaturprofile

Die Differenz zwischen der glatten und der rauen Wand bei dem Geschwindigkeitsprofil deckt sich sehr gut mit bereits aus der Literatur bekannten Korrelationen. Für die hier verwendeten Dirichlet-Randbedingungen für die Temperatur können die ebenfalls in der Literatur angegebenen Korrelationen, die sich im Wesentlichen auf die Prandtl-Zahl beziehen, nicht verwendet werden. Aus der Grafik geht hervor, dass sich die Temperatur an der Wand und in der wandfernen Strömung bei der rauen Wand nicht von der glatten Wand unterscheidet. Lediglich im Bereich der Rauheitselemente ergeben sich Unterschiede. Bei den bisher vorhandenen Korrelationen wird von einer Analogie zwischen Temperatur und Geschwindigkeit ausgegangen. Diese Analogie besteht allerdings nur für den Sonderfall der glatten Wand. Hierbei verhalten sich die Differentiale für Geschwindigkeit und Temperatur gleich. Bei der rauen Wand macht sich der nur in der Geschwindigkeitsgleichung vorhandene Druckterm bemerkbar. Für die Temperaturgleichung ändert sich

durch die Rauheitselemente das maßgebende Lösungsgebiet. Somit folgt, dass für die Temperatur eine von der Geschwindigkeit weitgehend unabhängige Korrelation entwickelt werden sollte, die neben der Prandtl-Zahl auch die Wärmeleitfähigkeit der Rauheitselemente miteinbezieht.

Ausblick

In diesem Projekt wurde ein detaillierter Vergleich zwischen der Strömung über glatte Wände und einer beispielhaft rauen Wand angestellt. Daraus geht ein großer Einfluss der Rauheit auf die wandnahe Strömung hervor.

In zukünftigen Arbeiten werden weitere Rauheitstopologien simuliert, um einen umfassenden Datensatz zu

erhalten. Zusammen mit Windkanalversuchen werden daraus dann Rauheitsmodelle entwickelt, die den Einfluss auf die turbulente Grenzschicht mit angemessener Genauigkeit bei minimaler Rechenzeit wiedergeben können.

Literatur

- [1] Kawamura Lab[®]: <http://www.rs.tus.ac.jp/~t2lab/db/index.html>, Abruf: 04. 10. 2017.
- [2] P. Schlatter, R. Örlü: <https://www.mech.kth.se/~pschlatt/DATA>, Abruf: 04. 10. 2017.
- [3] M. Stripf, *Einfluss der Oberflächenrauigkeit auf die transitionale Grenzschicht an Gasturbinenschaufern*, 2007, Universität Karlsruhe, Dissertation.

Abstract

Surface roughness has a crucial impact on the efficiency of turbomachinery. Therefore, flow and heat transfer in near-wall flow are investigated using a highly detailed simulation technique. The rough wall simulation results indicate considerable roughness effects despite the rather low roughness density considered in this investigation. As a result, turbulence production and dissipation in the roughness region is increased. Above the roughness elements the statistics converge towards the smooth wall case. In comparison to the smooth wall the rough wall case shows less anisotropy in turbulence structure.

Zusammenfassung

Die Oberflächenrauheit hat einen entscheidenden Einfluss auf den Wirkungsgrad von Strömungsmaschinen. In diesem Projekt werden aus diesem Grund die wandnahe Strömung und der Wärmeübergang mittels einer sehr detaillierten Simulationsmethode untersucht. Die Simulationsergebnisse der rauen Wand zeigen erhebliche Rauheitseinflüsse, obwohl die Rauheit relativ schwach ausgeprägt ist. Somit folgen höhere Werte für

Turbulenzproduktion und Dissipation im Bereich der Rauheitselemente. Oberhalb der Rauheitselemente nähern sich die Ergebnisse denen der glatten Wand an. Im Vergleich zur glatten Wand ist die Turbulenzstruktur bei der rauen Wand weniger anisotrop.

Autoren

Florian Theobald M.Sc.

Akademischer Mitarbeiter an der Fakultät für Maschinenbau und Mechatronik der Hochschule Karlsruhe

Prof. Dr.-Ing. Matthias Stripf

Professor an der Fakultät für Maschinenbau und Mechatronik der Hochschule Karlsruhe

Kontakt

Prof. Dr.-Ing. Matthias Stripf

Hochschule Karlsruhe – Technik und Wirtschaft

Fakultät für Maschinenbau und Mechatronik

Institut für Kälte-, Klimate- und Umwelttechnik (IKKU)

Moltkestraße 30

76133 Karlsruhe

E-Mail: matthias.stripf@hs-karlsruhe.de

Telefon: 0721 925-1919

Numerical studies of crystal lattice rotation and pile-up patterns during nanoindentation of tungsten single crystals

Tillmann Volz, Jin Wang, Ruth Schwaiger and Sabine M. Weygand

Introduction

Tungsten and tungsten based alloys are currently the most promising materials for plasma facing components in future nuclear fusion reactors [1, 2]. The combination of a high melting point, high creep resistance, high temperature strength, good thermal conductivity, low vapor pressure and good erosion properties makes these alloys particularly well-suited to withstand high heat flux and embrittlement due to neutron irradiation [1]. However, the material's brittleness at room temperature and its characteristic brittle-to-ductile transition (BDT) above room temperature, which is typical of body-centered cubic (bcc) metals, are the main disadvantages for its application, even more so because the BDT temperature varies depending on the microstructure, loading conditions and on the strain-rate [3]. Before tungsten can be applied as a structural material, comprehensive studies on the material's plastic deformation behavior are essential. Nanoindentation is a well-established method for the investigation of material properties at the microscale such as elastic modulus, hardness, strain hardening exponent, viscoelastic properties and fracture toughness [4]. Compared to macroscopic indentation tests, in a nanoindentation experiment, the indentation depth and indenter load are in the range of nanometers and millinewtons, respectively. Numerical simulations of nanoindentation can also be performed and compared to the experimental curves. Material models like crystal plasticity enable the modeler to investigate the anisotropy of single crystals, rate dependent hardening, and texture evolution below the indenter tip. Understanding of these mechanisms is important for the understanding of the link between lattice rotation, geometric necessary dislocations, strain gradients and the so called indentation size-effect. Within the "Kooperatives Promotionskolleg Gefügestrukturanalyse und Prozessbewertung" funded by the state of Baden-Württemberg nanoindentation of tungsten single crystals is investigated both experimentally and numerically. A typical imprint of a so-called Berkovich tip after unloading is shown in Figure 1. The aim of this work is to study the influence of crystal orientation on the crystal lattice rotation beneath the indenter and material pile-up at the specimen's surface. The combination of simulation and experiment will help to quantitatively describe the deformation and gain a better understanding of the deformation mechanisms.

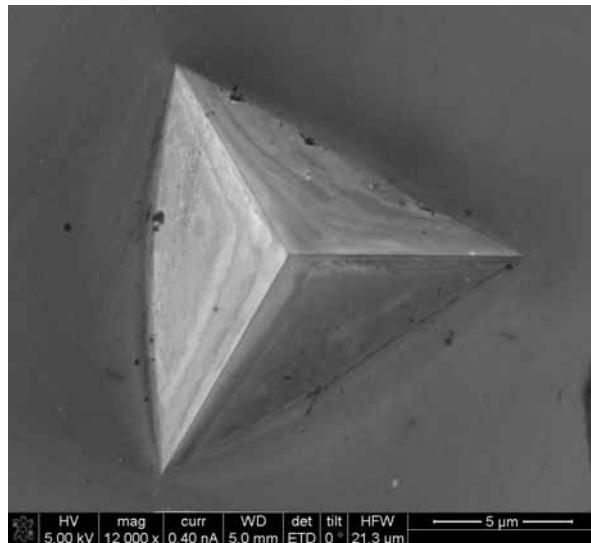


Fig 1: SEM image of a Berkovich nanoindent in a tungsten single crystal with an indentation depth of 2000 nm

Finite Element Modelling

To achieve this goal a finite element (FE)-model for nanoindentation was set up. The corresponding FE-simulation of the Berkovich indentation was performed with the commercial finite element software Abaqus. The three-dimensional model presented here consists of two parts, namely the three-sided Berkovich indenter and the cylindrical specimen with a diameter of 80 μm and a height of 35 μm. The chosen dimensions of the specimen are much larger than the indentation depth to ensure that the stress field does not reach the specimen boundaries. The geometry of the indenter shown in Figure 2 is defined by the two half angles of 77,05° and 65,3° which are the standard values for a Berkovich indenter. As the indenter's deformation is negligible compared to the deformation of the specimen, it is modelled as a non-deformable rigid surface. Furthermore, the modelled indenter is not perfectly sharp but exhibits a tip radius of 150 nm. The indenter geometry is discretized with 720 rigid four-node elements (R3D4) and 25 rigid three-node elements (R3D3). The specimen shown in Figure 2 consists of 33240 cubic eight-node elements (C3D8R) with reduced integration. The mesh is refined underneath the indenter tip and in the regions in which plasticity is expected. The dimensions of the smallest elements under the tip in the mesh are about 0,075 μm × 0,075 μm × 0,32 μm. The base of the specimen is fixed in all

directions while the lateral surface is not restricted. The rotation and lateral movement of the indenter is fixed. The contact between indenter and specimen is treated as frictionless.

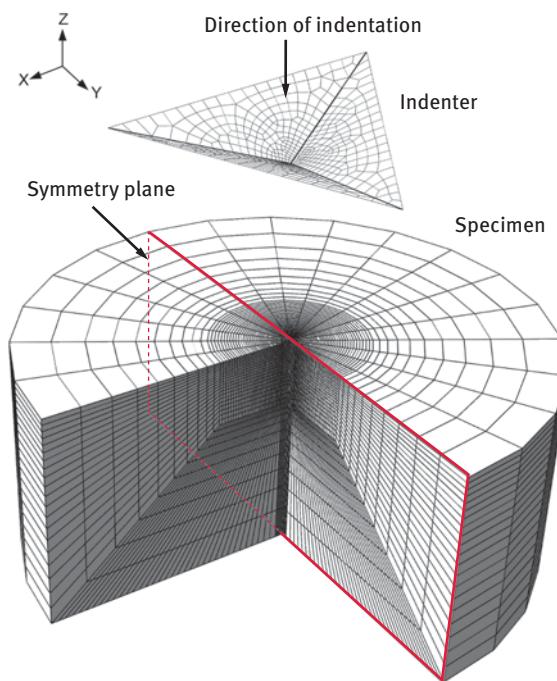


Fig. 2: Indentation model for the FE-simulations

Crystal Plasticity Constitutive Model

Plastic deformation of metal single crystals arises from dislocation movement on slip systems within the crystal lattice. Since dislocation motion is only possible on certain slip systems, defined by slip plane and slip direction, the plastic deformation behavior of single crystals is highly anisotropic. In tungsten with its body centered cubic (bcc) structure slip occurs on $\{110\}$ planes. Figure 3 shows all possible slip planes in a bcc unit cell. A slip system is activated, i.e. crystallographic slip occurs, when the resolved shear stress τ^α on slip system α , caused by an external load, exceeds a critical shear stress τ_c^α . In the rate dependent formulation of crystal plasticity by Asaro [5] the shear rate $\dot{\gamma}^\alpha$ is given by

$$\dot{\gamma}^\alpha = \dot{\gamma}_0^\alpha \operatorname{sgn}(\tau^\alpha) \left| \frac{\tau^\alpha}{\tau_c^\alpha} \right|^n \quad (1)$$

where $\dot{\gamma}_0^\alpha$ is the reference shear rate and n describes the rate sensitivity. This constitutive law is implemented in the FE code ABAQUS using a user material subroutine (UMAT) written by Huang [6]. Besides crystallographic slip, this crystal plasticity finite element method also takes full account of orientation changes during indentation. The crystallographic orientation of a crystal and its changes can be characterized in different ways, e.g. the three Euler angles or by giving a rotation axis and a rotation angle. In this work the latter was used.

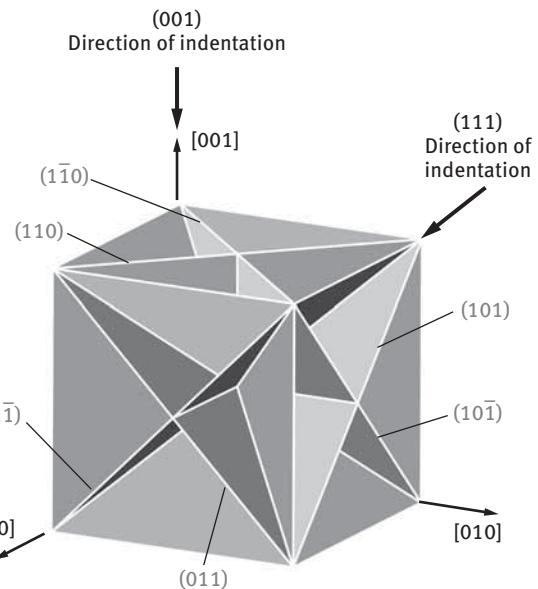


Fig. 3: $\{110\}$ slip planes in a bcc unit cell (Miller indices refer to the crystal coordinate system)

Results and Discussion

The presented model was applied to simulate indentation to a depth of 2000 nm into two differently orientated single crystals, namely the (001) and the (111) orientation. Here, the given Miller indices refer to the surface plane which is normal to the direction of indentation. At first all material points of the single crystal have the same orientation. With increasing indentation depth, the volume elements beneath the indenter deviate from their orientation. This change in crystallographic orientation is characterized by rotation axis and rotation angle. The lattice rotation angles were calculated for each element of the symmetry plane highlighted in figure 2. The rotation axis corresponds to the symmetry plane normal which, in case of the (001) orientated single crystal, is the $[010]$ direction and for (111) orientation the $[\bar{1}10]$ direction.

Figure 4 and Figure 5 show the calculated orientation angles for both orientations in the symmetry plane after unloading. In both orientations, the crystal lattice rotation occurs near the indented surface. The rotation field can be divided into two areas, 1 and 2, separated by the white vertical line \overline{AB} . In area 1, the lattice rotates clockwise, and counterclockwise in area 2, while the rotation angle is zero between the rotation fields. A comparison shows that in the (001) orientation, the maximum negative angle around the X-axis is about 20° and just 12° for the (111) orientation. The maximum positive rotation for both orientations is about 20° . However, the zone in which lattice rotation occurs is larger in the (111) orientation than in the (001) orientation. The expansion in Z direction in the (111) orientation is almost two times larger than in the (010) orientation.

tation. Therefore, it is not unlikely that the orientation of the single crystal also affects the surface patterns.

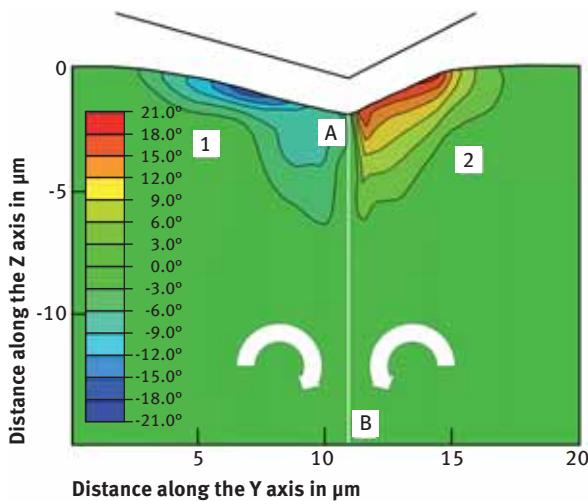


Fig. 4: Computed lattice rotation angle around the [100] direction (X axis) plotted for the (100) symmetry plane for a (001) orientated single crystal after indentation of 2000 nm

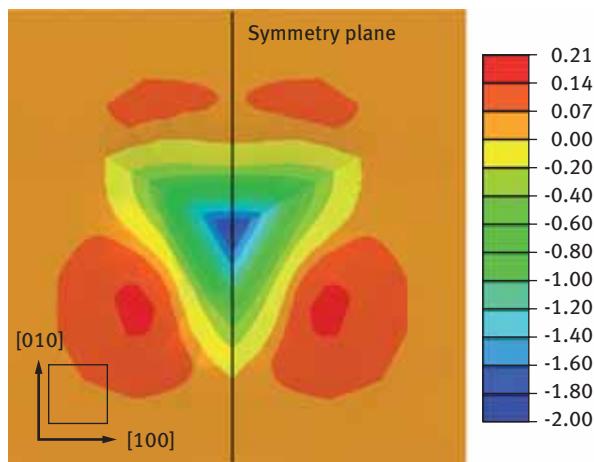


Fig. 6: Simulated out-of-plane displacement in μm on a (001) oriented tungsten single crystal surface

[7] and Wang et. al. [8]. However, the four-fold symmetry is not perfect and the peak heights differ. This is due to the fact that the Berkovich indenter has only one symmetry plane.

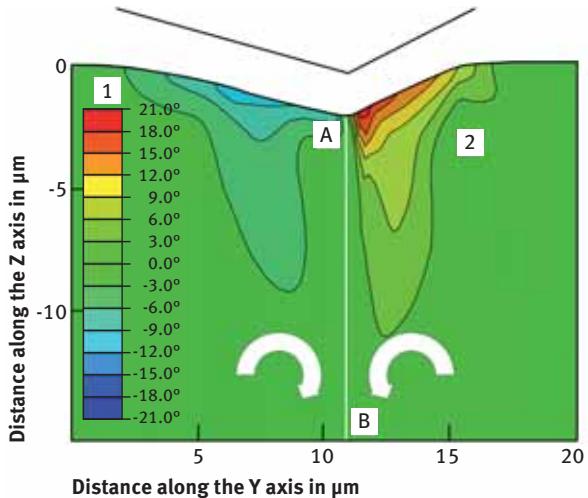


Fig. 5: Computed lattice rotation angle around the $[1\bar{1}0]$ direction (X axis) plotted for the $(\bar{1}10)$ symmetry plane for a (111) orientated single crystal after indentation of 2000 nm

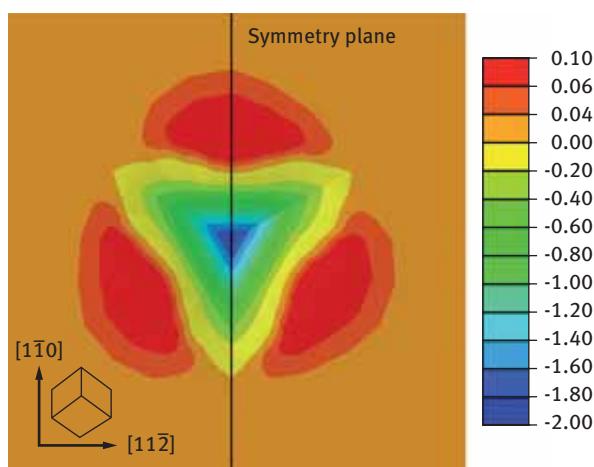


Fig. 7: Simulated out-of-plane displacement in μm on a (111) oriented tungsten single crystal surface

To investigate this further, Figure 6 and Figure 7 show the out-of-plane displacement for the (001) orientated and the (111) orientated surfaces after unloading. In both cases so-called material pile-up on the specimen surface can be observed while the locations and heights of the piled-up material was different for the two cases.

The material pile-up in the (001) orientation exhibits four peaks which reach a maximum height of 200 nm, while the (111) orientated surface shows three maximum peaks of about 100 nm at the edges of the imprint. The observed three-fold symmetry for the (111) orientation and the four-fold symmetry for the (001) orientation agree well with the work of Demiral et. al.

Future perspectives

Our simulations show localized crystal lattice rotations in the area beneath the indentation indicating high strain gradients. This means that on the length scale of our indentation simulations, the mechanical response is not only influenced by the anisotropy of the single crystals, but also by non-local effects. Our aim is to implement a mechanism-based strain gradient crystal plasticity (MBSGCP) to account for these non-local effects, which are believed to be responsible for the so-called indentation size effect (ISE), observed in nanoindentation experiments in tungsten on this length scale.

References

- [1] I. Smid, M. Akiba, G. Vieider, L. Plöchl, *Development of tungsten armor and bonding to copper for plasma-interactive components*, 1998, Journal of Nuclear Materials, pp. 258-63.
- [2] Ch. Linsmeier, T. Chikada, R. Pippan, S. Wurster et. al., *Development of advanced high heat flux and plasma-facing materials*, 2017, Nuclear Fusion, Vol. 57, Issue 9.
- [3] A. Giannattasio, S. G. Roberts, *Strain-rate dependence of the brittle-to-ductile transition temperature in tungsten*, Philosophical Magazine, 2007, Vol. 87, pp. 2589 – 2598.
- [4] A. C. Fischer-Cripps, *Nanoindentation*, Springer, 2011.
- [5] D. Peirce, R. Asaro, A. Needleman, *Material rate dependence and localized deformation in crystalline solids*, Acta Metallurgica, 1983, Vol. 31, Issue 12, pp. 1951-1976.
- [6] Y. Huang, *A user-material subroutine incorporating single crystal plasticity in the abaqus finite element program*, 1991, Division of Applied Sciences, Harvard University, Cambridge, Massachusetts, 02138.
- [7] M. Demiral, A. Roy, T. Sayed, V. Silberschmidt, *Influence of strain gradients on lattice rotation in nano-indentation experiments: A numerical study*, 2014, Materials Science and Engineering, A, 608, pp. 73-81
- [8] Y. Wang, D. Raabe, C. Klüber, F. Roters, *Orientation dependence of nanoindentation pile-up patterns and of nanoindentation microtextures in copper single crystals*, 2004, Acta Materialia, Vol. 52, Issue 8, pp. 2229-2238

Zusammenfassung

Ein auf Kristallplastizität basierendes FE-Modell für die Simulation eines Berkovich-Indentierungsprozesses wird vorgestellt. Für die Untersuchung des Einflusses der Kristallorientierung auf das Materialaufwurfverhalten und die Gitterverdrehung wurden zwei verschiedene Orientierungen, (001) und (111), numerisch analysiert. In der (111) orientierten Probe ist die Region der maximalen Gitterrotation kleiner, die plastische Zone allerdings größer als in der (001) orientierten Probe. Der Materialaufwurf an der Probenoberfläche in der (001) Orientierung zeigt eine vierzählige Symmetrie, wohingegen in der (111) Orientierung eine dreizählige Symmetrie auftritt.

Abstract

An FE-model based on crystal plasticity was presented to simulate Berkovich nanoindentation in tungsten single crystals. To investigate the influence of orientation on the material pile-up patterns and lattice rotation underneath the indent, two different orientations, i.e. (001) and (111), were numerically analyzed. In the (111) orientated specimen the region with maximum lattice rotation is smaller, while the plastic zone is larger than in the (001) oriented specimen. The material pile-up observed for the (001) orientation exhibits a four-fold

symmetry in contrast to the three-fold symmetry observed for the (111) orientation.

Authors

Tillmann Volz, M.Sc.

Academic Assistant at the Institute of Applied Research (IAF) at Karlsruhe University of Applied Sciences

Jin Wang, M.Sc.

Doctoral student at the Institute for Applied Materials (IAM-WBM) at Karlsruhe Institute of Technology (KIT)

Dr. Ruth Schwaiger

Group leader at the Institute for Applied Materials (IAM-WBM) at Karlsruhe Institute of Technology (KIT)

Prof. Dr. Sabine M. Weygand

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

Contact

Prof. Dr. Sabine M. Weygand

Karlsruhe University of Applied Sciences

Faculty of Mechanical Engineering and Mechatronics

Moltkestr. 30

76133 Karlsruhe

E-mail: sabine.weygand@hs-karlsruhe.de

Aktuelle Fortschritte in der Entwicklung von Eisbreisystemen

Sebastian Gund und Michael Kauffeld

Einleitung

Durch den stets präsenter werdenden Einfluss alternativer Erzeugungsmethoden für nutzbare Energie werden immer höhere Anforderungen an Energiesysteme gestellt, insbesondere in Bezug auf Energietransport und -speicherung. So gibt das Bundesministerium für Wirtschaft und Energie an, dass im Jahr 2016 über 12 % des Primärenergiebedarfs in Deutschland durch erneuerbare Energien gedeckt werden, bezogen auf die elektrische Energie sind es über 30 %. Speicher- und Transportkonzepte, die den Herausforderungen, die sich aus dieser Dynamisierung ergeben, entgegenwirken, sollte gleichermaßen Augenmerk geschenkt werden wie dem Ausbau der Bereitstellung.

Die Verwendung von Eisbrei in thermischen Systemen ist ein vielversprechender und aufstrebender Ansatz, um sowohl die Speicherung als auch den Transport der für Kühlungsprozesse erforderlichen Energie zu verbessern.

Eisbrei ist eine zweiphasige Suspension aus Eispartikeln und einem Trägerfluid. Die Größe der gebundenen Eispartikel beträgt typischerweise 0,01 mm bis 1,0 mm. Durch die im Phasenwechsel des Wassers enthaltene latente Wärme erhöht sich die Energiedichte von Eisbrei um ein Vielfaches gegenüber reinem Wasser. Eisbrei hat einen doppelt bis dreimal so hohen Wärmeübergang als einphasige Fluide.

Ein Vorteil von Eisbrei ist, dass große Energiemengen bei gleichzeitig geringem Platzbedarf, bedingt durch die hohe Energiedichte, gepuffert werden können. Durch die im Vergleich zum Eispartikelvolumen große Oberfläche lässt sich die gespeicherte Energie auch in sehr kurzer Zeit wieder abrufen, was einen Einsatz in smarten und hochdynamischen Energiesystemen empfehlenswert macht.

Ein weiterer Vorteil ist, dass nachts die Außenlufttemperaturen durch fehlende Sonneneinstrahlung um 4 Kelvin (Küstenstandort) bis 15 Kelvin (Kontinentalklima) absinken. Wird Eisbrei nachts hergestellt, kann dadurch gegebenenfalls die Verflüssigungstemperatur der Kälteanlage gesenkt werden und es können pro 1 Kelvin tieferer Verflüssigungstemperatur etwa 2 - 3 % nutzbare Energie, meist elektrische Energie,

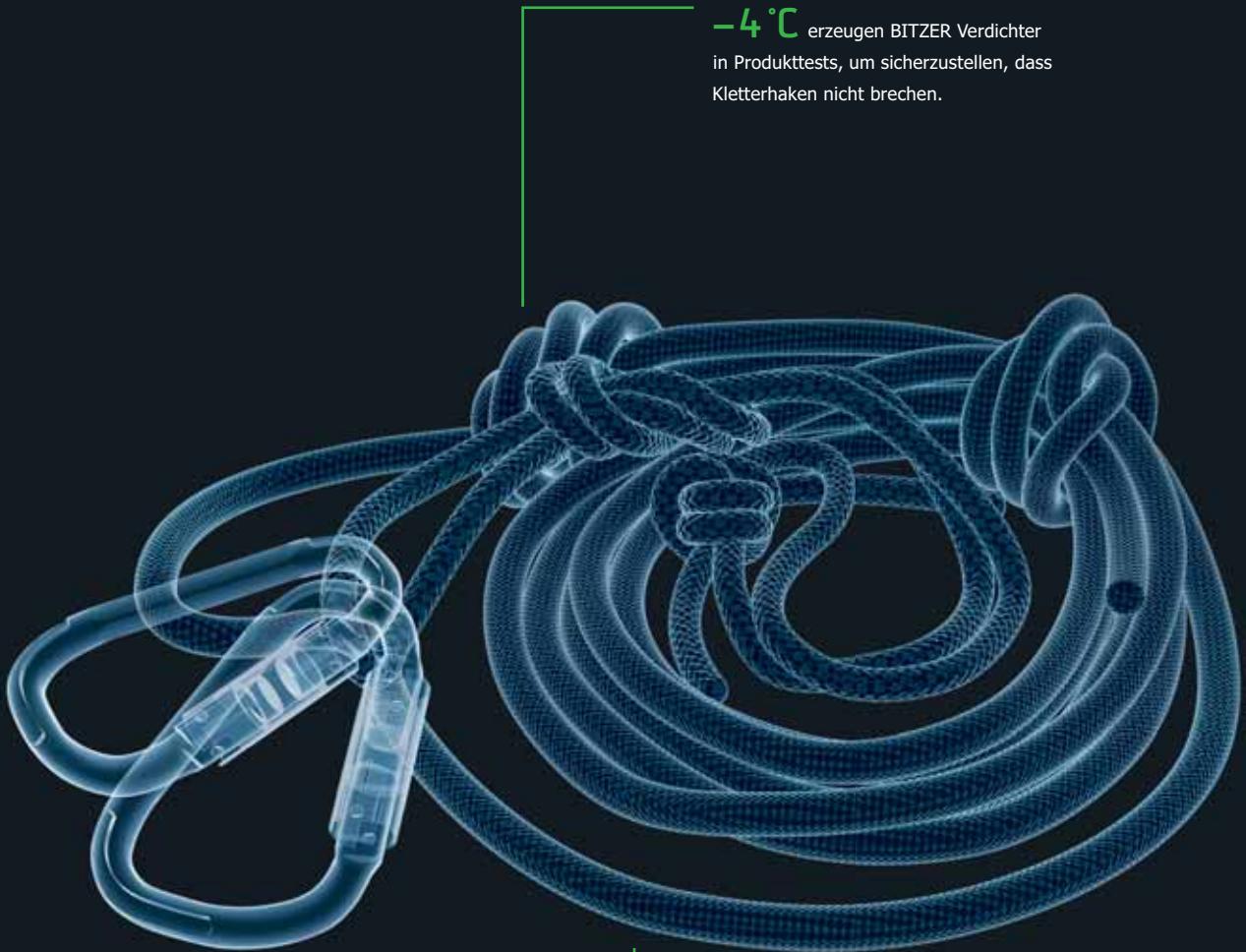
gespart werden. Insbesondere bei Kontinentalklima kann die dadurch erzielte Energieeinsparung bei der Eisbreierzeugung, den höheren Energieaufwand einer Eisbreianlage gegenüber einer direkt verdampfenden Kälteanlage aufwiegen.

Der Nachteil von Eisbreianlagen ist, dass der Eisbrei zuerst hergestellt werden muss, bevor er genutzt werden kann, da er im optimalen Fall in der Anwendung komplett abschmilzt. Die weltweit am meisten eingesetzte Erzeugungsmethode ist, Wasser an einer dafür vorgesehenen Fläche anzufrieren und dann mit mechanischen Schabern abzukratzen. Die eingebrachte mechanische Energie durch die Kratzvorrichtung sowie deren Abnutzung verursachen zusätzliche Kosten.

Ohne Kratzvorrichtung arbeiten Eisbreigeneratoren, die sich die Unterkühlbarkeit von Wasser zunutze machen. Dabei wird Wasser, das einen Gefrierpunkt bei Normalbedingungen von $T = 0 \text{ } ^\circ\text{C}$ hat, weiter abgekühlt und verbleibt zunächst in flüssiger, unterkühlter Form. Wird es nun zur Kristallisation angeregt, entsteht aus der unterkühlten Flüssigkeit direkt Eisbrei. Ab dem Erreichen der Phasenwechseltemperatur kann die Kristallisation spontan eintreten und zu einer Blockade des Eisbreisystems führen.

Unterkühlungsmethode zur Eisbreiherstellung

Wird eine Flüssigkeit unter ihren Gefrierpunkt abgekühlt, befindet sie sich in einem metastabilen Zustand und nicht mehr im thermodynamischen Gleichgewicht. Jedes System strebt aber einen Gleichgewichtszustand an, um seine Systemenergie zu minimieren bzw. die Entropie des Systems zu maximieren. Damit eine Flüssigkeit diesen metastabilen Zustand verlassen kann, muss sie, um ihren Energiezustand weiter zu verringern, einen Phasenwechsel vornehmen. Nach der Classical Nucleation Theory (CNT) geschieht dies, indem sich in der flüssigen Phase permanent Moleküle zu kristallähnlichen Strukturen (Keime) zusammenfinden. Diese Strukturen zerfallen häufig wieder, ohne die makroskopisch zu beobachtende Kristallisation auszulösen. Das liegt daran, dass die Bildung einer Grenzfläche, wie sie zwischen flüssiger und fester Phase entsteht, die Systemenergie erhöht, welches dem Bestreben, das Energieniveau zu verringern, entgegen wirkt. Diese beiden Mechanismen – Energiezu-



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

**PERFEKT, UM NACH OBEN ZU KOMMEN:
IHR EINSTIEG BEI EINEM MARKTFÜHRER.**

Sie sind Student und wollen erste Erfahrungen als Praktikant sammeln oder Ihre Abschlussarbeit beim Marktführer schreiben? Sie lassen sich von spannenden Aufgaben fesseln, möchten schnell Verantwortung übernehmen und richtig durchstarten? Dann helfen Sie uns, mit unseren Produkten für die richtige Betriebstemperatur zu sorgen! In Kälte- und Klimaanlagen 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

nahme durch Oberflächenbildung und Energieabnahme durch Volumenbildung – können durch die freie Enthalpie ΔG , auch als Gibbs-Energie bezeichnet, ausgedrückt werden:

$$\Delta G(r) = 4\pi r^2 \sigma - \frac{4}{3}\pi r^3 \rho |\Delta\varphi_i|,$$

mit dem Keimradius r , der Grenzflächenenergie σ , der Dichte ρ und dem Gibbs-Potential φ .

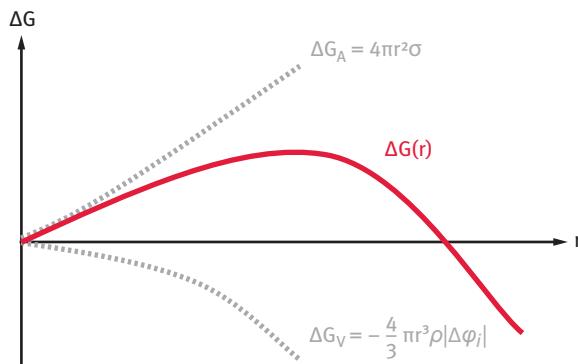


Abb. 1: Qualitativer Verlauf der freien Enthalpie über dem Keimradius

Die freie Enthalpie über dem Keimradius ist in Abbildung 1 qualitativ dargestellt. Eine makroskopische Kristallisation findet erst statt, wenn sich ein Keim zusammenfindet, der größer ist als der kritische Radius. Der kritische Radius wird als Keimbildungsbarriere ΔG^* bezeichnet, kann aus der Ableitung der freien Enthalpie bestimmt werden und entspricht dem Hochpunkt der dargestellten Funktion der freien Enthalpie. Nach Einsetzen des Gibbs-Potentials und Umformen ergibt sich die Keimbildungsbarriere zu:

$$\Delta G^* = \frac{16\pi}{3} \cdot \frac{\sigma^3 T_m^3}{L_f \Delta T^3},$$

mit der Schmelztemperatur T_m , der Kristallisationsenthalpie L_f und der Temperatur T . Für einen wirtschaftlichen Prozess ist es wichtig, den Unterkühlungsgrad der Flüssigkeit so hoch wie möglich einzustellen, denn es lassen sich pro 1 Kelvin Unterkühlung etwa 1,25 % Eis gewinnen. Mit steigendem Unterkühlungsgrad sinkt allerdings die Keimbildungsbarriere und eine Kristallisation wird wahrscheinlicher. Es kann zu einer Kristallisation im Unterkühler kommen. In diesem Fall muss die Anlage abgestellt und aufgetaut werden.

Um dennoch einen hohen Unterkühlungsgrad und gleichzeitig einen kontinuierlichen Anlagenbetrieb ohne Abtauphasen erreichen zu können, werden in einem Projekt verschiedene Materialien untersucht, die als Werkstoff für einen möglichen Unterkühler dienen können. Aus der CNT geht hervor, dass Oberflächen

einen signifikanten Einfluss auf die Unterkühlbarkeit haben. Als möglicher Werkstoff bietet sich Siliziumcarbid an. Rohre aus Siliziumcarbid werden am Institut für Kälte-, Klima- und Umwelttechnik in einem speziell hierfür erstellten Versuchstand systematisch auf ihre Eignung zur Unterkühlung untersucht.

Abwasserreinigung mit Hilfe von Eisbrei

Eisbrei eignet sich nicht nur zum Speichern von Kälte. Macht man sich die Eigenschaft zunutze, dass Eiskristalle nur aus Wassermolekülen bestehen, kann man besonders energieeffizient Stoffgemische trennen. Zum Vergleich: Wasser hat bei etwas über 0 °C eine Verdampfungsenthalpie von 2500 kJ/kg, aber eine Kristallisationsenthalpie von nur 333 kJ/kg. Für das Ausfrieren des Wassers aus einem Stoffgemisch wird also viel weniger Energie benötigt als für das Verdampfen.

Nachdem der Eisbrei erzeugt wurde, folgt das Trocknen und Waschen. Dafür ist es optimal, wenn die Eiskristalle so groß wie möglich sind ($r > 1$ mm), denn es ist unvermeidlich, dass durch das Waschen ein geringer Teil des Eises abschmilzt.

In einem Kooperationsprojekt mit dem Guangzhou Institute of Energy Conversion, das besonders daran interessiert ist, giftige Nickel- und Kobaltsalze aus



Abb. 2: Versuchsaufbau in der Umweltsimulationskammer des Instituts für Kälte-, Klima- und Umwelttechnik (Foto: S. Gund)

wässrigen Lösungen zu entfernen, wird untersucht, wie sich durch die Lagerung des Eisbreis in gekühlter Luft die Kristallgröße erhöhen lässt. Im Fokus steht hier auch der Zusammenhang zwischen Lagerdauer und Restsalzgehalt. Abbildung 2 zeigt den Versuchsaufbau, in dem der Eisbrei nach der Produktion eingefüllt wird. Am unteren Ende der Röhre befindet sich ein Filter, durch den die überschüssige Flüssigkeit abtropfen kann. Die bisherigen Untersuchungen zeigen, dass sich die Lagerzeit positiv auf die Kristallgröße auswirkt und dass bereits nach einmaligem Waschen kein Restsalzgehalt festzustellen ist. Die positiven Ergebnisse regen eine weitere Zusammenarbeit in einem deutsch-chinesischen Kooperationsprojekt an.

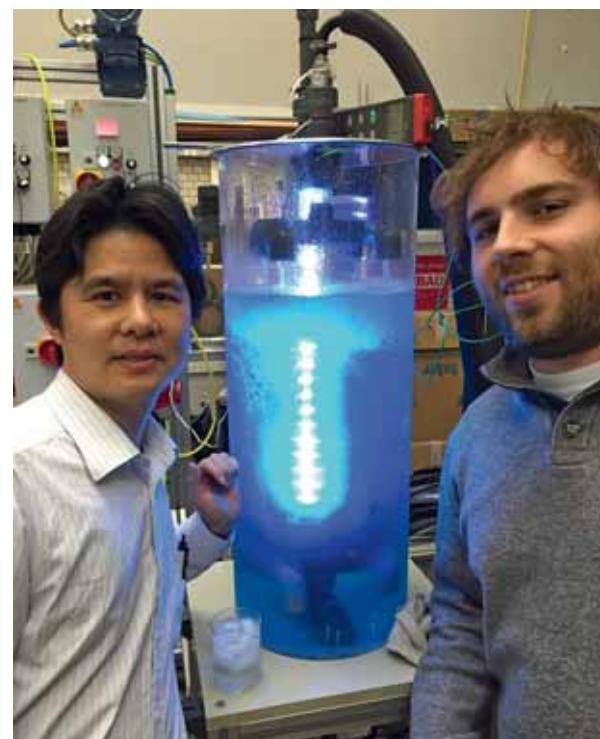


Abb. 3: Der Supercooling Prüfstand (Foto: S. Gund)

Abstract

Ice slurry is a promising storage and transport method for thermal energy. In the projects presented, an energy-efficient production method for ice slurry is investigated and its applicability for wastewater treatment is examined. An aqueous solution is cooled to below the freezing point and remains liquid without crystallization. The supercooled liquid can be triggered to crystallize and ice slurry is produced directly. Only water molecules collect on the ice crystals. Additives and pollutants remain in the liquid phase.

Zusammenfassung

Eisbrei ist ein vielversprechendes Speicher- und Transportmedium für thermische Energie. In den vorgestellten Projekten wird eine energieeffiziente Erzeugungsmethode für Eisbrei untersucht und darüber hinaus deren Einsetzbarkeit zur Abwasserreinigung geprüft. Dabei wird eine wässrige Lösung unter den Gefrierpunkt abgekühlt und verbleibt einige Zeit flüssig, ohne zu kristallisieren. Daraufhin kann die unterkühlte Flüssigkeit zur Kristallisation angeregt werden und es entsteht direkt Eisbrei. An die Eiskristalle lagern sich nur Wassermoleküle an. Zusatzstoffe und Verunreinigungen verbleiben in der flüssigen Phase.

Autoren

Sebastian Gund M.Sc.

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

Prof. Dr.-Ing. habil. Michael Kauffeld

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

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

Computergestütztes Design graderter Metallschäume

Anastasia August, Aron Kneer und Britta Nestler

Metallschäume

Die Herstellung von Metallschäumen wird weltweit nur von wenigen Firmen beherrscht und wenn es gar um offenporige Schäume geht, dann lichtet sich der Kreis der Produzenten enorm. Metallschäume können in verschiedener Ausführung erworben werden. Damit die Metallschäume durchströmt werden können, müssen Poren miteinander verbunden sein und durchgängige Kanäle bilden. Abbildung 1 zeigt Metallschäume verschiedener Hersteller. Charakteristische Merkmale der Schaumstrukturen sind Porengrößen, Stegdicken und die Porenverteilung. Alle Hersteller von offenporigen Metallschäumen können allerdings ausschließlich isotrope Metallschäume herstellen. Dies bedeutet, dass die Poren des Schaums alle gleich groß sind und gleichmäßig im Volumen verteilt sind. Durch diese Einschränkung lassen sich gewünschte physikalische Effekte wie ein hoher Wärmeübergang, eine gute Durchmischung von Stoffen etc. nur unzureichend steigern. Aufgrund der „verlorenen Form“ von Metallschäumen lassen sich diese nur durch galvanische Verfahren oder die Platzhaltermethode herstellen. Eine Variation der geometrischen Parameter von Schaumstrukturen ist mit herkömmlichen Herstellungsverfahren bislang begrenzt.



Abb. 1: Metallschäume (Foto: TinniT Technologies GmbH)

Die Natur optimiert unermüdlich

Die Natur zeigt uns in vielfältiger Weise, dass poröse Systeme für den natürlichen Leichtbau oder als kapillares Flüssigkeitstransportsystem unabdingbar sind. Die natürlichen Systeme sind zellulare Materialien, ganz ähnlich einer Metallschaumstruktur, nur sind die natürlichen Strukturen in der Regel anisotrop: So weisen Skelettknochen beispielsweise Bereiche mit großen Poren auf, die kontinuierlich in Bereiche mit

kleineren Poren übergehen. In großporigen Bereichen wird an Material und somit an Masse gespart, dafür wird an mechanisch besonders beanspruchten Stellen mit kleineren Poren für mehr Stabilität gesorgt. Ein weiteres Beispiel der Natur ist angepasste Stärke der Kapillarkräfte in der porösen Struktur des Baumholzgewebes. Der Stamm, die Äste und Zweige besitzen eine sich ändernde Porengröße, damit Wasser und Mineralstoffe bis in die letzte Blattzelle gelangen können. Ein Spinnennetz hat Maschen unterschiedlicher Größe: Sie werden radial nach außen immer größer und dadurch weniger sichtbar, ohne dass das Netz nennenswert an seiner Stabilität einbüßt.

Wie also können wir von der Natur lernen und die in Millionen von Evolutionsjahren optimierten Systeme nachbilden? Wie können wir unsere eigene an gewisse Zielsetzungen gebundene Optimierung umsetzen? Ein modernes und zukunftsfähiges Werkzeug ist das virtuelle Materialdesign. Mit Hilfe von Computersimulationen lassen sich synthetische Materialmodelle mit bestimmten strukturellen Kenngrößen und spezifischen Materialeigenschaften entwickeln. Die am Rechner entworfenen Modelle weisen gezielt physikalische Vorteile auf, z.B. verfügen sie über einen maximalen Wärmeübertrag bei einem minimalen Druckverlust für durch die Poren strömende Fluide. Mit herkömmlichen Herstellungsverfahren konnte bislang noch kein Hersteller Standardprodukte mit diesen Eigenschaften ermöglichen.

Eine Anwendung stellt die Verbesserung der Warmwasserzubereitung in geheizten Rohren dar, indem die Struktur integrierter offenporiger Metallschäume durch graduierte Porengrößenverteilung ausgelegt wird.

Poröse Wasserrohre

Strömt kaltes Wasser durch ein heißes Edelstahlrohr, so nimmt es über die Kontaktfläche, also die Innenseite des Rohrmantels, Wärme auf. Vergrößert man diese Kontaktfläche, z.B. indem man das Rohr im Inneren mit offenporigem Metallschaum auskleidet, so kann das Wasser mehr Wärme in kürzerer Zeit aufnehmen.

Eine ausgezeichnete Idee. Aber es geht sogar noch optimaler. In Rohrströmungen ist die Ausbildung einer thermischen Grenzschicht im Bereich der Rohrwand von entscheidender Bedeutung, da sich das Wasser in dieser Zone am stärksten erwärmt. Je breiter die Schicht ist, desto mehr Wärme kann ins Wasser gelan-

gen. Zur Verbreiterung der thermischen Grenzschicht ist es zielführend, die Kontaktfläche zwischen Wasser und Metall zu vergrößern, indem an der Rohrmantelfläche eine höhere Anzahl Metallschaumstege mit kleineren Poren untergebracht wird. Optimierungsstrategie ist also ein gradierter Übergang von kleineren Poren am Rand und größeren Poren in der Mitte des Rohrs. Das Vorliegen von kleinen Poren im gesamten Rohr würde aufgrund der hohen Stegdichte zu einem zu großen Strömungswiderstand des Wassers führen. Sind die Poren in der Mitte größer, kann das Wasser dort schneller fließen, der Druckabfall und somit auch die Pumpleistung minimiert werden.

Gradierte Metallschaumstrukturen mit einer Verteilung kleiner Poren in Wandnähe und großer Poren in der Rohrmitte werden am Institute of Materials and Processes (IMP) der Hochschule Karlsruhe im Forschungsprojekt EmiFoam als Modelle am Computer entwickelt und durch das Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi) im Rahmen des zentralen Innovationsprogramms Mittelstand (ZIM) gefördert.



Abb 2: Ausdruck einer synthetischen Schaumstruktur; 3D-Druck Platzhaltermodell (links) sowie Abguss der Struktur in Aluminium (rechts); der Abguss wurde von dem FuE-Kooperationspartner Hochschule Pforzheim in der Arbeitsgruppe „Metallische Schäume“, geleitet von Dr.-Ing. A. Matz, angefertigt (Foto: IMP, HsKA)

Basierend auf den virtuellen Schaumstrukturen mit maßgeschneiderten Porenverteilungen werden durch das 3D-Druckverfahren Platzhaltermodelle für den anschließenden Feinguss hergestellt. Diese Platzhaltermodelle werden an die experimentellen Projektpartner an der Hochschule Pforzheim weitergegeben und für den realen Abguss genutzt. Die computergenerierten Schäume lassen sich aus den „Kunststoffplatzhaltern“ in Aluminium durch das Feingussverfahren herstellen. Darüber hinaus kann jedes virtuelle Modell durch strömungsmechanische Untersuchungen vorab für die gewünschten Effekte qualifiziert werden. Abbildung 2 zeigt den Kunststoffplatzhalter einer isotropen Schaumstruktur mit Rohrmantel und den fertigen Abguss eines Aluminiumschaums.

Die angestrebten Durchströmungs- und Wärme-transporteigenschaften werden anhand von Computersimulationen ermittelt und durch Variation der graduierten Porenverteilung angepasst. Abbildung 3 zeigt eine mit kaltem Wasser durchströmte gradierte Metallschaumstruktur einschließlich der sich entwickelnden Temperaturverteilung. Nach dem Passieren des Porenraums verändert das Wasser seine Temperatur vor allem im Bereich der durch feinporige Struktur vergrößerten Temperaturschicht.

Danksagung

Die Autoren danken für die Förderung des Forschungsprojekts EmiFoam durch das ZIM des BMWi.

Literatur

- [1] A. August, J. Ettrich, M. Rölle, S. Schmid, M. Berghoff, M. Selzer, B. Nestler, *Prediction of heat conduction in open-cell foams via the diffuse interface representation of the phase-field method*, 2015, International Journal of Heat and Mass Transfer Volume 84, pp. 800–808.



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

Are you interested? Contact us: sapnextgen@sap.com



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

- [2] K. Janssen-Tapken, A. Kneer, B. Nestler, M. Rölle, E. Schoof, M. Römmelt, S. Barbe, A. Reiche, *A Numerical Approach for the Generation and Optimiza-*

tion of bioinspired Porous Materials via Virtual Material Design (VMD), 2012, Bio-inspired Materials.

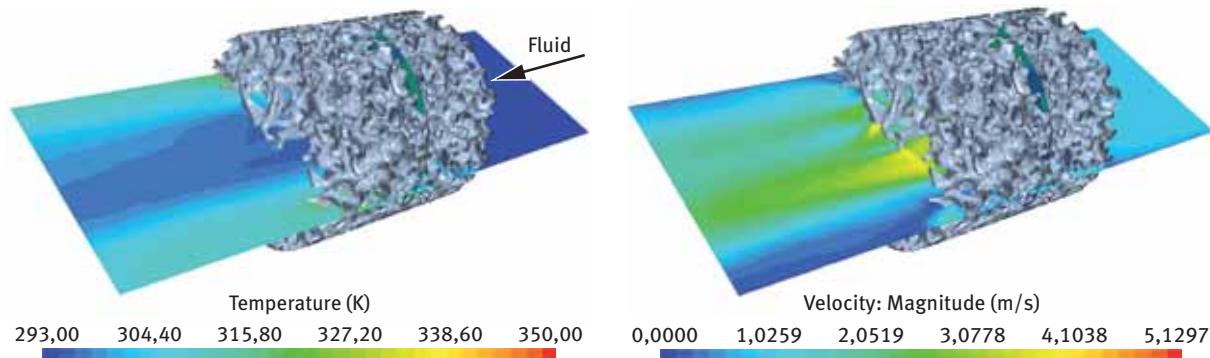


Abb. 3: Hydrothermale Simulation der Temperatur- und der Geschwindigkeitsentwicklung für einen beheizten und durchströmten graduierten Metallschaum

Abstract

Open-cell solid metal foams are materials with outstanding heat transfer properties. On the one hand, they are permeable to liquids, and on the other hand, they have a very large surface, compared to their volume, which allows heat to pass from the hot metal into the cold water very efficiently. For hot water preparation, stainless steel tubes coated in metal foam are developed by the Institute of Materials and Processes (IMP) at Karlsruhe University of Applied Sciences as computer models and printed as 3D models. Based on the models, the Pforzheim University of Applied Sciences produces castings, which are then handed on to the project partners. The metal foam is adjusted until the optimal operating point is found which enables the greatest possible heat transfer with the least possible pressure loss.

Zusammenfassung

Offenporige feste metallische Schäume sind Werkstoffe mit herausragenden Wärmeübertragungseigenschaften. Zum einen sind sie für Flüssigkeiten durchlässig. Zum anderen verfügen sie über eine im Vergleich zu ihrem Volumen sehr große Oberfläche, über die Wärme aus dem heißen Metall ins kalte Wasser besonders effizient übergehen kann. Für die Warmwasserzubereitung werden am Institute of Materials and Processes (IMP) der Hochschule Karlsruhe mit Metallschaum ausgekleidete Edelstahlrohre am Computer entwickelt und als 3D-Modell ausgedruckt. Auf deren Grundlage stellt die Hochschule Pforzheim Güsse her und gibt sie an die Projektpartner weiter. Der verwendete

Metallschaum wird dabei so lange angepasst, bis der optimale Arbeitspunkt gefunden ist: möglichst große Wärmeübertragung bei möglichst kleinem Druckverlust.

Autoren

Dr. rer. nat. Anastasia August

Leiterin Forschungsgruppe “Multiphysics Materials Modelling: Microstructures - Mass and Heat Transfer” am Institute of Materials and Processes (IMP) der Hochschule Karlsruhe

Dr.-Ing. Aron Kneer

Abteilungsleiter “Fluid Dynamics” am Institute of Materials and Processes (IMP) der Hochschule Karlsruhe

Prof. Dr. Britta Nestler

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

Kontakt

Dr. rer. nat. Anastasia August

Hochschule Karlsruhe – Technik und Wirtschaft

Institute of Materials and Processes (IMP)

Moltkestraße 30

76133 Karlsruhe

E-Mail: anastasia.august@hs-karlsruhe.de

Groundwater remediation – numerical models and experiments

Aron Kneer, Andres A. Gonzalez, Pavan Laxmipathy Veluvali, Patrick Altschuh, Eduard Alesi und Britta Nestler

Introduction

The supply of clean and potable water is one of the greatest challenges for the future. Currently, about one billion people across the globe have no access to clean water – a problem that is mainly evident in developing countries [1]. Very often central water supply systems can neither technically nor logically be realized, further the connection of remote settlements on islands, isolated bays and high-lying regions is uneconomic. The usage of wells is often the only source of potable water or water for irrigation of crops. This uncontrolled withdrawal of water from aquifers leads to further water shortages in those areas. Besides the rapidly escalating aquifer exploitation in some developing countries, it is also a fact that the quality of the water around the world's aquifers is deteriorating due to contamination.

Contaminants set free on the surface by industrial plants, pipelines or other sources drain through the unsaturated zone to the groundwater level where the contaminants are diluted or accumulate as LNAPL (light non-aqueous phase liquid) or DNAPL (dense non-aqueous phase liquid) in the aquifer. One of the general problems with such contaminants is that they are transported in the groundwater and remediation processes cannot easily separate them from each other. One promising technique for groundwater re-

mediation is the groundwater circulation system for accelerated biodegradation.

Principles of Groundwater Circulation System (IEG-GCW®) for Accelerated Biodegradation

A GCW system creates a vertical downward or upward in-situ groundwater circulation cell around the central well. No water is removed from the aquifer. Strong potentiometric head differences establish and maintain three-dimensional circulation cells around the well. Furthermore, groundwater is forced to flow perpendicular to lower permeable layers. The circulation flow forces water to move through the entire aquifer portion within the circulation cell thus improving contaminant mobilization. Figure 1 shows the principle of the recirculation system. The IEG-GCW® system creates an in situ vertical groundwater circulation cell by drawing groundwater from an aquifer formation through one screen section (P1) of a double-screened well and discharging it through the second screen section (P2). Therefore, a forced convection flow driven by the pressure difference is established.

Microbiologically enhanced GCW technology significantly modifies conventional GCW systems, where groundwater is treated physically. Direct injection of agents into a contaminated aquifer tends to suffer from restricted mixing in heterogeneous, anisotropic and

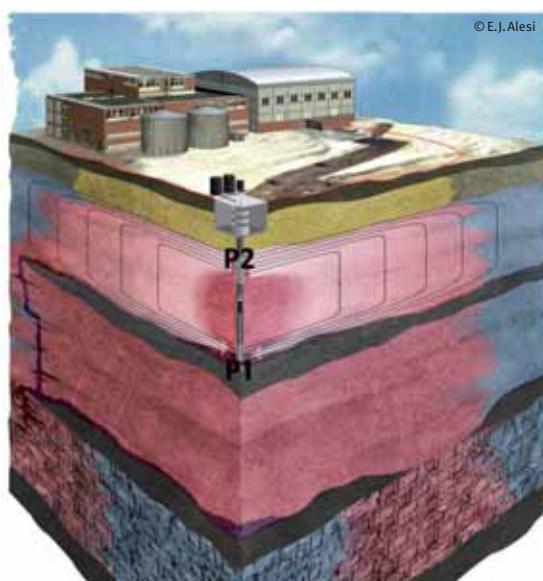
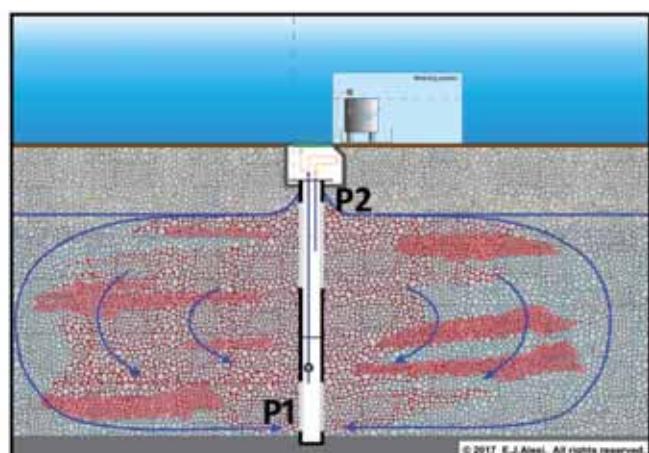


Fig. 1: Principle of a standard groundwater recirculation system



IEG Groundwater Circulation Well (IEG-GCW®) System
for Soluble Substrates Distribution

GCW-Well Construction, Zona Franca, Barcelona

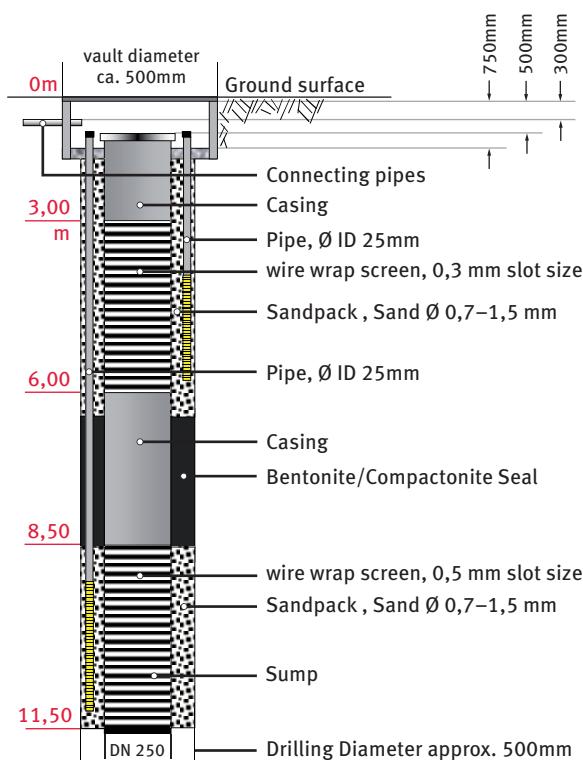


Fig. 2: Installed GCW in Spain

low permeable systems. Standard injection frequently leads to preferential transport pathways within the slightly higher permeability zones thus bypassing the lesser, often highly contaminated, low permeability zones. Those obstacles can be overcome by the installation of a GCW system that spreads the nutrients more effectively by bringing contaminants and reactants together for better degradation. For the layout of such systems (penetration of the convection cells), the flow coefficients of the different underground layers must be known. The flow behavior underground is driven by the flow coefficients that differ in horizontal and vertical directions. The flow resistance of any underground layers is therefore always anisotropic.

GCW installation at a site in Barcelona, Spain

Chlorinated aliphatic hydrocarbons (CAHs) have been detected at an industrial site near Barcelona (Catalonia, Spain). For the remediation of the contaminated aquifer, a GCW remediation well was designed and drilled to a depth of 12 m. GCW casing and equipment was installed for standard and reverse groundwater circulation. C-Mix - a specially produced nutrient - was continuously admixed into the aquifer to stimulate indigenous microbes for enhanced reductive dechlorination.

Figure 2 shows the dimensions of the GCW which has been installed at a contaminated industrial area in Barcelona. Representative soil samples, showing the anisotropy of the aquifer structure, have been analyzed for grain size distribution. The grain sizes are between 0,06 mm and 8 mm. Figure 3 shows typical grains for the sediment S5. The grain size differs greatly. The total depth of the well is about 12 m. The earth around the well is divided into nine sedimentation layers. Each of them is differently permeable and displays anisotropic behavior. Besides the experimental work, three-dimensional models of the grains and the assembled grains within a domain have been generated. The models are based on the grain size analysis and on a sedimentation rule given by the geologists involved in the project. A number of numerical experiments (simulation studies) have been performed to achieve the anisotropic flow coefficients to be used for the layout of the recirculation system.



Fig. 3: Optical analysis of the grain from level S5 (red rectangles represent the dimension 1 mm)

Methodology of particle generation and filling process

A 3D model represents each of the different nine soil layers. This model is defined by a cube/domain (representative volume element) filled with virtually generated soil grains. In order to build a valid soil model, the grains are generated with realistic features. First, the grains are analysed according to their shape, size and frequency from the samples of the nine different layers. Subsequently, the particle packing generation process is described through one of the nine soil layers. The grain analysis of the fifth layer S5 delivers a data set consisting of a grain size distribution along with the mean grain roundness, angularity and sphericity. The grain sizes are between 0,06 and 2 mm. With this information, it is possible to assume that layer S5 consists mostly of sand (from fine to coarse sand). Sand, depending on the region where it is found is a mixture of certain materials, each one of them with specific physical quantities such as density. This data enables an approximation of the possible packing quality of the sand and therefore an estimate of the material porosity. The sand packing can also be seen as a porous medium. After the soil layer analysis, the resulting data set is fed to the particle-generating algorithm. This algorithm creates sand-like grains by generating spherically shaped particles with an eroded and irregularly cut surface. This process enables the generation of more square-edged particles with rougher surfaces. With the input from the grain analysis data set,

the algorithm can recreate the soil sample by generating a certain number of grains with different sizes and shapes. Because of the high number of sand particles in a small volume (about one million grains per gram of sand), the simulation is limited by the amount of sand grains. Thus, grains with the most common geometries are generated in different sizes (cf. Fig. 4). These new square-edged sand grains are packed in a specified volume establishing a particular density.



Fig. 4: Virtually generated grains according to the most frequent grain shapes in the sample

Once the packing of sand grains has been created, flow simulations with the in-house PACE3D solver are conducted to determine anisotropic permeability. The fluid flow through the soil is dependent on the soil geometry, i.e. on the pore or void spaces left between the grains. These pores have to be big enough to allow the flow to pass and to avoid numerical errors. A sufficient resolution of the structure is required, resulting in long computing times. To reduce the simulation time, a modification of the structure can be applied by virtually increasing the pores through eroding the surface of the grains. One concept employs smoothening of the surface and using a high value isoline as the new surface. Alternatively, cells can be cut out of the structure. Both procedures will slightly change the porosity of the structure, but will preserve the flow paths in slightly lower resolved pore structures.



Fig. 5: Packing of grains in a computational domain using grain topology from Figure 4 and a sedimentation rule specified for the underground around the drilled well in Spain

Modelling and numerical analysis for water transport processes in sediments

The main fluid transport mechanisms in aquifers are advection, dispersion and diffusion. The dissolved pollutant concentrations are advected with the flow, through the streamlines. The solid sand grains in the flow path will disperse a pressure gradient responsib-

le for moving the fluid mass. Due to the high packing quality of the sand structure, the flow is in a low flow regime, i.e. a creeping flow. Yet near the filter zone of the GCW, the pressure difference generated by the pump dominates the flow in the porous region (packed sand). Here, forced convection flow leads to much higher local velocities than the superimposed groundwater flow. In general, groundwater flow in a simulated environment is often analyzed through transport laws i.e. Darcy's law and the continuity equation. While Darcy's law gives the fundamental permeability for flow through porous media, the continuity equation provides us with the conservation of mass. The Darcy velocity [2] for a fluid passing through a porous media is given as

$$\vec{v} = \frac{K \cdot \nabla p}{\mu}$$

where K is the proportionality constant between the discharge velocity and the pressure gradient, defined as permeability. This quantity depends on the porosity, grain size, and grain size distribution of the porous media. The Darcy velocity for a fluid passing through the sand packing depends on the pressure gradient and the flow resistance of the structure. While the permeability calculates the resistance of a porous medium against the flow, the hydraulic conductivity [2] describes the ease of a fluid flowing through the porous medium, given as

$$k_f = \frac{K \cdot \rho \cdot g}{\mu}$$

where, ρ , g , μ , K represent density, gravity, dynamic viscosity and permeability, respectively. In order to study the anisotropic behaviour of the groundwater flow, the directional dependency of the flow is expressed via conductivity tensors [2] of the form

$$k_f = \begin{pmatrix} k_{xx} & k_{xy} & k_{xz} \\ k_{yx} & k_{yy} & k_{yz} \\ k_{zx} & k_{zy} & k_{zz} \end{pmatrix}$$

In this study, gravity plays no role on pressure gradients across the domain. It is also important to note that groundwater flow has a low Reynolds number, known as Darcy regime. Hence, flow simulations solving the full Navier-Stokes equation using the in-house PACE3D solver and high performance computers are simulated. Here, nine sand models generated from the nine different layers in the drilled section are utilised for flow simulations. Figure 5 shows the streamlines passing through a sand structure, where the fluid flows from left to right across the sand structure. As 3D simulations are computationally intense, the sand

structure is divided into smaller domains in order to achieve a higher resolution and to negate inaccurate flow paths. Since hydraulic conductivity is one of the most important parameters for studying groundwater flow, the results are compared with empirical correlation by Hölting et.al. [3].

$$k = \frac{0.7 + 0.03 \cdot T}{86.4} \cdot d_{10}^2$$

In the final equation, T denotes the groundwater temperature; d_{10} is the 10 % effective grain size on the cumulative grain size distribution. The results are in the range $1,44\text{-}22,3 \cdot 10^{-4}$ for hydraulic conductivities and agree well with the experimental findings. Figure 6 shows a computational domain modelled using the resolved grain structures within the sand packing. The pressure decreases nearly homogeneously along the porous region. Regarding the computed flow velocities (cf. Fig. 7, bottom), the flow passes around the grains and accelerates in the gaps between grains. In the forced convection area of influence, the flow regime might change from laminar (Darcy-regime) to turbulent. This can be calculated with the Reynolds number for flows through porous regions (Re_K , see [2]) reading

$$Re_K = \frac{\rho \cdot \vec{v} \cdot \sqrt{K}}{\mu}$$

If the Reynolds number given above is around 200-300, a turbulent flow must be assumed and the Navier-Stokes equations should be extended by the Forchheimer term [2], which is a point for further development.



Fig. 6: Flow streamlines through the porous grain structure

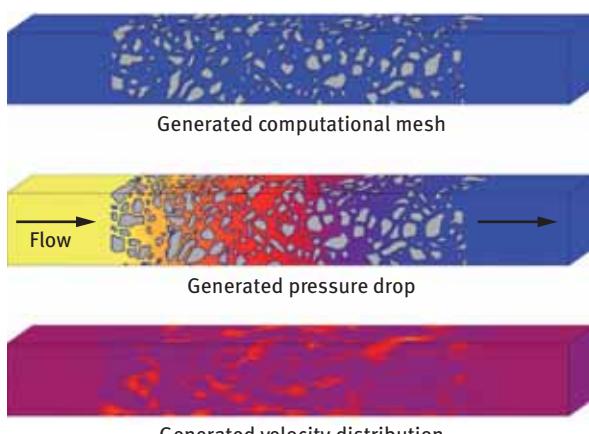


Fig. 7: Generated flow domain and computed pressure and velocity distribution

Summary and future perspectives

Groundwater remediation technologies require the analysis of the anisotropic permeability of the sediment layers surrounding the well in order to estimate the area of influence of the applied recirculation flow. How flow behaves in a vertical direction in relation to the well is mostly unknown. The described virtual methodology opens a new way of determining the anisotropic conductivity tensors by simulation studies. Furthermore, instead of resolving the sediments within its grain distribution, a porous region can be defined using the anisotropic conductivity tensor as homogenized effective region property. In this way, huge underground models can be setup on a macro-level and the interaction between the GCW and groundwater flow can be analyzed employing optimized numerical up-scaling strategies. In the future, the results from numerical studies will be used to create such a macroscopic approach. This aims to demonstrate the benefit of the combination of resolving complex grain packings and the macroscopic modelling method on the layout of groundwater remediation facilities.

Literature

- [1] M. A. Shannon, P. W. Bohn, M. Elimelech, J. G. Georghiadis, B. J. Marinas, A. M. Mayes, *Science and technology for water purification in the coming decades*, 2008, Nature, Vol. 45, pp. 301-310.
- [2] D. A. Nield, A. Bejan, *Convection in Porous Media*, 4th Edition, Springer, New York Heidelberg Dordrecht London, 2013.
- [3] B. Hölting, W. G. Coldewey, *Hydrogeologie: Einführung in die allgemeine und angewandte Hydrogeologie*, Springer-Verlag, 2013.

Acknowledgements:

The authors are grateful for funding the ZIM research project "MicroBiome".

Zusammenfassung

Die Sanierung von kontaminiertem Grundwasser wird immer wichtiger, da der Mangel an sauberem Wasser weltweit zunimmt. Dennoch gibt es noch viele offene Fragen, die das Verhalten der Grundwasserströmung durch unterirdische Schichten betreffen, z. B. die anisotrope hydraulische Leitfähigkeit zwischen den Schichten. Daten aus numerischen Berechnungsmethoden werden zusammen mit Feldexperimenten verwendet, um den Einfluss dieser Sedimentanisotropie besser verstehen zu können und die Verbesserung von Grundwasser-Zirkulations-Systemen zur Wassersanierung zu unterstützen.

Abstract

As the scarcity of clean water is rapidly increasing around the world, it is becoming more and more important to remediate contaminated groundwater. Yet there are still many unanswered questions regarding the stream of groundwater through subterranean sediment layers, one of them being the anisotropic hydraulic conductivity between layers. Data gained from numerical methods is used together with field experiments to gain a better understanding of the influence of sediment matrix on supporting the improvement of groundwater circulation systems for water remediation purposes.

Authors

Dr.-Ing. Aron Kneer

Academic Associate at Karlsruhe University of Applied Sciences

Andres Abad Gonzalez, M.Sc.

Academic Assistant at the Institute of Digital Material Science (IDM) at Karlsruhe University of Applied Sciences

Pavan Laxmipathy Veluvali, M.Sc.

Patrick Altschuh, M.Sc.

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

Dr. rer. nat. Eduard Alesi

IEG Technologie GmbH, Gruibingen, Germany

Prof. Dr. rer. nat. Britta Nestler

Professor at the Faculty of Computer Science and Business Information Systems at Karlsruhe University of Applied Sciences, also at the chair of Microstructure Simulations in Materials Technology at Karlsruhe Institute of Technology (KIT), Directress of the Institute of Digital Material Science (IDM) at Karlsruhe University of Applied Sciences and the Institute of Applied Materials – Computational Material Science (IAM-CMS) at Karlsruhe Institute of Technology (KIT)

Contact

Prof. Dr. rer. nat. Britta Nestler

Karlsruhe University of Applied Sciences

Faculty of Computer Science and Business Information Systems

Moltkestr. 30

76133 Karlsruhe

E-mail: britta.nestler@hs-karlsruhe.de

Kontextsensitive Vorschläge für eine semantische Suchmaschine

Andreas Schmidt

Einführung

Die Suche in Dokumentensammlungen anhand von Schlagworten oder Phrasen stellt heutzutage die am häufigsten genutzte Art von Suchanfragen dar. Die großen Web-scale Suchmaschinen Google, Bing etc. basieren auf diesem Prinzip. Was diese Suchmaschinen nicht zu leisten vermögen, ist die Erfassung der Semantik des Texts. Sie funktionieren nach dem Prinzip, dass die Suchbegriffe innerhalb des Dokuments vorhanden sein müssen – was sie im konkreten Kontext bedeuten, spielt dabei keine Rolle. Probleme, die hierbei auftreten können sind beispielsweise, dass es für viele Begriffe Synonyme oder Hyperonyme (Oberbegriffe) gibt oder dass ein Begriff mehrere, unterschiedliche Bedeutungen haben kann. Zum Beispiel kann das Wort „Paris“, die französische Hauptstadt meinen, eine Figur aus der griechischen Mythologie, die botanische Bezeichnung für eine Pflanzengattung oder eine Hotelerbin, von der keiner so recht weiß, warum man sie überhaupt kennt. Neuere Ansätze, wie etwa die am Max-Planck-Institut für Informatik entwickelte Suchmaschine STICS [1], versuchen deshalb mehr Semantik aus den zugrundeliegenden Dokumenten zu erfassen. Dazu nutzt STICS die semantische Wissensbank YAGO [2] und das Disambiguierungs-werkzeug AIDA [3]. Bei YAGO handelt es sich um eine Ontologie, die mehr als 10 Millionen Entitäten (Personen, Organisationen, Städte, ...) und über 120 Millionen Fakten über diese Entitäten enthält. Zusätzlich ist eine umfangreiche Klassifikationsontologie mit ca. 350 000 Klassen (Kategorien) vorhanden, in die die Entitäten eingeordnet sind. Bei AIDA handelt es sich um ein Framework, das Begriffe innerhalb eines Texts eindeutig auf YAGO-Entitäten abbilden kann. Damit ist es STICS möglich, mehr Semantik aus den Texten zu extrahieren und Anfragen, basierend auf Entitäten durchzuführen, was die Formulierung präziserer Anfragen ermöglicht. Auch ist es hierbei nicht notwendig, dass man genau die Worte benutzen muss, die in dem zugrundeliegenden Dokument für eine Entität genutzt worden sind, es reicht, wenn man die Entität benennt. Wie sie dann im zugrundeliegenden Textkorpus beschrieben wurde ist dabei egal.

Da der Benutzer einer entitätenbasierten Suchmaschine die kanonische Bezeichnung einer Entität in der Regel nicht kennt, kommen sogenannte Auto-Com-

pletion Systeme zum Einsatz, die entsprechend eines vom Benutzer vorgegebenen Präfixes Vorschläge zur Vervollständigung unterbreiten. Abbildung 1 zeigt die Vorschläge basierend auf dem Präfix „unive“.



Abb. 1: Auf dem Präfix „unive“ basierende Suchvorschläge

Je besser die Vorschläge vom System, desto schneller kann die Formulierung der Anfrage erfolgen. Gibt es viele mögliche Ergänzungen für ein Präfix, so spielt die Reihenfolge der Präsentation eine wichtige Rolle. Ziel ist es, die wahrscheinlichsten Vorschläge an vorderster Stelle zu präsentieren. Im Falle von STICS, bei der die Entitäten aus Wikipedia stammen, kann beispielsweise die Sortierung anhand der Popularität des Wikipedia-Eintrags erfolgen. Ein Eintrag wird als umso populärer betrachtet, je mehr andere Einträge auf diesen verweisen. Eine andere Möglichkeit wäre es, den zugrundeliegenden Textkorpus heranzuziehen und die Häufigkeit des Auftretens im Textkorpus zu

betrachten. Nachteil dieses Ansatzes ist jedoch, dass nachdem die erste Entität vom Anwender spezifiziert wurde, die globale Relevanz keine große Rolle mehr spielt, sondern die Relevanz viel stärker von dem oder den zuvor eingegebenen Entitäten abhängt. Folgendes Szenario soll dies verdeutlichen: Angenommen wir suchen Informationen zur Freundschaft zwischen den Musikern David Bowie und Iggy Pop. Nachdem David Bowie als erste Entität spezifiziert wurde, liefert ein globales Ranking bei der Eingabe des Präfixes „po“ eine Reihe von Päpsten (engl. popes), da diese entsprechend dem globalen Ranking wichtiger erscheinen als der Musiker Iggy Pop – auch wenn sich kein einziges Dokument im Suchkorpus befindet, das David Bowie und einen Papst miteinander in Verbindung bringt. Ein kontextsensitives Ranking hingegen würde Iggy Pop als einen der ersten Vorschläge liefern. Abbildung 2a zeigt dieses Verhalten anhand des Präfixes „sa“. In Abbildung 2a wird das Präfix „sa“ ohne weiteren Kontext benutzt. Hierzu wird ein globales Ranking herangezogen, das „Santa Claus“ vor „Saudi Arabien“ und „Samsung“ sieht – jedes Kind kann, zumindest die Top-Position, sicherlich nachvollziehen.

The screenshot shows a search interface with the prefix 'sa' entered. The results are listed under the heading 'Entities'. The top result is 'Santa Claus', followed by 'Saudi Arabia' and 'Samsung'. Below these are 'Lok Sabha' and other less prominent entries.

Entity	Description
Santa Claus	Santa Claus, also known as Saint Nicholas, Father Christmas and simply "Santa", is a figure with legendary...
Saudi Arabia	Saudi Arabia, officially known as the Kingdom of Saudi Arabia, is the largest Arab state in Western Asia by la...
Samsung	Samsung Group is a South Korean multinational conglomerate company headquartered in Samsung Town, Seoul. It co...
Lok Sabha	The Lok Sabha or House of the People is the lower house of the Parliament of India. Members of the Lok Sabha a...

Abb. 2a: Auf dem Präfix „sa“ ohne weiteren Kontext basierende Top-Suchvorschläge

In Abbildung 2b liefert das Präfix „sa“ im Kontext der zuvor eingegebenen Entität „Donald Trump“ als Top-Vorschläge die Politiker Bernie Sanders, Sarah Palin und Rick Santorum.

Im letzten Fall (s. Abb. 2c) wird dasselbe Präfix im Kontext „Hollywood“ betrachtet. Hier stellen die oberen Vorschläge allesamt berühmte Schauspieler dar.

Konzept

Um kontextsensitive Vorschläge liefern zu können, müssen in einem ersten Schritt in Beziehung stehende Entitäten identifiziert werden. Dieser Schritt erfolgt offline zum Zeitpunkt der Indexierung der einzelnen Dokumente. In einem ersten Ansatz kann man Enti-

The screenshot shows a search interface with the prefix 'sa' entered in the context of 'Donald Trump'. The results are listed under the heading 'Entities'. The top result is 'Bernie Sanders', followed by 'Sarah Palin' and 'Rick Santorum'. Below these are 'Saudi Arabia' and 'Sarasota, Florida'.

Entity	Description
Bernie Sanders	Bernard "Bernie" Sanders (born September 8, 1941) is an American politician and the junior United States Sen...
Sarah Palin	Sarah Louise Palin is an American politician, commentator and author who served as the 20th Governor of Alaska, ...
Rick Santorum	Richard John "Rick" Santorum (born May 10, 1958) is an American author, attorney, and Republican Party polit...
Saudi Arabia	Saudi Arabia, officially known as the Kingdom of Saudi Arabia, is the largest Arab state in Western Asia by la...
Sarasota, Florida	

Abb. 2b: Auf dem Präfix „sa“ im Kontext der Entität „Donald Trump“ basierende Top-Suchvorschläge

The screenshot shows a search interface with the prefix 'sa' entered in the context of 'Hollywood'. The results are listed under the heading 'Entities'. The top result is 'Sandra Bullock', followed by 'Samuel L. Jackson', 'Salma Hayek', 'Susan Sarandon', and 'Haim Saban'.

Entity	Description
Sandra Bullock	Sandra Annette Bullock is an American actress and producer who rose to fame in the 1990s after roles in succe...
Samuel L. Jackson	
Salma Hayek	Salma Hayek Jiménez (born September 2, 1966) is a Mexican American film actress, director and producer. S...
Susan Sarandon	Susan Abigail Sarandon (born October 4, 1946), known professionally as Susan Sarandon, is an American actres...
Haim Saban	

Abb. 2c: Auf dem Präfix „sa“ im Kontext der Entität „Hollywood“ basierende Top-Suchvorschläge

täten als in Beziehung stehend betrachten, wenn sie zusammen in einem Dokument vorkommen. Weiterhin kann man postulieren, dass die Beziehung umso stärker ist, je näher beisammen die Entitäten im Text auftauchen. Die Beziehung zwischen zwei Entitäten e_1 und e_2 lässt sich dann wie folgt quantifizieren:

$$w = \log(1/d)$$

Hierbei ist das Gewicht w das Maß der Beziehung, d steht für den Abstand der Entitäten in Worten innerhalb des Texts. Taucht ein solches Tupel-Paar mehrfach auf, so wird das Gewicht w der Beziehung zwischen diesen beiden Entitäten einfach aufsummiert.

Dieses Konzept lässt sich von zwei auf mehrere Entitäten verallgemeinern. In diesem Fall wird ein n -Tupel, bestehend aus n unterschiedlichen Entitäten e_1, \dots, e_n , im Text lokalisiert. D stellt in diesem Fall die Distanz in Worten von der zuerst auftretenden Entität bis zur zuletzt auftretenden Entität dar.

Als Ergebnis erhält man somit Datensätze der Form:

$$(e_{x1}, e_{x2}, \dots) \rightarrow (e_y, w)$$

Das n-Tupel auf der linken Seite repräsentiert den Suchkontext (d.h. bereits spezifizierte Entitäten), das 2-Tupel auf der rechten Seite repräsentiert eine in Beziehung stehende Entität e_y mit Gewichtung w . Eine Anfrage nach in Beziehung stehenden Entitäten kann nun sehr schnell mittels einer indexunterstützten Anfrage auf das n-Tupel der linken Seite erfolgen. Das Ergebnis ist dann eine Liste von in Beziehung stehenden Entitäten zusammen mit ihrer Gewichtung. Aus diesen werden dann die Entitäten, welche dem Präfix entsprechen, herausgefiltert, nach Gewicht sortiert und angezeigt. Sollte die Anzahl der Entitäten zu groß sein, um die strengen Zeitanforderungen von $t < 0,1$ s zu erfüllen, kann das n-Tupel zu einem $(n+1)$ -Tupel mit zusätzlichem Präfix der Länge k (z. B. 1), der ebenfalls Bestandteil des Zugriffsindexes ist, erweitert werden. Für den Fall, dass noch kein Kontext gegeben ist, existiert im System eine weitere Datenstruktur, die für die möglichen Präfixe die in Frage kommenden Entitäten samt ihrer globalen Gewichtung enthält.

Neben den Entitäten unterstützt STICS auch Kategorien, die auf der Klassifikationsontologie von YAGO basieren, d.h. neben Entitäten können auch Kategorien bei der Suche angegeben werden. Durch den Aufbau der Klassifikationstaxonomie lassen sich sehr einfach rekursive Anfragen über Teiltaxonomien formulieren (z. B. alle Dokumente in denen sowohl russische als auch amerikanische Politiker genannt werden). Details dazu finden sich in [4].

Literatur:

- [1] J. Hoffart, D. Milchevski, G. Weikum. *STICS: searching with strings, things, and cats*, 2014, Proceedings of the 37th international ACM SIGIR conference on Research & development in information retrieval (SIGIR '14), ACM, New York, NY, USA, pp. 1247-1248. DOI: <http://dx.doi.org/10.1145/2600428.2611177>
- [2] F.M. Suchanek, G. Kasneci, G. Weikum, *Yago: a core of semantic knowledge*, 2007, Proceedings of the 16th international conference on World Wide Web (WWW '07), ACM, New York, NY, USA, pp. 697-706. DOI: <https://doi.org/10.1145/1242572.1242667>
- [3] J. Hoffart, *Discovering and disambiguating named entities in text*, 2013, Proceedings of the 2013 SIGMOD/PODS Ph.D. symposium (SIGMOD'13 PhD Symposium), ACM, New York, NY, USA, pp. 43-48. DOI=<http://dx.doi.org/10.1145/2483574.2483582>
- [4] A. Schmidt, J. Hoffart, D. Milchevski, G. Weikum, *Context-Sensitive Auto-Completion for Searching with Entities and Categories*, 2016, Proceedings of the 39th International ACM SIGIR conference on Research and Development in Information Retrieval (SIGIR '16), ACM, New York, NY, USA, pp. 1097-1100. DOI: <https://doi.org/10.1145/2911451.2911461>

Abstract

The purpose of autocompleting is to predict the word or phrase a user has started to type. In the case of the entity-based search-engine STICS this feature is used for the specification of the entities as well as to suggest further entities related to already given entities, which prevents empty result-sets. Specific requirements are the very fast response time constraints ($t < 0,1$ s) and the development of a metric scale to measure and rank the relationships between multiple entities.

Zusammenfassung

Autovervollständigung hat den Zweck, eine bereits getätigte Benutzereingabe sinnvoll zu ergänzen. Im Falle der entitätsbasierten Suchmaschine STICS wird diese Funktionalität zum einen eingesetzt um Entitäten schnell spezifizieren zu können und zum anderen um nur solche Entitäten vorzuschlagen, die in Beziehung zu den bereits spezifizierten Entitäten stehen, was insbesondere leere

Ergebnismengen verhindert. Spezielle Anforderungen im konkreten Fall sind zum einen ein sehr kurzes Antwortzeitverhalten (typischerweise $t < 0,1$ s) und zum anderen die Entwicklung einer Metrik zur Bestimmung von ineinander in Beziehung stehender Entitäten.

Autor

Prof. Dr.-Ing. Andreas Schmidt

Professor an der Fakultät für Informatik und
Wirtschaftsinformatik der Hochschule Karlsruhe

Kontakt

Prof. Dr.-Ing. Andreas Schmidt
Hochschule Karlsruhe – Technik und Wirtschaft
Fakultät für Informatik und Wirtschaftsinformatik
Moltkestraße 30
76133 Karlsruhe
E-Mail: andreas.schmidt@hs-karlsruhe.de
Telefon: 0721 925-2962

Ausgewählte Data-Mining-Algorithmen zur Ermittlung von Streckenalternativen im öffentlichen Nahverkehr

Jael Widmann, Dirk Weißer und Karl Dübon

Hintergrund

Im Rahmen der Streckenplanung im öffentlichen Nahverkehr stellen ungeplante Betriebsstörungen, wie Oberleitungsschäden oder Verkehrsunfälle, eine besondere Herausforderung dar. Die zeitnahe Auswahl geeigneter Streckenalternativen müssen vielfältige Kriterien erfüllen. Fahrgäste müssen ihre Fahrziele weiterhin erreichen können, Netzressourcen wie Weichen, Signale, Stromversorgung etc. müssen berücksichtigt und temporäre Streckenüberlastung vermieden werden. Bisher werden zur schnelleren Bewältigung von Störungen und Entlastung der Disponenten Störfallprogramme aufgesetzt. Jedoch verlieren diese schnell ihren Nutzen bei langfristigen Störungen durch städtische Baumaßnahmen. Gravierend wirken sich Großprojekte in Städten aus, woraus folgt, dass der Aufwand für die Erstellung der Störfallprogramme ihren Nutzen übersteigt.

Hierzu soll die Eignung ausgewählter Data-Mining-Algorithmen überprüft werden. Data-Mining-Algorithmen sind bereits wesentliche Elemente erfolgreicher Digitalisierung. Man findet sie zur Spracherkennung in Fahrzeugen, Smartphones oder bei Recommendations in Online Shops bzw. Suchmaschinen. Ebenso ermöglichen sie schon heute die Prognose der Ankunftszeiten oder die Überwachung von Schienenzuständen im Bahnverkehr.

Im Folgenden soll der Zusammenhang zwischen Störungsmeldungen und angeordneten Streckenalternativen maschinell gelernt und auf neu auftretende Störungen angewendet werden. Hierzu kommen insbesondere Supervised-Learning-Algorithmen des Data Mining in Frage.

Zunächst wird dazu auf die besonderen Anforderungen an die Aufbereitung der notwendigen Daten eingegangen, um im weiteren Verlauf zu zeigen, welche Verfahren dabei in Anwendung kommen können. Abschließend erfolgt eine Evaluation anhand einer Stichprobe von historischen Störungsfällen.

Datenaufbau und Datenvorverarbeitung

Die Störungsmeldungen erfassen mehrere Informationen, die Einfluss auf die Umleitung haben: den Ort, die Dauer, die Störungskategorie (z.B. Unfall mit Per-

sonenschaden, Weichenstörung etc.), den Wochentag und die Tageszeit der Störung. Außerdem ist die Umleitung als Kommentar der Störungsmeldung beigelegt.

Damit ein Data-Mining-Algorithmus eine glaubwürdige Umleitungsempfehlung abgeben kann, ergeben sich aus dem Datenaufbau die in Abbildung 1 dargestellten Schritte zur Datenextraktion und Anlieferung an das IT-System.

Umwandeln der vorliegenden PDF-Datei in Text, um die Meldungen verarbeiten zu können

Sukzessive Identifikation der Attribute und Konvertieren in ein semistrukturiertes, auswertbares Datenformat (JSON)

Erkennen und Beheben unvollständiger Datensätze und von Qualitätsproblemen

Kategorisieren von Daten

Formatieren in ein CSV-Format für die Verarbeitung mit maschinellen Lerntechniken

Abb.1: Schritte der Datenvorverarbeitung

Schließlich entstehen die Daten, wie sie als Input für maschinelle Lernverfahren Verwendung finden.

Modell ausgewählter Data-Mining-Algorithmen

Als Input für das Lernverfahren werden der Streckenabschnitt, die Umleitung, die Dauer der Umleitung, die Störungsursache, der Wochentag und die Tageszeit herangezogen. Aus den möglichen Data-Mining-Algorithmen, basierend beispielsweise auf logistischen Regressionsmodellen, Entscheidungsbäumen, Bayes'schen Netzen und Neuronalen Netzen, wurden Algorithmen ausgewählt, die auf den beiden letztgenannten Graphen beruhen. Der Vorteil des Bayes'schen Netzes liegt in seiner einfachen Interpretation durch entsprechende Visualisierung. Aufgrund der Komplexität der Problemstellung wurden zudem Neuronale Netze (Back Propagation) ausgewählt, um auch nichtlineare Zusammenhänge berücksichtigen zu können. Abbildung 2 zeigt beispielhaft ein Neuronales Netz mit den in diesem Projekt bereitstehenden

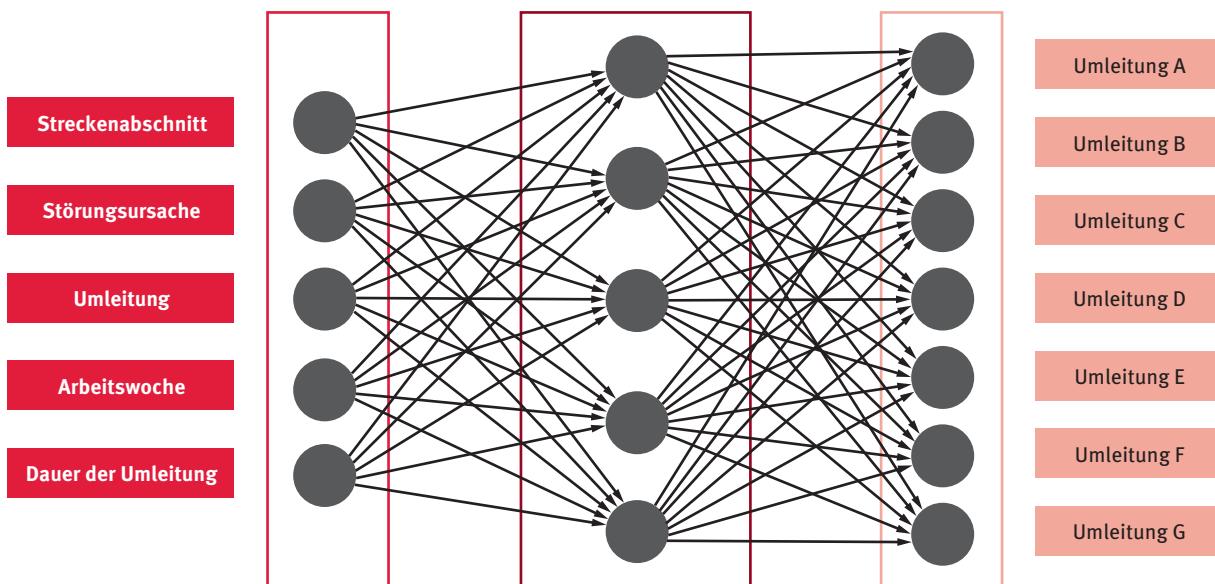


Abb. 2: Modell des Neuronalen Netzes im Fall Disposition

Inputdaten und ihrem Output. Die Neuronen der verschiedenen Layer sind miteinander verbunden und übertragen Signale. Iterativ werden in den Neuronen Gewichte neuberechnet, die darüber entscheiden, ob ein Signal weitergeleitet wird und die dadurch die empfohlene Umleitung beeinflussen.

Abbildung 3 zeigt die genutzten Merkmale angewendet in einem Bayes'schen Netz. Anhand dieser Merkmale wird die Eintrittswahrscheinlichkeit ermittelt, ob die Haltestelle Z angefahren bzw. nicht angefahren werden kann. Dabei werden alle möglichen Kombinationen der Merkmalsausprägungen bei einem Bayes'schen Netz berücksichtigt und daraufhin die Eintrittswahrscheinlichkeit $p(z | u, \text{Start}, S)$ mit der Ausprägung der Haltestelle Z berechnet.

Evaluierungsergebnis

Exemplarisch wurden anhand von 147 historischen Störungsfällen einer ausgewählten Basisstrecke, aufgeteilt in Trainings- und Testdatenmenge, die beschriebenen Modelle evaluiert.

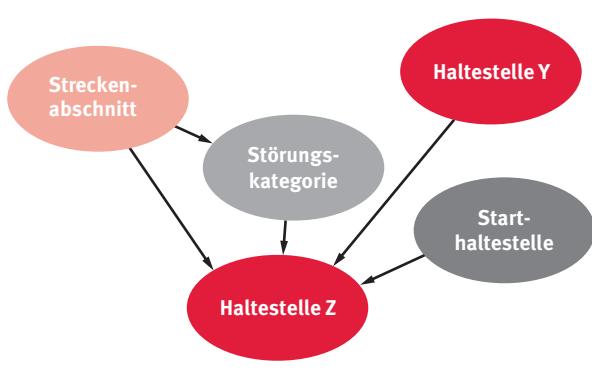
Mittels Verwendung von Neuronalen Netzen und Variation der verschiedenen Parametereinstellungen konnten knapp 20 % der angeordneten Streckenalternativen erfolgreich ermittelt werden. Dagegen konnte mit Bayes'schen Netzen mehr als ein Drittel der tatsächlich angeordneten Streckenalternativen errechnet werden.

Der Merkmalsraum umfasst 256 Merkmalskombinationen. Aus diesem Grund kann die ausgewählte Datenmenge nicht als repräsentativ angesehen werden, doch die ermittelten Ergebnisse weisen auf eine sinnvolle Anwendung von Data-Mining-Verfahren in diesem Anwendungsbereich hin.

Zusammenfassung und Ausblick

Die Komplexität des öffentlichen Nahverkehrs mit seinen vielseitigen Restriktionen, z. B. der technischen Ausstattung, seinen Einflussfaktoren, der Witterung sowie den beteiligten Akteuren, wie Autofahrern, Fußgängern und Fahrradfahrern, erfordert die Unterstützung von Disponenten durch Data-Mining-Systeme. Gepaart mit dem Erfahrungswissen der Disponenten kann damit eine Verbesserung der Routenplanung im Störfall erreicht werden.

Die ermittelten Ergebnisse erlauben die Feststellung, dass durch die Einbeziehung qualitativ hochwertiger Daten eine deutliche Steigerung der bislang erreich-



Start-haltestelle	Halte-stelle Y	Störungs-kategorie	Strecken-abschnitt	Halte-stelle Z
Lassallestraße	Ja	Unfall	A	befahren
Lassallestraße	Ja	Behinderung	A	nicht befahren
Lassallestraße	Nein	Unfall	A	$P(Z Y, U, \text{Start}, S)$

Abb. 3: Modell des Bayes'schen Netzes im Fall Disposition

ten Ergebnisse erzielt werden kann. Hierzu gehören weitere Verkehrsinformationen oder Sensordaten direkt aus dem Liniennetz.

Es ist im öffentlichen Nahverkehr zu erwarten, dass in einem weiteren Schritt Data-Mining-Algorithmen und Big-Data-Technologien sowie Internet-Of-Things (IoT)-Technologien für die Echtzeitüberwachung und -steuerung der Linien Verwendung finden werden. Es entsteht eine neue Generation von selbstlernenden Störfallprogrammen zur Unterstützung der Disposition.

Literatur

- [1] S. Moore, *What We Can Do With Machine Learning*, 2016, <http://www.gartner.com/smarterwithgartner/what-we-can-do-with-machine-learning/>; abgerufen am 11.10. 2016.
- [2] L. Schnieder, *Betriebsplanung im öffentlichen Personennahverkehr: Ziele, Methoden, Konzepte*, Kap. 7: Disposition in der Betriebsabwicklung, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2015.
- [3] F. Chu, L. Fornauf, *Vom Katastrophen- und vom dynamischen Straßenverkehrsmanagement lernen – Störfallprogramme bei Betriebsstörungen im Schienenverkehr*, Tagungsbericht zur HEUREKA ,11 - Optimierung in Verkehr und Transport, Stuttgart, 2011.
- [4] T. A. Runkler, *Datenvorverarbeitung*, Vieweg+Teubner Verlag, 2010.
- [5] J. Bell, *Machine Learning: Hands-On for Developers and Technical Professionals*, John Wiley and Sons, 2014.
- [6] L. Uusitalo, *Advantages and challenges of bayesian networks in environmental modelling*, *Eco-logical Modelling*, Elsevier, Vol. 203, Issue 3-4, pp. 312 – 318, 2007.

Abstract

Algorithms for Data-Mining enable smart mobility; they support manual control by experts, or can even provide machine decisions. Currently their use in public transportation is characterized by predefined programs, such as finding alternative routes for managing incidents. Available knowledge in the form of incident reports with suggested detours is not exploited. The Data-Mining algorithms introduced in this report, the Bayesian Net and the Neural Network, represent a first trial to gather the empirical knowledge of the controller by a trained system in order to assist the controller with a self-learning incident management system.

Zusammenfassung

Mit dem Einsatz von Algorithmen des Data-Minings ist eine intelligente Mobilität im öffentlichen Nahverkehr möglich. Damit kann der zurzeit manuell durchgeführte Planungsprozess von Streckenalternativen unterstützt und gegebenenfalls automatisiert werden. Die Disposition im Bahnverkehr ist bisher vor allem geprägt durch den Einsatz von Störfallprogrammen. Das vorhandene Wissen in Form von Störungsmeldungen und ihren angeordneten Streckenalternativen wird dagegen noch

nicht verwendet. Die vorgestellten Data-Mining-Algorithmen, das Bayes'sche Netz und das Neuronale Netzwerk stellen einen ersten Versuch dar, dieses Erfahrungswissen der Disponenten durch ein System zu ermitteln und sie nachhaltig durch selbstlernende Störfallprogramme zu unterstützen.

Autoren

Yael Widmann B.Sc.

Absolventin des Bachelorstudiengangs Wirtschaftsinformatik der Hochschule Karlsruhe

Prof. Dr. Karl Dübon

Professor an der Fakultät für Informatik und Wirtschaftsinformatik der Hochschule Karlsruhe

Dirk Weißen

Team Manager R&D bei der INIT GmbH

Kontakt

Prof. Dr. Karl Dübon

Hochschule Karlsruhe – Technik und Wirtschaft

Fakultät für Informatik und Wirtschaftsinformatik

Moltkestraße 30

76133 Karlsruhe

E-Mail: karl.duebon@hs-karlsruhe.de

Akzeptanz des Notrufsystems eCall

Vjollca Sadikaj, Ingo Stengel und Stefanie Regier

Hintergrund und Motivation

Im Jahr 2015 kamen in der Europäischen Union mehr als 26 000 Menschen bei Verkehrsunfällen ums Leben [4]. Tausende Menschenleben könnten jährlich gerettet werden, wenn die Hilfe am Unfallort rechtzeitig eintreffen würde. Doch unter Umständen sind Unfallopfer so schwer verletzt, dass sie nicht selbst den Notruf wählen können. Aus diesem Grund will die Europäische Union die Automobilhersteller ab 31. März 2018 verpflichten, ein automatisches Notrufsystem, das so genannte eCall, in alle neuen Kraftfahrzeuge und leichten Nutzfahrzeuge zu integrieren [3]. 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 und die Fahrt Richtung. Über die Position der Sitzgurte kann sogar auf die Anzahl der Personen im Fahrzeug geschlossen werden [5]. Ferner versucht eCall eine Sprachverbindung zwischen Unfallinsassen und Rettungsleitstelle aufzubauen, um weitere Informationen über Art und Schwere des Unfalls zu erhalten [2]. Um diesen Dienst gewährleisten zu können, müssen sowohl Daten erhoben als auch übertragen werden. Die übermittelten Daten unterliegen den deutschen und europäischen Datenschutzgesetzen und dürfen lediglich für Rettungszwecke verwendet werden. Sie dürfen nicht an Dritte weitergegeben oder für andere Zwecke genutzt werden [1]. Verbraucherschützer befürchten allerdings, dass Automobilhersteller versuchen werden, die erhobenen Daten zukünftig auch für kommerzielle Zusatzdienste nutzbar zu machen und stehen dem System kritisch gegenüber. Aufgrund der Aktualität des Themas liegen bislang keine theoriegeleiteten Studien zu eCall vor. Vor diesem Hintergrund war das Ziel der Studie die Identifikation von Faktoren, die die Akzeptanz des eCall Systems beeinflussen können.

Untersuchungsdesign

Hierzu wurde – basierend auf der Unified Theory of Acceptance and Use of Technology – ein theoriegeleitetes Modell aufgestellt, das die Akzeptanz von eCall erklären soll (s. Abb. 1). Dieses wurde dann einer empirischen Prüfung unterzogen. In die empirische Überprüfung des Untersuchungsmodells fanden die Daten von insgesamt 174 Probanden Eingang, die im

Rahmen einer Online-Befragung im Spätsommer 2017 an der Studie teilnahmen. Davon waren knapp 55 % der Befragten Frauen und 45 % Männer. Obwohl Auto-Notrufsysteme generell bekannt sind, hatte nur jeder Dritte Befragte bereits vom eCall System gehört.

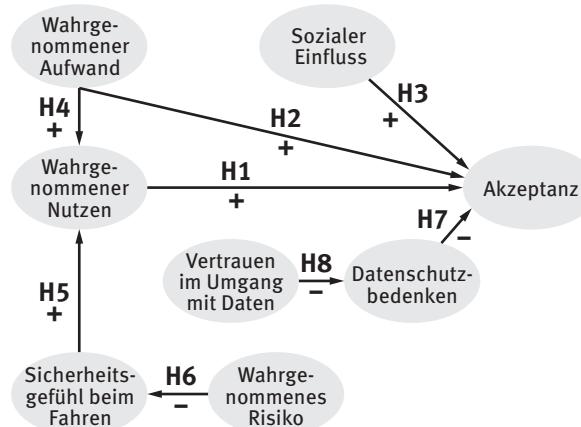


Abb. 1: Untersuchungsmodell

Das Untersuchungsmodell wurde anschließend kausalanalytisch mithilfe der Software SmartPLS ausgewertet, um die vermuteten Ursache-Wirkungsbeziehungen zu prüfen. Die dem aktuellen Standard entsprechenden Gütekriterien für die Kausalmodellierung deuten allesamt auf eine sehr gute Erklärungskraft des Modells hin.

Ergebnisse

Zunächst ist festzuhalten, dass der wahrgenommene Aufwand einen Einfluss auf die Nutzenwahrnehmung und somit auch auf die Akzeptanz des Notrufsystems hat. Die Verwendung des Systems soll für den Verbraucher kostenlos sein. Zwei von drei Befragten gehen entsprechend davon aus, dass ihnen kein Aufwand durch die Nutzung von eCall entsteht, was die Akzeptanz positiv beeinflusst.

Die Ergebnisse belegen ferner: Mehr als 60 Prozent der Befragten würden sich durch eCall beim Autofahren sicherer fühlen. Das Sicherheitsgefühl beim Fahren wirkt sich stark positiv auf den vom Konsumenten wahrgenommenen Nutzen des eCall-Systems aus und beeinflusst indirekt somit auch die Akzeptanz des Systems. Das Sicherheitsgefühl entsteht unter anderem durch das Vertrauen in die Verlässlichkeit des Systems. Praxistests mit eCall-Systemen können dem Verbraucher zeigen, dass binnen weniger Sekunden

eine Sprachverbindung mit der Notrufzentrale hergestellt wird und dadurch unverzügliche Rettungsmaßnahmen erfolgen können. Erste Tests in Österreich haben gezeigt, dass die Reaktionszeit der Notdienste je nach Gebiet um 40 bis 50 % reduziert werden konnte und die Daten im Live-Test bereits 20 Sekunden nach dem Unfall in der Rettungsleitstelle vorlagen [5].

Das Vertrauen im Umgang mit Daten wirkt sich direkt auf die Bedenken hinsichtlich des Datenschutzes und dadurch auch auf die Akzeptanz von eCall aus. Fast jeder zweite Befragte denkt, dass seine Daten nicht vor unberechtigtem Zugriff geschützt und auch für andere Zwecke, als die reine Abwicklung des Notrufes, genutzt werden. 28 % der Befragten befürchten gar, zum „gläsernen Autofahrer“ zu werden. Die Möglichkeit zum Deaktivieren des eCall-Systems darf laut EU-Parlament nicht vorhanden sein. Um dem Misstrauen hinsichtlich der Verwendung der Daten entgegenzuwirken, ist vor allem Transparenz gefragt. Neben transparenten Regelungen zur Datenspeicherung und -verarbeitung müssen die Verbraucher zeitnah und umfassend über das eCall-System sowie die erhobenen Daten und deren Verwendung informiert werden.

Das System muss klar von den privaten Notrufsystemen der Automobilkonzerne abgegrenzt sein. Private Notrufdienste sowie Zusatzdienste der Automobilhersteller sind nicht so streng reguliert wie beim eCall-System und können permanent Daten auslesen.

Trotz aller Bedenken hinsichtlich Datenschutz und informeller Selbstbestimmtheit überwiegt aus Sicht der Studienteilnehmer der Nutzen von eCall, insbesondere der Sicherheitsaspekt. Nun gilt es, dieses System dem Autofahrer auch bekannt zu machen.

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] C. Brünglinghaus, *Notfallsystem E-Call*, 2013, Herausforderung Datenschutz. <https://www.springerprofessional.de/automobilelektronik---software/sicherheit-fahrbezogener-daten/notfallsystem-e-call-herausforderung-datenschutz/6562016>, [Stand: 22.08.2017].

Sebastian Marz
 Projektleiter mit
 Torinstinkt

GIRA

Menschen bei Gira

Pioniere, Gipfelstürmer, Organisationstalente und Idealisten. Gira Mitarbeiter lieben ungewöhnliche Projekte, können zupacken und setzen sich für ihre Ideen ein.
 Bei uns arbeiten Menschen mit unterschiedlichen Leidenschaften und Fähigkeiten, die nicht nur den eigenen Erfolg, sondern auch die Interessen der Gesellschaft im Blick haben.

Wir erweitern unser Team und suchen ambitionierte Persönlichkeiten (m/w) für unser Trainee-Programm im Bereich **Entwicklung & Innovation**. Mehr erfahren: www.arbeitgeber.gira.de



- [3] 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].
- [4] Eurostat-Pressestelle (Hg.), Weltgedenktag für die Straßenverkehrstoten. Knapp über 26 000 Verkehrstote 2015 in der EU. Weniger als halb so viele Opfer wie vor 20 Jahren, 2016, Eurostat Pressemitteilung 230/2016. <http://ec.europa.eu/eurostat/documents/2995521/7734703/7-18112016-BP-DE.pdf>, [Stand: 03.11.2017].
- [5] 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].

Abstract

From March 2018, EU legislation requires the implementation of an emergency call for cars (eCall). Based on this empirical research regarding its acceptance has been carried out. Repeated criticism of data protection by eCall made a theory-based investigation of influencing factors of acceptance necessary. In this context, the main influencing factors are: sense of security during driving, concern about data protection as well as trust in adequate handling of sensitive data. Current research has also revealed that many users have not been properly informed about the new system.

Zusammenfassung

Die Grundlage für die empirische Untersuchung der Akzeptanz des Fahrzeug-Notrufsystems eCall lieferte der EU-Gesetzesbeschluss zur verpflichtenden Einführung von eCall für alle Neufahrzeuge ab März 2018. Wegen der immer wiederkehrenden Kritik an eCall hinsichtlich des Datenschutzes wurde eine empirische Untersuchung zu den Akzeptanzfaktoren durchgeführt. Dabei stellten sich vor allem das Sicherheitsgefühl beim Fahren, Datenschutzbedenken und das Vertrauen im Umgang

mit den Daten als wichtige Treiber heraus. Ferner offenbarte die Studie, dass offensichtlich viele Verbraucher noch nicht ausreichend über das neue System informiert sind.

Autoren

Vjollca Sadikaj M.Sc.

Absolventin des Masterstudiengangs Wirtschaftsinformatik der Hochschule Karlsruhe

Prof. Dr. Ingo Stengel

Professor an der Fakultät für Informatik und Wirtschaftsinformatik
der Hochschule Karlsruhe

Prof. Dr. Stefanie Regier

Professorin 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

Industrie 4.0: Aufgabenschwerpunkte der gegenwärtigen Technik

Maja Jeretin-Kopf und Rüdiger Haas

Im Rahmen der durch das Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) initiierten Foresight-Studie werden entscheidende Entwicklungen benannt, die den aktuellen technologischen und gesellschaftlichen Wandel bis 2030 prägen [1]. Im BMBF-Foresight-Prozess werden gesellschaftliche Trends und Herausforderungen bis 2030 sowie Forschungs- und Technologieperspektiven identifiziert und auf deren Basis neue Herausforderungen an der Schnittstelle von Gesellschaft und Technik benannt [2].

Neben zehn weiteren Forschungs- und Technologiefeldern wurde das Thema Produktion im Hinblick auf langfristige Forschungs- und Technologieperspektiven untersucht. Weitere im Ergebnisband genannte Forschungs- und Technologiefelder sind: Biotechnologie, Dienstleistungen, Energie, Gesundheit und Ernähr-

rung, Informations- und Kommunikationstechnologie, Mobilität, Nanotechnologie, Photonik, zivile Sicherheitsforschung, Materialwissenschaft und Werkstofftechnik. Bereits diese Aufzählung verdeutlicht, dass dem Forschungs- und Technologiefeld Produktion eine Querschnittsaufgabe zukommt, da eine Vernetzung der Forschungs- und Entwicklungsfragen, beispielsweise zu Informationstechnologien, Nano- und Biotechnologien sowie Materialwissenschaft und Werkstofftechnik, gegeben ist. Dieser Beitrag stellt aus diesem Grunde Veränderungen in den Fokus, die sowohl im Zusammenhang mit Produktionstechnologien als auch mit der soziokulturellen Gestaltung der Produktion einhergehen. Im Foresight-Prozess wurden folgende Teilgebiete der Produktion identifiziert, bei denen mit hoher Dynamik der Entwicklung zu rechnen ist:

Lieber motivierendes Arbeitsklima statt schlechter Stimmung?

Wir suchen Mitentwickler. Werden Sie Teil eines internationalen Handelsunternehmens, das auf Leistung, Dynamik und Fairness setzt. Starten Sie gemeinsam mit uns in eine erfolgreiche Zukunft. Mit einem **Praktikum**, einer **Abschlussarbeit**, einem **Traineeprogramm** oder einem **Direkteinstieg** bieten wir Ihnen unterschiedliche Möglichkeiten.

Entdecken Sie mehr auf kaufland.de/karriere

Kaufland
Gute Woche.

- cyber-physische Produktionsprozesse
- generative Verfahren für unterschiedliche Materialien
- energie- und ressourcenintensive Wertschöpfungsketten
- flexible und robuste Maschinen, Produktionsprozesse und Wertschöpfungsnetze
- Mensch-Technik-Interaktion
- simultanes System-Engineering zur Verkürzung globaler Entwicklungszeiten sowie
- Know-how und Vulnerabilitätsschutz digitaler Produktionssysteme

Großunternehmen haben längst begonnen, sich vermehrt mit der Digitalisierung zu beschäftigen und in neue innovative IT-Strukturen zu investieren. Den kleineren und mittleren Unternehmen (KMU) fehlt jedoch bis dato ein klares Bild, um aus dem ganzen Digitalisierungschaos für das Unternehmen die richtigen Entscheidungen abzuleiten. Maßgebend für kleine und mittelständische Unternehmen ist schon heute der Ansatz, dass zukünftig alle mit der Produktion zusammenhängende Bereiche intelligent, unter Zuhilfenahme entsprechender IT-Strukturen und Datenströme zu vernetzen sind. Das bedeutet, dass alle Schnittstellen eines Unternehmens, angefangen von der Unternehmensführung über Vertrieb, Forschung und Entwicklung sowie Produktion bis hin zum Service dieser digitalen Transformation auszusetzen sind. Hierbei ist mit einer tiefgreifenden Änderung der bisherigen Technologien und Prozesse zu rechnen. Für die KMU kann das im Extremfall heißen, dass nichts mehr so ist wie zuvor. Gelingt diese Transformation hin zu Industrie 4.0, so profitieren im Idealfall Kunden und Geschäftspartner sowie Mitarbeiter davon. Allerdings nur dann, wenn Prozesse schneller, sicherer, effizienter und nutzerfreundlicher ausgelegt werden [3].

Vor diesem Hintergrund ist es ersichtlich, dass die aktuelle technologische Entwicklung sowohl die Unternehmen als auch die Mitarbeitenden vor vielfältige Herausforderungen stellt. Die Aufgabenschwerpunkte, die sich aus der aktuellen technologischen Entwicklung ergeben sind zudem sehr betriebsspezifisch geprägt. Der Grund dafür liegt unter anderem darin, dass in Deutschland KMU häufig eine technologische Nische besetzen. Will man in KMU die Aufgaben und Anforderungen erheben, die sich im Kontext der digitalen Transformation ergeben, ist es notwendig die Perspektive der Mitarbeitenden zu berücksichtigen. Diese ist allerdings sehr komplex und enthält neben inhaltlichen noch weitere Aspekte, die berücksichtigt werden müssen, wie z.B. individuelle Merkmale, soziales Gefüge, Handlungsziele sowie affektive Aspekte [4].

Die Abteilung Wissens- und Technologietransfer der Hochschule Karlsruhe untersucht die Aufgabenschwerpunkte der gegenwärtigen Technik im Kontext der digitalen Transformation in kleinen und mittelständischen Unternehmen. Um die Mitarbeitenden in die Erhebung der Daten aktiv einbinden zu können wird eine speziell für die Studie entwickelte webbasierte Wissens- und Kommunikationsplattform eingesetzt, die den Mitarbeitenden ermöglicht, ihre Aufgabenschwerpunkte zu definieren und über diese miteinander zu kommunizieren.

Die Analyse der dabei erhobenen Daten ermöglicht Einblicke in die Vernetzungsstrukturen des jeweiligen Unternehmens und erlaubt Rückschlüsse auf den Handlungsbedarf innerhalb der Aufgabenschwerpunkte. Die Vernetzungsstrukturen innerhalb des Unternehmens entwickeln sich entlang der Wertschöpfungsketten, die vorrangig der Industrie 4.0-Landschaft zuzuordnen sind. Diese sind Produkt- und Produktlinienentwicklung, Verfahrens- und Anlagenentwicklung, Produktherstellung- und After-Sales-Service sowie Anlagebau- und Anlagebetrieb [5, 6]. Mit Hilfe der erhobenen Daten soll die Frage beantwortet werden, welche Kompetenzen die Mitarbeitenden in der Zukunft erwerben müssen, um innerhalb der zunehmenden Vernetzung der Wertschöpfungsketten effektiv agieren zu können.

Die Auswertung der Daten wird mittels Qlik-Software visualisiert und der Geschäftsleitung der beteiligten Unternehmen für weitere Analyse und Interpretation zur Verfügung gestellt. Auf dieser Grundlage können die Unternehmen sowohl die Handlungsfelder entlang der Wertschöpfungsketten als auch den Weiterbildungsbedarf der Mitarbeitenden definieren.

Die Studie wird durchgeführt von der Abteilung für Wissens- und Technologietransfer der Hochschule Karlsruhe, den Steinbeis-Transferzentren BAT-Solutions und SITIS sowie dem IT-Unternehmen Iodata GmbH. An der Studie beteiligen sich mehrere kleine und mittelständische Unternehmen.

Erste Ergebnisse werden im Sommer 2018 vorliegen.

Literatur

- [1] A. Zweck, D. Holtmannspötter, M. Braun, M. Hirt, S. Kimpeler, P. Warnke, *Gesellschaftliche Veränderungen 2030*, Ergebnisband 1 zur Suchphase von BMBF-Foresight Zyklus II, Düsseldorf 2015.
- [2] A. Zweck, D. Holtmannspötter, M. Braun, K. Kuhls, M. Hirt, S. Kimpeler, *Forschungs- und Technologieperspektiven 2030*, Ergebnisband zur Suchphase von BMBF-Foresight Zyklus II, Düsseldorf 2015.
- [3] R. Haas, *Industrie 4.0 braucht den Menschen 4.0!* in: O. Brehm, R. Haas, M. Jeretin-Kopf (Hrsg.), *Industrie 4.0 in KMU - KMU-taugliche Wege zur Digitalisierung*, Stuttgart, Steinbeis-Edition, 2017, S. 13–17.
- [4] M. Jeretin-Kopf, R. Haas, *Mitarbeiterperspektive: was zählt - Zur Erhebung der Schwerpunkte der gegenwärtigen Technik aus der Mitarbeiterperspektive* in: O. Brehm, R. Haas, M. Jeretin-Kopf (Hrsg.), *Industrie 4.0 in KMU - KMU-taugliche Wege zur Digitalisierung*, Stuttgart, Steinbeis-Edition, 2017, S. 70–77
- [5] M. Jeretin-Kopf, *Entwicklung dynamischer Curricula für die betriebliche Weiterbildung. Wie kommt man zu den Zielen und Inhalten?* in: O. Brehm, R. Haas, M. Jeretin-Kopf (Hrsg.), *Industrie 4.0 in KMU - Sind Sie fit für die Zukunft? Interdisziplinäre Aspekte und Perspektiven*, Tagungsband, Stuttgart, Steinbeis-Edition, 2016, S. 74–80.
- [6] *Wertschöpfungsketten*, Industrie 4.0 Statusreport, VDI/VDE, 2014

Abstract

Digital transformation presents a variety of challenges to both companies and employees. These days the decisive approach for SMEs is to intelligently network all production-related areas with the help of appropriate IT structures and data streams. This means that all interfaces of a company are subjected to this digital transformation. Thus, a profound change is expected in existing technologies and processes. The emerging tasks from the perspective of the employees are currently being investigated in a study.

Zusammenfassung

Die digitale Transformation stellt sowohl die Unternehmen als auch die Mitarbeitenden vor vielfältige Herausforderungen. Maßgebend für kleine und mittlere Unternehmen (KMU) ist schon heute der Ansatz, dass zukünftig alle mit der Produktion zusammenhängende Bereiche intelligent, unter Zuhilfenahme entsprechender IT-Strukturen und Datenströme, zu vernetzen sind. Das bedeutet, dass alle Schnittstellen eines Unternehmens dieser digitalen Transformation auszusetzen sind. Hierbei ist mit einer tiefgreifenden Veränderung der bisherigen Technologien und Prozesse zu rechnen. Welche Aufgabenschwerpunkte sich dabei aus der Perspektive der Mitarbeitenden ergeben, wird aktuell im Rahmen einer Studie untersucht.

Autoren**PD Dr. phil. habil. Maja Jeretin-Kopf**

Wissenschaftliche Leiterin der Abteilung Wissens- und Technologietransfer (WTT) am Institute of Materials and Processes (IMP) der Hochschule Karlsruhe, Privatdozentin an der Pädagogischen Hochschule Karlsruhe sowie Zweite Vorsitzende der Deutschen Gesellschaft für Technische Bildung

Prof. Dr.-Ing. Rüdiger Haas

Professor an der Fakultät für Maschinenbau und Mechatronik der Hochschule Karlsruhe und Direktor der Abteilungen Wissens- und Technologietransfer (WTT) sowie cyber-physische Produktionsysteme (CPPS) am Institute of Materials and Processes (IMP)

Kontakt:

PD Dr. phil. habil. Maja Jeretin-Kopf
Hochschule Karlsruhe - Technik und Wirtschaft
Institute of Materials and Processes (IMP)
Wissens- und Technologietransfer (WTT)
Moltkestraße 30
76133 Karlsruhe
E-Mail: maja.jeretin-kopf@hs-karlsruhe.de
Telefon: 0721 925-2072

Digitale Geschäftsmodellinnovation im mittelständischen Maschinenbau

Roman Kerres, Larissa Herberger, Jessica Thomann und Carsten H. Hahn

Motivation

Der deutsche Mittelstand, der weltweit aufgrund der hohen Anzahl von „Hidden Champions“ bekannt ist, sieht sich in den letzten Jahren dem immer rasanter werdenden Trend der Digitalisierung gegenüber.

Die Digitalisierung der Wirtschaft bringt neben vielen Wachstumschancen auch neue Herausforderungen hinsichtlich der Wettbewerbsfähigkeit mit sich. Viele Branchen wurden bereits durch die Digitalisierung radikal verändert: Wurden vor einigen Jahren Bücher lediglich über lokale Einzelhändler vertrieben, so hat heute der größte Buchhändler der Welt keine einzige Filiale. Mit dem Einbezug einer neuen digitalen Technologie in sein Geschäftsmodell hat Amazon.com, Inc. den gesamten Buchhandel revolutioniert. Der Wettbewerb innerhalb dieser und angrenzender Branchen hat sich seither grundlegend verändert. Dieser Veränderung müssen sich immer mehr Branchen stellen.

Um in dieser Hinsicht einen Wettbewerbsvorteil zu erarbeiten, bietet sich das Geschäftsmodell als Gegenstand der Innovation an. Es kann als Konstrukt genutzt werden, um neue Technologien der Digitalisierung so in das Unternehmen zu integrieren, dass nicht nur neue Produkte oder Services entstehen, sondern vor allem auch der Nutzen für den Kunden im Fokus steht.

Die Entwicklung und Implementierung digitalisierter Geschäftsmodelle stellt den deutschen Mittelstand allerdings vor große Herausforderungen, unter anderem bezüglich Ressourcen, Kapazitäten und Know-how. Insbesondere in dem noch jungen Fachbereich der Geschäftsmodelle und deren Innovation hat der Mittelstand noch wenig Expertise und tut sich auf Grund seiner Eigenschaften schwer beim Aufbau von Know-how oder Ressourcen [1]. Dieser Effekt wird weiterhin dadurch verstärkt, dass der Mittelstand an geringer Attraktivität gegenüber jungen und hochqualifizierten Arbeitnehmern leidet [2].

Zwar kann der mittelständische Maschinenbau sein Know-how durch den VDMA e. V., die IHK oder andere Verbände aufbauen, jedoch fehlen für einen solchen Aufbau oftmals die personellen Ressourcen in mittelständischen Unternehmen. Daher kann in diesen Unternehmen eine Lücke zwischen theoretischem Vor-

gehen und praktischer Umsetzung entstehen, nicht zuletzt da sich die praktische Realisierung einer Geschäftsmodellinnovation als zeit- und ressourcenintensiver Prozess herausstellt.

Aufgrund der oben genannten Problemstellungen wird an der Hochschule Karlsruhe das Themengebiet der Geschäftsmodellinnovation im Umfeld des Mittelstands erforscht. Ziel ist es mittelständischen Unternehmen Wege aufzuzeigen, wie sie Ansätze für digitale Geschäftsmodellinnovationen entwickeln und implementieren können.

Dies soll nachfolgend anhand von zwei Leuchtturmprojekten im mittelständischen Maschinenbau vorgestellt werden. In Projekt I wird auf das Vorgehen eingegangen, während in Projekt II zwei konkrete Ansätze für digitale Geschäftsmodelle vorgestellt werden.

Leuchtturmprojekt I

Für dieses Projekt wurde ein gestaltungsorientierter Ansatz als Forschungsmethode gewählt. Dies impliziert, dass das, anhand der realen Problemstellung des mittelständischen Maschinenbauunternehmens Felss Systems GmbH, entwickelte Vorgehen der Geschäftsmodellinnovation praktisch validiert wurde.

Das entwickelte Vorgehen (s. Abb. 1) sieht zunächst die Initialisierung des Innovationsprozesses und die Festlegung der Zielsetzung eines neuen Geschäftsmodells vor. Dem schließt sich die Definition einer Problemstellung bezüglich der Geschäftsmodellinnovation an, was einen Verständnisaufbau gegenüber den Rahmenbedingungen sowie Technologien des eigenen Unternehmens, der Kunden aber auch des bereits bestehenden Geschäftsmodells erfordert [3]. Darauf aufbauend werden Lösungen für innovative Geschäftsmodelle, sogenannte Geschäftsmodell-Entwürfe entwickelt. Nach Auswahl eines dieser Geschäftsmodelle wird dieses weiterentwickelt, indem es frühzeitig gemeinsam mit Kunden validiert wird. Das Vorgehen mündet schließlich in der Implementierung des innovativen Geschäftsmodells.

Gemäß des oben genannten Vorgehens werden im Initialisierungsschritt der Geschäftsmodellinnovation die unternehmensinterne Sensibilisierung der



Abb. 1: Modellhaftes Vorgehen einer Geschäftsmodellinnovation in Anlehnung an [3] und [5]

erforderlichen Bereiche fokussiert. Dabei werden Ansprechpartner identifiziert und erforderliche Informationen zusammengetragen. Weiterhin wird ein Team zusammengestellt, welches die Geschäftsmodellinnovation bearbeiten soll. Hierbei ist eine ausgeglichene Teamzusammensetzung und eine FAVORISIERUNG von Know-how tragenden Mitarbeitern, ein sog. T-Shaped Team [4], entscheidend. Dies sorgt dafür, dass in der Ideenphase ein fachübergreifendes Wissen vorhanden ist und der Lösungsraum möglichst breit aufgespannt wird. Durch die Einführung des Teams in die Methoden der Geschäftsmodellinnovation wird ein Verständnisaufbau gegenüber Geschäftsmodellen erzielt. Dies ermöglicht die Festlegung einer konkreten Zielsetzung für das neue Geschäftsmodell, da es als Gegenstand der Innovation greifbar wird. Darauf aufbauend kann eine Problemstellung formuliert werden, die es im Rahmen der Geschäftsmodellinnovation zu lösen gilt. Hierbei sind die relevanten Rahmenbedingungen und deren Ausprägungen zu identifizieren. Eine solche Rahmenbedingung kann unter anderem die Anwendung von digitalen Technologien darstellen, umfasst aber auch die Eigenschaften des Mittelstands bzw. des individuellen Unternehmens.

Da das Geschäftsmodell eine gesamtheitliche Herangehensweise verlangt, obliegt die Verantwortung der Unternehmensleitung. Als praktikabel hat sich die Übertragung dieser Aufgabe auf einen Geschäftsmodellinnovator erwiesen. In direkter Abstimmung mit der Unternehmensleitung trägt dieser die Verantwortung der Entwicklung des neuen Geschäftsmodells. Er stellt nicht nur das oben beschriebene T-Shaped Team zusammen, sondern gestaltet die Entwicklung proaktiv, indem er die relevanten Rahmenbedingungen der Problemstellung gemeinsam mit dem Team optimal versteht. Aufbauend auf der Problemstellung grenzt der Geschäftsmodellinnovator dann den Lösungsraum für die Entwicklung der Geschäftsmodellentwürfe ein.

Anschließend werden in einem interdisziplinären Team möglichst viele Entwürfe zukünftiger Geschäftsmodelle entwickelt. Die Auswahl und die darauffolgende Konkretisierung eines Entwurfs hängt vom realen Kunden-Feedback ab, das durch das Überprüfen von Annahmen bzgl. des Geschäftsmodellentwurfs ermittelt wird [5], [6]. Das Geschäftsmodell muss je-

doch nicht nur in Bezug auf den Markt und den Kundennutzen, sondern auch bzgl. der internen Wertschöpfungsprozesse und der Strategie abgestimmt werden. Hierfür ist die Erarbeitung eines Vorschlags für die Implementierung in die Organisation erforderlich, wofür ebenfalls der Geschäftsmodellinnovator in der Verantwortung steht. Er stimmt die notwendigen Entscheidungen bzgl. des Markts, der Implementierung des Geschäftsmodells in die Organisation oder der Allokation von Ressourcen mit dem Management ab. Eine Iteration einzelner Schritte dieses Vorgehens kann jederzeit notwendig werden, sobald beispielsweise die Konsistenz des Kunden-Feedbacks zu den internen Wertschöpfungsprozessen nicht gegeben ist.

Leuchtturmprojekt II

Ziel des Projekts „Digitalisierte Geschäftsmodelle für den Mittelstand - Neue Ansätze zur digitalen Transformation der Kundenschulungen im Maschinen- und Anlagenbau“ war die Untersuchung, inwieweit Unternehmen ihre Kundenschulungen, die aufgrund der komplexen und erklärbare bedürftigen Produkte in der Branche notwendig sind [7], anhand von Massive Open Online Course (MOOC)-Plattformen digitalisieren können.

Im Projekt wurden zwei verschiedene Plattformen auf der Basis von Referenzmodellen entwickelt, um das bisherige Geschäftsmodell eines exemplarisch ausgewählten Unternehmens des Maschinen- und Anlagenbaus zum einen evolutionär und zum anderen disruptiv zu innovieren. Weiterhin wurden die Vorteile sowie Nachteile der beiden Modelle für das plattformanbietende Unternehmen gegenübergestellt.

Der Begriff MOOC steht für internetbasierte Plattformen, die der Wissensvermittlung dienen und ihren Ursprung an renommierten, US-amerikanischen Bildungseinrichtungen haben. Der zentrale Aspekt dieser Plattformen ist, dass diese für jede Person mit einer Internetverbindung zugänglich sind, unabhängig von deren Qualifikationen oder sonstigen Zulassungsvoraussetzungen [8]. Dabei sind die online angebotenen Kurse für eine nahezu unbeschränkte Teilnehmerzahl ausgelegt und als Lehrveranstaltung aufgebaut. Grundsätzlich ist die Teilnahme an einem Kurs, wie auch die grundlegenden Lernmaterialien, kostenlos.

Allerdings werden häufig Gebühren für etwaige Zusatzleistungen und Zertifikate erhoben [9].

Dieser Lehrplattform-Ansatz wurde in den Kontext von Kundenschulungen im Maschinenbau gesetzt. Es lassen sich beim Aufbau einer MOOC-Plattform zur Durchführung der Kundenschulungen in digitalisierter Form und die damit einhergehende Innovation des Geschäftsmodells zwei unterschiedliche Realisierungsansätze erkennen. Das Konzept der evolutionären Geschäftsmodellinnovation sieht eine unternehmensinterne MOOC-Plattform zur Durchführung von Kundenschulungen vor. Das Kerngeschäft des Unternehmens bleibt dabei bestehen, lediglich die Schulungen werden digitalisiert und als produktbegleitende Dienstleistung angeboten.

Dem gegenüber steht der disruptive Ansatz. Dieses Konzept sieht vor, dass die Plattform für fremde Anbieter geöffnet wird, die ebenfalls Interesse haben, ihre Kundenschulungen zu digitalisieren. Mit diesem Ansatz wird das Unternehmen zu einem Anbieter einer Multi-Sided Plattform für Schulungen im Maschinen- und Anlagenbau. Durch dieses digitale Geschäftsmodell wird das Kundensegment erweitert und der Einstieg in einen neuen Markt möglich.

Fazit

Auf Grund der Herausforderungen, die eine Geschäftsmodellinnovation vor allem im Mittelstand mit sich bringt, zeigt sich die Hochschule Karlsruhe als idealer, alternativer Innovationskanal. Sie bietet den Unternehmen die fachliche Expertise und Unterstützung beim Vorgehen und kann somit die oben genannte Lücke zwischen Theorie und Umsetzung schließen. Auch der Einsatz eines Geschäftsmodellinnovators, beispielsweise in Form eines Studierenden, kann hierzu beitragen. Darüber hinaus sorgt studentischer Input für einen kreativen und inspirativen Umgang mit digitalen Technologien sowie dem bestehenden Geschäftsmodell der Unternehmen. Vor allem radikale oder disruptive Ansätze lassen sich somit erarbeiten.

Literatur

- [1] P. Kranzusch, E. May-Strobl, B. Levering, F. Welter, K. Ettl, *Das Zukunftspanel Mittelstand 2017 - Update einer Expertenbefragung zu aktuellen und zukünftigen Herausforderungen des deutschen Mittelstands, 2017*, IfM-Materialien, Institut für Mittelstandsforschung (IfM) Bonn, No. 256, S. 27 ff.
- [2] W. Hamel, *Personalwirtschaft in H.-C. Pfohl (Hrsg.), Betriebswirtschaftslehre der Mittel- und Kleinbetriebe, 2013*, Erich Schmidt Verlag, S. 257 ff.
- [3] O. Gassmann, K. Frankenberger, M. Csik, *Geschäftsmodelle entwickeln – 55 innovative Konzepte mit dem St. Galler Business Model Navigator, 2013*, Hanser Verlag, S.22 ff.
- [4] F. Uebenickel, W. Brenner, B. Pukell, T. Naef, B. Schindlholzer, *Design Thinking, 2015*, Frankfurter Allgemeine Buch, S. 74
- [5] A. Osterwalder, Y. Pigneur, *Business Model Generation, 2010*, Wiley Verlag, S. 254 f.
- [6] A. Osterwalder, Y. Pigneur, G. Bernarda, A. Smith, *Value Proposition Design, 2015*, Campus Verlag, S. 200 ff.
- [7] C. Rainfurth, *Dienstleistungsarbeit im produzierenden Maschinenbau. Eine Analyse am Beispiel von kleinen und mittleren Unternehmen, 2003*, Fraunhofer IRB Verlag, S. 36.
- [8] A. McAuley, B. Stewart, G. Siemens, D. Cormier, *The MOOC Model For Digital Practice, 2010*, abgerufen am 11. Juni 2017 von http://www.elearn-space.org/Articles/MOOC_Final.pdf, S. 4.
- [9] D. E. Schultz, *Potenziale und Probleme von MOOCs. Eine Einordnung im Kontext der digitalen Lehre, 2014*, HRK Hochschulrektorenkonferenz, Bonn, abgerufen am 12. Juni 2017 von https://www.hrk.de/uploads/media/2014-07-17_Endversion_MOOCs.pdf, S. 10f.

Abstract

The age of digitization not only delivers technological opportunities, but also innovative and customer-oriented business models that support the growth of medium-sized companies. The Faculty of Management Science and Engineering and the G-Lab have examined a business model innovation, the promotion of business model thinking as well as the implementation of innovative business models. Initial results are derived from two flagship projects with medium-sized machine builders.

Zusammenfassung

Das Zeitalter der Digitalisierung bringt nicht nur technologische Chancen mit sich, sondern es bietet auch erhebliche Wachstumschancen für innovative und kundenorientierte Geschäftsmodelle des Mittelstands. Das Vorgehen einer Geschäftsmodellinnovation, die Förderung der Geschäftsmodell-Denkweise sowie die Umsetzung innovativer Geschäftsmodelle werden an der Fakultät für Wirtschaftswissenschaften zusammen mit dem Forschungsprojekt G-Lab untersucht. Erste Ergebnisse lassen sich an zwei Leuchtturmprojekten mit mittelständischen Maschinenbauunternehmen ableiten.

Autoren

Roman Kerres M.Sc.

Akademischer Mitarbeiter im
Forschungsprojekt G-Lab

Larissa Herberger B.Sc.

Studierende des Masterstudiengangs Technologie-
Entrepreneurship an der Fakultät für Wirtschafts-
wissenschaften der Hochschule Karlsruhe

Jessica Thomann M.Sc.

Absolventin des Masterstudiengangs International
Management an der Fakultät für Wirtschaftswissen-
schaften der Hochschule Karlsruhe

Prof. Dr. Carsten H. Hahn

Professor an der Fakultät für Wirtschaftswissen-
schaften der Hochschule Karlsruhe

Kontakt

Roman Kerres M.Sc.

Hochschule Karlsruhe – Technik und Wirtschaft
Center of Competence

Forschungsprojekt G-Lab

Moltkestraße 30

76133 Karlsruhe

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



**Erfolgreicher Einstieg für Studierende.
Praxiserfahrung, Projekte und Perspektiven**

Machen Sie sich bereit für Einblicke in ein Unternehmen, das anders ist als die meisten, die Sie kennen. Die MARKANT Gruppe bietet Dienstleistungen, die tatsächlich einzigartig sind – und deshalb umso spannender für Studierende mit Heißhunger auf Praxiswissen.

Was wir bieten:

- Eine Plattform um an aktuellen Projekten und Themen mitzuarbeiten. Sie lernen nicht nur Abläufe und Strukturen kennen, Sie profitieren auch von unserem großen Know-how in den Bereichen.
- Sie erhalten bei uns vielseitige Unterstützung, nicht nur in der Einarbeitung, sondern auch durch einen direkten Ansprechpartner.

Was Sie erwarten:

- Praktika, Abschlussarbeiten, Trainee Programme und Direkteinstieg
- Mögliche Tätigkeitsbereiche sind beispielsweise: Softwareentwicklung, Applikationsmanagement, Personal oder Marketing.

Kontakt & Bewerbung

Bereich Personal, Herr Stefan Hofmann
Telefon: 0781 616-140
E-Mail: bewerbung@de.markant-karriere.com



Veränderung gestalten statt von ihr getrieben zu werden: Mit sozialen Lerntechnologien die Weiterentwicklung des beruflichen Selbstverständnisses fördern

Andreas Peter Schmidt

Die Arbeitswelt befindet sich in einem fundamentalen Wandel. Stück für Stück erfasst die Digitalisierung zusätzliche Branchen (Stichwort „Industrie 4.0“) und verändert darin grundlegend die Arbeitsweisen und Jobprofile der Mitarbeiter. Es kommen neue Projektmanagementansätze und ein neues Führungsverständnis hinzu, wie z. B. der Trend in Richtung Agilität zeigt. All das stellt Mitarbeiter vor große Herausforderungen, die nicht nur im Aneignen neuer Fähigkeiten und Fertigkeiten wie z.B. im Umgang mit IT-Systemen bestehen, sondern grundsätzlichere Themen umfassen. Was ist „gute Arbeit“? Und wie geht man mit Konflikten, Spannungen und Belastungen um, die durch die Veränderungsprozesse entstehen? Unterstützung solcher Lernprozesse werden meist von Personalentwicklungsmaßnahmen überhaupt nicht erfasst. Denn dies betrifft tiefere Lernschichten, die mit dem beruflichen Selbstverständnis zu tun haben. Gleichzeitig stehen die Personalentwicklungsbereiche selbst unter großem Veränderungsdruck, da eintägige oder gar mehrtägige Veranstaltungen immer seltener und die Lerneinheiten immer kleinteiliger („bite-size learning“) werden. Dies lässt sich über Präsenzlernformate nicht abdecken. Zugleich aber waren die ersten Erfahrungen mit E-Learning in Form von Web-Based Training nicht besonders erfolgreich.

Im Rahmen des von der EU geförderten Projekts EmployID wurde im Zusammenspiel der Forschungspartner, die neben der Hochschule Karlsruhe das KIT, die Universität Warwick, das Jozef Stefan Institut in Ljubljana und das Zentrum für Soziale Innovation in Wien umfassen, der Unternehmenspartner (Pontydy-

gu in Pontypridd und ENZYME in Barcelona) und der Anwendungspartner (Arbeitsagenturen im Vereinigten Königreich, Slowenien und Kroatien) der Frage nachgegangen, wie soziale Lerntechnologien eine Umgebung schaffen können, in der das berufliche Selbstverständnis durch die Mitarbeiter weiterentwickelt wird. Hierbei wurde auf Arbeitsagenturen in Europa fokussiert, da zum einen die öffentliche Verwaltung in Bezug auf die Einführung von modernen Lerntechnologien besonders herausfordernde Bedingungen stellt und gerade auch Arbeitsvermittler und Berufsberater ihren Kunden wiederum dabei helfen sollen, ihr Selbstverständnis weiterzuentwickeln.

Das berufliche Selbstverständnis hat dabei sowohl eine individuelle als auch eine kollektive Dimension als Berufsgruppe (s. Abb. 1).

Hierzu gehören viele Faktoren, darunter insbesondere auch Geschichten, die man über sich und die eigene Berufsgruppe, aber auch über andere angrenzende Berufsgruppen erzählt. Daneben zählen auch die Berufskultur sowie sogenannte „coping strategies“ als Mechanismen zur Bewältigung von emotionalen Belastungen dazu. Schließlich spielen auch formale Qualifikationen oder andere akzeptierte Werdegänge eine Rolle, um zur Berufsgruppe dazuzugehören.

Ein Ansatz, um Mitarbeitern zu helfen, ihr berufliches Selbstverständnis weiterzuentwickeln, besteht in sozialen Onlinekursen, die eine Adaption des Konzepts von Massive Open Online Courses (MOOC) sind. Dabei stehen neben den inhaltlichen Beiträgen in Form von

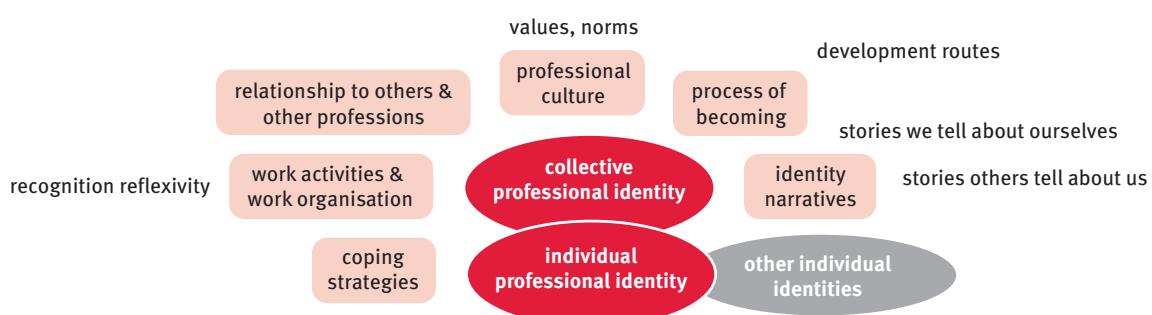


Abb.1: Individuelles und kollektives berufliches Selbstverständnis

unterschiedlichen Medien die Konversationen zwischen den Teilnehmern im Vordergrund, die von den Kursbetreuern stimuliert und moderiert werden. Hier hat das Projekt interne Kurse bei den Arbeitsagenturen sowie einen internationalen MOOC durchgeführt. Die Ergebnisse der Durchführung beim Department for Work & Pensions im Vereinigten Königreich waren dabei vielversprechend und zeigen, dass hier nachhaltige Ergebnisse erreicht werden können.

Reflexion ist eine wesentliche, aber oft vernachlässigte Lernaktivität. Oft fehlen Räume am Arbeitsplatz, aber auch die konkreten Anstöße. Deshalb wurde für die Arbeitsagenturen in Slowenien und Kroatien eine Community-Plattform entwickelt, die zum einen durch ein Moderationskonzept und entsprechende Inhalte, zum anderen durch gezielte sogenannte „Reflection Prompts“ stimuliert wurde. Bei der Einführung zeigten sich Herausforderungen in Bezug auf die Etablierung einer Austauschkultur und die schwierigen Rahmenbedingungen (beispielsweise die Möglichkeit der Nutzung nur an bestimmten Wochentagen oder in sehr eingeschränkten Zeiträumen).

Ein anderes Konzept, um insbesondere auch emotionale Aspekte zu adressieren und aus einer problemorientierten Einstellung in eine lösungsorientierte Haltung zu gelangen und so wirkungsvolle Verhaltensänderungen zu erreichen, ist Peer Coaching (manchmal auch kollegiales Coaching). Hier wurde ein zeitlich beschränkter Prozess entwickelt, der in einem Online-Kurs vermittelt und sowohl in Präsenzform als auch über ein webbasiertes Tool durchgeführt werden kann. Neben der individuellen Problemlösung wirkt die Beschäftigung mit Peer Coaching auch in der Vermittlung von Fähigkeiten zur Unterstützung des Lernprozesses anderer.

Schließlich wurden den Mitarbeitern auch Werkzeuge zur Analyse und Interpretation von Arbeitsmarktdaten bereitgestellt. Denn es zeigte sich große Unsicherheit im Umgang mit solchen Daten. Die Lösungen wurden leichtgewichtig auf der Basis von Open Data Initiativen

der jeweiligen Regierungen entwickelt und umfassen auch Konversationsmöglichkeiten. Sowohl in Slowenien als auch im Vereinigten Königreich wurden die Werkzeuge allen Mitarbeitern zur Verfügung gestellt. Neben dem Interesse weiterer europäischer Länder gibt es bereits erste Schritte hierzu in Chile.

Insgesamt waren in den jeweiligen Organisationen zahlreiche Hürden zu überwinden. Hierzu gehörten im Besonderen:

- Wechselndes Management und hohe Fluktuation
- Hohe Sicherheitsanforderungen, teilweise noch zusätzliche Schwierigkeiten durch Outsourcing für nicht auf die Kernprozesse bezogene Innovationen
- Fehlende Austauschkultur

Trotzdem sind die Ergebnisse des Projekts sehr vielversprechend. Denn die Akzeptanz und Wirkung der erprobten Lösungen ist trotz der Schwierigkeiten unerwartet hoch. So waren die Projektteilnehmer über die Intensität der technologiegestützt geführten Diskussionen positiv überrascht, und das, obwohl die meisten Teilnehmer noch wenig Erfahrungen mit Lernen in elektronischen Medien hatten. Weiterhin ließen sich auch erste Veränderungen in den Organisationen beobachten, die durch die Beschäftigung mit der Thematik und die positiven Erfahrungen in Gang gesetzt wurden.

Die wichtigste Erkenntnis dabei ist, dass solche Innovationen nur in einer Partnerschaft zwischen unterschiedlichen Einrichtungen und Disziplinen erfolgreich sind. Dabei fasst die Metapher „accompanying a journey“ die Voraussetzung sehr gut zusammen: jede Organisation hat ihre eigene Reise und es geht darum, diese kritisch zu begleiten. Das kann nach der Erfahrung in EmployID nur mit agilen Methoden in der Projektdurchführung und der entsprechenden Einstellung gelingen. Doch dann steht einer erfolgreichen Einführung von sozialen Lerntechnologien auch auf schwierigem Terrain nichts im Wege.

Website: <https://employid.eu>



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



Abstract

EmployID is a research project that focusses on modern technology-enhanced learning approaches, which not only target skills for new tasks, but also empower employees to shape change instead of just reacting to it. Social learning platforms such as MOOCs or other forms of open online courses, reflective communities, or technology-enhanced peer coaching support the transformation of the professional identity of the individual and the respective occupational group through learning on a deeper level: What is good practice? How do I cope with conflicting influences? Only by addressing this deeper level of learning, can employees be empowered to shape change instead of being driven by change. The solutions encompass methods and tools and are particularly suited to hierarchical environments undergoing fundamental transformation.

Zusammenfassung

EmployID beschäftigt sich am Beispiel europäischer Arbeitsagenturen mit der Frage, wie moderne technologieunterstützte Lernformen nicht nur spezielle Kenntnisse für neue Aufgaben vermitteln, sondern die Mitarbeiter dabei unterstützen, Veränderungen zu bewältigen. Social-Learning-Ansätze

wie MOOCs oder andere offene Onlinekurse, reflektionsorientierte Communities oder Peer Coaching helfen, das berufliche Selbstverständnis des Einzelnen und der jeweiligen Berufsgruppe auf einer tieferen Ebene weiterzuentwickeln: Was ist gute Arbeit? Wie gehe ich mit Konflikten und Belastungen um? Erst die Berücksichtigung dieser Ebene versetzt Mitarbeiter in die Lage, Veränderungen zu gestalten, anstatt von ihnen getrieben zu werden. Die Methoden und Werkzeuge sind dabei auch auf andere Kontexte übertragbar, die von hierarchischen Strukturen gekennzeichnet sind und deren Rahmenbedingungen durch Entwicklungen wie die Digitalisierung vor großen Umwälzungen stehen.

Autor

Prof. Dr.-Ing. Andreas Peter Schmidt

Professor an der Fakultät für Informatik und Wirtschaftsinformatik der Hochschule Karlsruhe

Kontakt

Prof. Dr.-Ing. Andreas Peter Schmidt

Hochschule Karlsruhe – Technik und Wirtschaft

Fakultät für Informatik und Wirtschaftsinformatik

Moltkestr. 30

76133 Karlsruhe

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

Wir lassen unsere Ideen raus!



Alles aus einer Hand –
vom Layout bis zum fertigen Produkt

VMK
Verlag für Marketing
und Kommunikation GmbH

Faberstrasse 17 · 67590 Monsheim
fon ++49 6243 909 0 · fax ++49 6243 909 400
info@vmk-verlag.de · www.vmk-verlag.de

Produktionslogistik im Zeitalter von Industrie 4.0: Entwicklung eines vollautomatisierten, robotergestützten Logistikkonzepts für die Produktion

Christian Wurll

Einleitung

Das Kanban-System ist eine klassische Methode zur effizienten Steuerung von Produktionsprozessen. Das Vorgehen orientiert sich ausschließlich am tatsächlichen Verbrauch von Materialien am Bereitstell- und Verbrauchsplatz. Ein wesentliches Ziel der Kanban-Methode ist es, die lokalen Bestände von Bau- oder Kaufteilen so gering wie möglich zu halten und somit Bestandskosten zu reduzieren. Durch die Anordnung von mehreren dezentralen Pufferlagern wird mit einfachen Mitteln der Information und mit kurzen Wegen des Transports eine einfache Lösung erreicht [1].

Der Nachschub von leeren Kanban-Behältern wird über die jeweiligen Fertigungsinseln initiiert. Unterschreitet der Lagerbestand einen definierten Mindestbestand, wird dies an den vorgelagerten Produktionsprozess bzw. das zuständige Lager gemeldet. Die Belieferung der Pufferlager erfolgt in vielen Fällen manuell durch den Einsatz von Routenzügen.

Im Rahmen einer Machbarkeitsstudie im Auftrag der KHS GmbH sollte in dem hier beschriebenen Forschungsprojekt untersucht werden, ob und wie der Nachschub von mehreren dezentralen Kanban-Lagern aus dem zentralen Lager am Fertigungsstandort in Worms durch die Verwendung eines mobilen Roboters automatisiert werden kann.

Die Umsetzung der Studie erfolgte über eine Teamarbeit von vier Studenten, die an der Fakultät für Wirtschaftswissenschaften im Zeitraum von Oktober 2016 bis August 2017 erfolgreich Ihren Abschluss im Masterstudiengang Wirtschaftsingenieurwesen absolviert haben [2], [3], [4], [5].

Das Projekt startete zunächst mit einer intensiven Prozessanalyse bei KHS in Worms, um alle Anforderungen erfassen und bewerten zu können. Im Gegensatz zu dem bei der KUKA Roboter GmbH realisierten Projekt [6] müssen bei KHS unterschiedliche Behälter gehandhabt werden können. Außerdem muss die Lösung auch einen Leerbehälterrücktransport enthalten. Aufbauend auf den Analyseergebnissen wurden gemeinsam mit KHS folgende Ziele vereinbart:

1. Auswahl von geeigneten Hard- und Software-Komponenten zur effizienten Automatisierung der Belieferung der dezentralen Lager
2. Aufbau eines einfachen Demonstrators an der Hochschule Karlsruhe zur Validierung der entwickelten Konzeptideen

Systembeschreibung und Testaufbau

Als zentrale Komponente wurde die mobile Roboter-Plattform „KMR iiwa“ von KUKA ausgewählt (s. Abb. 1). Die omnidirektional angetriebene Plattform ermöglicht ein flexibles Navigieren auf engem Raum und dient zugleich als Transportplattform für die Nachschub- und Leerbehälter [7].



Abb. 1: Das Projektteam mit dem „KMR iiwa“-Roboter von KUKA und im Hintergrund das Zentrallager (Foto: David Pardon)

Der integrierte Leichtbauroboterarm LBR iiwa unterstützt die erforderliche Mensch-Roboter-Kollaboration, da das Gesamtsystem in unmittelbarer Nähe zu den Mitarbeitern im Lager oder den Fertigungsinseln agieren muss [8]. Der Roboter ist ausgestattet mit einem selbstentwickelten Greifer zum Handhaben der ausgewählten Behälter [4]. Auf dem Greifer ist eine Kamera (Intel® RealSense™ SR300) zur exakten Lokalisierung der Behälter im Regal integriert (s. Abb. 2).

Zum Testen der entwickelten Komponenten wurde im „Labor Robogistics -- Roboter in der Logistik“ der Fakultät für Wirtschaftswissenschaften der Hochschule Karlsruhe ein Demonstrationsaufbau bestehend aus

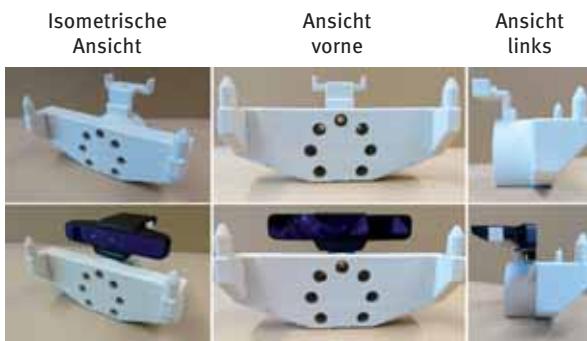


Abb. 2: Der entwickelte Greifer mit integrierter Kamera [4]

dem Zentrallager (ZL) sowie zwei dezentralen Lagern (DZL1 und DZL2) installiert (s. Abb. 3).

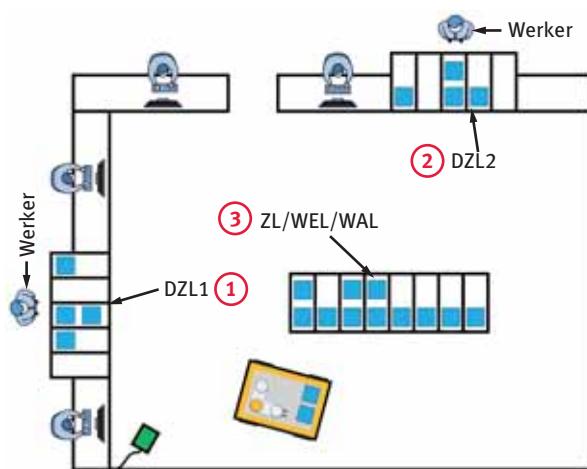


Abb. 3: Demonstrationsaufbau an der Hochschule in Karlsruhe [3]

Prozessbeschreibung

Der Prozess startet in den dezentralen Lagern mit der Erfassung von leeren Behältern, die der Mitarbeiter aus einem Durchlaufkanalregal entnimmt. Die Identifikation der Artikel erfolgt entweder über einen Barcode-Leser (Variante 1) oder alternativ automatisch über das Auslesen von RFID-Tags (Variante 2), wenn der Leerbehälter in einen freien Rückführkanal platziert wurde. Bei Variante 1 zeigt ein Benutzeroberflächenscreen dem Mitarbeiter, in welchen Kanal der Behälter eingelegt werden soll [3].

Die digitalen Nachschubbestellungen werden automatisch in dem Warehouse Management System abgespeichert [5]. Sobald genügend Aufträge vorhanden sind, kann der „Dispatcher“ die Ausführung an den mobilen Roboter beauftragen. Je nach eingestellter Auslieferungsstrategie werden bis zu 14 Nachschubbehälter aus dem Zentrallager mitgenommen und in der optimalen Reihenfolge auf dem mobilen Roboter abgelegt. Bei dieser Strategie werden zunächst alle Behälter ausgeliefert und auf dem Rückweg alle Leerbehälter eingesammelt. Nachteilig an dieser Strategie

ist, dass alle Lager zweimal angefahren werden müssen. In der alternativen Strategie werden z. B. nur sieben Nachschubbehälter mitgenommen, sodass nach der Auslieferung an ein dezentrales Lager auch gleich die Leerbehälter mitgenommen werden. In beiden Varianten werden nach der Rückkehr ins Zentrallager die Leerbehälter in definierten Warenausgangskanälen deponiert.

Der mobile Roboter „KMR iiwa“ nutzt zur Navigation eine initial erstellte Landkarte, die alle notwendigen Standorte enthält. Die zulässigen Verbindungswege zwischen den Standorten werden in einem Graphen abgespeichert. Die Lokalisation in der Landkarte erfolgt über die im mobilen Roboter integrierten Sicherheits-Laserscanner.

Im Warehouse Control System (WCS) sind für alle Regalkanalpositionen die notwendigen Informationen (Standort, relative Koordinaten bezogen auf ein lokales Koordinatensystem, Kanalkapazität etc.) abgelegt.

Über einen in der Robotersteuerung implementierten Webservice kann das WCS die berechneten Aufträge übermitteln. Sowohl das WCS als auch der Roboter aktualisieren während der Auftragsausführung die erreichten Zustände. Im Falle einer Störung kann somit eine fehlerabhängige Fortsetzung des Prozesses gewährleistet werden.

Sobald der Roboter die Greifposition vor einem Kanal erreicht hat, wird eine Bildaufnahme getriggert. Mit Hilfe der Open Source „Point Cloud Library“ [9] werden die dreidimensionalen Bilddaten zunächst bereinigt, gefiltert und komprimiert. In der anschließenden Segmentierung erzielte die Methode des „Region Growing“ [10] die besten Ergebnisse, um die Position und Orientierung eines Behälters zu bestimmen [2].



Abb. 4: 3D Bildverarbeitung; Punktwolke (links), Behälter (rechts) [2]

Die ermittelten Korrekturwerte werden von der Bildverarbeitungsapplikation über eine TCP/IP-Schnittstelle an die Robotersteuerung gesendet, sodass die Greifpositionen aktualisiert werden können.

Mit Hilfe der Bildverarbeitung konnten translatorische Verschiebungen der Behälter im Regal von bis

zu ± 25 mm und rotatorische Verdrehungen von bis zu $\pm 22^\circ$ erkannt und auf unter ± 1 mm und $\pm 1^\circ$ Genauigkeit kompensiert werden. Die Berechnung der Ergebnisse erfolgt innerhalb von unter einer Sekunde und wird im laufenden Prozess nicht wirklich wahrgenommen.

Zur Erzielung eines robusten Greifprozesses ist die Verwendung eines Bildverarbeitungssystems in jedem Fall eine notwendige Voraussetzung.

Ergebnisse und Auswertung

Die Highlights des Projekts lassen sich wie folgt zusammenfassen:

- Durch den Einsatz von agilen Entwicklungsmethoden und der Nutzung von additiven Fertigungsverfahren konnte das Team den Prototyp in ca. zehn Monaten aufbauen.
- Da die Hardware erst ca. sechs Monate nach Projektstart zur Verfügung stand, wurden viele Software-Komponenten virtuell in Betrieb genommen.
- Für das Ausrollen in die Industrie sind interessierte Firmen herzlich eingeladen, mit der Hochschule Karlsruhe in Kontakt zu treten.

Literatur

- [1] O.Taiichi, *Das Toyota-Produktionssystem*, 2005, Campus-Verlag, Frankfurt am Main.
- [2] T. Fritz, *Entwicklung eines vollautomatisierten, robotergestützten Logistikkonzepts für die Produktion: 3D Computer Vision*, 2017, Masterarbeit, Hochschule Karlsruhe – Technik und Wirtschaft.
- [3] Y. Herrmann, *Entwicklung eines vollautomatisierten, robotergestützten Logistikkonzepts für die Produktion: Identifikation und Mobilität*, 2017, Masterarbeit, Hochschule Karlsruhe – Technik und Wirtschaft.
- [4] D. Hollnaicher, *Entwicklung eines vollautomatisierten, robotergestützten Logistikkonzepts für die Produktion: Handhabungstechnik*, 2017, Masterarbeit, Hochschule Karlsruhe – Technik und Wirtschaft.
- [5] D. Pardon, *Entwicklung eines vollautomatisierten, robotergestützten Logistikkonzepts für die Produktion: Warehouse Management und Control*

MSC Software

Adams
Powerful Simulation
for Mechanical Drive Systems

www.msccooperative.com/de

PARTNER HEXAGON

The advertisement features a large image of several industrial robots (yellow and blue) working in a factory setting. A red diagonal banner across the bottom right contains the text. Below the banner is a red footer bar with small icons representing various industries: train, gear, bottle, person, speaker, bank building, ship, truck, airplane, and car.

- System*, 2017, Masterarbeit, Hochschule Karlsruhe – Technik und Wirtschaft.
- [6] KUKA Roboter GmbH, *KUKA realisiert mit dem mobilen Roboter KMR iiwa eine eigenständig navigierende Transportlösung*. URL <https://www.kuka.com/industries/loesungsdatenbank/2016/07/solution-robotics-halle-7> (Überprüfungsdatum 02. 10. 2017).
- [7] KUKA Roboter GmbH, *KMR iiwa*. URL <https://www.kuka.com/de-de/produkte-leistungen/mobilit%C3%A4t/mobile-roboter/kmr-iiwa> (Überprüfungsdatum 02. 10. 2017).
- [8] KUKA Roboter GmbH, *LBR iiwa*. URL <https://www.kuka.com/de-de/produkte-leistungen/robotersysteme/industrieroboter/lbr-iiwa> (Überprüfungsdatum 02. 10. 2017).
- [9] R. B. Rusu, S. Cousins, *3D is here: Point Cloud Library (PCL)*, 2011, A. Bicchi (Hrsg.): IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA) // 2011 IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA), Shanghai, China. Piscataway, NJ : IEEE, 2011.
- [10] E. Grilli, F. Menna, F. Remondino, *A Review of Point Clouds Segmentation and Classification Algorithms*, 2017, ISPRS - International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences XLII-2/W3 (2017), S. 339–344. URL <https://www.int-arch-photogramm-remote-sens-spatial-inf-sci.net/XLII-2-W3/339/2017/>

Danksagung

Besonderer Dank geht an die vier Masterstudenten Timo Fritz, Yannik Hermann, David Hollnaicher, und David Pardon, die im Rahmen ihrer Masterarbeiten wesentlich zum Gelingen dieser Forschungsarbeit beigetragen haben. Dank gebührt auch Dr. Stefan Diesner von der KHS GmbH für die Beauftragung der Machbarkeitsstudie, Stefan Haas von der KUKA Roboter GmbH, der den Kontakt zwischen KHS und der Hochschule Karlsruhe hergestellt hat, der KUKA Hotline, die bei der Inbetriebnahme des KMR iiwa Roboters tatkräftige Unterstützung leistete sowie Henning Renartz von der Swisslog Automation GmbH, der bei der Programmierung der Web Service-Schnittstelle zum KMR iiwa geholfen hat.

Abstract

A complete production logistics system was developed during this research project. The mobile robot is able to deliver standardized plastic totes to decentralized storage racks. In order to ensure robust implementation, a 3D camera supported the gripping process. The modular programming concept allows easy adaptation to different requirements and tasks. The combination of a Warehouse Management and Control System in addition with the usage of state-of-the-art communication mechanism delivers a streamlined and customized solution.

Zusammenfassung

Im Rahmen des Forschungsprojekts konnte ein voll funktionsfähiges Produktionslogistiksystem zur Belieferung von dezentralen Lagern mit Hilfe eines mobilen Roboters aufgebaut werden. Zur Realisierung eines robusten Prozesses wird der Greifprozess durch eine 3D-Kamera unterstützt. Die

modulare Programmierung erlaubt eine einfache Anpassung an unterschiedliche Aufgabenstellungen und Prozessanforderungen. Die Kombination aus Warehouse Management und Control System, verbunden mit State of the Art Kommunikationsmechanismen, liefert eine schlanke und maßgeschneiderte Lösung.

Autor

Prof. Dr.-Ing. Christian Wurll

Professor an der Fakultät für Wirtschaftswissenschaften der Hochschule Karlsruhe

Kontakt

Prof. Dr.-Ing. Christian Wurll

Hochschule Karlsruhe – Technik und Wirtschaft

Fakultät für Wirtschaftswissenschaften

Moltkestraße 30

76133 Karlsruhe

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

Telefon: 0721 925-1913

Modell- und Sensorintegration zum integrierten 3D-Geo-monitoring in moderner Datenkommunikationsstruktur mit Anwendung auf dem Stuttgarter Fernsehturm

Reiner Jäger

1. Integrierte Modellbildungen des Geomonitoring

1.1 Sensorintegration



Abb. 1: Stuttgarter Fernsehturm, Gesamthöhe ca. 217 m

Darüber hinaus aber die Daten weiterer moderner Sensoren und Messsysteme. Zu nennen sind die Schlüsseltechnologien

- Videotachymeter (ITAS)
- Laserscanner
- Terrestrisches SAR sowie satelliten-basiertes INSAR (ESA Copernicus)
- GNSS/MEMS-Sensorik (s. Abb. 3)

Die integrierte 3D-Modellbildung mit dem funktionalen Modell $I = I(x, z, W(x, p, c))$ der Sensorbeobachtungen I (Koordinaten x , Zusatzparameter z , Schwerepotential W) wird in der geodätischen Netzausgleichung als sog. fixes Randwertproblem formuliert, d.h. im Schwerepotentialmodell ([2], [8], [10])

Mit dem Begriff Geomonitoring [1] verbinden sich vielfältige Aufgaben in Geoforschung, Frühwarnung bei Naturkatastrophen sowie der Überwachung baulicher Anlagen. Die integrierte und die quasi-integrierte geodätische 3D-Ausgleichung (Parameterschätzung) mittels der erfassten Sensordaten erwiesen sich dabei als Schlüsselmodelle zur parametrischen Integration aller Sensordatentypen im Geometrie - und Schwereraum. Dies sind zum einen die klassischen geodätischen und physikalischen Sensoren wie GNSS, Totalstationen, Nivellement und Gravimeter.

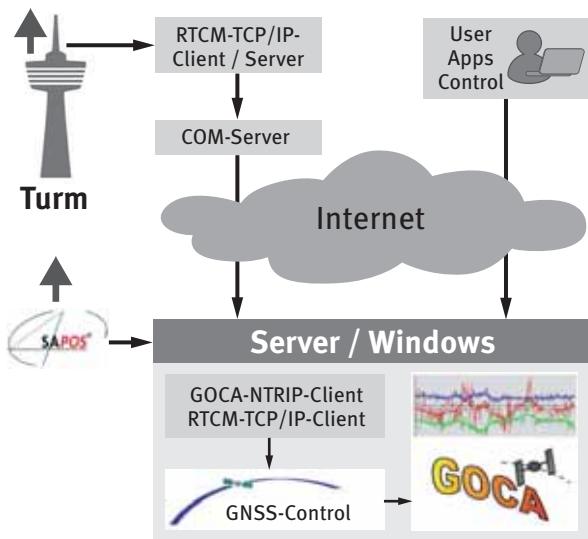


Abb. 2: IT-Struktur für das Server-basierte SH-Monitoring mit GNSS/MEMS-Sensorik auf dem Turm und externer Fernwartung sowie Zugang für Externe und Turmbesucher per App

tritt die globale 3D-Position $\mathbf{x}^T = (x, y, z)$ als fixe Unbekannte auf. Mit c werden in dem aus Gravitationspotential V und Zentrifugalpotential Z zusammengesetzten Schwerepotential W (1) die fixen Parameter Erdmasse M , Gravitationskonstante G , die große Halbachse a des Referenzellipsoide, die Winkelgeschwindigkeit der Erdrotation sowie die Position des Pols des Gravitationspotentials V bezeichnet. Bei der o.g. Kugelkappenrepräsentation (ASCH) von V [8] lassen sich mit dem zentral in das betreffende Gebiet gelegten Pol (λ_0, θ_0) , der zugehörigen verallgemeinerten Legendrefunktion und einer gebietsbeschränkten Kugelkappe hohe regionale Auflösungen des Schwerepotentials V erzielen. Darüber hinaus können frei verfügbare globale satellitengeodätische Kugelfunktionsmodelle in regionale ASCH-Koeffizienten $p = (C_{n(k),m}, S_{n(k),m})$ abgebildet und in das integrierte oder quasi-integrierte 3D-Modell eingeführt werden [8]. Das integrierte 3D-Modell ist im Geomonitoring nur bei Einbeziehung beobachteter Schwerewerte oder Lotabweichungen [2] -

$$W(\mathbf{x}, \mathbf{p}, \mathbf{c}) = V(\mathbf{p} | r(x, y, z), \lambda'(x, y, z, \lambda_0, \theta_0), \theta'(x, y, z, \lambda_0, \theta_0)) + \frac{1}{2}\omega_E^2 \cdot (x^2 + y^2) \quad (1)$$



Abb. 3: MEMS-Box und GNSS-Antenne installiert oberhalb der Aussichtsplattform in ca. 154 m Höhe

im Fall großer Massenänderungen (Bergbau, Ölfelder) und in geodynamischen Netzen – obligatorisch. Ansonsten kann das einfachere quasi-integrierte Modell verwendet werden. Hier werden die Beobachtungen mit $\mathbf{I} = \mathbf{I}(\mathbf{x}, \mathbf{z}, \bar{\mathbf{p}}(\mathbf{W}(\mathbf{x}, \mathbf{p}, \mathbf{c})))$ über die aus den originären Schwerkraftparametern \mathbf{p}

abgeleiteten geometrischen lokalen Lotrichtungsparameter (φ, λ) und Quasigeoidwerte N mit $\bar{\mathbf{p}}(\mathbf{W}(\mathbf{x}, \mathbf{p}, \mathbf{c}))$ modelliert [10]. Integrierte und quasi-integrierte 3D-Ausgleichung sind als Sensor-Integrationsmodelle die nachhaltigen Schlüsselmodelle des modernen multisensoriellen 3D Geo- und Structural Health Monitoring (SHM). Bei der Integration von MEMS (Beschleunigungsmesser, Gyroskop, Inklinometer etc.) mit GNSS (s. Abb. 3) treten – wie in der Multisensornavigation von Fahrzeugen - im Geomonitoring insgesamt 15 Zustandsparameter $\mathbf{y}(t)$ in Form der Position, Geschwindigkeit, Orientierung, Beschleunigung und Drehraten bei der integrierten Zustandsschätzung auf. Es gilt ([3], [9]):

$$\mathbf{y}(t) = [\mathbf{x}^e \mathbf{y}^e \mathbf{z}^e | \mathbf{v}_x^e \mathbf{v}_y^e \mathbf{v}_z^e | \mathbf{r}^e \mathbf{p}^e \mathbf{y}^e || \ddot{\mathbf{x}}^e \ddot{\mathbf{y}}^e \ddot{\mathbf{z}}^e | \omega_{eb,x}^b \omega_{eb,y}^b \omega_{eb,z}^b]^T \quad (2)$$

Im Gegensatz zur Navigation kann beim Geomonitoring mit der fixen Installation der Sensorik (s. Abb. 3) die Einführung von Ungleichungen zum Zustandsraum $\mathbf{y}(t)$ erfolgen und mit einer SIMPLEX-basierten Parameterschätzung die Datenfusion der sensorintegrierten 3D-Modellbildung verbessert werden.

1.2 Integrierte Deformationsanalyse –

Statik und Dynamik

Nach der Erschließung des Modells der integrierten „statischen“ Deformationsanalyse (Systemanalyse) in den vorausgehenden Dekaden ([1], [6], [7]) widmet sich das Geomonitoring-Projekt „Stuttgarter Fernsehturm“ (s. Abb. 1 und 2) als nachhaltiges Zukunftsprojekt dem innovativen, international aufkommenden FuE-Bereich der integrierten „dynamischen“ Deformationsanalyse (Systemanalyse).

Diese gilt für Prozesse, bei denen infolge physikalisch relevanter Geschwindigkeiten $\dot{\mathbf{u}}(t)$ und Beschleunigungen $\ddot{\mathbf{u}}(t)$ der zeitlichen Auslenkungen $\mathbf{u}(t) = \mathbf{x}(t) - \mathbf{x}_0$ aus der Ruhelage \mathbf{x}_0 – also Bauwerksschwingungen (s. Abb. 4 und 5) - in der FEM-Modellierung auftretende Dämpfungs- und Trägheitskräfte zu berücksichtigen sind.

Für Bauwerksschwingungen lassen sich die FEM-Beziehungen im Fall externer dynamischer Kräfte $\mathbf{f}(t)$ sowie Eigenschwingungen ($\mathbf{f}(t)=\mathbf{0}$) gemeinsam mit den Verschiebungen $\mathbf{u}(t)$ und ihrer zeitlichen Ableitungen mittels den parametrisierten FEM-Matrixgrößen Steifigkeitsmatrix $\mathbf{K}(\mathbf{p}_K)$, Dämpfungsmaßmatrix $\mathbf{C}(\mathbf{p}_C)$ und Massenmatrix $\mathbf{M}(\mathbf{p}_M)$ wie folgt darstellen [4]:

Allgemeine gedämpfte Schwingung:

$$\mathbf{K}(\mathbf{p}_K) \cdot \mathbf{u}(t) + \mathbf{C}(\mathbf{p}_C) \cdot \dot{\mathbf{u}}(t) + \mathbf{M}(\mathbf{p}_M) \cdot \ddot{\mathbf{u}}(t) = \mathbf{f}(t) \quad (3a)$$

Gedämpfte Eigenschwingung:

$$\mathbf{K}(\mathbf{p}_K) \cdot \mathbf{u}(t) + \mathbf{C}(\mathbf{p}_C) \cdot \dot{\mathbf{u}}(t) + \mathbf{M}(\mathbf{p}_M) \cdot \ddot{\mathbf{u}}(t) = \mathbf{0} \quad (3b)$$

Während die Statik nur für die Zustandsparameter Steifigkeit p_K informativ ist, erschließen die FEM der Dynamik (3a, 3b) den Zugang zu allen physikalischen Zustandsparametern einer Struktur: der Steifigkeit p_K , der Dämpfung p_C und der Massenverteilung p_M . Damit können deren seit Fertigstellung eingetretenen allgemein gefährdenden strukturellen Änderungen (z.B. infolge von Rissen, Materialermüdung, Dämpfungsverlust etc.) als zentrale Aufgabe der Zustandsschätzung des SHM festgestellt werden. Für den exemplarischen

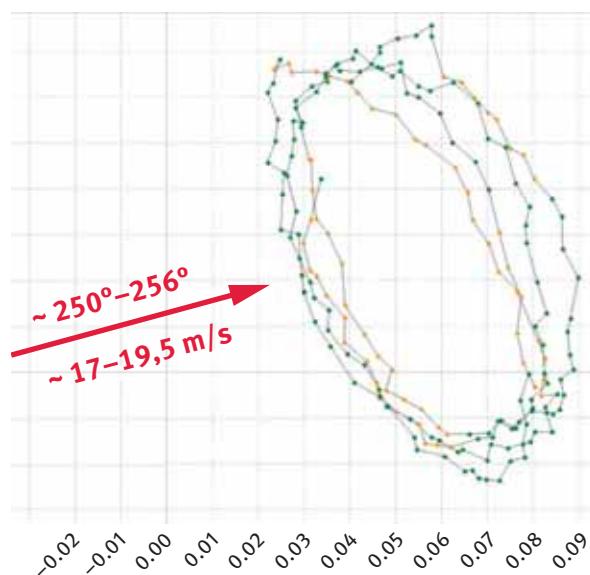


Abb. 4: Auslenkungen $\mathbf{u}(t)$ durch wind-induzierte Turmschwingungen; Horizontalkomponente (cm-Skala)

Fall der ungedämpften Eigenschwingung kann (3b) zur SHM-Modellierung im Zustandsraum der Verschiebungsgrößen $\mathbf{u}(t)$, $\dot{\mathbf{u}}(t)$ und $\ddot{\mathbf{u}}(t)$ (s. Abb. 4) weiterentwickelt werden ([5], [9]):

$$\begin{pmatrix} \mathbf{u}(t) \\ \dot{\mathbf{u}}(t) \\ \ddot{\mathbf{u}}(t) \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \mathbf{I} & \mathbf{I} \cdot [\Delta t] & \mathbf{I} \cdot [1/2 \cdot \Delta t^2] \\ \mathbf{0} & \mathbf{I} & \mathbf{I} \cdot [\Delta t] \\ \mathbf{0} & [-\mathbf{M}(\mathbf{p}_M)^{-1} \mathbf{K}(\mathbf{p}_K \cdot \Delta t)] & [\mathbf{I} - \mathbf{M}(\mathbf{p}_M)^{-1} \mathbf{C}(\mathbf{p}_C) \cdot \Delta t] \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} \mathbf{u}(t - \Delta t) \\ \dot{\mathbf{u}}(t - \Delta t) \\ \ddot{\mathbf{u}}(t - \Delta t) \end{pmatrix} \quad (3c)$$

Aufbauend auf (3a) und (3b) können – als Alternative zu (3c) – auch sog. spektrale Ansätze zur integrierten Deformationsanalyse und Strukturüberwachung (SHM) gewonnen werden. Im Fall der ungedämpften Eigenschwingung ($\mathbf{C}(\mathbf{p}_C) = \mathbf{0}$) resultiert aus (3c) mit dem Ansatz $\mathbf{u}(\mathbf{x}, t) = a \cdot \mathbf{u}(\mathbf{x}) \cdot \cos(\omega \cdot t - \varphi)$ das allgemeine Eigenwertproblem ([4], [5])

$$[\mathbf{K}(\mathbf{p}_K) - \omega_i^2 \cdot \mathbf{M}(\mathbf{p}_M)] \cdot \mathbf{u}_i(\mathbf{x}) = \mathbf{0} \quad (4a)$$

In (4a) treten die Eigen- bzw. Schwingungsfrequenzen ω_i (s. Abb. 5) des Monitoringobjekts sowie die zugehörigen Eigenvektoren (Modalen, Schwingungsformen) $\mathbf{u}_i(\mathbf{x})$ (s. Abb. 4) in Funktion der Strukturparameter \mathbf{p}_K und \mathbf{p}_M auf.

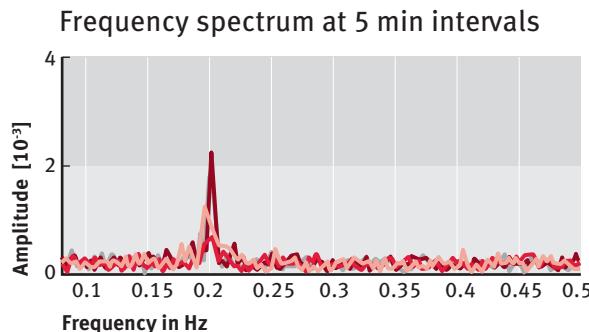


Abb. 5: Frequenzanalyse der Turmschwingungen unter Identifizierung der mit FEM konsistenten Grundschwingung von 0,2 Hz (ein „Umlauf“ in ca. 5 sec)

Auf der Grundlage der vollständigen Differentiation von (4a) lassen sich die Parametrisierungen der Änderungen der spektralen Charakteristika – nämlich der Eigenfrequenzen $\Delta\omega_i$ sowie der Modalen $\Delta\mathbf{u}_i(\mathbf{x})$ – gewinnen [5]:

$$\Delta\omega_i^2(\Delta\mathbf{p}_K, \Delta\mathbf{p}_M) = \mathbf{u}_i^T \cdot [\mathbf{d}\mathbf{K}(\Delta\mathbf{p}_K) - \omega_i^2 \cdot \mathbf{d}\mathbf{M}(\Delta\mathbf{p}_M)] \cdot \mathbf{u}_i \quad \text{und} \quad (4b)$$

$$\Delta\mathbf{u}_i(\Delta\mathbf{p}_K, \Delta\mathbf{p}_M) = -\frac{\mathbf{u}_i^T \cdot \mathbf{d}\mathbf{M}(\Delta\mathbf{p}_M) \cdot \mathbf{u}_i}{2} \cdot \mathbf{u}_i + \sum_{j=1, j \neq i}^n \left[\frac{1}{\omega_i^2 - \omega_j^2} \cdot \mathbf{u}_i^T \cdot [\mathbf{d}\mathbf{K}(\Delta\mathbf{p}_K) - \mathbf{d}\mathbf{M}(\Delta\mathbf{p}_M)] \cdot \mathbf{u}_j \right] \cdot \mathbf{u}_j \quad (4c)$$

Die noch nicht weiter erforschten und elaborierten Ansätze (4b) und (4c) sind der Ausgangspunkt zur Lösung der betreffenden inversen Eigenwert-Probleme, dem Schluss von den in der integrierten Modellierung

(Kap. 1.1) festgestellten Änderungen der spektralen Eigenschaften (4b) und (4c), links auf strukturelle Änderungen von $\Delta\mathbf{p}_K$ und $\Delta\mathbf{p}_M$ und rechts als einem möglichen Zugang zur Kernaufgabe des SHM.

2. Potenziale und Perspektiven zum Geomonitoring-Projekt „Stuttgarter Fernsehturm“

Mit der geplanten Installation moderner GALILEO- sowie MEMS-Boxen verbindet sich an der Hochschule Karlsruhe gegenwärtig die Weiterentwicklung der Datenkommunikation (IT) einerseits mit den mathematischen Modellen der Sensorintegration (Kap. 1.1) und der mathematischen Modelle, Algorithmen und Software des dynamischen SHM (Kap. 1.2) andererseits. Die FuE wirft ferner die Optimierungsfragestellung zu Platzierung und Typ (Design 1. Ordnung) einer diskreten Zahl von Sensoren mit der Sensitivität des SHM für bestimmte objekt- bzw. ortsabhängige physikalische Zustandsparameter als Zielfunktionen auf. Die vorgeschlagenen SHM-Ansätze sind – unter Erweiterung für gedämpfte Eigenschwingungen und angeregte Schwingungen – potenzielle Kandidaten zum integrierten dynamischen SHM, einem aktuellen und international anerkannten interdisziplinären FuE-Thema der kommenden ein bis zwei Dekaden, die sicher weitere Ansätze nach sich ziehen wird. Mit der zentralen Server-basierten IT-Infrastruktur des „SHM Referenzobjekts Stuttgarter Fernsehturm“ (s. Abb. 1 und 2) bzgl. Datenkommunikations- und Auswertungssoftware liegt für die aufkommende FuE, IT sowie den technischen Entwicklungen (z.B. Sensorsysteme) zum dynamischen SHM, eine vor diesem Hintergrund ebenso einzigartige wie ausbaufähige international zugängliche Explorationsplattform für Sensorik, Mo-

dellbildung, Algorithmen und Software sowie – mit dem Fernsehturm selbst – ein herausragendes reales Objekt für SHM vor.

Literatur

- [1] R. Jäger, GOCA-Webseite, 1997-2017: www.goca.info
- [2] R. Jäger, DFHBF-Webseite, 2001-2017: www.dfhbf.de
- [3] R. Jäger, NAVKA-Webseite, 2010-2017: www.navka.de
- [4] O. C. Zienkiewicz, *Methode der Finiten Elemente*, 1984, 2. Auflage, Hanser Verlag.
- [5] R. Jäger, *Analyse und Optimierung geodätischer Netze nach spektralen Kriterien und mechanische Analogien*, Dissertation, 1988, Deutsche Geodätische Kommission, C-342, München.
- [6] S. Kälber, R. Jäger, *Realization of a GPS-based Online Control and Alarm System (GOCA) and Preview on Appropriate System Analysis Models for an Online Monitoring*, 2000, Proceedings 9th FIG-Symp. on Deformation Measurement and Analysis, 20. 09. 1999, Olsztyn, Poland.
- [7] W. Lienhart, *Analysis of Inhomogeneous Structural Monitoring Data*, Dissertation, 2007, Reihe Engineering Geodesy TU Graz, Shaker Verlag, 978-3-8322-5953-2.
- [8] G. Younis, R. Jäger, M. Becker, *Transformation of Global Spherical Harmonic Models of the Gravity Field to a Local Adjusted Spherical Cap Harmonic Model*, 2011, Arabian Journal of Geosciences,, Springer Verlag, ISSN 1866-7511, pp. 4-9.
- [9] R. Jäger, 2014, *GNSS/GPS based Online Control and Alarm System (GOCA) - Weiterentwicklungen zum Integrierten Geomonitoring mit LowCost GNSS und inertialen MEMS-Sensoren*, Proceedings IX. Mittweidaer Talsperrentag, 14.-15. 05. 2014, Mittweida, Wissenschaftliche Zeitschrift der Hochschule Mittweida. R. 1, 2014. ISSN 1437-7624. S. 21-33.
- [10] R. Jäger, T. Müller, H. Saler, *Klassische und robuste Ausgleichungsverfahren - Ein Leitfaden für Ausbildung und Praxis von Geodäten und Geoinformatikern*, 2018, Wichmann-Verlag, Heidelberg, ISBN 3-87907-370-8. 2. Erweiterte Auflage in Bearbeitung.

DEIN NEUER ARBEITSPLATZ...
Etwa die Sanierung der Koblenzer Moselbrücke messtechnisch sicher begleiten.
Bewirb dich unter: www.intermetric.de/karriere

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

Abstract

In 2017 after a successful test phase, the R & D project ‘Geomonitoring Stuttgarter Fernsehturm’ started in a consortium consisting of the Karlsruhe University of Applied Sciences, Laboratory for GNSS & Navigation, the engineering geodesy company Messmer, the SWR Baden-Württemberg, the State Agency for Geo-information & Land management (LGL) Baden-Württemberg, as well as the IT service provider LF.net Netzwerksysteme GmbH. As a combined modeling of integrated 3D network adjustment and finite element models of structural mechanics (FEM) the respective R & D project analyzes whether a monitoring-object is in a ‘healthy’ or an ‘unhealthy’ physical state. In the age of “global change” this interdisciplinary research topic “Structural Health Monitoring (SHM)”, aims at early diagnosis and warning for the risk potential of structural objects (high buildings, bridges, towers, etc.) The multi-sensor-data is submitted to an integrated server-based modeling, and the resulting time-domain and spectral properties are used to determine changes in the physical state parameters of a geo-monitoring object. The geo-monitoring software GOCA (www.goca.info) processes on the server the multi-sensor data in real time via the internet. A smartphone app serves the remote maintenance of the system and the presentation of the information to visitors of the Stuttgart TV tower, e.g. based on the visualization of generally comprehensible state variables, such as the amplitude response of the tower oscillating at about 0.2 Hz.

Zusammenfassung

Nach erfolgreicher Testphase startete 2017 das im Labor für GNSS & Navigation der Hochschule Karlsruhe angesiedelte FuE-Projekt „Geomonitoring Stuttgarter Fernsehturm“ im Konsortium mit dem Ingenieurbüro Messmer, dem SWR Baden-Württemberg, dem Landesamt für Geoinformation und Landentwicklung Baden-Württemberg (LGL)

sowie dem IT-Dienstleister LF.net Netzwerksysteme GmbH. Die FuE umfasst in gemeinsamer Modellbildung von integrierter 3D-Netzausgleichung und Finite-Elemente-Modellen der Strukturmechanik (FEM) die Beantwortung der Frage, ob sich ein Monitoringobjekt in einem „gesunden“ oder einem „kranken“ Zustand befindet. Dieses als „Structural Health Monitoring (SHM)“ bezeichnete interdisziplinäre Forschungsgebiet hat die Früherkennung von Gefährdungspotenzialen baulicher Anlagen (z.B. Hochbauten, Brücken, Türme etc.) im Zeitalter der „Global Changes“ zum Ziel. Dazu werden die Multisensordaten einer integrierten Modellbildung unterzogen und mit den resultierenden Eigenchaften im Zustands- und Spektralbereich auf Änderungen der physikalischen Zustandsparameter von Geomonitoringobjekten geschlossen. Die Geomonitoring Software GOCA (www.goca.info) verarbeitet dabei serverseitig in Echtzeit die über das Internet kommunizierten Multisensordaten. Eine Smartphone-App dient sowohl der Fernwartung des Systems als auch zur Präsentation der Thematik für die Öffentlichkeit und Besuchern des Stuttgarter Fernsehturms, z.B. anhand der Visualisierung allgemein verständlicher Zustandsgrößen, wie dem Amplitudengang des in ca. 0,2 Hz schwingenden Turms.

Autor

Prof. Dr.-Ing. Reiner Jäger

Professor an der Fakultät für
Informationsmanagement und Medien
der Hochschule Karlsruhe und
NAVKA-Projektleiter am Institut für
Angewandte Forschung (IAF)

Kontakt

Prof. Dr.-Ing. Reiner Jäger
Hochschule Karlsruhe – Technik und Wirtschaft
Moltkestraße 30,
76133 Karlsruhe
E-Mail: reiner.jaeger@hs-karlsruhe.de

Entwicklung ressourcenschonender Betone durch Einbindung von 100 % Recyclingmaterial: Vorgehen und technische Hintergründe für die Praxisumsetzung

Sandra Lichtblau, Stefan Linsel und José Fernando Martirena Hernández

Beton ist der am häufigsten verwendete Baustoff weltweit. Er besteht zu ca. 75 % aus Gesteinskörnung, die bei den üblichen Betonen natürlichen Ursprungs ist. Doch nicht nur die immer knapper werdenden natürlichen Ressourcen, sondern auch die Abfälle, die beim Abbruch bestehender Gebäude anfallen oder die durch Naturgewalten hervorgerufenen Zerstörungen von Bauwerken, wie sie z. B. durch den Hurrikan Irma im September 2017 in der Karibik erfolgten, regen zum Umdenken an. Kuba, Partner in diesem Forschungsprojekt, ist besonders von den Folgen dieses Hurrikans betroffen. Das zeigt die Wichtigkeit und Aktualität des Themas sowie die Notwendigkeit an einem zielsicher einsetzbaren und dauerhaften Beton zu arbeiten, der aus rezyklierter Gesteinskörnung besteht. Die Entwicklung geeigneter Vorhersagemodelle zur Festlegung optimaler Betonzusammensetzungen, insbesondere für die Sicherstellung der Dauerhaftigkeit, ist Bestandteil zahlreicher aktueller Forschungsvorhaben im Bauwesen. Mit dem Einsatz rezyklierter Gesteinskörnung kann vor allem die Ökologie der Bauwerke besonders positiv beeinflusst werden. Hierzu sind jedoch nach derzeitigem Stand der Technik mehrere offene Fragestellungen zu bearbeiten, wenn mit dem Einsatz rezyklierter Gesteinskörnung ebenso zielsicher Dauerhaftigkeitsaspekte angegeben werden sollen.

Wird Recyclingbeton betrachtet, so müssen nach europäischer Normung dabei mindestens 25 Massenprozent an natürlicher Gesteinskörnung durch rezyklierte Gesteinskörnung, beispielsweise gebrochener und wieder aufbereiteter Betonabbruch, ersetzt werden. In dem Forschungsprojekt für Recyclingbeton der Öffentlichen Baustoffprüfstelle der Hochschule Karlsruhe und dem Centro de Investigación y Desarrollo de las Estructuras y los Materiales (CIDEM) an der Universidad Central de las Villas (Santa Clara, Kuba) wird mit Betonen gearbeitet, bei denen 100 % der natürlichen Gesteinskörnung durch rezyklierte Gesteinskörnung ersetzt werden. Dies ist eine große Herausforderung, da die Eigenschaften der Materialien sehr unterschiedlich sind, was ein zielsicheres Einsetzen der Betone schwieriger macht. Rezyklierte Gesteinskörnung weist allgemein eine geringere Dichte auf und ist poröser, weshalb sie mehr Wasser aufnimmt. Um diese Eigen-

schaften zu verbessern, wurde ein bestimmtes Granulationsverfahren angewendet, das die Gesteinskörnung veredelt. Bei diesem Prozess entsteht eine dünne Zementleimschicht um das Gesteinskorn, die die Oberfläche homogenisiert und abdichtet (s. Abb.1).



Abb. 1: umhülltes Recyclingmaterial (Foto: Saskia Petersen)

Die zusätzliche Verwendung von Zement darf aus wirtschaftlichen und ökologischen Gründen natürlich nicht aus den Augen verloren werden. Daher wird nur ein Teil der Gesteinskörnung mit diesem Verfahren umhüllt – und zwar die Fraktion von 5-9 mm. In vorherigen Untersuchungen hat sich herausgestellt, dass die Eigenschaften dieser Fraktion auch die Eigenschaften der Recyclingbetone am meisten beeinflusst. Aktuell werden bei der Herstellung dieser Recyclingbetone mit umhülltem Material ca. 60 kg Zement pro Kubikmeter Beton zusätzlich verwendet. Damit werden Druckfestigkeitssteigerungen von bis zu 35 % gegenüber Recyclingbetonen ohne Umhüllung erzielt. Mit einer Erhöhung der Zementmenge für die Umhüllung, z.B. 80 kg Zement pro Kubikmeter Beton, konnten keine weiteren Verbesserungen der Ergebnisse erzielt werden. Dies verdeutlichen die Druckfestigkeitsergebnisse in Abbildung 2.

Beton mit natürlicher Gesteinskörnung hat im Vergleich zu der Druckfestigkeit von Recyclingbeton mit Umhüllung nur eine geringe Druckfestigkeitssteigerung von 6 % ergeben.

Ein anderer wichtiger Aspekt bei der Betrachtung der Funktionalität von Recyclingbetonen ist die Dauerhaf-

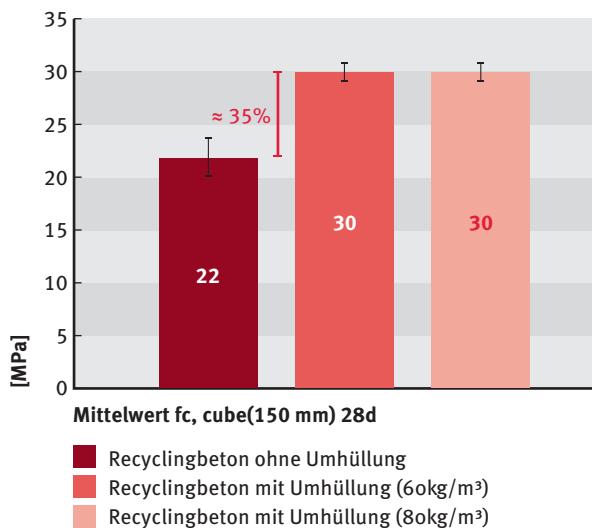


Abb. 2: Druckfestigkeit nach 28 Tagen für Recyclingbeton ohne Umhüllung, Recyclingbeton mit Umhüllung (mit 60 kg Zement pro Kubikmeter Beton) und Recyclingbeton mit Umhüllung (mit 80 kg Zement pro Kubikmeter Beton)

tigkeit. Hierzu wurden auf Kuba Betonzyylinder hergestellt, die dann an drei verschiedenen Plattformen vor Ort ausgelagert wurden. Diese Plattformen unterscheiden sich in ihrer Entfernung zum Meer und somit in ihren Umgebungsbedingungen. Die aggressivste Umgebung ist die Plattform an einem Strand der Cayo



Abb. 3: Auslagerungsplattform im Meer der Cayo Santa María (Foto: Dayrán Rocha Francisco)

1.

Wir freuen uns über die Auszeichnung zum besten Arbeitgeber der Baubranche 2017!

Über 350 offene Stellen beim besten Arbeitgeber der Baubranche. In über 30 Fachbereichen an europaweit 43 Standorten haben Sie einzigartige Entwicklungsmöglichkeiten. www.goldbeck.de/karriere

Schon immer gerne gebaut?

HEBERGER

- Schlüsselfertiger Industriebau
- Betonfertigteilwerk
- Parkhausbau

FROM VISION TO REALITY

HEBERGER plant, projektiert 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

Santa Maria (s. Abb. 3), wo die Betone wegen der Gezeiten besonders beansprucht sind, da sie im Wechsel nass und trocken werden. Die relative Luftfeuchte liegt hier bei mehr als 85 %. Diese Proben werden vor allem hinsichtlich des Chlorideindringwiderstands untersucht.

Die zweite und weniger aggressive Auslagerungsplattform ist auch auf der Cayo Santa Maria und ca. 500 m vom Meer entfernt (s. Abb. 4). Hier steht die Untersuchung der Chloride sowie die Carbonatisierung im Vordergrund.

Parallel zu diesen beiden Expositionen werden Proben einer dritten ca. 100 km vom Meer entfernten Plattform mit denselben Untersuchungen betrachtet, um einen Vergleich zu ziehen. Hier liegt die relative Luftfeuchte bei



Abb. 4: Auslagerungsplattform Cayo Santa Maria ca. 500 m vom Meer entfernt (Foto: Dayrán Rocha Francisco)

60 – 80 %. Bei den 2016 ausgelagerten Betonen handelt es sich zum einen um einen Beton mit natürlicher Gesteinskörnung, zum anderen um einen Recyclingbeton mit Umhüllung. Im Juni 2017 wurden weitere Probekörper eines Recyclingbetons mit Umhüllung und eines Recyclingbetons ohne Umhüllung zum direkten Vergleich ausgelegt. Im März 2017 wurden nach ca. sechs Monaten bereits die ersten Bohrkerne für Dauerhaftigkeitsuntersuchungen entnommen (s. Abb. 5).

Geprüft wurden sie auf Luftpermeabilität, Carbonatisierung, Porosität, spezifischen elektrischen Widerstand sowie auf Chloridpermeabilität. Weitere



Abb. 5: Bohrkernentnahme auf der Cayo Santa Maria (Foto: Anika Baumgärtner)

TEAMS WORK.



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 **Traineeprogramm**, 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, Human Resource Development, Albstadtweg 3,
70567 Stuttgart/Deutschland, Regionaler Standort: Direktion Karlsruhe

Theoretischbringt 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.****EnBW**

Untersuchungen zu einem Chloridprofil sind noch in Bearbeitung. Die Ergebnisse der ersten Untersuchungen zeigten, dass der Fortschritt der Carbonatisierung im Recyclingbeton niedriger ist. Allerdings zeigen die weiteren Tests bessere Ergebnisse bei Beton mit natürlicher Gesteinskörnung. Der Widerstand der Chloridmigration ist bei Beton mit natürlicher Gesteinskörnung höher, ebenso der elektrische Widerstand. Auch die Porosität ist fast 50 % und die Luftdurchlässigkeit zwischen 22 % - 68 % niedriger als bei Recyclingbetonen.

Grundsätzliches Ziel ist es, die Auswirkungen auf die Beständigkeit von Bauwerken zu determinieren, die mit Recyclingbetonen hergestellt wurden. Hierbei sollen insbesondere die Analyseergebnisse zum Chlorideindringwiderstand dienen. Werden übliche Stahlbetonbauteile betrachtet, wie beispielsweise Brückenpfeiler an einer Autobahn, so ist die Kenntnis des Chloridfortschritts im Betongefüge wichtig, um vorherzusagen, wann Chloridionen bis zum Bewehrungsstahl vordringen, denn dort verursachen sie eine Bewehrungskorrosion.

Die hier vorgestellten Ergebnisse müssen wegen der erst sehr kurzen Auslagerungszeit noch bestätigt werden, um auch das Langzeitverhalten darzustellen. Des Weiteren sind noch keine Vergleichswerte zu einem Recyclingbeton ohne Umhüllung vorhanden, um die Qualitätssteigerung des Recyclingbetons mit umhüllter Fraktion erschließen zu können. Die Optimierung der Umhüllung in Bezug auf die Zementmenge und die Zementart ist ebenfalls noch nicht abgeschlossen. Hier werden weiterhin Versuche im Bereich der Zementreduktion sowie der Auswirkungen verschiedener Zementarten auf die Eigenschaften der Umhüllungsqualität und späterer Betoneigenschaften durchgeführt.

Ein besonderer Dank gilt dem Akademischen Auslandsamt der Hochschule Karlsruhe für die Förderung des Projekts durch Internationalisierungsmittel des Ministeriums für Wissenschaft, Forschung und Kunst Baden-Württemberg.

Abstract

The use of recycled aggregates in concrete is an important contribution to resource-conserving construction. The following research project works with recycled concrete by replacing 100 % of the aggregates. The problem of the increased porosity of the recycled aggregates is minimized by a specially developed granulation process and thus an increase in the compressive strength of the recycled concrete of approx. 35 % is achieved. Durability is tested for several years on recycled concrete that is exposed to different environmental conditions.

Zusammenfassung

Die Verwendung rezyklierter Gesteinskörnung im Beton ist ein wichtiger Beitrag für ressourcenschones Bauen. Im hier vorgestellten Forschungsprojekt wird mit Betonen gearbeitet, die zu 100 % mit rezyklierter Gesteinskörnung hergestellt sind. Das Problem erhöhter Porosität rezyklierter Gesteinskörnung wird durch ein speziell entwickeltes Granulationsverfahren minimiert und somit u. a. eine Druckfestigkeitssteigerung der Recyclingbetone von ca. 35 % erreicht. Die Beständigkeit von Recyclingbetonen wird über mehrere Jahre untersucht, wobei sie unterschiedlichen Umgebungsbedingungen ausgesetzt sind.

Autoren

Sandra Lichtblau M.Eng.

Wissenschaftliche Hilfskraft an der Öffentlichen Baustoffprüfstelle der Hochschule Karlsruhe

Prof. Dr.-Ing. Stefan Linsel

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

Prof. Dr. Sc. Ing.

José Fernando Martirena Hernández

Director des Centro de Investigación y Desarrollo de las Estructuras y los Materiales (CIDEM) an der Facultad de Construcciones der Universidad Central de las Villas (Cuba)

Kontakt

Prof. Dr.-Ing. Stefan Linsel

Hochschule Karlsruhe – Technik und Wirtschaft

Fakultät für Architektur und Bauwesen

Moltkestraße 30

76133 Karlsruhe

E-Mail: stefan.linsel@hs-karlsruhe.de

The advertisement features a collage of images at the top: a man's face, a woman smiling, a red circular object, and an open cardboard box. To the left of these images, four service categories are listed vertically: **BERATUNG**, **GESTALTUNG**, **DRUCK UND CO**, and **LOGISTIK**. Arrows point from each category to its corresponding image. Below this, the text **HIER DRUCKEN** is prominently displayed. On the left side, there is a large, abstract graphic of a spiral staircase. On the right side, the company logo "VMK" is shown with a stylized orange circle and a circular arrow, followed by the text "Druckerei GmbH". Below the logo, the company's address, phone number, fax number, email, and website are listed.

BERATUNG

GESTALTUNG

DRUCK UND CO

LOGISTIK

HIER DRUCKEN

VMK Druckerei GmbH

VMK Druckerei GmbH
Faberstrasse 17
67590 Monsheim
Tel. +49 6243 909-110
Fax +49 6243 909-100
info@vmk-druckerei.de
www.vmk-druckerei.de



Ausbildung oder Studium,
dann Karriere. Jetzt planen und

Zukunft spüren

bei den Besten – ZIEHL-ABEGG



noch schnell ein Selfie
und dann ab in die Zukunft



Die Königsklasse in Lufttechnik, Regeltechnik und Antriebstechnik



ausgezeichnet als:
BESTES PRODUKT
2015/2016



ausgezeichnet als:
BESTES PRODUKT
2015/2016



ausgezeichnet als:
BESTES PRODUKT
2016/2017

Bewegung durch Perfektion

ZIEHL-ABEGG

ANTR'EB BEWEGT ZUKUNFT

BEWEGEN SIE
MIT

SEW
EURODRIVE



Über 140 Studenten bewegen bei uns jedes Jahr Zukunft: Steigen Sie ein in die faszinierende Welt der Antriebstechnik – mit **Praktikum**, **Werkstudententätigkeit** oder **Abschlussarbeit**.



Mehr Informationen?
Direkt bewerben?
Wir freuen uns auf Sie!

www.sew-eurodrive.de/studenten