



Hochschule Karlsruhe
Technik und Wirtschaft
UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Näher dran.



Forschung aktuell 2016

ISSN 1613-4958



„Wir sind nicht nur
Daimler. Sondern auch.“
Discover new dimensions.

Tilo, 31 Jahre, IT Service Manager



Du bist auf der Suche nach neuen Möglichkeiten?

Einer Arbeitsstelle in einem innovativen und menschlich geprägten Arbeitsumfeld
Dann herzlich willkommen bei Daimler TSS, dem IT-Spezialisten.

discover.daimler-tss.de

Ein Unternehmen der Daimler AG

 **Daimler TSS**
Enabling Excellence

Liebe Leserinnen und Leser,

an den Hochschulen für Angewandte Wissenschaften (HAW) ist die Forschung mittlerweile ein bedeutender Bestandteil des Hochschulportfolios. Als Antriebsfeder zur Generierung neuer Forschungsvorhaben an den Hochschulen dienen der technologische Fortschritt und Themenstellungen in der Praxis. In ihrer Ausrichtung ist die Forschung an HAWen anwendungsorientiert, interdisziplinär und geprägt durch einen hohen Grad an Transferorientierung. Die Wertschöpfungskette, die sich daraus ergibt, verläuft vom konkreten Forschungsprojekt und der Entwicklung bis hin zum fertigen Produkt oder zur Dienstleistung. Besonders im regionalen Kontext werden hier wichtige Impulse für Innovation und Wachstum gesetzt.

Auch in 2015 hatte die angewandte Forschung an unserer Hochschule hohe Priorität und wurde von der Hochschulleitung durch zahlreiche Maßnahmen gefördert. Aufgrund der Bemühungen in den vergangenen Jahren ist die Forschung nunmehr umfassend in allen Bereichen etabliert und sie wird weiter wachsen. Dies stellt unsere Hochschule vor weitere strategische Herausforderungen, was die Definition der künftigen Rolle der Forschung und ihrer Organisation betrifft, da mittel- bis langfristig die Entwicklung der Hochschule essenziell mit der Profilbildung in der Forschung verknüpft sein wird. Der nun zur Fortschreibung anstehende Struktur- und Entwicklungsplan der Hochschule wird der Rahmen sein, in dem die Forschung konzeptionell neu aufgestellt werden wird. Vier Handlungsfelder wurden hierfür im Vorfeld bereits definiert: Forschungsstrategie, Forschungsorganisation/Institutsstrukturen, Sicherung der Lehre und Ressourcen. Übergeordnetes Ziel ist die

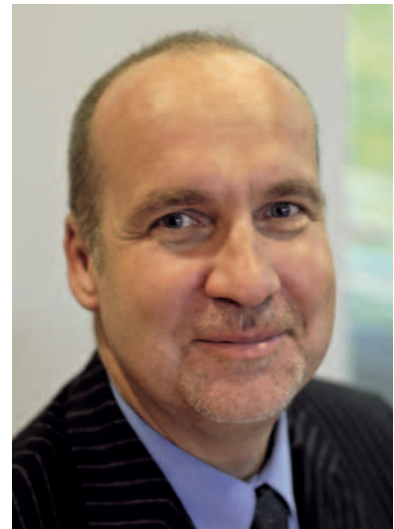
weitere Positionierung der Hochschule für exzellente angewandte Forschung bei gleichzeitiger Sicherung der bisher hervorragenden Lehre.

Die hohen Erwartungen an die aufgenommene Weiterentwicklungsklausel im Landeshochschulgesetz von 2014, nach der ein Promotionsrecht in nachgewiesenen forschungsstarken Bereichen befristet und thematisch begrenzt gewährt werden kann, haben sich bisher nicht erfüllt. Die Hochschulen für Angewandte Wissenschaften haben aber mit dem Baden-Württemberg Center of Applied Research (BWCAR) eine hochschul- und institutionsübergreifende Kooperationsplattform weiterentwickelt, die ein Qualitätssystem für hochqualitative Forschung und ausgewiesene Forscherinnen und Forscher aufweist. Die weiteren Entwicklungen sind offen und spannend, auch vor dem Hintergrund, dass Hessen für die dortigen Hochschulen für Angewandte Wissenschaften eine weitergehende Regelung im Landeshochschulgesetz eingeführt hat.

In der aktuellen Ausgabe unseres jährlich erscheinenden Forschungsberichts möchten wir Ihnen in gewohnter Weise einen Einblick in die vielfältigen Aktivitäten und Projekte der Hochschule geben. Schwerpunkte dieser Ausgabe sind die Themen:

- Wirtschaftswissenschaften
- Informatik & Wirtschaftsinformatik
- Elektromobilität & Fahrzeugtechnik
- Maschinenbau

Die Rubrik „Schlaglichter“ stellt Ihnen weitere spannende Projekte außerhalb dieser Schwerpunktthemen vor.



Mein Dank gilt auch in diesem Jahr allen Kolleginnen und Kollegen, die ihre Ergebnisse in diesem Bericht veröffentlichen. Vielen Dank auch all denen, die redaktionell und organisatorisch an der Publikation dieses Forschungsberichts mitgewirkt haben. Ein solches Ergebnis, auf das wir stolz sind, kommt nur durch das Zusammenwirken vieler „Köpfe“ zustande.

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

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'M. Stöckner', written in a cursive style.

Prof. Dr. Markus Stöckner
Prorektor für Forschung, Qualitätsmanagement und Kooperationen

Impressum

ISSN 1613-4958

**Hochschule Karlsruhe – Technik und Wirtschaft.
Forschung aktuell 2016**

Herausgeber

Rektorat der Hochschule Karlsruhe
Technik und Wirtschaft

Redaktion

Prof. Dr. Markus Stöckner
Prorektor der Hochschule Karlsruhe

Cordula Boll
Hendrik Hunsinger
Geschäftsstelle für Öffentlichkeitsarbeit
und Marketing der Hochschule Karlsruhe
swk@hs-karlsruhe.de

Englisch-Lektorat

Lynn Beechey-Volz
Institut für Fremdsprachen der
Hochschule Karlsruhe

Layout

Alfons Muntean
Geschäftsstelle für Öffentlichkeitsarbeit
und Marketing

Grafik

Martina Ritzert
mr-graphics

Alfons Muntean
Cordula Boll
Geschäftsstelle für Öffentlichkeitsarbeit
und Marketing der Hochschule Karlsruhe

Fotos Titelbild: T. Schwerdt (rechts), M. Ritzert
(links)

Für den Inhalt der Beiträge sind die Autoren
verantwortlich.

Auflage: 3000 Stück, März 2016

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

Druck

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



Steinbeis

Technologie.Transfer.Anwendung.

Steinbeis – Transferpartner der Hochschule Karlsruhe

Die Hochschule Karlsruhe und Steinbeis arbeiten seit vielen Jahren sehr erfolgreich im unternehmerischen Wissens- und Technologietransfer zusammen, seit 2008 ist das Kooperationsunternehmen Steinbeis Transferzentren GmbH an der Hochschule Karlsruhe aktiv. Mit dem Steinbeis-Haus Karlsruhe auf dem Campus der Hochschule wurde 2015 der weithin sichtbare nächste Meilenstein erreicht. Das Gebäude bietet Raum für Wissenschaftler der Hochschule, Steinbeis wie auch KMU.

Zahlreiche Steinbeis-Unternehmen an der Hochschule bieten insbesondere kleinen und mittelständischen Unternehmen maßgeschneiderte Problemlösungen an. Steinbeis unterstützt Professoren, Studierende und Mitarbeiter der Hochschule dabei, ihr fachliches Know-how im Einklang mit ihrer wissenschaftlichen Arbeit in die Anwendung im Unternehmen zu bringen. Davon profitieren Hochschule und Wirtschaft gleichermaßen: die Praxisnähe sichert die Aktualität der Lehre und Ausbildung, der wissenschaftliche Fortschritt der Hochschule fördert direkt den Marktvorsprung der Unternehmen.

Steinbeis-Stiftung | www.steinbeis.de

Veranstaltungen
im
Steinbeis-Haus Karlsruhe



136678-2014-01 | Bild: iStockphoto ©Pei Ling Hoo

HERRENKNECHT AG | UTILITY TUNNELLING | TRAFFIC TUNNELLING



GEMEINSAM GESTALTEN WIR DIE ZUKUNFT.

Als weltweit führendes Unternehmen im Bereich der maschinellen Tunnelvortriebstechnik suchen wir beständig junge Menschen mit Potential. Oft gelingt der erfolgreiche Einstieg bei Herrenknecht mit einem Praktikum, einer Bachelor- bzw. Masterthesis oder einer Diplomarbeit. Hoch qualifizierte Ingenieure und Kaufleute können unser weltweites Team in den folgenden Bereichen dauerhaft verstärken:

- Maschinenbau
- Computational Engineering
- Bauingenieurwesen
- Ingenieurgeologie



Herrenknecht AG
Personalabteilung
Schlehenweg 2
D-77963 Schwanau
Tel. + 49 7824 302-4041
personal@herrenknecht.de

www.herrenknecht.com



Inhalt

Stand der Forschung an der Hochschule Karlsruhe – Technik und Wirtschaft <i>Markus Stöckner und Elena Stamm</i>	7
--	---

Wirtschaftswissenschaften

Energieeffiziente vernetzte Gewerbegebiete – eine Methodik zur Entwicklung von unternehmensübergreifenden Maßnahmen zur Steigerung der Energieeffizienz <i>Marco Braun</i>	10
Analysis of the impact of Robotic Systems on Employment in the European Union <i>Steffen Kinkel and Ralph Lichtner</i>	15
Konzeption eines Vorgehensmodells zur IT-Due Diligence mit Identifikation und Simulation von Synergiepotenzialen <i>Patrick Moser, Karl Dübon und Max Häge</i>	19
Personalmarketing der Generation Y – Kriterien der Arbeitgeberwahl zukünftiger Hochschulabsolventen <i>Sandra Schmieds und Stefanie Regier</i>	22

Informatik / Wirtschaftsinformatik

Intelligent Software Agents which enable the Re-use of Production Equipment: VERNONS <i>Norbert Link</i>	27
Generierung von dreidimensionalen Pulverstrukturen <i>Johannes Hötzer, Christopher Serr, Britta Nestler</i>	32
Evolution von Mikroporen in Kristallen mit hexagonaler Gitteranisotropie <i>Daniel Schneider, Benjamin Langêrôme, Michael Selzer, Andreas Reiter und Britta Nestler</i>	36
Über die Erkennung von Übersetzungsplagiaten <i>Sören Bühler, Andreas Schmidt</i>	39

Elektromobilität / Fahrzeugtechnik

Reduktion des Reifenschlupfs durch intelligente Verteilung des Antriebsmoments bei allradangetriebenen Elektrofahrzeugen <i>Benedict Jäger, Kurt Kruppok und Peter Neugebauer</i>	43
Auswirkung der Elektrifizierung von Nebenverbrauchern auf das Energiemanagement im Kraftfahrzeug <i>Kurt Kruppok, Benedict Jäger und Reiner Kriesten</i>	47
Navigation und Steuerung skalierbarer UAV und bemannter e-Multikopter <i>Reiner Jäger</i>	51
Fiber Spring – umweltverträgliche Fahrzeugsitze <i>Frank Pöhler, Florian Noga und Christian Langhorst</i>	57



Unlocking Measurement Insights

Wir erfüllen nicht nur den Standard, wir definieren ihn.

Keysight ist ein weltweit führendes Technologieunternehmen auf dem Gebiet der Elektronischen Messtechnik. Keysights elektronische Messtechnikprodukte und -systeme sowie Software und Dienstleistungen kommen bei der Planung, Entwicklung, Herstellung, Installation und Inbetriebnahme von elektronischen Anlagen zum Einsatz.

HARDWARE + SOFTWARE + PEOPLE = INSIGHTS



www.keysight.com

Inhalt

Maschinenbau

Mechatronik-Simulation von Knickarmrobotern auf mobilen Plattformen <i>Martin Kipfmüller, Marc Schell und Aishe Toledo-Fuentes</i>	61
Mikroroboter in der Medizintechnik und medizinischen Labortechnik <i>Michael Uhl, Julien Mintenbeck und Ramon Estaña</i>	65
Entwicklung und Untersuchung eines über Ionenstromanalyse gesteuerten NO _x -Abgas- nachbehandlungssystems für magerbetriebene Klein-Blockheizkraftwerke <i>Paul Gerisch, Fino Scholl und Maurice Kettner</i>	69
Akustische Detektion des Fluidisierungsgrades von Schüttgütern <i>Christof Krülle</i>	73
α-MAX: passive Kühlung einer Ultraschallsonotrode mittels Heat-Pipe <i>Holger Albiez und Matthias Stripf</i>	77
Die Ursache für die geringe Duktilität ultrafeinkörniger Baustähle <i>Rainer Schwab</i>	82

Schlaglichter

μBANSAI – Biomedizinisches Analysesystem mit Laserlicht <i>Christoph Prokop und Christian Karnutsch</i>	86
Sanierung eines Universitätsgebäudes aus den 1960er-Jahren <i>Bernhard Lenz und Arne Abromeit</i>	91
Mischflächen <i>Jan Riel</i>	94

Stand der Forschung an der Hochschule Karlsruhe – Technik und Wirtschaft

Die Hochschule Karlsruhe – Technik und Wirtschaft (HsKA) gehört zu den forschungsstärksten Hochschulen für Angewandte Wissenschaften (HAW) in Baden-Württemberg und Deutschland. Weil sie diese Spitzenposition auch künftig halten möchte, stellt der weitere Ausbau der angewandten Forschung ein strategisches Ziel zur Profilbildung der Hochschule dar. Das Rektorat fördert diese Ausrichtung aktiv mit diversen Maßnahmen, beispielsweise bei Neuberufungen, wo seit einigen Jahren neben dem erforderlichen Praxisbezug auch die Forschungsaffinität der Berufenen eine große Rolle spielt. Als Hochschule für Angewandte Wissenschaften wird an der HsKA in erster Linie anwendungsorientierte Forschung durchgeführt, die den primären Auftrag der Hochschule – die wissenschaftliche Ausbildung von Studierenden – gewinnbringend ergänzt. Studium und Lehre werden durch die Forschungstätigkeiten an der HsKA mit hochaktuellen Themen und einem Angebot an Studienprojekten bereichert. Aufgrund der Anwendungsorientierung sind die Forschungsergebnisse der HsKA besonders für Industrie und Wirtschaft interessant. Um den Technologietransfer zu fördern und Unternehmen noch effizienter und enger mit der Hochschule in Kontakt zu bringen, wurde auf dem Campus ein Innovationszentrum für kleine und mittlere Unternehmen – das Steinbeis-Haus Karlsruhe – errichtet, das 2015 eröffnet wurde.

Die immer umfangreicheren Forschungsaktivitäten der HsKA werden 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 steht, konzentriert sich das 2009 gegründete IMP thematisch auf die Entwicklung neuer Modellierungs- und Simulationstechniken. Neben diesen beiden zentralen Instituten bestehen weitere dezentrale Forschungseinrichtungen. Beispiele hierfür sind die Versuchsanstalt für Wasserbau (VAW) an der Fakultät für Architektur und Bauwesen und das Institut für Geomatik (IfG) an der Fakultät für Informationsmanagement und Medien. Die Forschungsstärke der HsKA spiegelt sich u. a. in ihrem Drittmittel-, Promotions- und Publikationsaufkommen wieder.

1. Drittmittelaufkommen

Die Drittmiteleinnahmen der HsKA in der Forschung beliefen sich in 2015 auf insgesamt ca. 5,3 Mio. Euro.

Trotz des leichten Rückgangs der Drittmiteleinnahmen von 2014 auf 2015 ist in Abbildung 1 zu erkennen, dass sich die Drittmiteleinnahmen der Hochschule im betrachteten Zeitraum insgesamt deutlich gesteigert haben. Mit Ausnahme des Jahres 2012 war die HsKA die drittmittelstärkste HAW in Baden-Württemberg. Aktuell arbeiten die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler der HsKA an rund 129 Forschungsprojekten.

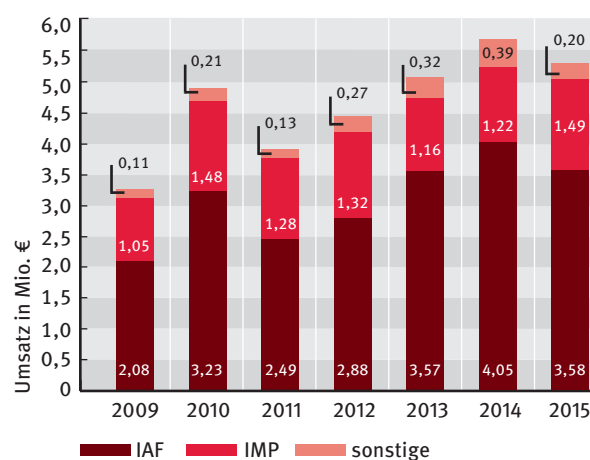


Abb. 1: Umsatzentwicklung IAF, IMP und Sonstige von 2009 bis 2015

2. Promotionsaufkommen

Insgesamt 66 laufende Promotionsverfahren wurden Ende 2015 kooperativ in Form einer Individual- oder einer strukturierten Promotion an der HsKA betreut und 9 Doktoranden schlossen ihre Promotion 2015 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. Letzteres wurde 2015 positiv evaluiert und um drei Jahre verlängert. Es ist zukünftig mit einem Anstieg der Promotionszahlen an der HsKA zu rechnen, da dies einerseits die Entwicklung der letzten Jahre nahelegt und andererseits die Landesregierung von Baden-Württemberg ein Maßnahmenpaket zur Förderung von Promotions in Kooperation mit HAWen beschlossen hat.

3. Publikationsaufkommen

Die Professorinnen und Professoren sowie die Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter der Hochschule haben 2015

insgesamt 215 wissenschaftliche Publikationen veröffentlicht, wovon 61 als Zeitschriftenaufsatz oder Dissertation erfolgreich ein Peer-Review-Verfahren durchlaufen haben. Im betrachteten Zeitraum von 2011 an ist eine positive Entwicklung der Publikationszahlen zu erkennen, die sich auch in einer Verbesserung im Vergleich mit den anderen HAWen in Baden-Württemberg widerspiegelt.

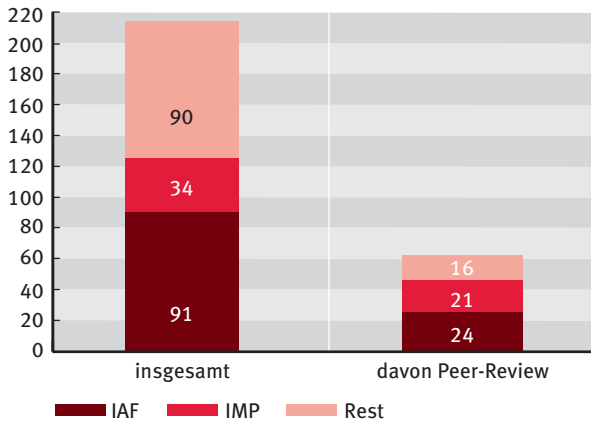


Abb. 2: Anzahl der erfassten wissenschaftlichen Publikationen 2015, insgesamt und mit Peer-Review

Das Forschungsprofil der HsKA wird durch drei interdisziplinäre Schwerpunkte geprägt. Diese wurden von der Hochschulrektorenkonferenz (HRK) positiv evaluiert und sind deshalb auf der HRK-Forschungslandkarte vertreten. Der Fokus des Forschungsschwerpunkts „Materialien, Prozesse und Systeme“ liegt auf neuen Modellierungstechniken für die Werkstoffsimulation und Optimierungen in der Produktions- und Fertigungstechnik sowie Fluidodynamik. Im Forschungsschwerpunkt „Intelligente Systeme“ werden solche Systeme erforscht, die sich über die Verarbeitung von Signalen oder die Interpretation des Nutzerverhaltens individuell an den Nutzer anpassen. Die Energiebereitstellung und -speicherung einzelner Verkehrsträgertechnologien wie beispielsweise neue Antriebskonzepte sind Thema im Forschungsschwerpunkt „Energieeffizienz und Mobilität“.

Ende 2015 waren 61 Professorinnen und Professoren am IAF und IMP tätig, die von insgesamt 267 Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter in den jeweiligen Instituten unterstützt wurden. Diese arbeiteten entweder in den Projekten selbst und in der Verwaltung oder brachten sich beispielsweise als Netzwerkadministrator oder Übersetzer (sonstige Mitarbeiter) oder als wissenschaftliche Hilfskraft ein. Auch in anderen Organisationseinheiten der HsKA betätigten sich Professoren und Mitarbeiter in der Forschung; sie sind aber nicht gesondert erfasst. Die Finanzierung der Mitarbeiter

der beiden zentralen Forschungseinrichtungen erfolgte ausschließlich aus Drittmitteln. Zusätzlich stellte die Hochschulleitung 4,5 Stellen für die fachliche Organisation der Forschung in den verschiedenen Forschungsbereichen zur Verfügung.

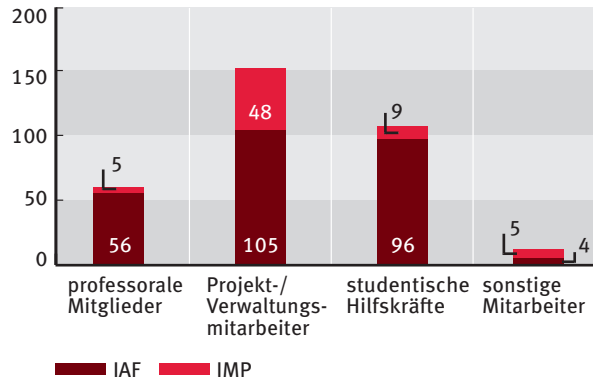
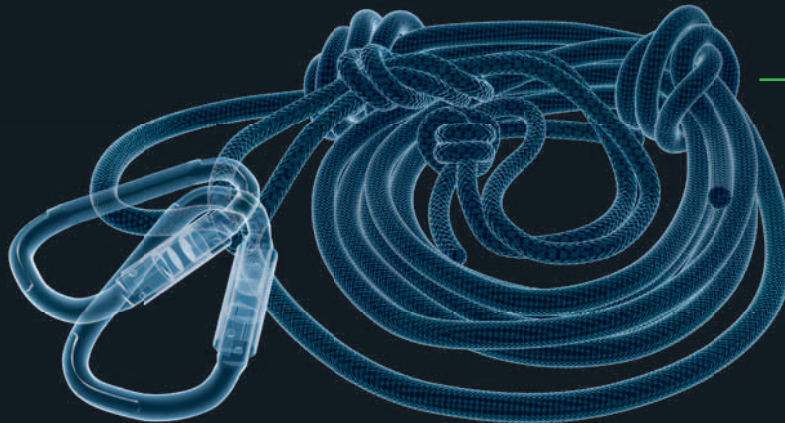


Abb. 3: Anzahl der professoralen Mitglieder sowie der Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter des IAF und IMP 2015

Autoren
Prof. Dr.-Ing. Markus Stöckner
 Prorektor für Forschung, Qualitätsmanagement und Kooperationen
Elena Stamm M.A.
 Akademische Mitarbeiterin im Publikations- und Qualitätsmanagement

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



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

EINSTIEGSPROGRAMM FÜR INGENIEURE (M/W)

Kälte- und Klimatechnik leisten weltweit einen unverzichtbaren Beitrag, zum Beispiel in der Gebäudeklimatisierung oder der Transportkühlung. Das Herzstück dabei: Verdichter von BITZER. Rund um den Globus setzen circa 3.400 Mitarbeiter täglich alles daran, dass sich unsere Kunden auf BITZER Qualität und Leistung verlassen können. Als führendes Unternehmen der Branche hat BITZER das Ziel, ingenieurwissenschaftliche Schlüsselpositionen in den Abteilungen „Anwendungstechnik und Sonderprojekte“ sowie „Sales International“ mit Mitarbeitern aus den eigenen Reihen zu besetzen.

Ab Oktober 2016 erhalten Sie innerhalb des 18-monatigen Ausbildungsprogramms durch wechselnde Abteilungseinsätze an unseren Standorten Sindelfingen, Rottenburg und Schkeuditz sowie in einer ausländischen Tochtergesellschaft die Chance, Ihre fachliche und soziale Kompetenz weiterzuentwickeln.

AUSBILDUNGSSCHWERPUNKTE

Sie eignen sich fundierte Produkt- und Anwendungskennnisse in enger Zusammenarbeit mit Ihren Mentoren an, führen Marktanalysen sowie Vertriebswegeuntersuchungen durch und beraten sowohl nationale als auch internationale Kunden. Im Troubleshooting vor Ort arbeiten Sie ebenso mit wie in der Produktentwicklung, im Versuch und in der Qualitätssicherung. Außerdem lernen Sie Fertigungsabläufe und -verfahren sowie die Fertigungsvorbereitung und -planung kennen.

VORAUSSETZUNGEN

Sie haben ein ingenieurwissenschaftliches Studium mit Schwerpunkt Kälte-, Klima- und Umwelttechnik abgeschlossen und verfügen über Fach- und Branchenkenntnisse aus einer Erstausbildung, einem Praktikum bzw. einer Bachelor- oder Masterthesis? Sprechen Sie darüber hinaus sehr gut Englisch und haben Sie gute MS-Office-Kenntnisse? Wenn Sie außerdem noch hohes Engagement sowie Team- und Kommunikationsfähigkeit mitbringen und bereit sind, im Ausland zu arbeiten, sollten wir uns kennenlernen!

KONTAKT

Interessiert? Dann freuen wir uns über Ihre aussagekräftige Bewerbung per E-Mail oder Post an: BITZER Kühlmaschinenbau GmbH // Human Resources // Eschenbrunnlestraße 15 // 71065 Sindelfingen // recruiting@bitzer.de // www.bitzer.de
Mark Harris beantwortet Ihnen gerne erste Fragen: Tel +49 (0)70 31 932-43 81.



DAS HERZ DER FRISCHE

Energieeffiziente vernetzte Gewerbegebiete – eine Methodik zur Entwicklung von unternehmensübergreifenden Maßnahmen zur Steigerung der Energieeffizienz

Marco Braun, Markus Bohlayer, Peter Fischer, Peter Hussinger, Diethelm Rumpel und Andrea Bühler

Die Industrie in Deutschland nutzt derzeit ca. 47 Prozent des insgesamt produzierten Stroms und ca. 43 Prozent der produzierten Wärme. Bei gleichbleibender oder steigender industrieller Produktion können ohne deutliche Verringerung des Primärenergiebedarfs (Energieeffizienzsteigerungen) und einer verstärkten Integration der Erneuerbaren Energien gerade im Handlungsfeld Wirtschaft die Ziele des Bundes im Klimaschutz nicht oder nur sehr schwer erreicht werden. Die Betrachtung eines Gewerbegebiets als Energieverbund kann hierbei zu Kostendegressionseffekten führen und somit die Wirtschaftlichkeit von Energieeffizienzmaßnahmen erhöhen oder erst ermöglichen. Verluste bei der Wandlung von Endenergie zu Nutzenergie sind zu einem großen Anteil auf die Nichtnutzung von Prozesswärme zurückzuführen. Gerade durch eine überbetriebliche Abwärmenutzung können im Vergleich zu einer rein innerbetrieblichen Abwärmenutzung erhebliche Energiemengen weiter genutzt werden und so die Wärmeerzeugung durch Primärenergie ersetzen. In einer wissenschaftlichen Kooperation entwickelten das Institut für Kälte-, Klima- und Umweltschutz an der Hochschule Karlsruhe und das Fraunhofer-Institut für Chemische Technologie ICT eine Methodik zur ganzheitlichen energetischen Analyse von Gewerbegebieten und wandten die Ergebnisse auf ein bestehendes Gewerbegebiet an. Dabei wurden die Energieströme in den unterschiedlichen Unternehmen konsequent modelliert und simuliert.

Unternehmensbegehung, Expertengespräche und Datensammlung

Eine Unternehmensbegehung ist für eine solche Untersuchung unumgänglich. Die Standortgegebenheiten, Produktions- und Geschäftsprozesse können so durch die entsprechenden Experten im Unternehmen erläutert werden. Der Ist-Bestand der Energiesysteme wird dokumentiert und es wird geklärt, in welcher Güte Daten bereitgestellt werden können. Mögliche Schnittstellen zum potenziellen Energieaustausch der Unternehmen müssen ebenso identifiziert werden.

Datenaufbereitung und -analyse

Nicht alle Unternehmen haben ein ausgereiftes Energiemanagementsystem und somit können die Daten

häufig nicht in einem ausreichenden Detaillierungsgrad bereitgestellt werden. Im untersuchten Gewerbegebiet konnte beispielsweise der Gebäudeenergiebedarf der Unternehmen nur monatsweise zur Verfügung gestellt werden. Die Daten müssen aufbereitet werden um später eine detaillierte Simulation durchführen zu können.

Maßnahmen zur Effizienzsteigerung der End-/Nutzenergie wandlung

Die in der Datenanalyse erfassten Abwärmepotenziale werden untersucht. Es gilt zunächst zu klären, ob eine betriebsinterne Abwärmenutzung bereits umgesetzt wurde, ob eine solche sinnvoll ist und ob gegebenenfalls Abwärmeüberschüsse existieren. Überschüssige Abwärme gilt es nach Eigenschaften wie Kontinuität, Temperaturniveau, Leistung und Betriebsstunden zu klassifizieren. In einem nächsten Schritt lassen sich – mit einem Abgleich der Eigenschaften mit den Wärmeanforderungen der Nachbarunternehmen – mögliche überbetriebliche direkte oder indirekte Abwärmenutzungsszenarien erarbeiten. Die erstellten Varianten müssen daraufhin simuliert werden, um die wirtschaftlichen und ökologischen Potenziale zu ermitteln.

Maßnahmen zur Effizienzsteigerung der Primär-Endenergie wandlung

Die Energieeffizienz der Primär-Endenergie wandlung wird durch die Einbindung dezentraler (regenerativer) Energieerzeugungsanlagen gesteigert. Die vorhan-



NEU: PEPS Version 8.0

neue Benutzeroberfläche
neue Maschinenraum-Simulation
neue High-Speed-Fräse-Strategien

 **Camtek**
Camtek.de

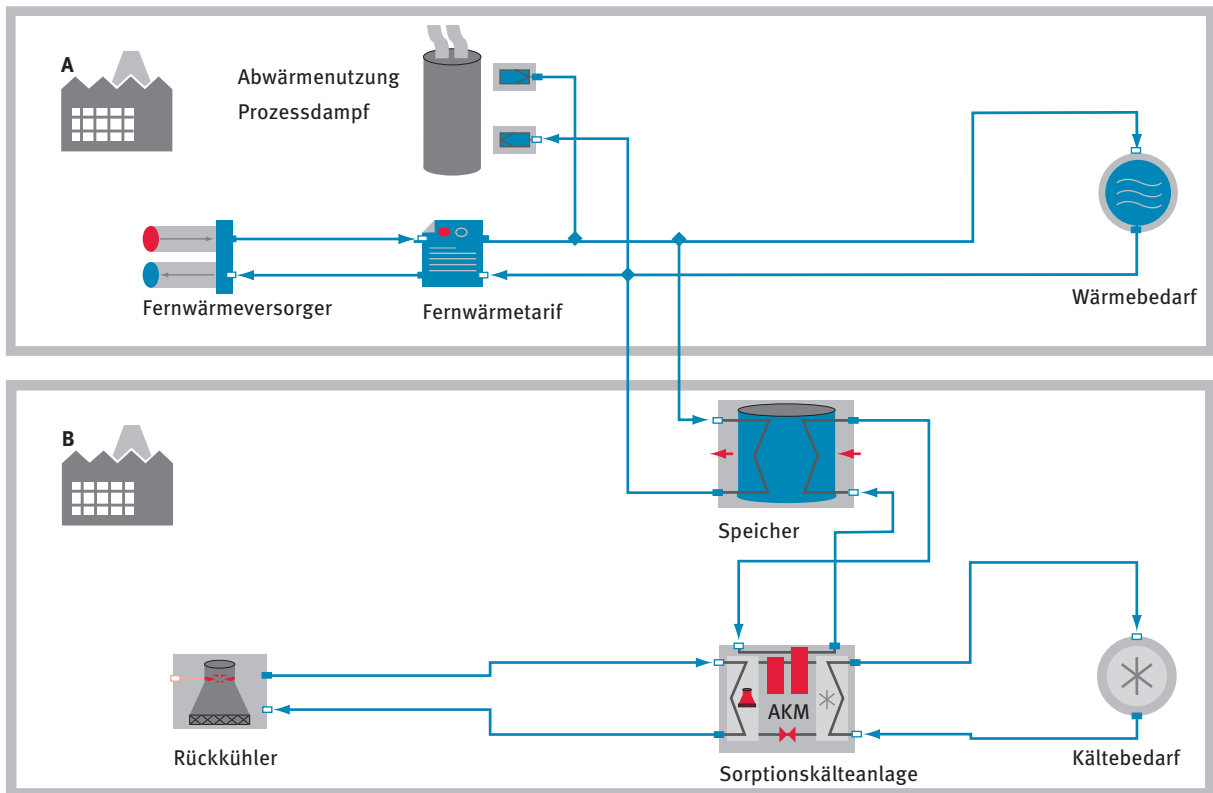


Abb. 1: indirekte überbetriebliche Abwärmenutzung zum Antrieb einer Sorptionskälteanlage

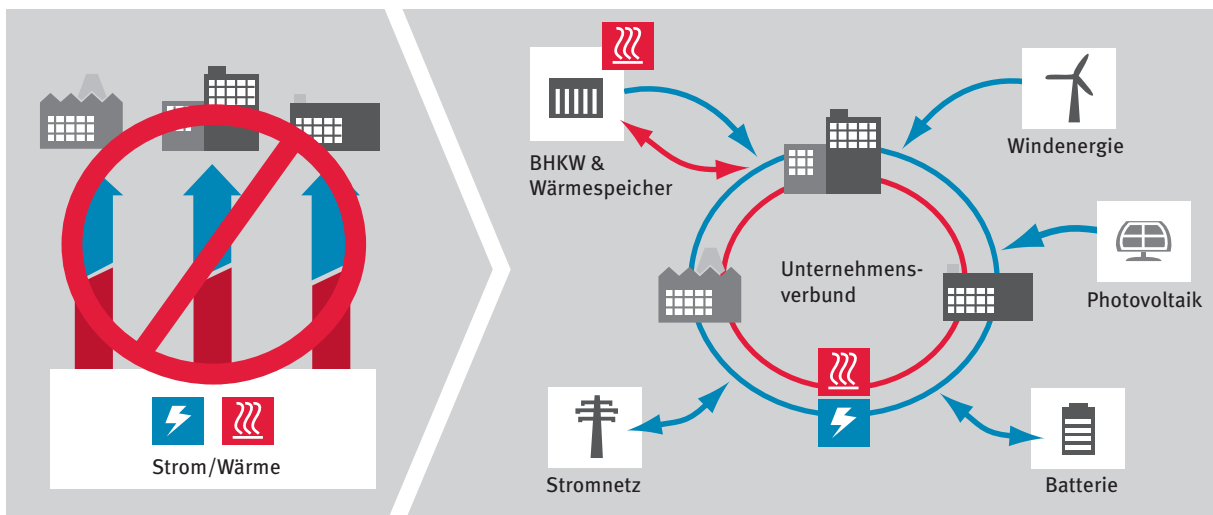


Abb. 2: energieeffiziente vernetzte Gewerbegebiete

denen Dachflächen werden zur Stromerzeugung aus Photovoltaikanlagen genutzt. Es kann geprüft werden, ob es möglich ist in der Nähe eine Windkraftanlage zu installieren. Im vorliegenden Fall könnte im Szenario eine nahe gelegene Windkraftanlage in das System integriert werden. Darüber hinaus werden Kraft-Wärme-Kopplungsanlagen (KWK) ins System eingebunden.

Simulation der Effizienzsteigerungsmaßnahmen

Simulationen sind unverzichtbar zur Quantifizierung

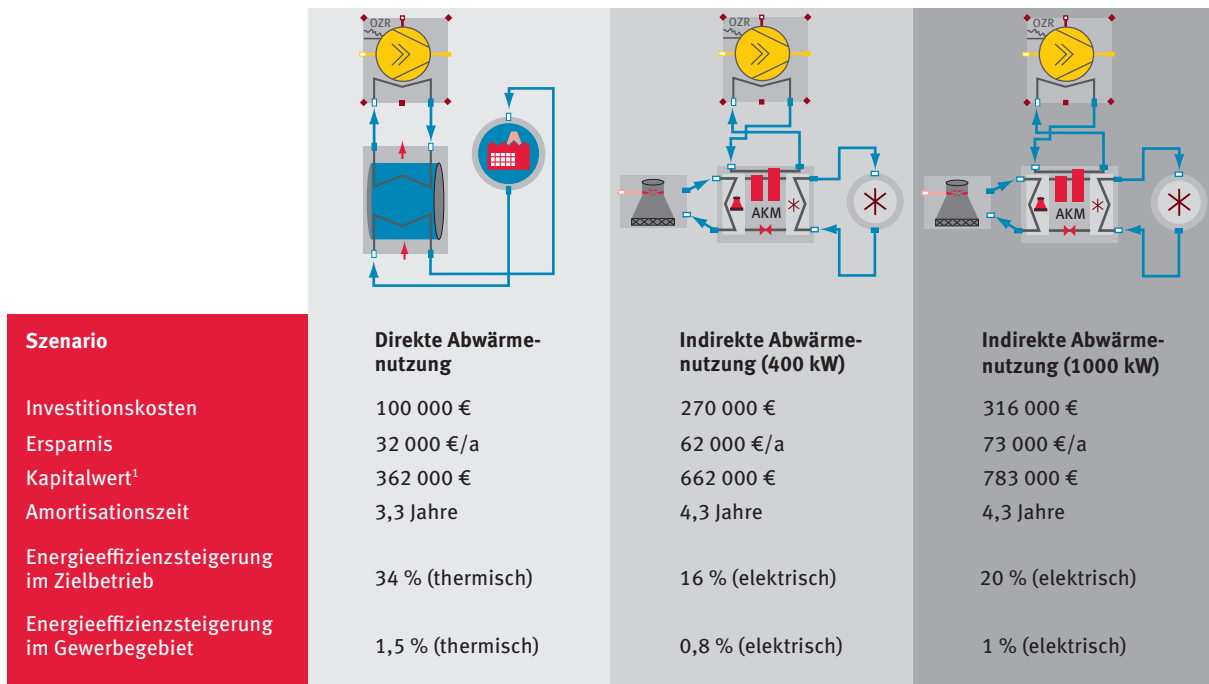
der ökologischen und ökonomischen Potenziale. Hierfür werden physikalische Modelle der Energieerzeugungs-, Übertragungs- und Verbrauchsanlagen erstellt und diese werden über Stoffmodelle zu Energiesystemen verknüpft. In der Simulation können diese Systeme über verschiedene Auslegungsjahre in stundengenauer Auflösung dargestellt werden. Eingangsparameter der Simulation sind z. B. thermische und elektrische Lastgänge, Wetterdaten, Wirkungsgrade und das physikalische Verhalten der Erzeugungs-

anlagen. Ausgangsdaten wären Leistungsgänge der Energieerzeugungsanlagen, verbrauchte Primär- und Endenergie, Investitions- und Betriebskosten der Anlagen, Investitionsrückflüsse sowie CO₂-Emissionen. In der Simulation wird nach einer optimalen Dimensionierung der Energieerzeugungsanlagen gesucht, d. h. nach dem bestmöglichen Energiemix für das Gewerbegebiet unter den gewählten Rahmenbedingungen. In Sensitivitätsanalysen kann bestimmt werden, wie sich dieser Energiemix für die Variation von Eingangsparametern (z. B. sinkende Einspeisevergütungen) verändert.

Ergebnisse

In der Studie wurden verschiedene Energieeffizienzmaßnahmen entwickelt. Es konnte gezeigt werden, dass die elektrische Energieeffizienz durch überbe-

triebliche Abwärmenutzungsmaßnahmen im Zielbetrieb um 20 Prozent gesteigert werden kann und dabei Amortisationszeiten von 4,5 Jahren nicht überschritten werden. Ebenfalls große Vorteile bietet der Betrieb von KWK-Anlagen im Verbund. Durch Kostendegressionseffekte können hier einerseits die Investitionskosten gesenkt und andererseits durch Ausgleichseffekte höhere Laufzeiten und somit kürzere Amortisationszeiten – im Vergleich zu Einzelanlagen – realisiert werden. Hinsichtlich des Energiemix wurde ein optimales Szenario entwickelt, das die europäischen Klimaschutzziele bei positivem Kapitalwert übertrifft. 40 Prozent des benötigten Stroms können dezentral regenerativ erzeugt werden und dabei würden über 30 Prozent der CO₂-Emissionen eingespart werden. Die Investitionskosten von 2,9 Mio. Euro würden sich in diesem Szenario in neun Jahren amortisieren.



¹Betrachtungszeitraum: 20 Jahre; Zinssatz: 3 %

Abb. 3: überbetriebliche Abwärmenutzungsmaßnahmen

Abstract

The Institute of Refrigeration, Air-Conditioning and Environmental Engineering (IKKU) of the Karlsruhe University of Applied Sciences and the Fraunhofer Institute of Chemical Technology (ICT) have developed a methodology to analyze and optimize thermal and electric energy flows and efficiency in energy supply for industrial areas. Within the scope of the design study the methodology was used to investigate an industrial area in Karlsruhe. The developed measures show high economic and ecological potential. In addition to the increased energy efficiency, renewable energies could be integrated in the system and could substitute conventional energy sources. Through the consistent use of professional simulation tools, it was not only possible to identify company-internal potential for energy efficiency, but also to integrate economic and ecological aspects through a compound-energy-system.

Zusammenfassung

Das Institut für Kälte-, Klima- und Umwelttechnik (IKKU) der Hochschule Karlsruhe entwickelte in Kooperation mit dem Fraunhofer-Institut für Chemische Technologie (ICT) eine Methodik zur ganzheitlichen energetischen Analyse von Gewerbegebieten und wandte diese mit Unterstützung der Wirtschaftsförderung der Stadt Karlsruhe auf ein bestehendes Industriegebiet an. Dabei konnte ein erhebliches Potenzial zur wirtschaftlich umsetzba-

ren Energieeffizienzsteigerung und zum verstärkten Einsatz von regenerativen Energien ermittelt werden. Durch die konsequente Anwendung von Simulationen können nicht nur betriebsintern die Potenziale zur Steigerung der Energieeffizienz ermittelt, sondern auch wirtschaftliche und ökologische Aspekte durch ein mögliches Verbundenergiesystem integriert werden.

Autoren

Prof. Dr.-Ing. Marco Braun

Professor an der Fakultät für Wirtschaftswissenschaften der Hochschule Karlsruhe

Markus Bohlayer M.Sc.

Akademischer Mitarbeiter an der Fakultät für Wirtschaftswissenschaften

Dr. Peter Fischer und Dipl.-Ing. Peter Hussinger

Fraunhofer-Institut für Chemische Technologie ICT

Diethelm Rumpel und Andrea Bühler

Energieforum Karlsruhe, Wirtschaftsförderung der Stadt Karlsruhe

Kontakt

Prof. Dr.-Ing. Marco Braun

Hochschule Karlsruhe – Technik und Wirtschaft

Fakultät für Wirtschaftswissenschaften

Moltkestraße 30

76133 Karlsruhe

Telefon: 0721 925-1959

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

Vermessung
Geotechnik
Geoinformatik
Entwicklung

intermetric
Das richtige Maß

DEIN NEUER ARBEITSPLATZ...

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



Ich bewege 45.000 Pakete.

Keine Panik: Wenn Sie mit uns für weltweit namhafte Unternehmen elektrische Installationen und Steuerungen für Materialfluss-Systeme realisieren möchten, müssen Sie kein Muskelpaket sein. Wenn Sie einfach nur gerne Ihre Arbeit machen, freuen wir uns darauf, gemeinsam mit Ihnen ganzheitliche Systemlösungen für die gesamte Palette der Industriearbeit zu erbringen. Dabei reicht unser Spektrum von der Analyse, Planung, Energieoptimierung und Software-Entwicklung über die Lieferung von Schaltschränken bis zur Elektro-Montage, Inbetriebnahme und Hotline-Service. Unsere Schwerpunkte sind Gepäckförderanlagen, Paketsortieranlagen, Logistikzentren und Automobilproduktion, sowie Retrofit bestehender Systeme.

DIREKTEINSTIEG, DIPLOMARBEIT ODER PRAKTIKUM? WIR BIETEN IHNEN DEN PERFEKTEN BERUFSEINSTIEG!

Wer wir sind?

Die Sit SteuerungsTechnik® GmbH ist ein dynamisch wachsendes, mittelständisches Unternehmen und realisiert weltweit für namhafte und marktführende Kunden der Förder- und Automatisierungstechnik elektrische Installationen und Steuerungen für Materialfluss-Systeme, und dies bereits seit mehr als 40 Jahren. Wir beschäftigen aktuell rund 120 Mitarbeiter an den Standorten Ettlingen und Böblingen. Unsere maßgeschneiderten Anlagen finden Sie in aller Welt. Unsere Kunden lernen uns als kompetenten Partner für komplexe Lösungen kennen. Wobei die Systeme, die wir für unsere Kunden entwickeln, Hochverfügbarkeits-Systeme darstellen. Diese sind auf die spezifischen Prozesse der Kunden abgestimmt.

Sie wollen Teil unserer Erfolgsgeschichte werden?

Die besten Voraussetzungen bringen Sie mit, wenn Sie Ihr Studium der Elektrotechnik abgeschlossen haben und nun nach einem Unternehmen suchen, das Ihnen die Möglichkeit zum Start in das Berufsleben gibt. Oder sind Sie Student, der seine Diplomarbeit schreiben bzw. sein Praktikum absolvieren möchte? Dann sind Sie ebenfalls bei uns gut aufgehoben.

Was wir Ihnen als Partner der Zukunft bieten?

Auch als Arbeitgeber haben wir Ihnen einiges zu bieten: Es erwarten Sie anspruchsvolle Aufgaben, Projekte und Themen – teilweise im internationalem Umfeld – viel Gestaltungsspielraum, flache Hierarchien und exzellente Entwicklungsmöglichkeiten. Damit Sie bei uns ankommen, erfolgt die individuelle Einarbeitung in Form eines Traineeprogramms. Dabei durchlaufen Sie alle relevanten Abteilungen. Ihre persönliche und individuelle Weiterentwicklung ist uns wichtig. Von daher unterstützen wir dies durch gezielte Weiterbildungsangebote. Wir sind an einer Partnerschaft mit Zukunft interessiert. Der Beweis sind unsere langjährigen Mitarbeiter, die aus unserer Sicht als beste Motivation für neue Team-Mitglieder dienen. Eine angemessene Vergütung sowie attraktive Sozialleistungen runden unser Bild ab.

Sie wollen mit uns etwas bewegen?

Nehmen Sie jetzt Ihre Zukunft in die Hand! Entscheiden Sie sich für einen Berufseinstieg bei der Sit SteuerungsTechnik®. Ihre Bewerbung richten Sie bitte an: HR@sit-de.com



AUTOMATION TECHNOLOGY
SOLUTIONS FOR YOUR BUSINESS

Sit SteuerungsTechnik® GmbH | Einsteinstraße 26–28 | D-76275 Ettlingen
Fon +49 (0) 7243/56171-0 | Fax +49 (0) 7243/56171-988 | www.sit-de.com



Analysis of the impact of Robotic Systems on Employment in the European Union

Steffen Kinkel and Ralph Lichtner

Background

Industrial robots and robot applications are key enabling technologies which enhance the competitiveness of the European manufacturing industry and the overall welfare of society. The International Federation of Robotics (IFR) data [1] shows that from a global perspective there was a continuous rise in the stock of operational industrial robots between 2004 and 2012, except for 2009 when there was a decline due to the global economic crisis. A total increase of 45 % from 849 603 industrial robots in 2004 to 1 235 389 in 2012 underlines their growing importance.

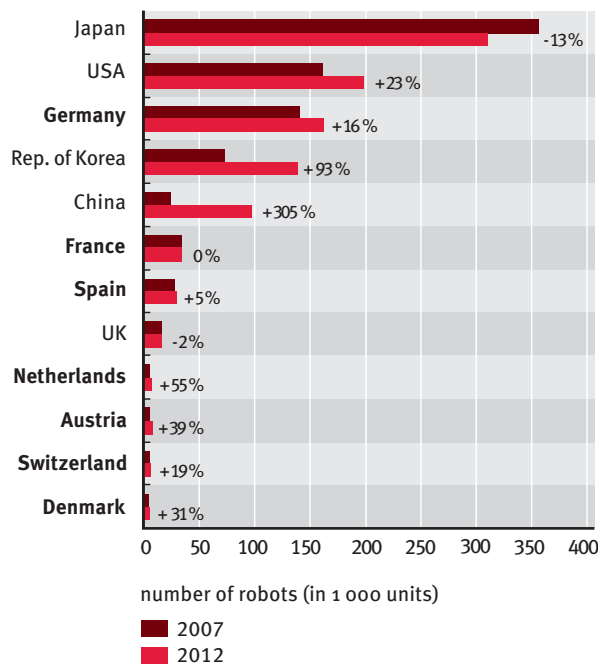


Fig. 1: Stock of operational industrial robots in 2007 and 2012 for selected countries

The potential benefits of robot utilisation are numerous – such as being able to deliver superior quality and productivity or being able to work in hazardous environments.[3] However, latest studies [5] show that the public is becoming increasingly fearful about potential unknown negative impacts on employment in industrialized countries. Economic rationale suggests that the use of robot systems in industrial processes aims at optimising total factor productivity by substituting labour-intensive activities [4], and leads to the elimination of the respective jobs and industrial workplaces. On the other

hand, companies that are able to achieve a higher level of total factor productivity by the intelligent use of robot systems could win market shares from their competitors with a lower total factor productivity level. As higher capital intensity usually implies higher fixed costs for these companies, they might also perceive a greater barrier to offshore and outsourced production activities and jobs from higher-wage European countries to lower-wage regions in other parts of the world, particularly Asia.[2]

Aim, data and methodological approach

The aim of this study was to provide new empirical evidence to the European Commission on whether and how the use of robots in industrial companies impacts on their competitiveness in general and employment in particular. It was jointly conducted by the Fraunhofer Institute for Systems and Innovation Research (Fraunhofer ISI) and the Institute for Learning and Innovation in Networks (ILIN) at the Karlsruhe University of Applied Sciences. The study was divided into two phases, the analysis of robot usage and the analysis of the effects of robot usage. The following research questions are addressed in detail:

1. What is the current utilisation of robots in the manufacturing industry in selected European countries and what are the determinants of robot utilisation in these companies?
2. What are the effects of robot utilization on the decisions of European industrial companies to relocate manufacturing activities to other countries outside the European Union?
3. How and to what extent does the use of robots have an affect on the competitiveness of European industrial companies and their employment policies ?

Based on firm-level data of the European Manufacturing Survey (EMS) coordinated by the Fraunhofer ISI, this study presents new empirical insights into the diffusion and use of industrial robot technologies by European manufacturing companies as well as the effects on productivity and employment.

Main results and policy recommendations

The major findings of this study are:

The use of industrial robots does not have significantly negative effects on employment. The relationship between robot utilisation and employment at the analysed firms in the data sample appears to be neutral; there are even slight tendencies towards a positive effect. Thus, the findings of this study provide evidence that European manufacturing companies do not substitute human workforce with capital investments in robot technology.

	use of industrial robots	maintaining manufacturing inside EU (=NO production relocation outside EU)	labour productivity	total factor productivity TFP	employment growth
Austria					
Switzerland	+		+	+	+
Netherlands		(-)	+		
France	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	
Denmark	+	-	n.a.	n.a.	
Spain	+	-			
size of company	+	-	+	+	
food, beverages (15 16)			+	+	
chemical products (24)			+	+	
rubber/plastic products (25)	+				
metal products (27 28)	+	+			
electrical/electronic etc. (30-33)					
transport equipment (34 35)					+
other products n.e.c.					
export quota		-	+	+	
no export	-				
vertical range of manufacturing			+	+	
age of firm					-
small/medium batch	+				
large batch	+	+	+		
medium product complexity	+				
complex products					
make to order production			-		
semi- or unskilled workers (%)			-		
turnover growth	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	+
use of industrial robots	n.a.	+			
intensive use of industrial robots	n.a.	+	+		

n.a. not used in the model
 + positive relation
 - negative relation
 empty cell no impact

Tab. 1: Summary of the main results of the analyses

European companies that use industrial robots in manufacturing are less likely to relocate or move their production offshore. In particular the companies that make intensive use of industrial robots in their production processes relocate parts of their manufacturing activities outside the borders of the EU less frequently than companies that do not make use of industrial robots in manufacturing. Extrapolated to the 234 000 manufacturing companies with 20 and more employees in 27 EU countries, this works out to a potential of around 4 600 companies avoiding extra EU relocations by making use of, or intensifying the use of industrial robots in their manufacturing operations.

Companies using industrial robots achieve superior efficiency in their manufacturing processes compared to non-users. Industrial robots are a technological key enabler when it comes to maintaining and increasing the labour productivity (measured by value added per employee) of European manufacturing companies. This leads to a strengthening of their international competitiveness. Nevertheless, due to the high investment costs for this advanced manufacturing technology, a positive effect of robot utilisation on total factor productivity (that accounts for capital investments) is not detectable.

Companies with a large vertical range of manufacturing – performing more value creating processes within their enterprise – show superior efficiency in terms of both labour productivity and total factor productivity. This is in contrast to the management paradigm of focusing on core competences by strictly outsourcing all peripheral steps of value creation and supportive tasks to external suppliers. However, as this study documents, companies that have higher in-house control over their processes of value creation and production, reach higher levels of efficiency.

Therefore the stimulation of the further development and diffusion of industrial robot systems seems to represent one of the key measures for exploiting the competitiveness and growth potential of the European manufacturing industry. Based on this study, the following key recommendations with regard to further policy action can be made:

Reduction of investment costs: The findings show, that the positive effects on firms’ productivity could be considerably reduced by high investment costs in robots. Hence, a good starting point could be to promote the development of economical, cost-effective robot solutions.

Increase the ability of small and medium-sized manufacturing firms (SMEs) to realize the benefits of industrial robots in manufacturing and assembly: This study reveals that small and medium-sized companies use robots significantly less frequently than large firms. This is mainly because large firms have better economies of scale and more resources, not only with regard to finances but also regarding a highly skilled and experienced production workforce. Such workers are able to implement, configure and modify robot solutions to match their company's needs and better exploit the potential of industrial robots.

Provide incentives for firms to (re-)establish a larger vertical range of manufacturing via the implementation or increased use of industrial robots: In many cases, manufacturing firms have reduced their vertical range of manufacturing due to an increased focus on their core competences by outsourcing periphery and/or cost-intensive production steps to specialised suppliers. However, given the current level of technological progress in the field of industrial robots, the implementation and use of robot systems could be a strong argument in favour of re-introducing some production steps in order to further increase productivity through new, in-house possibilities of monitoring and optimisation without simultaneously increasing labour costs.

Conclusion

Overall, the results of the study are of paramount importance for the European industry and its technology policy. They provide empirical evidence that the affirmative stimulation of the further development and diffusion of industrial robot systems represents one key measure among others for exploiting the competitiveness and growth potential of the European manufacturing industry.

Literature

- [1] International Federation of Robotics (IFR), *World robotics, Statistics, Market Analysis, Forecasts and Case Studies*, VDMA Verlag GmbH, Frankfurt am Main (2013).
- [2] S. Kinkel, *Trends in Production Relocation and Back-shoring Activities – Changing Patterns in the Course of the Global Economic Crisis*, International Journal of Operations & Production Management, Vol. 32 No. 6, 2012, pp. 696-720.
- [3] O. Kleine, M. Hägele, N. Blümlein, *Wirtschaftlichkeitsanalysen neuartiger Servicerobotik-Anwendungen und ihre Bedeutung für die Robotik-Entwicklung (EFFIROB)*, München, Fraunhofer, 2011.



Wir bieten innovativen Köpfen den Raum für ihre Ideen!

Das Kompetenzzentrum für Unternehmensgründungen

350+	UNTERNEHMEN BETREUT
97%	ERFOLGSQUOTE
6.500	ARBEITSPLÄTZE GESCHAFFEN

Haid-und-Neu-Str. 7 · 76131 Karlsruhe
Telefon 0721-174 271 · www.technologiefabrik-ka.de

IHK Technologiefabrik Karlsruhe
Verbrauchsausweis, Heizenergieverbrauchskennwert 97 kWh/m²a, Stromverbrauchskennwert 75 kWh/m²a, Erdgas

- [4] K. Schmidt, M. Rohde, *Low Cost Automation in der Logistik*, ZWF – Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb, Vol. 105 1-2, 2010, pp. 91-95.
- [5] TNS Opinion & Social, *Public attitudes towards Robots*, Special Eurobarometer 382 / Wave EB77.1, 2012

Zusammenfassung

Eine Studie für die Europäische Kommission zeigt auf Basis von Regressionsanalysen einer Erhebung von 3 228 Industriebetrieben aus sieben ausgewählten Ländern, dass die Nutzung von Industrierobotern keinen negativen Einfluss auf die Beschäftigung in diesen Firmen und Ländern hat. Die befragten Betriebe, die Industrieroboter nutzen, weisen eine signifikant höhere Produktivität auf als Betriebe, die auf Roboter verzichten. Zudem verlagern sie die Produktion seltener in Länder außerhalb der EU, wodurch sie zur Sicherung der Beschäftigung im europäischen Binnenraum beitragen. Überdurchschnittlich produktiv sind zudem Betriebe mit einer hohen Wertschöpfungstiefe. Die Empfehlung an die Politik ist daher, Anreize für kleinere und mittlere Unternehmen (KMU) zu setzen und deren Fähigkeiten zu stärken, durch angemessenen Robotereinsatz eine höhere Wertschöpfungstiefe aufzubauen.

Abstract

A study for the European Commission based on a firm-level regression model analysis of 3 228 manufacturing firms in seven selected countries, revealed that the use of industrial robots does not affect employment in these firms and countries negatively. Firms using industrial robots display higher levels of productivity due to a higher vertical range of

manufacturing. Furthermore, they are less likely to relocate their production outside Europe, therefore preserving employment in the EU. Key policy advice is to strengthen the capabilities of small and medium-sized enterprises (SMEs) and to provide incentives to (re-)establish a higher vertical range of manufacturing through increased use of industrial robots.

Authors

Prof. Dr. Steffen Kinkel

Professor at the Faculty of Computer Science and Business Information Systems at Karlsruhe University of Applied Sciences
Institute for Learning and Innovation in Networks (ILIN)

Ralph Lichtner

Academic Assistant at the Institute for Learning and Innovation in Networks (ILIN)

Contact

Prof. Dr. Steffen Kinkel
Karlsruhe University of Applied Sciences
Faculty of Computer Science and Business Information Systems
Institute for Learning and Innovation in Networks (ILIN)
Moltkestraße 30
76133 Karlsruhe
E-Mail: steffen.kinkel@hs-karlsruhe.de



HYDRO Systems KG

Ahfeldstrasse 10

77781 Biberach/Baden

+49 (0) 7835 787-0

www.hydro.aero

In den Bereichen Maschinenbau und Wirtschaftsingenieurwesen suchen wir:

- HOCHSCHULABSOLVENTEN (M/W)
- BACHELORSTUDENTEN (M/W)
- MASTERSTUDENTEN (M/W)

Flugzeugbodengeräte (GSE) und Werkzeuge von HYDRO sind die erste Wahl, wenn es um den Bau und die Wartung von Flugzeugen oder Triebwerken geht. Als Marktführer mit weltweiter Präsenz beschäftigen wir fast 600 Mitarbeiter in Entwicklung sowie Produktion und sind auf Expansionskurs.

Bewerben Sie sich unter: www.hydro.aero/karriere
und werden Sie Teil unserer erfolgreichen Crew!



Konzeption eines Vorgehensmodells zur IT-Due Diligence mit Identifikation und Simulation von Synergiepotenzialen

Patrick Moser, Karl Dübon und Max Häge

Motivation

Die Anzahl der Fusionen und Unternehmensübernahmen nach der Finanzkrise erreichte im Jahr 2014 mit etwa 82 000 Transaktionen und einem Gesamtvolumen von 4,7 Billionen Dollar einen Höchststand.[1] Dies betrifft Merger-and-Acquisitions-Projekte (M&A) mit anschließendem Zusammenschluss der Unternehmen oder deren parallelen Weiterführung. Dem voraus geht die Due Diligence – die Prüfung und Analyse der zu übernehmenden Unternehmen, um Chancen und Risiken im Rahmen der Wertermittlung zu beurteilen.

Aufgrund der hohen Bedeutung der IT-Prozesse zur Ausführung betrieblicher Aufgaben ist auch die Rolle der IT-Due Diligence von zentraler Bedeutung bei M&A-Aktivitäten. Die Bedeutung der IT-Due Diligence wird noch verstärkt durch geringe Einstiegsbarrieren zur Neuentwicklung von Softwarelösungen, hohe Innovationsraten und kurze Produktlebenszyklen in der IT.[2, 3] Mit IT-Due-Diligence-Projekten wird das Potenzial der Informationstechnologie eines Unternehmens zur Erreichung der Unternehmensziele untersucht. Hierzu werden werterhöhende und -mindernde Einflüsse aus der IT-Infrastruktur und -Organisation bewertet.

Dabei geht es zum einen um die Aufrechterhaltung des IT-Betriebs nach der Übernahme, und zum anderen um die Identifikation und Ausschöpfung von Synergien. Oft ist die betriebliche IT speziell auf das eigene Unternehmen angepasst und weicht von Standards ab. Dies kann dazu führen, dass erwartete Synergieeffekte und Potenziale einer Übernahme nicht erfüllt werden.[4] Vor dem Hintergrund eines angestrebten Unternehmenszusammenschlusses und einer anstehenden Neuausrichtung und Restrukturierung der IT wird im Folgenden ein generisches Vorgehensmodell für IT-Due-Diligence-Projekte vorgestellt.

Insbesondere die Erfordernisse zur Bewertung von beiden IT-Organisationen, dem kaufenden und dem zu kaufenden Unternehmen, hinsichtlich deren künftiger, sogenannter Post-merger-Integration sowie die Einschätzung zu erwartender IT-Skaleneffekte erfordern eine Erweiterung generischer Vorgehensmodelle. Dabei sollen Schritte zur Identifikation von Synergiepotenzialen und damit verbundene Simulationsaspekte Berücksichtigung finden.

Schritte generischer IT-Due-Diligence-Vorgehensmodelle

Grundsätzlich bestehen IT-Due-Diligence-Projekte aus den drei Phasen Planung, Erhebung und Bewertung der IT des zu übernehmenden Unternehmens. Mit der Planungsphase werden, neben der Suche nach möglichen Informationsquellen und der Auswahl der Beteiligten, auch der Ablauf und die Prioritäten in den darauf folgenden Prozessschritten festgelegt.[5] Im Rahmen der Erhebung wird der Ist-Zustand der IT des zu akquirierenden Unternehmens im Verhältnis zur IT im eigenen Unternehmen erfasst. Hierzu ist im Wesentlichen eine Betrachtung der technischen Infrastruktur, der eingesetzten Anwendungssysteme, der Informationsfunktionen und des Outsourcing-Potenzials erforderlich. Der Fokus im Rahmen der Erhebungen zur technischen Infrastruktur liegt dabei auf dem Grad der internen Vernetzung, der verwendeten Standards und der Möglichkeiten der technischen Integration.[5] Betrachtet werden physische Schnittstellen, mit denen eine Integration erfolgen kann sowie die technischen Infrastrukturen der betroffenen Anwendungssysteme. Berücksichtigung finden hierbei insbesondere die zu einem späteren Zeitpunkt anfallenden Migrationsanforderungen wie z. B. die Vereinheitlichung von Stamm- und Bewegungsdaten. Mit den Erhebungen zur Informationsfunktion werden Anforderungen und Restriktionen betrachtet, die aus der IT-Strategie/Governance und den zur Verfügung stehenden Ressourcen resultieren (Datenschutz, ITIL-, ISO- und weitere Zertifizierungen, Integration von QM oder ISO-ERM Prozessen). Der Bewertungsschritt der IT Due Diligence wird in der Literatur aus den drei Sichten Technik, Organisation und Finanzen beschrieben. Dabei werden jeweils alle Sichten auf alle Informationsteilbereiche angewendet.[5] Ebenso Teil dieser Phase ist die Bewertung von Gemeinsamkeiten und Unterschieden der beiden IT-Organisationen, um an dieser Stelle mögliche Integrationsstrategien auszuschließen bzw. Abbruchkriterien der Akquisition zu identifizieren.

Identifikation und Simulation von Integrationspotenzialen

Eine IT-Due Diligence muss dem Anspruch gerecht werden, mögliche Integrationspotenziale bei der Zusammenführung von IT-Organisationen zu identifizieren und zu erwartende Kosten und Budgets einzu-

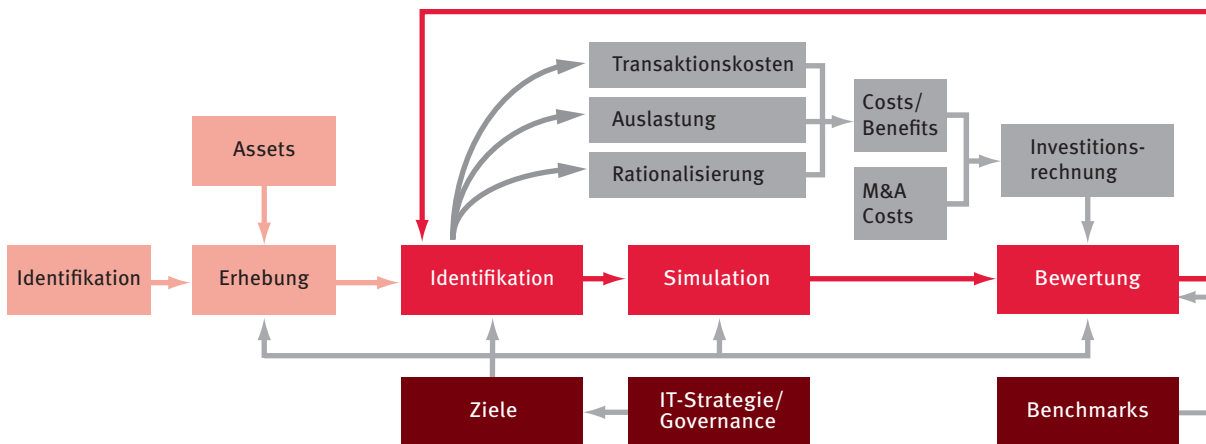


Abb. 1: erweitertes IT-Due-Diligence-Modell

schätzen. Dies kann erst durch eine Erweiterung des generischen Vorgehensmodells mit iterativen Phasen zur Identifikation von Synergiepotenzialen, der Simulation/Sensitivitätsanalyse und der Bewertung von Chancen und Risiken erreicht werden. Die in der generischen Bewertungsphase durchzuführenden Teilschritte werden hierbei auf die neuen Prozessschritte aufgeteilt (s. Abb. 1). Zusätzlich wird der iterative Charakter der Suche nach der besten Integrationslösung hervorgehoben. Die Prozessschritte Planung und Erhebung erfahren in diesem Zuge keine Veränderung.

Identifikation von Synergiepotenzialen

Nach der Erhebung der für die IT-Due Diligence notwendigen Informationen werden unter Hinzunahme des Identifikationsschritts die Synergiepotenziale der zu vereinenden IT-Landschaften bestimmt. Hierbei werden die entsprechenden Systeme, Prozesse oder andere Assets identifiziert und eine passende Integrationsstrategie wird gewählt. Ist ein Synergiepotenzial entdeckt, wird eine passende Integrationsvorgehensweise gewählt. Als mögliche Handlungsstrategien der Akquisitionspartner bieten sich anwendungsorientierte, dominierende, neuorientierte und parallele IT-Integrationen an.[6]

Simulation von Chancen und Risiken

Die Verifikation und Validierung der im vorangegangenen Schritt identifizierten Synergiepotenziale und der verbundenen IT-Infrastrukturalternativen erfolgt im Kontext der gewählten Strategie durch deterministische Simulation und Sensitivitätsrechnung. Mögliche Skaleneffekte, Rationalisierungen und Transaktionskosten werden dabei auf Chancen und Risiken hin beurteilt. Unterschiedliche Systeme mit identischen Aufgaben, doppelt geführte Infrastrukturen, Prozesse und Organisationseinheiten können eliminiert werden. Erfahrungskurveneffekte können zur Steigerung der Effizienz der neu gestalteten IT-Organisation bei-

tragen. Darüber hinaus wird die Verhandlungsposition gegenüber Zulieferern und Dienstleistern gestärkt. Bei einer informationstechnischen, wertkettenorientierten Akquise entstehen zusätzliche Verwaltungs- und Organisationskosten aufgrund des zunehmenden Organisationsgrads. Diese sind mit entfallenden Transaktionskosten zu verrechnen, die vor der Akquisition zwischen den Partnern bestanden haben.[7] Ein weiterer Teil dieser Phase einer IT-Due Diligence ist die Einschätzung einmalig anfallender Kosten für die Planung und Durchführung der IT-Integration.

Bewertung

Als abschließender Prozessschritt findet die Bewertung der gewählten Integrationsstrategie und der in der Simulation errechneten Werte statt. Hierzu sind Benchmarking-Methoden und Best-/Successful-Practices-Ansätze erforderlich. Die Simulationsergebnisse werden mit den IT-Performancekennzahlen verglichen, die für die jeweilige Branche üblich sind. Werden dabei entsprechende Zielkriterien nicht erreicht, kann dies als Hinweis für eine unpassende Integrationsstrategie gewertet werden. Es sollten dann andere Strategien in Betracht gezogen und der Prozess ab der Identifikation so lange iterativ durchlaufen werden, bis das beste Ergebnis erzielt wird. Einmalig anfallende Integrationskosten, zukünftige Kosten und Einsparungen gehen schließlich in eine ganzheitliche Investitionsrechnung zur Kaufpreismittlung ein, mit der sämtliche Ergebnisse der Teil-Due-Diligence-Projekte konsolidiert werden.

Literatur

- [1] Bureau van Dijk, *Zephyr Annual M&A Report*, <http://bvdinfo.com/BvD/media/General/Global-FY-2014-report.pdf> (besucht am 05.09.2015).
- [2] A. Ullah, R. Lai, *A Systematic Review of Business and Information Technology Alignment*, *ACM Trans. Manage. Inf. Syst.*, 4, 1, Article 4, 2013.

- [3] C.P. Durney, R.G. Donnelly, *Managing the Effects of Rapid Technological Change on Complex Information Technology Projects*, Springer Science+Business Media, 2012.
- [4] P. McKiernan, Y. Merali, *Integrating Information Systems after a Merger*, Long Range Planning, No. 4, 1995.
- [5] A. Koch, J.-P. Menke, *IT Due Diligence*, Schäffer-Poeschel Verlag, Stuttgart, 2008.
- [6] J.T. Herold, *Neuausrichtung der Informationsverarbeitung bei Unternehmensakquisitionen*, Shaker, Aachen, 2003.
- [7] P. Buxmann, H. Diefenbach, T. Hess, *Die Software-industrie – Ökonomische Prinzipien, Strategien, Perspektiven*, Springer Verlag, Heidelberg, 2011.

Abstract

The most important effects of M&A-deals are achieved through the consolidation, integration and implementation of IT-systems and services and the appropriate allocation of IT resources. To obtain the desired results and to avoid possible risks IT-due diligence projects are required. Expanding the generic IT-Due Diligence process model used during the pre-merger phase ensures that standard IT-operations are maintained and that future integration alternatives are brought to the fore during corporate evaluation. This is achieved by dividing the previous evaluation phase into three separate steps; the identification of potential synergies, the simulation of opportunities and risks, and the final sector-specific assessment based on appropriate benchmark methods. The iterative approach which is required in practical applications is taken into account and embedded in the process model.

Zusammenfassung

Mit der Erweiterung der generischen IT-Due-Diligence-Vorgehensmodelle wird erreicht, dass in der Pre-merger-Phase nicht nur die Aufrechterhaltung des IT-Betriebs, sondern auch künftige Integrationsalternativen aktiv in den Fokus der Unternehmensbewertung einbezogen werden. Dies gelingt durch die Aufteilung der bisherigen Bewertungsphase zur Identifikation von Synergiepotenzialen in drei separate Schritte, der Simulation von Chancen und Risiken und der abschlie-

ßenden branchenspezifischen Bewertung anhand von geeigneten Benchmark-Methoden. Das in der praktischen Anwendung erforderliche iterative Vorgehen ist dabei berücksichtigt und im Vorgehensmodell verankert. Damit kann dieses Modell zur allgemeinen Beurteilung der betrieblichen IT-Organisation im Rahmen der internen IT-Planung oder der IT-revisorischen Tätigkeiten herangezogen werden.

Autoren

Patrick Moser B.Sc.

Studierender des Masterstudiengangs Wirtschaftsinformatik an der Fakultät für Informatik und Wirtschaftsinformatik der Hochschule Karlsruhe

Prof. Dr. Karl Dübon

Professor an der Fakultät für Informatik und Wirtschaftsinformatik der Hochschule Karlsruhe

Max Häge

Leiter ITK-Revision, Qualitätsmanagement (GII), Deutsche Bahn AG, Frankfurt am Main
Projektbeteiligter

Kontakt

Prof. Dr. Karl Dübon

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

76133 Karlsruhe

E-Mail: karl.dübon@hs-karlsruhe.de

Telefon: 0721 925-2963

Personalmarketing der Generation Y – Kriterien der Arbeitgeberwahl zukünftiger Hochschulabsolventen

Sandra Schmieds und Stefanie Regier

Es ist unverkennbar, dass das Durchschnittsalter der deutschen Bevölkerung in den kommenden Jahrzehnten weiter steigen wird.[1] Eine Erhöhung der Lebenserwartung bei sinkenden Geburtenraten führt unweigerlich dazu, dass auf dem Arbeitsmarkt zukünftig mit einem Mangel an Nachwuchskräften zu rechnen ist.[2] Glaubt man darüber hinaus der Stereotypisierung von Generationen, sehen sich die Betriebe außerdem mit veränderten Wünschen und Erwartungen der Zielgruppe konfrontiert.[3] Diese Veränderungen äußern sich sowohl hinsichtlich der Wahl potenzieller Arbeitgeber als auch in Bezug auf bestehende Informations- und Kommunikationsmuster. Mit dem Eintritt der nach 1980 geborenen Generation Y in die Erwerbstätigkeit ist davon auszugehen, dass ein standardisiertes Leistungsangebot der Betriebe den spezifischen Anforderungen der Nachwuchskräfte nicht mehr gerecht werden kann.[4] Die Unternehmen stehen daher vor der Herausforderung, relevante Attraktivitätsfaktoren bei der Arbeitgeberwahl der Generation Y zu kennen und aktiv zu bewerben. Dabei sollen auch den veränderten Informations- und Kommunikationspräferenzen der jungen Generation Rechnung getragen werden. Vor diesem Hintergrund entstand die Idee des zugrundeliegenden Forschungsprojekts, die Präferenzen der jungen Generation bei der Arbeitgeberwahl zu untersuchen.

Zur Beantwortung dieser Fragestellung kommen insbesondere dekompositionelle Verfahren der Präferenzmessung infrage, die den Probanden nach Gesamtbeurteilungen von Einstellungsobjekten (wie z. B. einen Arbeitgeber) fragen und Antworten unter Verwendung statistischer Methoden in Einzelurteile in Bezug auf die unterschiedlichen Eigenschaften (wie z. B. Gehalt, Karrierechancen) zerlegen. Die Conjoint-Analyse stellt solch eine Methode zur indirekten Präferenzmessung dar. Je nach Verfahrensvariante werden den Testpersonen dabei ein oder mehrere Einstellungsobjekte vorgelegt, die verschiedene Merkmale aufweisen und durch ein Set diverser Merkmalsausprägungen definiert sind. Der Proband bewertet somit komplette Bündel von Merkmalen im Kontext der Arbeitgeberattraktivität – bestehend aus Einstiegsgehalt, Karrierechancen, Weiterbildungsmöglichkeiten etc. Dabei werden ihm in einem mehrstufigen Verfahren mehrere Merkmalsbündel zur Auswahl vorgelegt. In jeder Runde wählt der Befragte das Merkmalsbündel aus, das

ihm im Vergleich zu den anderen am attraktivsten erscheint (Trade-off-Entscheidung). Der Befragte hat allerdings auch jederzeit die Möglichkeit, alle Bündel als unattraktiv abzulehnen.

Anhand der ermittelten Gesamturteile lässt sich anschließend auf die Bedeutung einzelner Merkmale (relative Wichtigkeiten) sowie auf die Wichtigkeit von Merkmalsausprägungen (Teilnutzenwerte) schließen. Übertragen auf die Wahl eines Arbeitgebers kann mithilfe der Conjoint-Analyse so beispielsweise festgestellt werden, wie relevant das Merkmal „Aufgabenbereich“ im Vergleich zum Bruttojahresgehalt bei der Entscheidung für einen Arbeitgeber ist oder welchen Nutzen bestimmte Zusatzleistungen stiften.

Untersuchungsdesign der durchgeführten Conjoint-Analyse

Im Rahmen der durchgeführten Choice-based-conjoint-Analyse wurden die folgenden Merkmale verwendet: Aufgabenbereich (Verantwortung), möglicher Auslandsaufenthalt, Karriereplanung, Weiterbildung, Work-Life-Balance, Zusatzleistungen sowie Bruttojahresgehalt. Insgesamt waren somit sieben verschiedene Eigenschaften eines potenziellen Arbeitgebers von den Probanden zu bewerten, die auf Basis von Workshops, Diskussionen und mittels Sichtung bereits bestehender Arbeitgeberattraktivitätsstudien ausgewählt wurden. Die Datenerhebung wurde in der Zeit vom 1. August bis 21. Oktober 2014 durchgeführt. Insgesamt gingen 467 vollständig ausgefüllte Fragebögen in die Untersuchung ein, davon wurden 59 Prozent von Frauen und 41 Prozent von Männern beantwortet. Rund 75 Prozent der Studienteilnehmer befanden sich zum Zeitpunkt der Erhebung in den ersten sechs Fachsemestern. Das Durchschnittsalter von 23 Jahren fokussiert genau die gewünschte Zielgruppe.

In einem ersten Schritt wurden die Merkmalswichtigkeiten analysiert. Mit einer relativen Wichtigkeit von knapp 35 Prozent bildet das Bruttojahresgehalt mit Abstand das wichtigste Kriterium bei der Entscheidung für einen Arbeitgeber. Mit 22 Prozent stellt die Work-Life-Balance das zweitwichtigste Merkmal dar. Darauf folgen die Eigenschaften „Aufgabenbereich“ mit 14 Prozent sowie mögliche Auslandsaufenthalte mit 12 Prozent. Die Merkmale „Zusatzleistungen“ und

„Weiterbildungsmöglichkeiten“ leisten mit einer relativen Wichtigkeit von jeweils 7 Prozent nur einen mäßigen Beitrag zur Arbeitgeberwahl der Generation Y. Das Attribut „Karriereplanung“, das auf die langfristige Planung von Aufstiegschancen abzielte, wurde mit einer relativen Wichtigkeit von knapp 3 Prozent von den Probanden als vergleichsweise unwichtig angesehen.

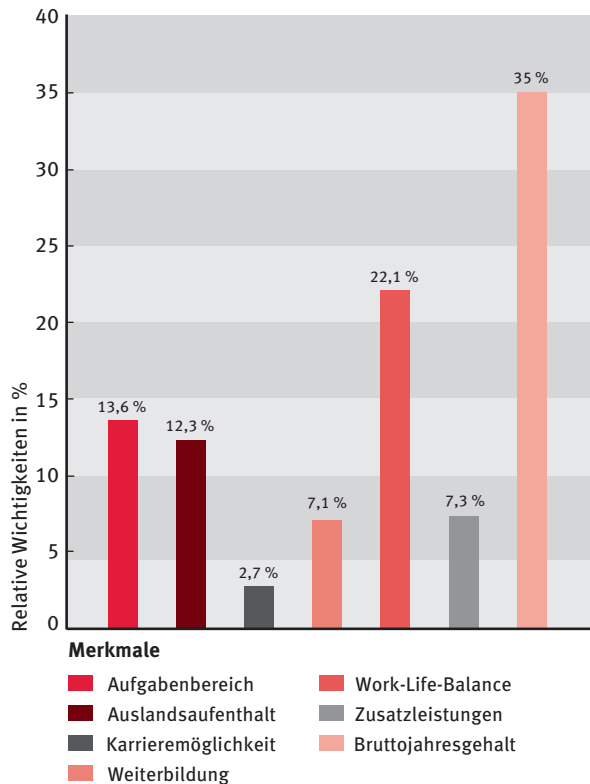


Abb. 1: relative Wichtigkeiten der Merkmale

Ergebnisse der Untersuchung

Die Vergütung ist insbesondere in Form eines attraktiven Grundgehalts von entscheidender Bedeutung für die Wahl eines Arbeitgebers und damit auch das wichtigste Merkmal. Zusatzleistungen hingegen scheinen von verhältnismäßig geringerer Relevanz für die Zielgruppe zu sein.

Die Work-Life-Balance bildet das zweitwichtigste Merkmal, wobei der Wunsch nach einem ausgewogenen Verhältnis zwischen Beruf und Privatem etwas zugunsten der Fokussierung auf die Berufstätigkeit hintangestellt wird. Dies lässt sich gegebenenfalls dadurch erklären, dass es bei der Generation Y zu einer Entgrenzung von Arbeit und Freizeit kommt. Dabei könnte der Wunsch nach einer erfüllenden Arbeit und der Möglichkeit zur Selbstverwirklichung die zunehmende Bedeutung der Work-Life-Balance widerspiegeln, während die Zielgruppe bereit ist, sich auf ihre berufliche Tätigkeit zu konzentrieren.

Die Umfrageergebnisse attestieren einem abwechslungsreichen Aufgabenbereich mit einem mittleren bis hohen Verantwortungsbereich eine wichtige Bedeutung. Allerdings fällt diese in ihrer Wichtigkeit hinter Gehalt und Work-Life-Balance zurück.

Es ist davon auszugehen, dass ein adäquates Weiterbildungsangebot durchaus von Bedeutung ist, andere Aspekte – wie beispielsweise die Vergütung oder die Work-Life-Balance – die Entscheidung für oder gegen eine Organisation jedoch stärker beeinflussen. Dennoch sollte – auch im Sinne des Arbeitgebers und im Hinblick auf eine optimale Qualifizierung der Arbeitnehmer – nicht auf ein entsprechendes Weiterbildungs- und Entwicklungsprogramm verzichtet werden. In Bezug auf das Merkmal „Auslandsaufenthalt“ fällt auf, dass die Studierenden ausländische Kunden und temporäre Projekte längerer Auslandseinsätzen vorziehen. Insgesamt ist ein Einstellungs- und Wertewandel von einer einseitigen Karriereorientierung hin zu einer ausgewogenen Kombination aus beruflicher und privater Lebensqualität zu beobachten. Die Ergebnisse des allgemeinen Umfrageteils zeigen, dass die Zielgruppe insbesondere durch Praktika und Abschlussarbeiten, Stipendien, Stellenbörsen im Internet und die Unternehmenshomepage auf potenzielle Arbeitgeber aufmerksam wird. Aber auch Printmedien sowie Freunde und Familie spielen eine wesentliche Rolle bei der Informationsgewinnung. Erstaunlicherweise bewerteten die Studierenden Social-Media-Aktivitäten nur als mäßig wichtig, eilt den Y’lern als Digital Natives doch der Ruf voraus, einen Großteil ihrer Freizeit in den Sozialen Medien zu verbringen.

Bei der Erstellung des strategischen Hochschulmarketingmix sollten die Unternehmen insbesondere auf die von den Studierenden als relevant bewerteten Informations- und Kommunikationsinstrumente zurückgreifen. Diese sollten dazu genutzt werden, die individuellen Ausprägungen der identifizierten Attraktivitätsfaktoren Vergütung, Work-Life-Balance, Arbeitsinhalte sowie Internationalität der Organisation zu kommunizieren, um von der Zielgruppe als attraktiver Arbeitgeber wahrgenommen zu werden. Die Unternehmen müssen sich der Notwendigkeit einer homogenen Innen- und Außendarstellung bewusst werden, da Freunde und Familie zur Informationsgewinnung über einen Arbeitgeber gleichermaßen wie persönliche Erfahrungen, beispielsweise im Rahmen eines Praktikums, herangezogen werden. Diese kann nur durch ein strategisches Personalmarketing realisiert werden, das Kunden, Produkte und Dienstleistungen sowie Mitarbeiter und Präsentation des Unternehmens auf dem externen Arbeitsmarkt gleichermaßen berücksichtigt.

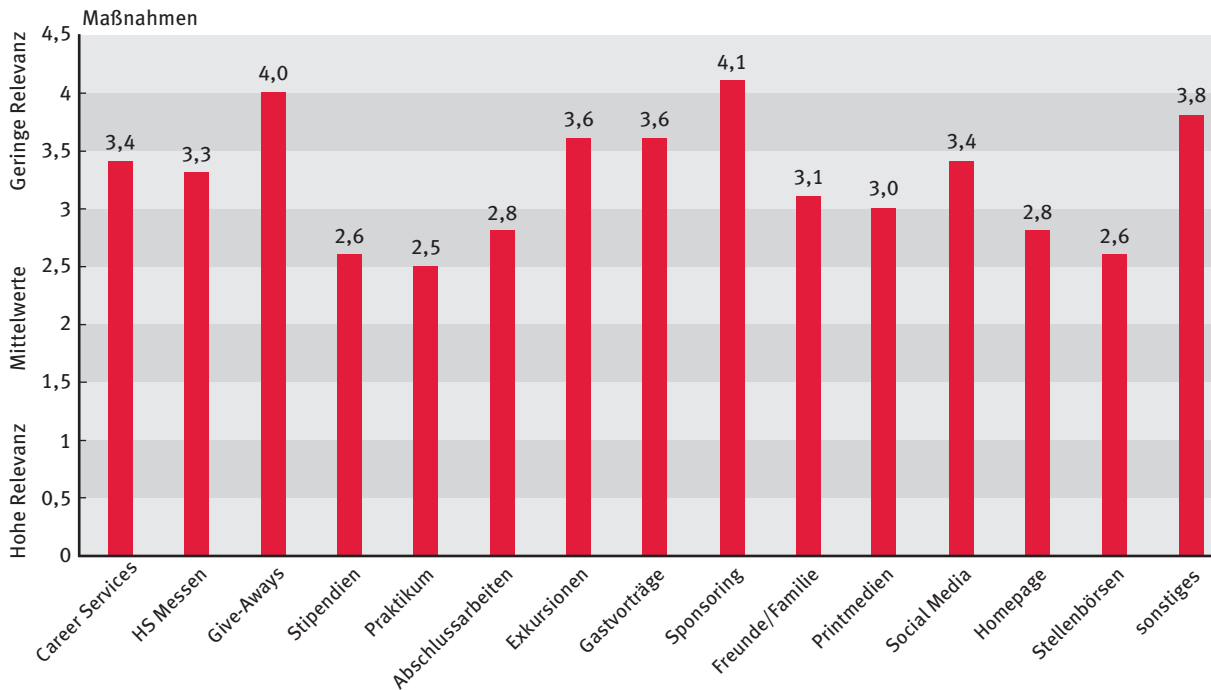


Abb. 2: Ergebnisse des allgemeinen Umfrageteils zum Informations- und Kommunikationsverhalten der Generation Y

Die Unternehmen sollten sich der Relevanz und des hohen Potenzials von Praktika und Abschlussarbeiten bewusst sein. Dabei ist es entscheidend, dass auf die Wünsche der Zielgruppe eingegangen wird, um ein gegenseitiges Kennenlernen als Basis für spätere Bewerbungen zu ermöglichen und sich als attraktive Arbeitgeber zu positionieren.

Ausgehend von der Stereotypisierung der Generation Y als Generation des Internets und der hohen Präsenz von Unternehmensauftritten in den Sozialen Medien sollten Betriebe nicht gänzlich auf eine derartige Unternehmenspräsentation verzichten, sich jedoch auch nicht ausschließlich darauf fokussieren. Als Ergänzung zum bestehenden Angebot kann ein Auftritt in relevanten Social-Media-Kanälen durchaus sinnvoll sein.

Die gewonnenen Erkenntnisse eignen sich dazu, dem Personalmarketing Hinweise zu geben, wie es gezielt auf die Generation Y eingehen kann. Das Wissen über die ermittelten relevanten Attraktivitätskriterien sowie deren Idealausprägungen gilt es im eigenen Unternehmen zu verankern und bei der Gestaltung eines strategischen Hochschulmarketings zu berücksichtigen.

Literatur

- [1] A.-C. Bartscher, *Personalentwicklung und ältere Arbeitnehmer*, Herausforderungen an eine altersgerechte Personalpolitik, Bremen, 2008.
- [2] B. Bollwitt, *Herausforderung demographischer Wandel: Employer Branding als Chance für die Personalrekrutierung*, Hamburg, 2010.
- [3] A. Parment, *Die Generation Y – Mitarbeiter der Zukunft motivieren, integrieren und führen*, 2. Auflage, Wiesbaden, 2013.
- [4] Statistische Ämter des Bundes und der Länder, *Demografischer Wandel in Deutschland, Bevölkerungs- und Haushaltsentwicklung im Bund und in den Ländern*, Heft 1, Wiesbaden, 2011.

Abstract

Demographic developments in Germany have led to increasingly fierce competition between companies for qualified young professionals. With the entry of Generation Y into employment market, there has also been a change in the wishes and expectations of future employees. These changes are noticeable in regard to the choice of a suitable employer as well as in regard to existing information and communication patterns. As a result, in order to increase their attractiveness, companies need to specifically promote target group relevant factors as well as considering the information and communication preferences of this group. This article presents recommendations on how companies can position themselves in the labor market to ensure the sufficient acquisition of qualified young professionals.

Zusammenfassung

Die demografischen Entwicklungen Deutschlands führen zu einem stetig wachsenden Kampf der Unternehmen um qualifizierte Nachwuchskräfte auf dem Arbeitsmarkt. Mit dem Eintritt der Generation Y in die Erwerbstätigkeit vollzieht sich darüber hinaus eine Veränderung in den Wünschen und Erwartungen der zukünftigen Arbeitnehmer. Diese Veränderungen äußern sich sowohl hinsichtlich der Wahl potenzieller Arbeitgeber als auch in Bezug auf bestehende Informations- und Kommu-

nikationsmuster. Ausgehend von dieser Erkenntnis ist es für die Betriebe unerlässlich, im Rahmen ihrer Personalmarketingaktivitäten gezielt relevante Attraktivitätsfaktoren zu bewerben sowie hierbei die Kommunikationspräferenzen der jeweiligen Zielgruppe zu berücksichtigen. Mit der vorliegenden Ausarbeitung werden Unternehmen daher Handlungsempfehlungen für eine erfolgreiche Positionierung auf dem Arbeitsmarkt gegeben, so dass diese den Bestand qualifizierter Nachwuchskräfte in ihrer Organisation sicherstellen können.

Autoren

Sandra Schmieds M.Sc.

Absolventin des Masterstudiengangs International Management und derzeit beschäftigt bei UniCredit Bank AG

Prof. Dr. Stefanie Regier

Professorin für Marketing und Marktforschung 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

Telefon: 0721 925-2945



www.opusmundi.de

Verfahrenstechnik

Chemie Nachrichtentechnik

Bei **UNS** findest **DU** Deinen

Traumberuf!

Informatik Architektur Automatisierungstechnik
Schiffsbau Geowissenschaften Maschinenbau
Bauingenieurwesen



Hol' Dir die App!



app.opusmundi.de



SAP
University
Alliances

SAP® University Alliances

Junge Talente auf die Arbeitswelt von morgen vorbereiten

Die nächste Fachkräftegeneration für das digitale Unternehmen ausbilden

Mit den Angeboten des Programms SAP® University Alliances werden Studierende optimal auf eine Karriere im Umfeld von SAP vorbereitet – sei es bei einem der Kunden und Partner der SAP oder bei SAP selbst. Eines dieser Angebote ist das Programm SAP Student Entrepreneurship zur Förderung der Studierenden im Bereich Unternehmensgründung.

Innovationen vorantreiben – mit der nächsten Anwendergeneration

Junge, kluge Köpfe können ihr Wissen und ihre Ideen aktiv einbringen, indem sie an Wettbewerben sowie gemeinsamen Innovations- und Forschungsprojekten teilnehmen. Unterstützt werden diese Crowdsourcing-Projekte durch die Plattform SAP HANA® Cloud.

Die Digitalisierung von Lehre und Forschung ermöglichen

Der akademischen Welt eröffnen sich durch den Zugang zu neuesten SAP-Technologien völlig neue Möglichkeiten. Lehrende und Studierende profitieren vom erfolgreichen Schulungsformat der Massive Open Online Courses (MOOCs) auf der Plattform openSAP und können ihre Arbeit über die SAP-Cloud abwickeln.

Mach mit! Werde
Mitglied der Community!



Studio SAP | 37021deDE (15/02) © 2015 SAP SE oder ein SAP-Konzernunternehmen. Alle Rechte vorbehalten.

Ideen haben kann ich überall.
Realisieren kann ich sie hier.



Hightech seit 1931.

Studierende und
Hochschulabsolventen/
absolventinnen gesucht

Menschen mit Pioniergeist und Leidenschaft haben E.G.O. international und über Branchengrenzen hinweg zu einem technologischen Impulsgeber gemacht. Lust, diese Tradition noch im Studium fortzusetzen? Ihrem Talent, den Freiraum und die Unterstützung zu gönnen, die es zum Entfalten braucht? Dann tun Sie es einfach: im Rahmen eines Praktikums, ihrer Werkstudententätigkeit oder Ihrer Abschlussarbeit. www.egoproducts.com/karriere

Intelligent Software Agents which enable the Re-use of Production Equipment: VERNONS

Norbert Link

Equipment is operated after initial commissioning and ramp-up for a certain period for a certain purpose and within a certain context in a certain location.

Re-use of equipment means, that after this period either the purpose, the context, the location or any combination of those is changed, and the equipment is used under the changed conditions. Three levels of re-use can be distinguished:

1. The easiest and most trivial case is merely a change of location, where no modification is required and after transport the equipment can be used as is, if the remaining lifetime is sufficient.
2. If the changes in the conditions are only minor, the equipment may be used with adapted parameters and configuration, without changes to the internal composition. In this case the only important information is how the parameters need to be adapted in order to meet the new requirements. This re-use case is called “retro-fitting”.
3. The most challenging re-use case is when the existing capabilities are insufficient with all the feasible parameter settings and configurations. In this case the internal composition (hardware and/or software components) have to be modified. If these modifications are minor, this is still considered to be a kind of re-use, which is called “enhancement”.

In all three cases information about the present state of wear and the remaining capabilities is essential to decide on re-use. The trivial re-use case 1 is not especially discussed in the following since it can be considered as a specialization of re-use case 2 with no new process requirements.

Re-use Case Retrofitting

Retrofitting is the re-use case where equipment will operate in a different context, where the purpose is only slightly different in the sense, that only the goal quantities are modified while the process class is still the same. Equipment (either new or used) will be present in an “equipment cloud”, which offers building blocks and from which a “planning actor” can choose.

The equipment contains information about its life-cycle state (the actual skills or capabilities and a prediction of their development over time as well as other life-time related information). Such life-cycle enhanced equipment is called a VERNON. There is no fundamental distinction between new and used equipment, since only the immediate remaining capabilities are relevant for a decision about the use of the equipment. Both the new and used equipment supply the same kind of information, but with different values according to the life-cycle state. This life-cycle state information is updated during usage.

The planner locates the set of co-operating equipment which is able to fulfil certain manufacturing tasks (e.g. production of a starter engine).

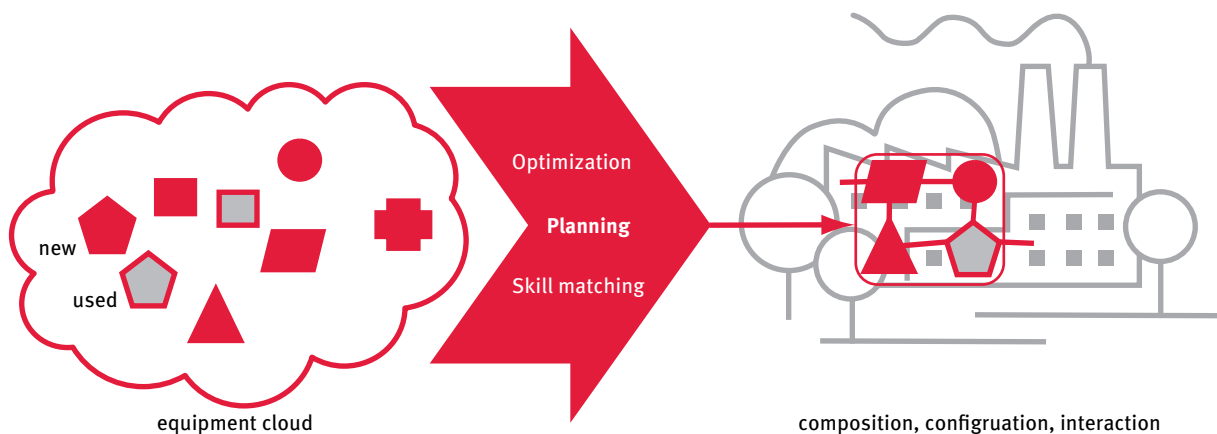


Fig. 1: Building a new production plant from new and used equipment

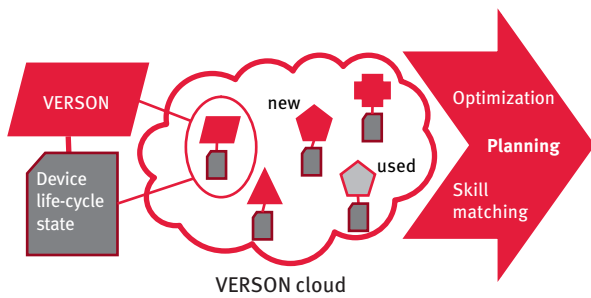


Fig. 2: Life-cycle enhanced equipment (VERSONs) with device life-cycle state information make precise planning possible.

The specific planning use case determines the criteria and boundary conditions of optimization and skill matching. The aim is to achieve the best-suited and least expensive equipment composition, configuration and equipment interaction which conform to the required manufacturing functionality for the required production period.

The equipment supplies the necessary information to enable optimization and skill matching. Using this information about the life-cycle state, the optimization can also account for the future state evolution of the equipment. For this purpose the equipment must also supply information to allow prospective checking of eventual violation of boundary conditions and lifetime requirements.

Re-use Case Enhancement

Enhancement is the re-use case where the new usage context imposes process goals which go beyond the original ones. In this case used equipment is almost able to conform to a required skill, but one or more components are too weak.

If the equipment is not monolithic, but component-based, then the components can be replaced from component toolboxes either to restore lost capabilities or to extend or to add capabilities. These components can be hardware or software modules. For instance the maximum force of a press can be increased by a different drive component, or a new welding program can enable existing equipment to weld new material.

If the components deliver the same kind of life-cycle information as the equipment, they can be treated as intelligent sub-equipment of the containing equipment. This hierarchy allows the same concept at each level. The planning actor will have to find a component which enables the enhanced equipment to perform the required processing in the new context.

The life-cycle information supplied by the components (“sub-VERSONs”) will be the same as for the VERSONs but with values specific to the components.

Definition of life-cycle enhanced equipment: VERSON

The VERSONs enhance manufacturing equipment by supplying external actors with information on the life-cycle state, which is needed for planning activities comprising optimization and skill matching and selecting proper parameters and configuration. Equipment with such VERSON enhancements is called a VERSON.(as an abbreviation)

Therefore VERSON enhancement derives the required information from data acquired from the process history up to that point. The life-cycle state is information which changes dynamically during operation according to the processing history (which processes have been performed under what conditions), process signals data, diagnostic sensor data, service, update, calibration data and so forth.

It is essential that the derived information is presented in a generalized way, so that no specific knowledge about the underlying data is required to interpret the life-cycle state. It therefore contains

- the immediate capabilities and processing efforts (such as energy and consumable requirements) and a predictive model of their future development,
- the effective life-time to date (considering the load history), and
- prediction models of failure, service, or down-time probabilities,
- all as functions of possible processing (load) scenarios.

This basic life-cycle information can then be converted into information which is required for dedicated re-use planning tasks. This may be the optimization of the cost of a new factory with a combination of new and used equipment or the decision about refurbishment or enhancement by exchanging software or hardware components. Creating this planning specific information is usually delegated to specific actors (encapsulating planning related knowledge), which are not part of the production equipment.

The intelligence of the VERSON is its ability to autonomously derive the above information from some base information and the processing data.

VERSON architecture for re-use decisions

There are many different questions about dedicated re-use such as total cost of ownership (TCO) or environmental impact. It is not possible to specify a generic concept to answer all these questions especially because strongly varying information (such as market prices) is incorporated, which has nothing to do with the device itself. Therefore the information generation is split into two parts: (1) device-related, reflecting the device state and the future development of its properties and (2) re-use case specific, related to the questions which a planner needs to answer. The latter requires the device life-cycle information as a basis, but uses additional, external knowledge. This results in the following architecture.

essential changes of the device life-cycle “document”. This is an asynchronous process which is driven by the process data and life-cycle models.

The life-cycle information is thus an abstraction of the process data. This information is processed by the “Analyzer VERSION”, which is responsible for creating the information required for specific re-use related decisions and activities. The structure of the Analyzer VERSION is very much like the structure of the Device VERSION. It contains an executing component, where the standardized input is interpreted under the control of plug-in “analyzer models” and the result is packed into application-specific data structures. The analyzer models contain the knowledge required to derive the informa-

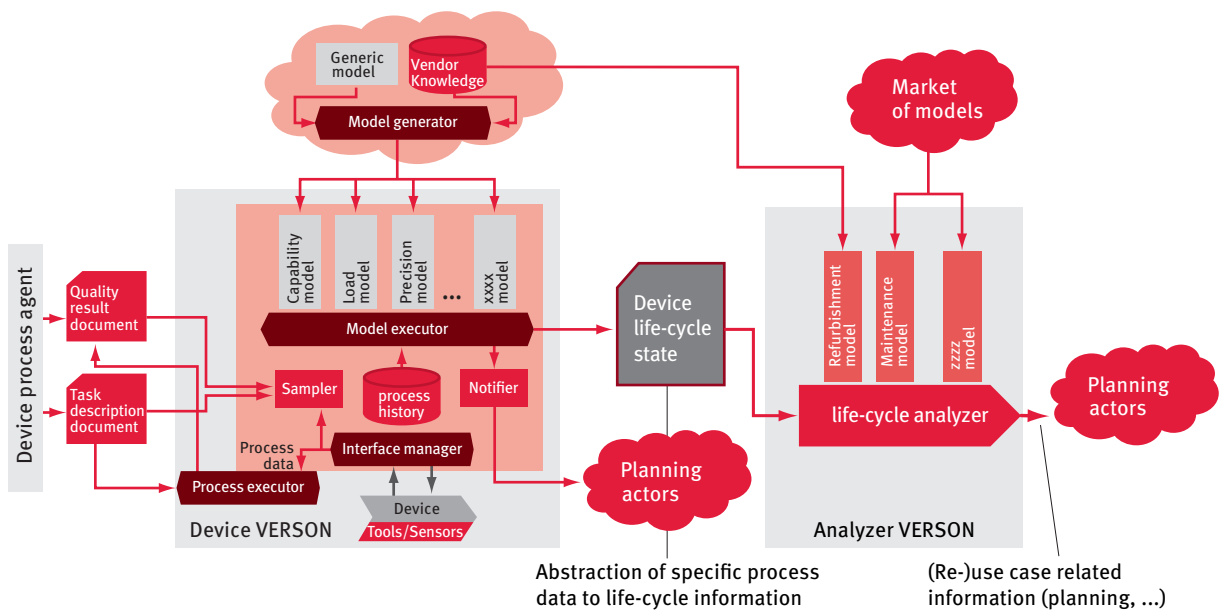


Fig. 3: VERSION architecture for re-use decisions

The device-related part is called “Device VERSION” and the re-use application-specific part is called “Analyzer VERSION”. The Device VERSION samples the process data and converts the data into the “device life-cycle state” information. The conversion requires device-specific knowledge (how to interpret the process data and how to derive the abstract life-cycle information from the data based on dedicated equipment models). This knowledge is encapsulated in “life-cycle models” which control the processing of the process data in order to produce the required life-cycle quantities. The models are usually supplied by the device vendor, who has the necessary knowledge. The models are plugged into the model executor which feeds the internal model-controlled processor, packs the result into a standardized structure (XML document using a dedicated language), which it finally delivers to subscribing object. The subscribers are informed about

tion required for dedicated purposes from the life-cycle state. These models encapsulate dedicated application knowledge and are mainly supplied by actors in the planning field, but can also be made available by other independent players in a “Market of Models”.

Conclusion

This paper has presented an architecture for intelligent software agents which allows the extraction and representation of information necessary to decide on the deployment or exchange and/ or operation of used equipment. The architecture is embedded in a hierarchical concept, where components can also be covered. The relevant life-cycle information of devices, predictive models, and their representation in XML files have been identified and formalized within the work of the EU-funded project ReBorn. Furthermore methods for deriving the life-cycle state and predic-

tive models have also been developed. These technologies are currently applied to real production equipment such as robot, welding and forming devices and to Enterprise Resource Planning systems represented by the industry partners in project consortium.

Acknowledgement

The author thanks the ReBorn project consortium and Commission of the European Union for their support of this project under grant agreement no. 609223.

Zusammenfassung

Die Wiederverwendung und Verlängerung der Lebensdauer von Fertigungsanlagen ist von großem ökologischen und ökonomischen Nutzen, da dadurch der Ertragswert der ursprünglichen Investition erhöht wird und natürliche Ressourcen eingespart werden. Die Wiederverwendung einer gebrauchten Anlage in einer neuen Umgebung oder für eine neue Aufgabe benötigt das Wissen über deren Einsatzmöglichkeiten, die entstehenden Gesamtkosten sowie den Umwelteinfluss der Anlage. Erst diese Kenntnis ermöglicht die Schlussfolgerung, ob die Anlage die geplante Aufgabe für die vorgesehene Zeitdauer bewältigen kann und welche Wartungs- und Reparaturarbeiten notwendig werden. Zu diesem Zweck muss die Anlage über eine Selbstwahrnehmung verfügen. Dies bedeutet, dass sie aus ihrer vorausgegangenen Einsatz-Historie Informationen über den Abnutzungszustand ermittelt hat und diese für Aussagen über den aktuellen und zukünftigen Betriebszustand nutzen kann. Methoden des Maschinenlernens werden dazu genutzt, die benötigten Modelle für zukünftige Fehlerwahrscheinlichkeit, Leistungsfähigkeit, Umwelteinfluss sowie Wartungs- und Reparaturarbeiten aus den Daten automatisch abzuleiten.

Abstract

The re-use and extension of the life of process equipment has important economic and ecological benefits, in that the value of the original investment is increased and natural resources are saved.

To achieve this goal it is important to have information about the options for re-use, the total costs and the possible environmental impact of the application of used equipment in new environments or for new tasks. This information allows the users to draw conclusions about whether the equipment is capable of fulfilling the planned tasks in the foreseen period as well as what maintenance and repairs might be required. For this purpose the equipment should be self-aware, which means it derives information about its own state of wear based on data from past operations and uses this information to predict its operational properties under future conditions. The methods of machine learning are used to automatically create the required models for failure, capability, impact, maintenance and repair predictions from saved data.

Author

Prof. Dr. Norbert Link

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

Contact

Prof. Dr. Norbert Link
Karlsruhe University of Applied Sciences
Faculty of Computer Science and Business Information Systems
Moltkestraße 30
76133 Karlsruhe
E-Mail: norbert.link@hs-karlsruhe.de



Heraeus

ICH STARTE VOLL DURCH. UND ERHALTE RÜCKENDECKUNG.

FABIAN GEIST hat als Praktikant, Werkstudent und während seiner Bachelorarbeit in Wirtschaftsinformatik überzeugt. Deshalb hat er direkt nach seinem Abschluss einen Festvertrag angeboten bekommen. Als Business Intelligence Consultant ist er nicht nur für die Datensammlung und -aufbereitung, sondern auch für den Bereich Entwicklung zuständig. Seine persönliche Entwicklung wird durch das Heraeus Start-up Programm für Berufseinsteiger unterstützt. Hier bekommt er das nötige Know-how, um weiterzukommen.

Heraeus zählt in Deutschland zu den Top 100 Arbeitgebern des Universum Professional Survey.
www.heraeus.de/karriere

OPEN SPACE. FOR OPEN MINDS.®

Zum Bildhintergrund: Carbon Infrarot-Strahler von Heraeus trocknen effizient Lacke und sind ideal zur Glas- und Kunststoffbearbeitung.

Generierung von dreidimensionalen Pulverstrukturen

Johannes Hötzer, Christopher Serr, Britta Nestler

Motivation

Der Sinterprozess, bei dem Keramiken meist unter hoher Hitze gebrannt werden, ist ein jahrtausendealtes Formgebungsverfahren. Die verschiedenen Prozess- und Materialparameter spielen beim Sinterprozess eine wichtige Rolle. Sie bestimmen, wie das gepresste keramische Pulver, der Grünkörper, während des Sinterns verdichtet und welche Mikrostruktur sich aus den Partikeln ausbildet. Die Mikrostruktur bestimmt dabei wesentlich die späteren Eigenschaften des Werkstücks. Hierbei ist es experimentell schwierig, Form, Dichte und Größe der oft nur Nanometer großen Partikel im Grünkörper gezielt zu variieren und zu beeinflussen. Simulationen wie mit der Phasenfeld-Methode [1] erlauben das gezielte Studieren von solchen Parametern. Hierzu werden in dieser Arbeit ein Algorithmus zum Generieren verschiedener Partikelformen sowie

skaliert, um die experimentell gemessenen Partikelgrößenverteilungen in den Grünkörpern möglichst gut in dem Modell des Pulvers abzubilden. Die logarithmische Skalierung sorgt außerdem dafür, dass lediglich positive Größen für die Partikelformgenerierung verwendet werden. Abbildung 1a zeigt verschiedene, zufällig generierte Partikel. Für die Generierung der zylindrischen Partikel (s. Abb. 1b) wird die Distanzfunktion auf einen Zylinder abgebildet. Für plättchenförmige Partikel (s. Abb. 1c) werden die Verfahren zur Generierung rundlicher und zylinderförmiger Partikel vereint. Ein Zylinder mit geringer Höhe und großem Radius bildet die Basis, während die Form des Mantels und der Grundflächen durch die Kugelflächenfunktionen festgelegt werden. Hiermit ist es möglich, einen Großteil der experimentell gefundenen Partikelgeometrien automatisch zu generieren.



a) rundliche Partikel

b) zylindrische Partikel

c) plättchenförmige Partikel

Abb. 1: unterschiedlich generierte Partikel mit drei verschiedenen Grundformen

eine Heuristik zum Packen der generierten Partikel zu einem Grünkörper mit einer vorgegebenen Dichte und Partikelgrößenverteilung vorgestellt. Diese generierten Grünkörper dienen als Startbedingung für die späteren Simulationsstudien.

Umsetzung

In den folgenden Abschnitten wird die Erzeugung verschiedener Partikel gezeigt. Darauf aufbauend wird das Packungsverfahren zur Erzeugung der Grünkörper vorgestellt. Für die zufällige Erzeugung von Partikeln werden Einheitskugeln verformt. Jeder Oberflächenpunkt der Kugel wird hierbei in Richtung seiner Normalen mithilfe von Kugelflächenfunktionen [2–4] verändert. Hierzu werden für jedes Partikel zufällige Koeffizienten bestimmt, mithilfe derer die Kugelflächenfunktionen berechnet werden. Wie sich gezeigt hat, weisen Partikel mit 16 zufälligen Koeffizienten die besten optischen Resultate auf. Zur Erzeugung unterschiedlich großer Partikel werden diese logarithmisch

Die Erzeugung des Grünkörpers aus zufällig generierten Partikeln entspricht dem Packungsproblem [5–7], das zur Komplexitätsklasse NP gehört. Solche Probleme lassen sich nicht in Polynomialzeit lösen. Um dennoch mit vertretbarem Rechenaufwand eine hohe Packungsdichte erreichen zu können, werden verschiedene Heuristiken [8] verwendet, die im Folgenden vorgestellt werden. Das Verfahren erlaubt es, unterschiedliche Partikelformen, Größenverteilungen und Dichten im Grünkörper zu konstruieren. Für das Packen werden die Partikel nacheinander und zufällig über dem zu füllenden Behälter platziert. Daraufhin werden die Partikel soweit wie möglich nach unten verschoben. Mithilfe von Ray-Tracing-Ansätzen [9] werden die Abstände zwischen den bereits gepackten und dem neu zu platzierenden Partikel effizient berechnet. Berührt das Partikel ein anderes, kann dieses entweder kippen oder wegrutschen, in Abhängigkeit von der Anzahl an Berührungspunkten, dem Schwerpunkt des Partikels und der Neigung der darunterliegenden Flä-

che. Um die vorgegebene Zieldichte des Grünkörpers zu erreichen, werden die Partikel anschließend gleichmäßig vergrößert. Der letzte Schritt des Algorithmus führt zu einer Veränderung der Partikelgrößenverteilung, was über ein nachträgliches Skalieren des gesamten Grünkörpers angepasst werden kann. Abbildung 2 zeigt drei Packungen für kugel-, zylinder- und plättchenförmige Partikel.

die Anteile der einzelnen Optimierungen für die Dichte und die Laufzeit für die drei Packungen aufgetragen.

Hierzu wurden die einzelnen Optimierungen nacheinander hinzugeschaltet. Begonnen wurde mit einer Füllung zufällig hineinfallender Partikel. Danach wurde zuerst die Rotation um einen, zwei und drei Berührungspunkte aktiviert. Anschließend wurde das

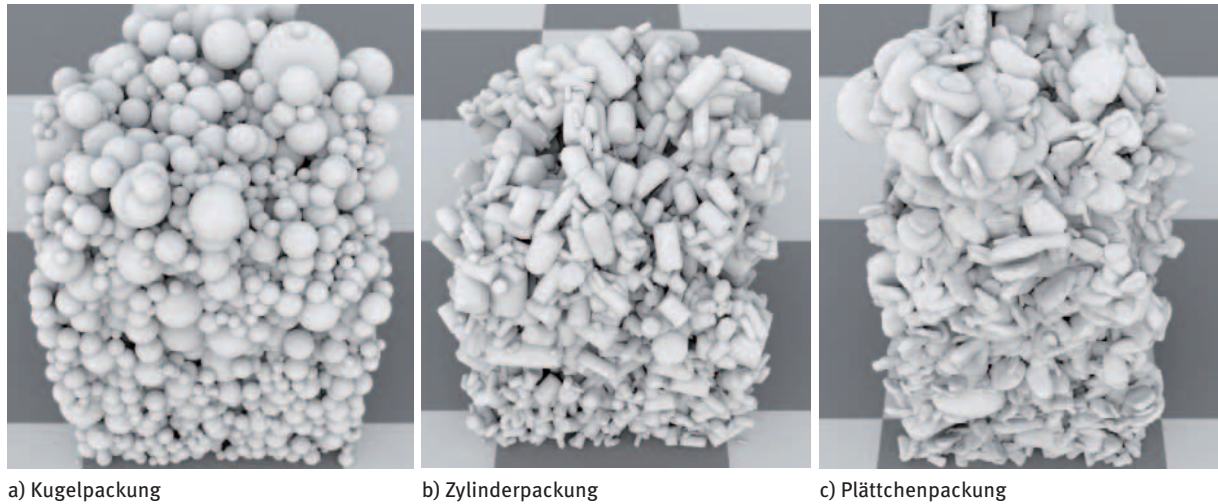


Abb. 2: Grünkörper mit drei unterschiedlichen Partikelformen und Größenverteilungen

Ergebnisse und Diskussion

Für die Validierung des Algorithmus werden drei verschiedene Packungen mit unterschiedlichen Partikelformen (Kugeln, Plättchen, Zylinder) mit einer Zieldichte von 70 % generiert. Hierzu wird ein Behälter mit einer Grundfläche von 400 × 400 Zellen mit 5000 Partikeln gefüllt. In den Diagrammen in Abbildung 3 sind

Rutschen entlang einer Ebene und das Wachsen der Körner aktiviert. Für alle drei Packungen wird zusammen mit allen Heuristiken die Zieldichte von 70 % erreicht. Ohne das Wachsen der Partikel stellt sich nur eine Dichte von $\rho = 58,17\%$ für Kugeln, $\rho = 40,73\%$ bei Plättchen und $\rho = 50,42\%$ bei Zylindern ein. Für Plättchen und Zylinder ergibt sich eine geringere Dich-

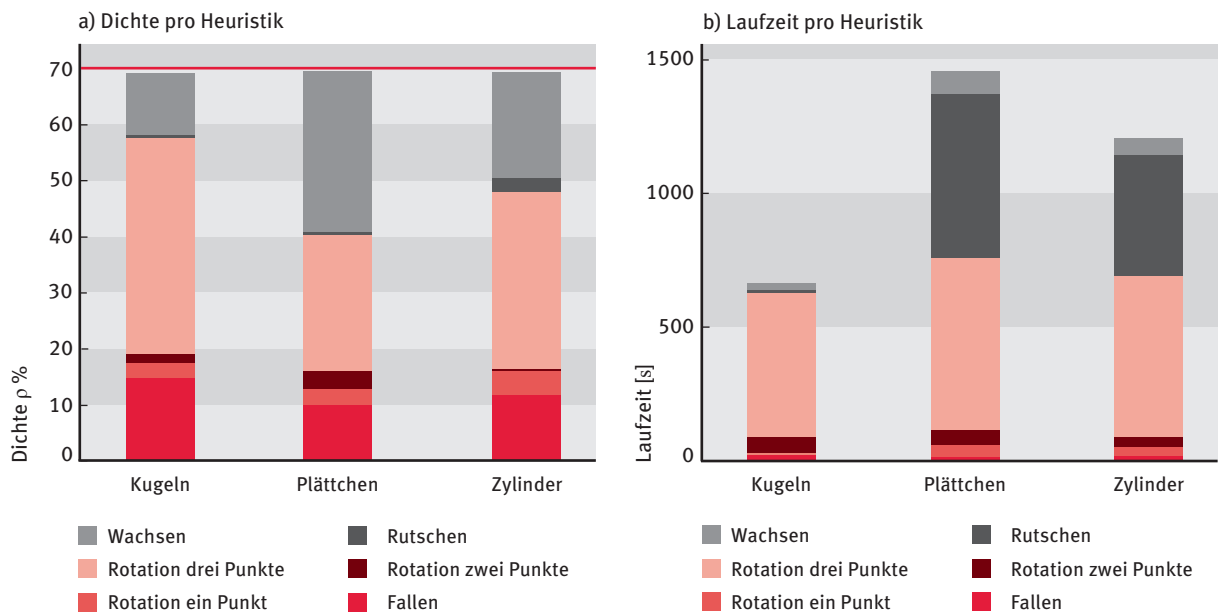


Abb. 3: Anteil der verschiedenen Heuristiken zur Generierung von Grünkörpern mit drei unterschiedlichen Partikelformen und Größenverteilungen an der Laufzeit und vorgegebenen Dichte von 70 %

te ohne Einschalten des Wachstumsalgorithmus. Die Partikel rutschen häufiger und beeinflussen damit die Laufzeit, ohne dass sich die Dichte signifikant verbessert. Entscheidend für die Dichte ist die Rotation der Partikel um drei Berührungspunkte. Die Rotation ermöglicht den Partikeln, stabile Positionen zu verlassen. Rotation um einen bzw. zwei Berührungspunkte führt zu einer geringen Erhöhung der Dichte, da die Partikel für diese Heuristiken schnell eine Position mit mehr als zwei Berührungspunkten einnehmen und daher nicht weiter rotiert werden können. Bei den Kugelpackungen ist zu erkennen, dass es nahezu nie zu einem Rutschen der Partikel kommt, was auf die Form zurückgeführt werden kann. Für alle Packungen dominiert die Rotation um drei Punkte sowohl bei der Dichte als auch bei der Laufzeit. Die Laufzeit wird im Wesentlichen durch das Rutschen und die Rotation um drei Berührungspunkte bestimmt. Für das Rutschen ist in allen Fällen nur eine geringe Zunahme der Dichte zu beobachten, da sich die Partikel oftmals direkt nach der Rotation in stabilen Positionen befinden. Die zusätzliche Heuristik erfordert jedoch einen hohen Rechenaufwand, da bestimmt werden muss, ob sich die Partikel in einer stabilen Lage befinden. Genauere Untersuchungen der Rutschheuristik haben gezeigt, dass die Partikel rutschen, was jedoch kaum Einfluss auf die Dichte hat. Das Rutschen von Partikeln wird zukünftig anhand weiterer Partikelformen und Größenverteilungen untersucht. Hierbei bietet das Rutschen weiteren Raum für Optimierungen.

Fazit

Mithilfe von Kugelflächenfunktionen können schnell und automatisiert verschiedene Partikel mit definierten Eigenschaften generiert werden. Diese können anschließend durch Anwendung verschiedener Heuristiken zu Grünkörpern mit vorgegebenen Dichten, Formen und Größenverteilungen effizient gepackt werden.

Literatur

- [1] B. Nestler, H. Garcke, B. Stinner, *Multicomponent alloy solidification: Phase-field modeling and simulations*, Physical Review E, 71(4):041609, 2005.
- [2] P.-P. Sloan, *Stupid spherical harmonics (sh) tricks*, in: Game developers conference, volume 9, 2008.
- [3] R. Green, *Spherical harmonic lighting: The gritty details*, in: Archives of the Game Developers Conference, volume 56, 2003.
- [4] M.J. Mohlenkamp, *A user's guide to spherical harmonics*, 2010.
- [5] M. Unsöld, *Übersicht der Verschnitt- und Packprobleme mit Methoden zu ihrer Lösung*, GRIN Verlag, München, 2003.
- [6] P.C. Chu, J.E. Beasley, *A genetic algorithm for the multidimensional knapsack problem*, Journal of heuristics, 4(1):63–86, 1998.
- [7] G. Wäscher, H. Haußner, H. Schumann, *An improved typology of cutting and packing problems*, European Journal of Operational Research, 183(3):1109–1130, 2007.
- [8] M. Rölle, *Raumfüllende Algorithmen mit 3D Objekten*, Master-Thesis, Department of Computer Science, Karlsruhe University of Applied Sciences, Karlsruhe, April 2013.
- [9] T.J. Purcell, I. Buck, W. R. Mark, P. Hanrahan, *Ray tracing on programmable graphics hardware*, in: ACM Transactions on Graphics (TOG), volume 21, pages 703–712. ACM, 2002.

Abstract

During the last decade, phase-field simulations have become an important tool for studying the microstructure evolution of materials. It is important to generate realistic starting conditions for the simulations. In order to simulate the sintering process, particle packs of varying density, called green bodies, with different particle shapes and size distributions are required. Various algorithms have been developed which allow the generation of random particle shapes based on spherical harmonics. Using different heuristics, a packing algorithm has been developed to generate realistic green bodies with defined properties.

Zusammenfassung

Phasenfeld-Simulationen haben sich in den letzten Jahrzehnten als wichtiges Werkzeug zur Untersuchung der Mikrostruktur-Evolution in Materialien entwickelt. Dabei ist es wichtig, realistische Startbedingungen der Mikrostruktur für die Simulation zu generieren. Für die Simulation des Sinterprozesses handelt es sich hierbei um Packungen unterschiedlicher Dichte, auch Grünkörper genannt, die aus Partikeln mit verschiedenen Formen und Größenverteilungen bestehen. Hierfür wurden Algorithmen entwickelt, die es erlauben, basierend auf Kugelflächenfunktionen, zufällige Partikelformen zu generieren. Ein Packungsverfahren wird vorgestellt, das verschiedene Heuristiken verwendet, um die generierten Partikel zu einem Grünkörper mit definierten Eigenschaften zu packen.

Autoren**Johannes Hötzer M.Sc.**

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

Christopher Serr B.Sc.

Akademischer Mitarbeiter am Institute of Materials and Processes (IMP) der Hochschule Karlsruhe sowie am Institut für Angewandte Materialien – Computational Materials Science (IAM-CMS) des Karlsruher Instituts für Technologie (KIT)

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 Leiterin des Institute of Materials and Processes – Computational Materials Science and Engineering (IMP-CMSE) an der Hochschule Karlsruhe sowie des Instituts für Angewandte Materialien – Computational Materials Science (IAM-CMS) des Karlsruher Instituts für Technologie (KIT)

Kontakt

Prof. Dr. Britta Nestler
Hochschule Karlsruhe – Technik und Wirtschaft
Fakultät für Informatik und Wirtschaftsinformatik
Moltkestraße 30
76133 Karlsruhe
E-Mail: britta.nestler@hs-karlsruhe.de
Telefon: 0721 925-1504

Evolution von Mikroporen in Kristallen mit hexagonaler Gitteranisotropie

Daniel Schneider, Benjamin Langêrôme, Michael Selzer, Andreas Reiter und Britta Nestler

Motivation

In der Energiewissenschaft ist die effektive Speicherung von Wasserstoff zur späteren Nutzung in Wasserstoffzellen eine wichtige Fragestellung. Eines der potenziell gut geeigneten Materialien mit hervorragenden Speichereigenschaften ist Beryllium. Bei dieser Anwendung bilden sich im Material Mikroporen, die sich ausdehnen und im schlimmsten Fall zum Versagen des Materials führen können. Daher ist das Studium der Keimbildung, des Wachstums und der resultierenden Form von Mikroporen von höchster Bedeutung in der Materialwissenschaft. Die Form der Mikroporen ist stark von der Gitteranisotropie abhängig und spiegelt die thermodynamische Gleichgewichtsform wider, die durch die Wulff-Konstruktion aus den Grenzflächenenergien des jeweiligen Materials bestimmt werden kann. Die Gitterstruktur des Berylliums hat eine hexagonal ausgerichtete Grenzflächenenergie. Entsprechend bilden sich hexagonal geformte Mikroporen.

Simulationsmethode und PACE3D-Software

Die Simulationen von Mikroporenausbildung in Berylliumkristallen wurden mit dem Softwarepaket Parallel Algorithms in Crystal Evolution in 3D (PACE3D) durchgeführt, das am Institute of Materials and Processes der Hochschule Karlsruhe entwickelt wird. Dieses Softwarepaket verwendet eine Phasenfeldmethode des Allen-Cahn-Typs zur physikalischen Beschreibung von Grenzflächenbewegungen. Es erlaubt unter anderem die Untersuchung der Formänderung der Mikroporen in Kristallen in Abhängigkeit der vorliegenden Gitteranisotropie. Für diese Untersuchungen wurde eine speziell facettierte Anisotropiefunktion verwendet:

$$a_{\alpha\beta}(\vec{n}_{\alpha\beta}) = \max_k (\vec{n}_{\alpha\beta}^k \cdot \vec{n}_{\alpha\beta})$$

Dabei ist $\vec{n}_{\alpha\beta}$ die Normale der Grenzfläche zwischen den Phasen α und β ; $\vec{n}_{\alpha\beta}^k$ sind die Vektoren zu den jeweiligen Kanten und k ist die Anzahl der Kanten der entsprechenden Gleichgewichtsform. Die Anisotropiefunktion beschreibt die Grenzflächenenergie, wobei $\vec{n}_{\alpha\beta}^k$ die Richtungen der höchsten Energie angeben. Diese Formulierung der Grenzflächenenergie ermöglicht es, scharfe Kanten, wie sie in Kristallen vorkommen, zu beschreiben.

In einem Kristall existieren mehrere Symmetrieebenen, die alle berücksichtigt werden müssen. Jede dieser Sym-

metrieebenen führt zu einem assoziierten Polyeder, das durch die Anisotropiefunktion $a_{\alpha\beta}$ beschrieben werden kann. Kombiniert man diese Polyeder, ergibt sich die Gleichgewichtsform des Gesamtkristalls, was als Wulff-Konstruktion bezeichnet wird. In der Tat besagt das Wulff-Theorem, dass Mikroporen wie auch die makroskopischen Kristalle stets die Form mit der minimalen Energie einnehmen. Ein Beispiel ist in der Abbildung 1 dargestellt. Die in rot dargestellte Struktur ist die resultierende Gleichgewichtsform der Kombination zweier kubischer Systeme, die um 45° gegeneinander rotiert sind.

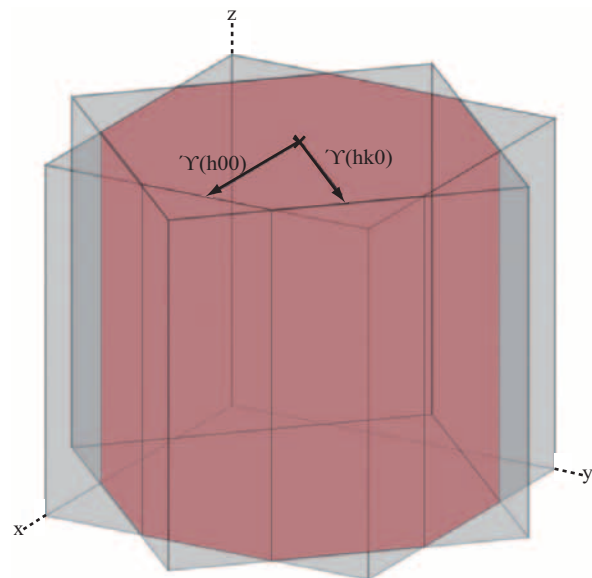


Abb. 1: Gleichgewichtsform zweier kubischer Kristalle

Anwendung an Berylliumkristallen

Der Berylliumkristall besitzt eine hexagonale Gitterstruktur der Punktgruppe 6/mmm. Die jeweiligen Symmetrieebenen sind in Abbildung 2 dargestellt.

Ausgehend von dieser Punktgruppe können sich vier unterschiedliche polyedrische Gleichgewichtsformen ausbilden. Die Kombination dieser vier Formen ergibt entsprechend dem Wulff-Theorem die theoretische Gleichgewichtsform des ganzen Kristalls. Diese ist in Abbildung 3 dargestellt. Unter Verwendung des PACE3D-Softwarepakets wurden die Gleichgewichtsformen der einzelnen Symmetrieebenen mittels der Wulff-Konstruktion zu der resultierenden Gleichgewichtsform des Kristalls zusammengesetzt, die auf der linken Seite zu erkennen ist.

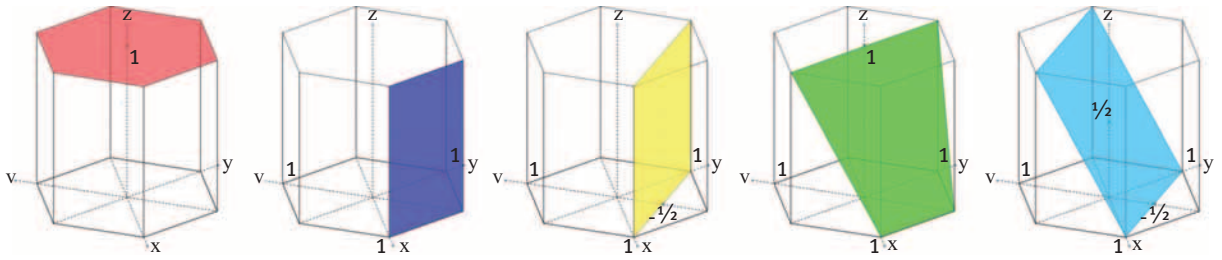


Abb. 2: Symmetrieebenen des Berylliumkristalls

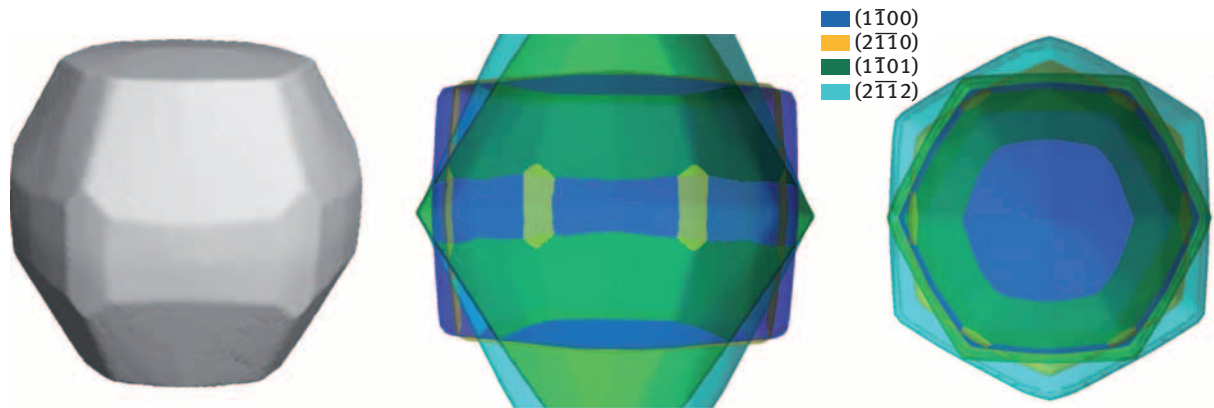


Abb. 3: Kombination der einzelnen Gleichgewichtsformen

Anstatt erst die Gleichgewichtsformen der einzelnen Symmetrieebenen zu berechnen und diese anschließend mittels der Wulff-Konstruktion zusammenzufügen, ist es möglich, die einzelnen Anisotropiefunktionen gemeinsam auszuwerten und so die resultierende Gleichgewichtsform direkt zu ermitteln. Eine solche zusammengesetzte Anisotropiefunktion ist in Abbildung 4 links dargestellt und die resultierende Gleichgewichtsform des Kristalls ist auf der rechten Seite zu erkennen.

sich zum Beispiel Wasserstoff auf der Oberfläche der Ebene in einer Mikropore anlagert. Bei der Änderung der Oberflächenenergie abhängig von der Wasserstoffsättigung der jeweiligen Ebenen variiert die resultierende Gleichgewichtsform. Die Anisotropiefunktion und die entsprechende resultierende Gleichgewichtsform in Abbildung 4 entsprechen einer Wasserstoffsättigung von 0 %. Wie in Abbildung 5 zu erkennen ist, ändert sich die resultierende Gleichgewichtsform der Mikroporen im Berylliumkristall deutlich, wenn die Wasserstoffsättigung ansteigt.

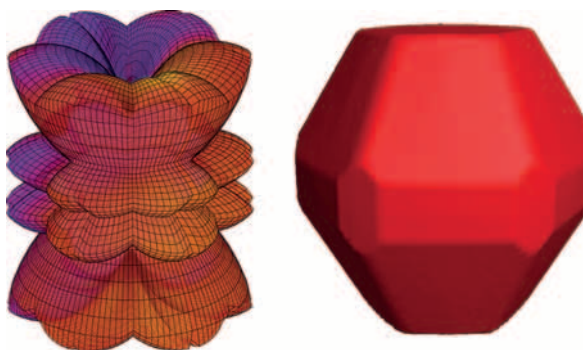


Abb. 4: zusammengesetzte Anisotropiefunktion aller Symmetrieebenen (links); resultierende Wulff-Konstruktion (rechts)

Die resultierende Gleichgewichtsform, die auf der rechten Seite in Abbildung 4 zu erkennen ist, stellt sich bei bestimmten Verhältnissen der Oberflächenenergien der jeweiligen Symmetrieebenen ein. Ändern sich diese Verhältnisse, dann ändert sich auch die resultierende Gleichgewichtsform. Im Beryllium ändert sich die Oberflächenenergie der jeweiligen Symmetrieebene, wenn

Durch die Anwendung der entwickelten Simulationemethode können in Zukunft sowohl das Wachstum von Mikroporen in Wasserstoffspeichern und damit das Speicherverhalten abgebildet als auch das komplexe Bruchverhalten und die Lebensdauer von Wasserstoffspeichern untersucht werden.

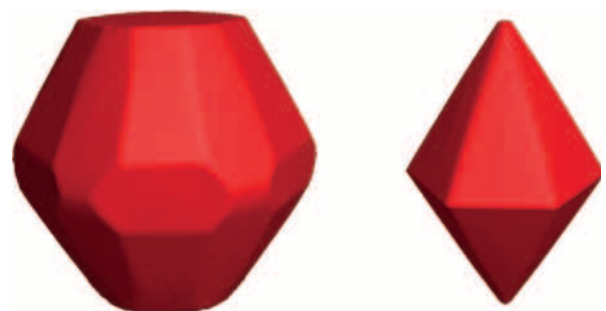


Abb. 5: Gleichgewichtsformen der Mikroporen im Beryllium bei 25 % (links) und 100 % (rechts) Wasserstoffsättigung

Abstract

One of the failure mechanisms in materials is the nucleation and growth of micropores. The shape of micropores in thermodynamic equilibrium depends on the lattice anisotropy of the particular material. The surface energy contribution of the particular symmetry planes correspondingly leads to the unique equilibrium shapes of these micropores. In this work we investigate the resulting equilibrium shapes of micropores for a hexagonal lattice using the phase-field method. By varying the interfacial energies of the particular symmetry plane our results show a change in the shape of micropores.

Zusammenfassung

Eine der Versagensmechanismen von Materialien ist die Nukleation und das Wachstum von Mikroporen. Die Form dieser Mikroporen korreliert im thermodynamischen Gleichgewicht mit der Gitteranisotropie des jeweiligen Materials. Abhängig von den Grenzflächenenergien der jeweiligen Symmetrieebenen ergeben sich unterschiedliche Gleichgewichtsformen für Materialien mit z. B. hexagonaler Gitterstruktur. In dieser Arbeit konnte die resultierende Gleichgewichtsform der Mikroporen für ein hexagonales Gitter mit der Phasenfeldmethode modelliert und eine Formänderung der Mikroporen bei Variation der Grenzflächenenergien der jeweiligen Symmetrieebenen nachgewiesen werden.

Autoren

Dipl.-Phys. Daniel Schneider

Dr. Michael Selzer

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

Dipl.-Ing. Andreas Reiter

Wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Angewandte Materialien – Computational Materials Science (IAM-CMS) des Karlsruher Instituts für Technologie (KIT)

Benjamin Langêrôme B.Sc.

Student an der École Nationale des Ingénieurs de Caen

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 Leiterin des Institute of Materials and Processes – Computational Materials Science and Engineering (IMP-CMSE) an der Hochschule Karlsruhe sowie des Instituts für Angewandte Materialien – Computational Materials Science (IAM-CMS) des Karlsruher Instituts für Technologie (KIT)

Kontakt

Dr. Michael Selzer

Hochschule Karlsruhe – Technik und Wirtschaft
Institute of Materials and Processes (IMP)

Moltkestraße 30

76133 Karlsruhe

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



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



Über die Erkennung von Übersetzungsplagiaten

Sören Bühler, Andreas Schmidt

Einführung

Dieser Artikel ist zu großen Teilen ein Plagiat. Ein Selbstplagiat um genau zu sein, entstanden dadurch, dass für diesen Bericht ein Short Paper [o] in englischer Sprache, das bereits auf der letztjährigen International Conference on Advances in Databases, Knowledge and Data Applications in Rom präsentiert wurde und einen Best Paper Award gewann, als Vorlage genutzt, gekürzt und anschließend ins Deutsche übersetzt wurde. Wie eine neu entwickelte Software dies erkennen kann, wird in diesem Artikel erläutert. Plagiate können in unterschiedlichen Ausprägungen auftreten. Zuallererst ist hier die Eins-zu-Eins-Kopie zu nennen, die auch als Copy & Paste-Plagiat bekannt ist. Daneben gibt es aber auch eine Reihe von Verschleierungstechniken. An erster Stelle ist hier die syntaktische Verschleierung zu nennen. Hierbei werden die Wörter innerhalb eines Satzes umgestellt; Sätze werden zusammengefasst oder gesplittet. Bei der nächsten Stufe der Verschleierung werden semantische Beziehungen, die zwischen Worten bestehen, ausgenutzt. Hierbei werden einzelne Begriffe durch ihre Synonyme oder Hyperonyme (Oberbegriffe) ersetzt. Weiterhin kann ein Text in eine andere Sprache übersetzt werden. Als letzte Möglichkeit gibt es schließlich noch den Ideenraub. In diesem Fall wird fremdes geistiges Eigentum als eigene Idee ausgegeben und in eigenen Worten formuliert. Unsere Forschung zum Thema Plagiatserkennung konzentriert sich auf das Erkennen von stark verschleierten Plagiaten wie etwa Übersetzungsplagiate und Ideenraub. In früheren Arbeiten zu diesem Thema [1] wurde ein Konzept, basierend auf komprimierten Bitvektoren, Wort-Taxonomien und der grafischen Ergebnispräsentation mittels Heatmaps vorgestellt. Dieses Konzept wurde nun im Rahmen einer Abschlussarbeit [2] konkretisiert und mittels eines Prototypen umgesetzt, der eindrucksvoll die Leistungsfähigkeit bei der Erkennung stark verschleierter Plagiate zeigt. Der weitere Aufbau des Artikels ist wie folgt: Im nächsten Abschnitt werden die Schlüsselkonzepte aus [1, 2] vorgestellt. Anschließend werden eine Reihe aussagekräftiger Ergebnisse präsentiert. Hierbei liegt der Fokus auf stark verschleierten Plagiaten, einschließlich Ideenraub-Plagiaten.

Schlüsselkonzepte

Jedes Dokument wird in eine Reihe von Textfragmenten unterteilt, die als Bitvektoren repräsentiert werden. Die Anzahl der Bits werden dabei von der Mächtigkeit der Sprache (Anzahl der Wörter in der Sprache)

definiert. Hierbei repräsentiert jedes Bit ein konkretes Wort der Sprache. Wie in [1] gezeigt wurde, ist die Mächtigkeit der Sprache jedoch keine kritische Größe, da die Bitvektoren sehr gut komprimiert werden können und die Komprimierung unabhängig von der Größe des Wortschatzes ist. Durch eine Sortierung der Worte entsprechend der Häufigkeit innerhalb der Sprache lässt sich die Komprimierungsrate zum einen weiter steigern und zum anderen können auch verschiedene Bereiche von Worten identifiziert werden, um sie gesondert zu betrachten.

Zur Ermittlung einer geeigneten Größe für die Textfragmente, wurde eine Reihe von Experimenten unter Verwendung der PAN-Dokumentensammlung [3] durchgeführt. Hierbei handelt es sich um ein Evaluationsframework zur Plagiatserkennung mit einer bekannten Anzahl unterschiedlicher Plagiate. Mittels dieses Hintergrundwissens wurde der Prototyp mit unterschiedlichen Fragmentgrößen auf dem PAN-Datensatz laufen gelassen und die erzielten Ergebnisse wurden mit den im PAN-Datensatz abgelegten Ergebnissen über Plagiate verglichen. Zusätzlich wurden noch verschiedene Ähnlichkeitsmaße [4] wie Jaccard, Dice, Overlap und Cosine getestet. Die besten Ergebnisse wurden dann mit einer Fragmentgröße von 55 Worten und dem Jaccard-Maß erzielt.

Um auch Plagiate zu erkennen, die durch den Austausch einzelner Begriffe durch Synonyme entstanden sind, muss das Jaccard-Ähnlichkeitsmaß angepasst werden. Dies kann durch die Einführung eines zusätzlichen Bitvektors A' erreicht werden, der alle Synonyme, die nicht im Originalvektor A vorkommen, zu den im Fragment vorkommenden Begriffen beinhaltet. Das modifizierte Jaccard-Maß hat dann folgendes Format:

$$\text{Similarity}(A, B) = \frac{|A \cap B| + |A' \cap B|}{|A \cup B|}$$

Jaccard-Koeffizient

Die Synonyme und Hyperonyme werden dabei mithilfe der WordNet-Bibliothek [5] ermittelt. Wie weiter oben bereits dargelegt, erfolgt die Sortierung der Worte im Bitvektor entsprechend ihrer Häufigkeit in der jeweiligen Sprache. Basierend auf diesem Konzept wurde eine Gewichtung der Worte nach ihrer Relevanz integriert. Dies erfolgte dadurch, dass der Bitvektor jedes Fragments in mehrere Teile untergliedert wurde. Dadurch

kann selten auftretenden Wörtern (z. B. Fachtermini) eine höhere Relevanz zugeordnet werden als sehr häufig auftretenden Wörtern, die aber aus diesem Grund auch keine oder nur geringe Relevanz in Bezug auf den Inhalt des Textfragments haben. Schlussendlich wurden fünf Kategorien von Wörtern gebildet, mit zunehmender Relevanz der Wörter in den höheren Kategorien. Die detaillierte Formel des gewichteten Jaccard-Maßes und ihre Herleitung wird in [2] vorgestellt und erklärt.

Visualisierung

Anstatt sich gleichende Textfragmente aus dem zu untersuchenden Dokument mit Textfragmenten aus den zum Vergleich herangezogenen Dokumenten gegenüberzustellen, wurde eine grafische Repräsentation entwickelt, die von der textuellen Darstellung abstrahiert. Die Repräsentation basiert auf der Darstellung der Ähnlichkeit mittels Heatmaps. Eine Heatmap ist eine zweidimensionale Darstellung (eine Matrix), wobei die Textfragmente des zu untersuchenden Dokuments auf der x-Achse und die der Vergleichsdokumente auf der y-Achse aufgetragen sind. Jedes Feld innerhalb der Matrix repräsentiert die mittels Jaccard-Koeffizient berechnete Ähnlichkeit zwischen den Textfragmenten. Der Wert wird dabei durch einen Farbverlauf zwischen Weiß und Rot dargestellt. Weiß bedeutet, dass keine Ähnlichkeit zwischen den Textfragmenten vorliegt, Rot hingegen bedeutet hohe Ähnlichkeit zwischen den Fragmenten. Abbildung 2, 3 und 4 zeigen Beispiele solcher Heatmaps.

Experimentelle Ergebnisse

A. Verwendung von Synonymen und syntaktische Veränderungen

In diesem Beispiel soll sowohl die Syntax umgestellt als auch einzelne Begriffe durch Synonyme ersetzt werden. Als Ausgangspunkt dient die Niederschrift einer Rede von Präsident Barack Obama zum Thema Netzneutralität. Ausgehend vom englischen Originaldokument erfolgt zuerst eine maschinelle Übersetzung ins Deutsche, anschließend wird das Ergebnis ins Französische und darauffolgend ins Spanische und anschließend zurück ins Englische übersetzt. Dann wird das englische Ausgangsdokument mit dem durch vier maschinelle Übersetzungen verschleierte Dokument verglichen. Ein Vergleich des Originaldokuments mit dem generierten Dokument zeigt, dass sich die beiden in einer Vielzahl von Punkten unterscheiden. So besteht das generierte Dokument beispielsweise nur noch aus 17 Textfragmenten, im Vergleich zu 22 Textfragmenten im Originaldokument, was einer Reduktion von ca. einem Viertel entspricht. Nichtsdestotrotz ist der Algorithmus in der Lage, das Plagiat eindeutig zu erkennen.

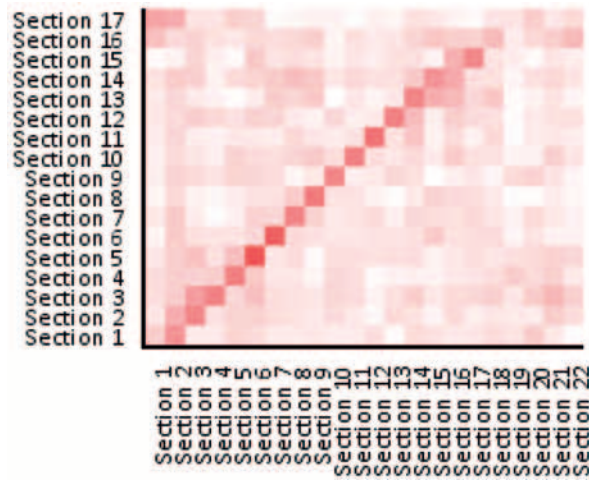


Abb. 1: Vergleich eines Textes mit einer durch mehrfache maschinelle Übersetzung erzeugten Version des Textes

B. Übersetzungsplagiate

Im Gegensatz zum vorherigen Beispiel, bei dem eine automatische Übersetzung eingesetzt wurde um ein verschleiertes Plagiat zu erzeugen, soll in diesem Experiment überprüft werden, wie gut ein durch einen menschlichen Übersetzer hergestelltes Plagiat erkannt wird. Hierzu haben wir frei verfügbare Bücher des Gutenberg-Projekts [8] herangezogen, die in mehreren Übersetzungen vorlagen. Dazu wurde in einem ersten Schritt die deutsche Version des Buches „Die Abenteuer von Tom Sawyer“ von Mark Twain wiederum mittels des Google Translators ins Englische übersetzt und dann anschließend mit der englischen Originalversion verglichen. Das Ergebnis ist in Abbildung 3 dargestellt. Auch in diesem Fall also, in dem die Übersetzung durch eine Person stattfand, ist das Plagiat eindeutig zu erkennen.

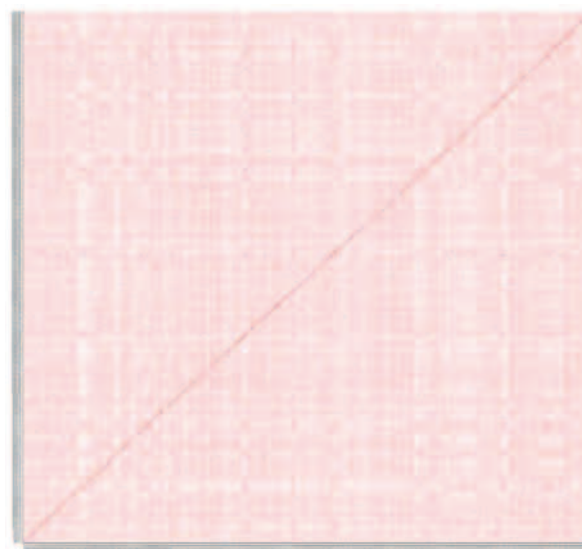


Abb. 2: Übersetzungsplagiat: Vergleich der englischen Originalausgabe von Tom Sawyer mit der deutschen Übersetzung

C. Ideenraub

Im letzten Experiment soll untersucht werden, wie gut der Algorithmus geeignet ist, Ideenraub-Plagiate zu erkennen. Diese sind die am schwierigsten zu entdeckenden Plagiate. Ein Grundproblem bei diesem Experiment ist es, ein geeignetes Vergleichspaar zu finden, ohne es selbst erstellen zu müssen (was die Aussagekraft des Experiments schmälern würde). Die Dokumente müssen denselben Sachverhalt beschreiben, sollen aber nicht von demselben Autor stammen und auch nicht voneinander übersetzt worden sein. Als Testdokument haben wir die Wikipedia-Beschreibung der ersten 17 Episoden der Sitcom „The Big Bang Theory“ herangezogen und sie mit der Beschreibung derselben Episoden aus der Internet Movie Datenbank (IMDb) verglichen. Beide Autoren haben dieselben 17 Folgen gesehen und beschreiben den Inhalt aus ihrer Perspektive und in ihren eigenen Worten. Das Ergebnis des Vergleichs ist in Abbildung 4 zu sehen. In diesem Fall ist keine klare Plagiatsdiagonale mehr sichtbar, jedoch kann man einen diagonalen Bereich mit höheren Werten erkennen.

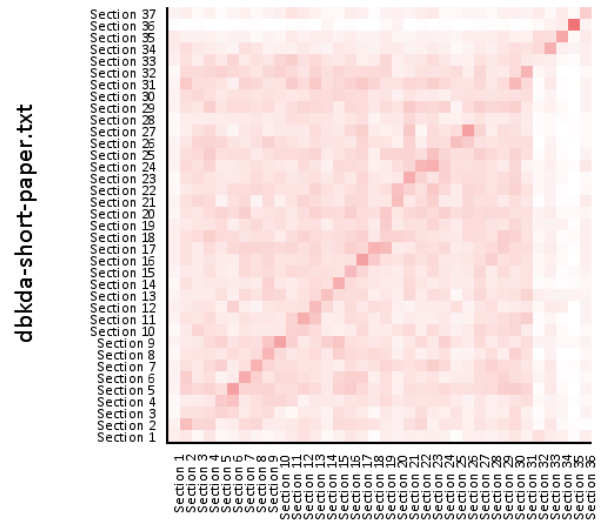
oberen Rand stellen das Literaturverzeichnis dar, das erwartungsgemäß eine geringere Ähnlichkeit mit dem restlichen Text aufweist als der Rest des Dokuments.



Abb. 3: Erkennung eines Ideenraub-Plagiats

Nun aber zurück zu dem hier vorliegenden Plagiat. Wie in der Einführung bereits erwähnt, ist die Grundlage dieses Artikels ein Short Paper von drei Seiten Länge in englischer Sprache, das etwas gekürzt ins Deutsche übersetzt und anschließend um den Zusatz erweitert wurde, dass es sich um ein Plagiat handelt. Das Ergebnis der Analyse ist in Abbildung 4 dargestellt. Die x-Achse repräsentiert dabei den vorliegenden Artikel, die y-Achse das Originaldokument. Deutlich erkennt man die Plagiatsdiagonale, die sich fast komplett durchzieht. Lediglich an zwei Stellen (1) und (2) ist diese unterbrochen. Stelle (2) betrifft den aktuellen Absatz, für den es keine Entsprechung im Originaldokument gibt. Stelle (1) betrifft den Absatz zu Beginn, der mit „Dieser Artikel ist zu großen Teilen ein Plagiat“ beginnt und der ebenfalls keine Entsprechung im Originaldokument hat. Die hellen Flächen am rechten und

Similarity



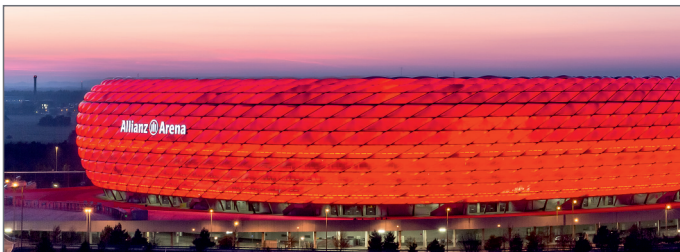
dieser-artikel.txt

Abb. 4: Vergleich der englischsprachigen Version dieses Artikels mit der hier vorliegenden Version

Literatur

- [0] A. Schmidt, S. Bühler, *On the Detection of Nontrivial and Cross Language Plagiarisms*, Proceedings of the Seventh International Conference on Advances in Databases, Knowledge and Data Applications DBKDA 2015, May 24–29, 2015, Rome, Italy.
- [1] A. Schmidt, R. Becker, D. Kimmig, R. Senger, S. Scholz, *A concept for plagiarism detection based on compressed bitmaps*, in DBKDA'14, Proceedings of the Sixth International Conference on Advances in Databases, Knowledge and Data Applications, IARIA, 2014, pp. 30–34.
- [2] S. Bühler, *Konzeption und Realisierung eines Systems zur Erkennung verschleierte Plagiate (Conception and Implementation of a System to Detect Obfuscated Plagiarisms)*, Bachelor's Thesis, Department of Informatics and Business Information Systems, Karlsruhe University of Applied Sciences, Jan 2015.
- [3] M. Potthast, B. Stein, A. Barrón-Cedeno, P. Rosso, *An evaluation framework for plagiarism detection*, in: Proceedings of the 23rd International Conference on Computational Linguistics, Posters, ser. COLING '10, 2010, pp. 997–1005.

- [4] C. D. Manning, P. Raghavan, H. Schütze, *Introduction to Information Retrieval*. New York, NY, USA, Cambridge University Press, 2008.
- [5] JWNL – Java WordNet Library – DevGuide (14.12.2007), <http://jwordnet.sourceforge.net/handbook.html> (02.10.2015).
- [6] B. Obama, *Speech about Net Neutrality*, Nov 2014, <http://www.whitehouse.gov/net-neutrality>, (02.04.2015).
- [7] 2015, <https://translate.google.com>.
- [8] Gutenberg project, <https://www.gutenberg.org> (24.09.2015).



Wie wird eine Fabrik mit Energie versorgt? Wie können in einem Stadion 70.000 Menschen ein Spiel genießen? Und wie kommt der richtige Koffer in das richtige Flugzeug?

Unsere Ingenieure sind international im Einsatz, um Großprojekte zu planen und zu betreiben. Mit fast 3.000 Mitarbeitern vereinigt b.i.g. die Vorzüge eines Familienbetriebs mit denen eines international operierenden Unternehmens. Verstärken Sie eine der größten Ingenieurgesellschaften Deutschlands.

Wir suchen deutschlandweit

Ingenieure u. Werkstudenten (m/w) der Fachrichtungen:

Baumanagement und Baubetrieb, Elektrotechnik, Energietechnik, Nachrichtentechnik, Wirtschaftswissenschaften

Jetzt bewerben: b.i.g.-Gruppe, Katharina Ottinger, Ehrmannstraße 6, 76135 Karlsruhe oder karriere@big-gruppe.com



big-gruppe.com

beraten | planen | betreiben

Abstract

This paper presents a new approach for detecting highly obfuscated or translated plagiarism. Based on our approach a prototype is developed to demonstrate its efficiency for real scenarios such as in wikipedia, automatically translated documents or manually translated documents such as those found in the Gutenberg project.

Zusammenfassung

In diesem Artikel wird die Effizienz eines neuen Algorithmus zur Erkennung stark verschleierter Plagiate, bis hin zu Übersetzungsplagiaten und Ideenraub-Plagiaten, vorgestellt. Der Algorithmus basiert auf dem Prinzip, dass Textfragmente in Form von komprimierten Bitmaps gespeichert und Ähnlichkeitsoperationen auf den Bitmaps mittels eines adaptierten Jaccard- Koeffizienten durchgeführt werden. Die Adaption erfolgt im Hinblick auf die Berücksichtigung von Synonymen und Hyperonymen als auch auf einer Gewichtung der Wörter im Vokabular. Basierend auf einer Reihe von durchgeführten Tests wurden 55 Wörter als optimale Länge der Textfragmente ermittelt. Beispielhaft wurden Wikipedia-Artikel, automatisch übersetzte Dokumente und auch offizielle Übersetzungen, wie man sie auf den Seiten des Gutenberg Projektes findet, herangezogen.

Autoren

Sören Bühler B.Sc.

Absolvent des Bachelorstudiengangs Wirtschaftsinformatik der Hochschule Karlsruhe und derzeit beschäftigt bei Mischke Hofmann und Partner (MHP), Gesellschaft für Management- und IT-Beratung mbH

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

Reduktion des Reifenschlupfs durch intelligente Verteilung des Antriebsmoments bei allradangetriebenen Elektrofahrzeugen

Benedict Jäger, Kurt Kruppok und Peter Neugebauer

Einführung

Aktive Fahrsicherheitssysteme wie ESP (Elektronisches Stabilitätsprogramm), ABS (Antiblockiersystem) und ASR (Antriebschlupfregelung) sind heute bereits serienmäßig in den Fahrzeugen eingebaut. Die Optimierung der Fahrdynamik zur Stabilisierung des Fahrverhaltens basiert bei diesen Systemen auf dem Eingriff der Betriebsbremse. Dies hat neben der Reduktion der Fahrzeuggeschwindigkeit auch Komforteinbußen zur Folge. Das Prinzip der auf Bremsen basierenden Regelsysteme ist zwar aufgrund der großen und schnellen Energieaufnahme der Bremse für die Regelung der Fahrdynamik geeignet, jedoch kann die Bremsenergie nicht sinnvoll genutzt werden. Es ist zwar möglich, das bereitgestellte Antriebsmoment der Verbrennungskraftmaschine über das Motormanagement der Fahrsituation anzupassen, jedoch kann dies aufgrund der Trägheit des Systems nicht hinreichend schnell durchgeführt werden. Die kinetische Energie wird demzufolge bei einem Regeleingriff in Wärme umgewandelt. Die genannten Systeme unterscheiden sich in ihrer Funktions- und Wirkungsweise. Das ESP versucht in querdynamischen Situationen die Stabilität des Fahrzeugs durch selektive Bremsvorgänge an den einzelnen Rädern aufrechtzuerhalten. ABS und ASR hingegen halten den Kraftschluss beim Bremsen und Anfahren in einem optimalen Bereich, um maximale Traktion zu erreichen. Alle Systeme haben gemeinsam, dass sie nur in Situationen aktiviert werden, in denen der Reifenzustand in den Gleitbereich übergeht oder die momentane Giergeschwindigkeit von der berechneten abweicht. Tritt während der Fahrt an den Rädern Reifenschlupf auf, wird aufgrund der Haft- und Gleitreibung im Reifen-Straße-Kontaktpunkt ein Teil der Antriebsleistung in Wärme umgewandelt. Wird das Antriebsmoment jedoch in Abhängigkeit von der Fahrsituation gezielt angepasst, kann die Fahrstabilität und zugleich der Energiebedarf in dynamischen Fahrsituationen gesenkt werden. Das in diesem Beitrag vorgestellte Fahrdynamiksystem für allradbetriebene Elektrofahrzeuge ist in der Lage, das notwendige Antriebsmoment radselektiv zu verteilen, um die Fahrstabilität zu erhöhen, den Reifenschlupf zu minimieren und den Energiebedarf des Fahrzeugs

zu senken. Das System basiert auf der Erzeugung eines aktiven Giermoments um die Fahrzeughochachse durch das Stellen von Antriebsmomenten auf der kurvenäußeren und von Bremsmomenten auf der kurveninneren Fahrzeugseite. Der Vorteil hierbei ist, dass die rekuperierte Bremsenergie der bremsenden Fahrzeugseite der antreibenden Fahrzeugseite ohne Zwischenspeicherung zur Verfügung steht. Die intelligente Verteilung der Antriebs- und Bremsmomente erhöht die Instabilitätsgrenze und reduziert zugleich den Schlupfbetrag an den einzelnen Rädern. Als Eingangsgrößen des Systems dienen der Lenkwinkel und das gewünschte Antriebsmoment des Fahrers bei bekannter Fahrzeuggeometrie. Die Regelung der Fahrdynamik erfolgt durch einen Mehrgrößenzustandsregler. Ein nachgeschalteter Algorithmus berechnet die maximal möglichen Antriebs- und Bremsmomente der Räder und verteilt diese im fahrdynamischen Grenzbereich in Abhängigkeit der Kraftschlussgrenze.

Fahrzeugmodell für den Entwurf von Fahrdynamikregelsystemen

Die mathematische Beschreibung von Fahrzeug- und Reifenmodellen hat in den letzten Jahren für den Entwurf von Fahrdynamikregelsystemen zunehmend an Bedeutung gewonnen. Die Modellbildung und anschließende Simulation bietet für den Entwurf von Regelsystemen die Möglichkeit, kritische Fahrsituationen beliebig oft unter definierten Umgebungsbedingungen weitestgehend realitätsnah abzubilden und zu simulieren. Ziel ist eine hinreichend genaue Beschreibung des Fahrzeugverhaltens. Der Grad der Abstraktion der einzelnen Modelle reicht hier vom linearen Einspurmodell mit zwei bis hin zum Zweispurmodell mit bis zu 30 Freiheitsgraden.[3] Ein als starr angenommenes Fahrzeugchassis hat per Definition sechs Freiheitsgrade, die sich in drei translatorische und drei rotatorische unterteilen lassen. Für eine Regelung der Querdynamik sind lediglich die translatorischen Bewegungen in Längs- und Querrichtung sowie die Drehung um die Fahrzeughochachse von ausschlaggebendem Interesse. Abbildung 1 zeigt das reduzierte nichtlineare Zweispurmodell mit den wichtigsten fahrdynamischen Größen.

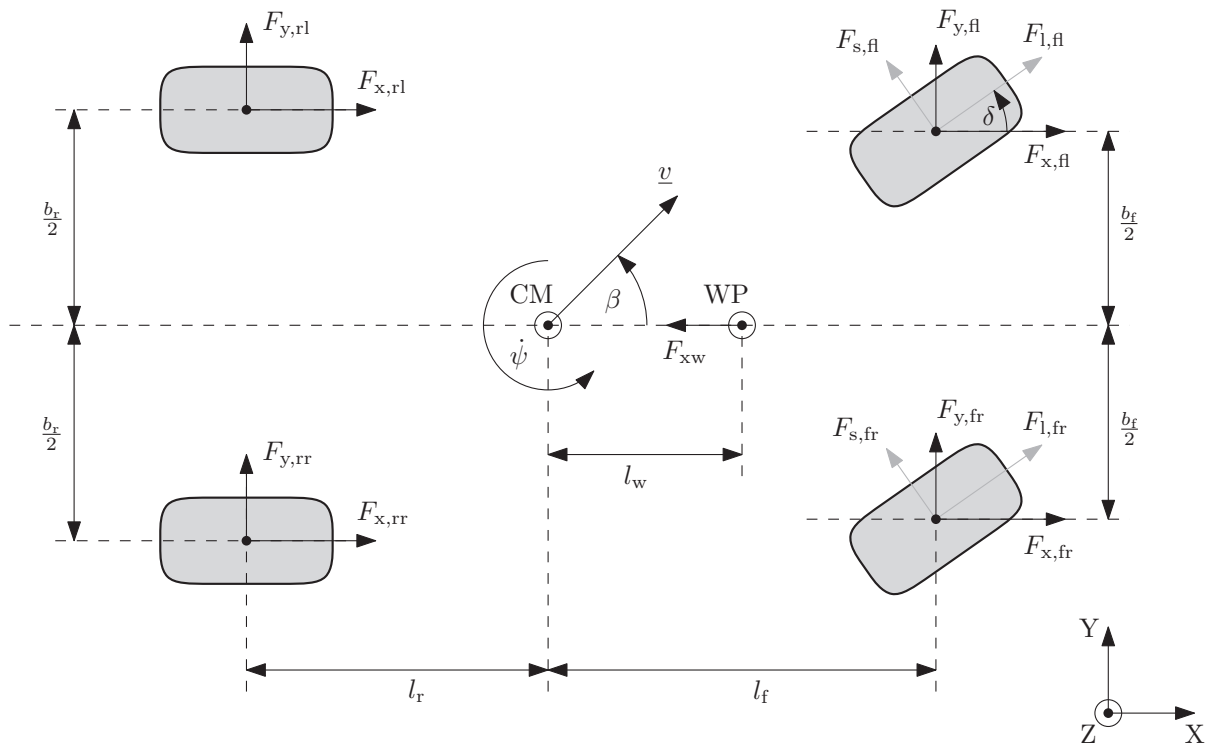


Abb. 1: reduziertes nichtlineares Zweispurmodell

Die vektorielle Fahrzeuggeschwindigkeit \underline{v} ist tangential zur Bahnkurve gerichtet und schließt mit der Fahrzeuglängsachse den Schwimmwinkel β ein. Der Massenschwerpunkt CM befindet sich im Abstand l_f und l_r zur Vorder- und Hinterachse und im Abstand b_f und b_r zur halben Spurweite der Achsen. Die Drehung um die Fahrzeughochachse wird mit dem Winkel φ bzw. mit dessen zeitlicher Ableitung $\dot{\varphi}$, der Giergeschwindigkeit, beschrieben. Der Lenkwinkel δ stellt den Winkel zwischen der Radlängs- und der Fahrzeuglängsachse beider Vorderräder dar. An jedem der vier Räder greifen die Längskraft $F_{x,ij}$ und die Seitenkraft $F_{y,ij}$ – jeweils zur Fahrzeuglängs- bzw. Fahrzeugquerachse – an. Die auf das Fahrzeug wirkende Luftwiderstandskraft F_{xw} greift im Luftwiderstandspunkt WP im Abstand l_w vom Schwerpunkt an. Unter Angabe der Fahrzeugmasse m und des Massenträgheitsmoment J_z um die z-Achse können mit dem Impuls- und Drehimpulssatz die Bewegungsgleichungen aufgestellt werden:

Fahrbahn-Reifen-Kontakt

Die Reifen stellen eine Verbindung zwischen der Fahrbahn und dem Fahrzeug her. Die genaue Modellierung des Kontaktpunkts zwischen Reifen und Fahrbahn ist daher von großer Bedeutung für die Regelung der Fahrdynamik. Die Einleitung von Antriebs- und Bremsmomenten in das Rad bewirkt eine positive oder negative Längskraft im Radaufstandspunkt. Rollt der Reifen bei Kurvenfahrt zusätzlich über einen Schräglaufwinkel ab, müssen Seitenkräfte aufgenommen werden. In der Praxis finden daher je nach Anwendungsgebiet und geforderter Genauigkeit verschiedene lineare und nichtlineare Reifenmodelle Anwendung, die das Reifenverhalten sowie deren Wechselwirkung mithilfe trigonometrischer Funktionen beschreiben. Ein gängiges Modell zur Beschreibung der Längs- und Seitenkraft stellt die Magic-Tyre-Formula-Grundgleichung nach Pacejka dar.[4]

Eine vereinfachte Form der Gleichungen lautet:

$$\dot{v} = \frac{1}{m} \cdot \{ (F_{x,fl} + F_{x,fr}) \cos(\delta - \beta) - (F_{y,fl} + F_{y,fr}) \sin(\delta - \beta) + (F_{x,rl} + F_{x,rr}) \cos \beta + (F_{y,rl} + F_{y,rr}) \sin \beta - F_{wx} \cdot \cos \beta \}$$

$$\dot{\beta} = \frac{1}{mv} \cdot \{ (F_{x,fl} + F_{x,fr}) \sin(\delta - \beta) + (F_{y,fl} + F_{y,fr}) \cos(\delta - \beta) - (F_{x,rl} + F_{x,rr}) \sin(\beta) + (F_{y,rl} + F_{y,rr}) \cos(\beta) + F_{wx} \cdot \sin \beta \} - \dot{\varphi}$$

$$\dot{\varphi} = \frac{1}{J_z} \cdot \left\{ l_f \cdot [(F_{x,fl} + F_{x,fr}) \sin \delta + (F_{y,fl} + F_{y,fr}) \cos \delta] - l_r \cdot (F_{y,rl} + F_{y,rr}) + \frac{b_f}{2} \cdot [(F_{x,fr} - F_{x,fl}) \cos \delta - (F_{y,fr} - F_{y,fl}) \sin \delta] + \frac{b_r}{2} \cdot (F_{x,rr} - F_{x,rl}) \right\}$$

$$F_x = \mu \cdot F_{z_{\text{dyn}}} \cdot \sin \left[C \cdot \arctan \left(B \cdot \frac{|\lambda|}{\mu} \right) \right],$$

$$F_y = \mu \cdot F_{z_{\text{dyn}}} \cdot \sin \left[C \cdot \arctan \left(B \cdot \frac{|\alpha|}{\mu} \right) \right]$$

Bestandteil der Formel ist die dynamische Radlast $F_{z_{\text{dyn}}}$, der Haftbeiwert μ , der Längsschlupf λ , der Schräglaufwinkel α , der konstante Steifigkeitsfaktor B sowie der konstante Formfaktor C des Reifens. Die reifenspezifischen Parameter B und C werden auf dem Reifenprüfstand ermittelt und unterscheiden sich in Längs- und Seitenrichtung. Die hervorgerufene Krafteinwirkung im Reifenkontaktpunkt beim Beschleunigen oder Bremsen bewirkt eine physikalisch bedingte Verformung des Reifens zwischen dem elastischen Laufstreifen und der Karkasse. Dieses Verhalten wird als Schlupf bezeichnet und ist nach [4] wie folgt definiert:

$$\lambda = \frac{|v - \omega r|}{\max(v, \omega r)}$$

Die Geschwindigkeit v bezeichnet die Geschwindigkeit des Radmittelpunkts, ωr das Produkt aus Winkelgeschwindigkeit des Rades und dem Reifenradius.

Regelung der Querdynamik

Aufgrund des nichtlinearen Systemverhaltens des Zweispurmodells ist für eine exakte Regelung die Anwendung von nichtlinearen Regelungsverfahren erforderlich. Der Entwurf zur Regelung der Querdynamik bzw. des Reifenschlupfs basiert auf einem Mehrgrößenregler zur Berechnung der radselektiven Drehmomentverteilung. Als Entwurfsmethode wird das Gain-scheduling-Verfahren angewandt, das ein einfaches Verfahren darstellt, um eine nichtlineare Regelstrecke auf Basis der linearen Systemtheorie zu entwerfen. Abbildung 2 zeigt die Struktur des Mehrgrößenreglers.

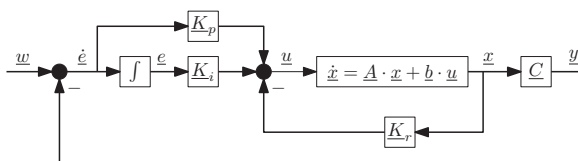


Abb. 2: Struktur des Mehrgrößenreglers

Der Eingangsvektor \underline{u} des Systems repräsentiert die vier Radlängskräfte, der Zustandsvektor \underline{x} die Systemzustände der Reglermatrix des Zustandsreglers \underline{K}_r . Der vorgeschaltete PI-Anteil reguliert die Differenz zwischen der Soll- und Ist-Giergeschwindigkeit.

Ergebnisse im virtuellen Fahrversuch

Das entworfene Reglerkonzept wird im virtuellen Fahrversuch mithilfe einer kommerziellen Simulationssoft-

ware verifiziert. Die Versuchsdurchführung erfolgt mit zwei unterschiedlichen Fahrermodellen, die sich im längs- und querdynamischen Fahrverhalten unterscheiden. Das Fahrverhalten von Fahrer A entspricht dem eines Durchschnittsfahrers, das von Fahrer B dem eines sportlich ambitionierten Fahrers. Bei der Auswahl der Versuchsstrecke wurde darauf geachtet, dass möglichst viele Beschleunigungs- und Bremsvorgänge bei unterschiedlicher Fahrzeuggeschwindigkeit und zugleich kurviger Streckenführung stattfinden, um das Schlupfverhalten des Reifens untersuchen zu können. Tabelle 1 zeigt die Auswertung des Fahrversuchs bei aktiver und inaktiver Regelung. Als Bewertungskriterien wurden der mittlere Reifenschlupf $\bar{\lambda}$, der maximal auftretende Reifenschlupf λ_{max} , die mittlere Fahrzeuggeschwindigkeit \bar{v} und der benötigte Energiebedarf E des Fahrzeugs herangezogen.

	$\bar{\lambda}$ [-]	λ_{max} [-]	\bar{v} [km/h]	E [kWh]
Fahrer A				
Regler aktiv	0,0309	0,0263	85,38	1,88
Regler inaktiv	0,0312	0,0273	85,38	1,89
Fahrer B				
Regler aktiv	0,0574	0,057	109,64	2,43
Regler inaktiv	0,1653	0,903	110,72	2,70

Tab. 1: Auswertung des Fahrversuchs

Die Versuchsauswertungen zeigen einen deutlichen Unterschied zwischen den Fahrertypen. Bei Fahrer A tritt aufgrund der geringen Querbeschleunigung nur eine geringe Abweichung zwischen Soll- und Ist-Giergeschwindigkeit auf, folglich greift der Regler nur minimal in die Fahrdynamik ein. Die Bewertungskriterien verzeichnen keine nennenswerten Unterschiede. Bei höheren Querbeschleunigungen, wie sie bei Fahrer B auftreten, ist ein Eingriff der Regelung zu beobachten. Der mittlere Reifenschlupf konnte um ca. 65 % gesenkt werden, der maximal auftretende Reifenschlupf um knapp 94 % und der Energiebedarf um 10 %. Die Reduktion des Reifenschlupfs, aber auch die geringere Anzahl von Beschleunigungs- und Bremsvorgängen aufgrund höherer Fahrstabilität verringern den Energiebedarf.

Schlussbetrachtung

Die Elektrifizierung des Antriebsstrangs von Kraftfahrzeugen bietet hinsichtlich der Verteilung der einzelnen Antriebsmomente völlig neue Regelungsmöglichkeiten. Durch die Integration von vier, voneinander unabhängig regelbarer elektrischer Maschinen können die Antriebs- und Bremsmomente gezielt an die aktuelle

Fahrsituation angepasst werden. Dadurch kann der Reifenschlupf in querdynamischen Fahrsituationen deutlich reduziert werden. Die daraus resultierenden geringeren Verluste im Reifenkontaktpunkt senken zusätzlich den Energiebedarf des Fahrzeugs.

Literatur

- [1] Mitschke, *Dynamik der Kraftfahrzeuge*, VDI, Springer, Berlin, 4. neubearb. Aufl. Edition, 2004.
- [2] Isermann, *Fahrdynamik-Regelung*, ATZ-MTZ Fachbuch, Vieweg, Wiesbaden, 2006.
- [3] Schramm, *Modellbildung und Simulation der Dynamik von Kraftfahrzeugen*, SpringerLink: Bücher, Springer-Verlag, Berlin Heidelberg, 2010.
- [4] H. B. Pacejka, *Tyre and vehicle dynamics*, Butterworth-Heinemann, Oxford, 2002.

Abstract

The electrification of the powertrain of vehicles provides completely new control options with respect to the distribution of the individual drive moments. Thus electrical engines open up a new kind of vehicle dynamics control. By integrating up to four independently controllable electrical engines as traction drives in the vehicle, the driving and braking torques can be specifically adapted to the current driving situation and also contribute to the reduction of tire slip and power requirements.

Zusammenfassung

Die Elektrifizierung des Antriebsstrangs von Kraftfahrzeugen bietet hinsichtlich der Verteilung der einzelnen Antriebsmomente vollkommen neue Regelungsmöglichkeiten. Die elektrische Maschine eröffnet hier eine neue Art der Fahrdynamikregelung. Durch die Integration von bis zu vier voneinander unabhängig regelbaren elektrischen Maschinen als Traktionsantriebe im Kraftfahrzeug können die Antriebs- und Bremsmomente gezielt an die aktuelle Fahrsituation

angepasst werden und tragen zur Reduktion des Reifenschlupfs und des Energiebedarfs bei.

Autoren

Benedict Jäger M.Eng.

Akademischer Mitarbeiter am Institut für Energieeffiziente Mobilität (IEEM)

Dipl.-Ing. Kurt Kruppok

Akademischer Mitarbeiter am Institut für Energieeffiziente Mobilität (IEEM)

Prof. Dr. rer. nat. Peter Neugebauer

Professor an der Fakultät für Maschinenbau und Mechatronik der Hochschule Karlsruhe und Leiter des Instituts für Energieeffiziente Mobilität (IEEM)

Kontakt

Prof. Dr. rer. nat. Peter Neugebauer
Hochschule Karlsruhe – Technik und Wirtschaft
Fakultät für Maschinenbau und Mechatronik
Institut für Energieeffiziente Mobilität (IEEM)
International University Campus 3
76646 Bruchsal

Auswirkung der Elektrifizierung von Nebenverbrauchern auf das Energiemanagement im Kraftfahrzeug

Kurt Kruppok, Benedict Jäger und Reiner Kriesten

Einleitung

Die Komplexität des elektrischen Bordnetzes unterliegt einem stetigen Wachstum. Ursprünglich versorgte die Batterie ausschließlich den Starter und bei laufendem Motor stellte der Generator Energie für die Lichtanlage bereit. Die Umstellung der genannten Komponenten in den 60er-Jahren vom 6-V- auf das 12-V-Spannungsniveau gestaltete sich aufgrund der kleinen Verbraucherzahl und dem geringen Gesamtleistungsbedarf von etwa 300 W unproblematisch. Der Bedarf stieg bis 1990 auf 1,5 kW an und wurde als Obergrenze des 12-V-Bordnetzes gesehen. Mittlerweile übersteigt er bei manchen Fahrzeugen 3 kW. [1] Dieser Artikel bietet dem Leser einen Überblick über diejenigen Nebenverbraucher, die mitverantwortlich für den hohen Energiebedarf moderner Kraftfahrzeuge sind. Außerdem werden Ursachen für die wachsende Verbraucherzahl und die damit verbundenen Vor- und Nachteile diskutiert. Darüber hinaus werden Anforderungen und Maßnahmen des Energiemanagements im Umgang mit dem elektrifizierten Antriebsstrang beschrieben.

Ursachen für die hohe Verbraucherzahl

Innerhalb der letzten Jahre stieg der Funktionsumfang des Kraftfahrzeugs stetig und mithin die Anzahl der elektrischen Verbraucher. Im Schnitt sind in einem modernen PKW rund acht Kilometer Kabel und mehr als 100 Steuergeräte verbaut. Laut [2] werden 90 % der automobilen In-

novationen durch Elektronik und Software realisiert. Die Zielsetzungen neuer Funktionen bzw. neuer elektrischer Verbraucher beruhen auf einer Optimierung hinsichtlich einer der folgenden Punkte: Sicherheit (z. B. Wankstabilisierung, Lenkung), Komfort (z. B. aktives Fahrwerk, Fensterheber) oder Umwelt (z. B. Kühlmittelpumpe, Klimakompressor). Die Einführung dieser Komponenten wird von Kundenwünschen, Konkurrenzdruck und vor allem durch gesetzliche Auflagen angetrieben [1]. Hierbei ist insbesondere der Ende 2013 von den EU-Mitgliedsstaaten beschlossene Grenzwert von 95 g CO₂-Ausstoß pro Kilometer für alle Neuwagen ab 2020 zu nennen (vgl. [3]).

Zu den wichtigsten Maßnahmen zur Verbrauchssenkung zählen die Drehmomentunterstützung des Verbrennungsmotors durch den Elektromotor (Boosting), die Start-Stopp-Automatik (SSA) und die Bremsenergierückgewinnung (Rekuperation), welche alle drei im Zuge der Hybridisierung des Antriebsstrangs ihren Weg ins Kraftfahrzeug fanden. Bei seriellen Hybrid- und Elektrofahrzeugen sind Boosting und SSA hinfällig, da ein ständig laufender Verbrennungsmotor fehlt. Riemengetriebene Verbraucher finden in diesem Fall keine Verwendung und müssen als elektrische Variante ausgelegt werden.

Tabelle 1 zeigt den maximalen Leistungsbedarf verschiedener Nebenverbraucher (NV) sowie deren Zielsetzung

Ziels.	Einsatz	Elektrische Komponente	eingesetzt in					P _{max} in Watt
			ICE	MHEV	PHEV	REX	BEV	
K	Kurz	Sitzheizung (pro Sitz)	■	■	■	■	■	150
K	Kurz	Fensterheber	□	□	□	□	□	150
K/S	Kurz	Aktives Fahrwerk	□	□	□	□	□	12000
K/S	Lang	Klimakompressor	-	□	□	■	■	1500
K/S	Dauer	Innenraumlüftung	■	■	■	■	■	400
K/S	Dauer	Innenraumheizung	□	□	□	■	■	1500
S	Kurz	Heckscheibenheizung	■	■	■	■	■	200
S	Lang	Frontscheibenheizung	-	-	-	■	■	2000
S/U	Dauer	Lenkung	□	□	□	■	■	1500
U	Dauer	Kühlmittelpumpe	-	-	-	■	■	500
U	Kurz	Drehmomentunterstützung	-	□	□	-	-	15000
U	Kurz	Start-Stopp-Automatik	-	□	□	*)	-	6000
U	Dauer	DC/DC-Wandler	-	□	□	□	□	1000

Legende: Einsatz dieser Variante ■ ausschließlich, □ optional oder [-] nicht möglich/notwendig.

*) ähnliches System, jedoch zum Starten vom Range Extender

Tab. 1: topologiebedingter Einsatz elektrischer Verbraucher und deren maximaler Leistungsbedarf [1, 5, 6]

und gewöhnliche Einsatzdauer. Die Fahrzeuge wurden in folgende fünf Gruppen eingeteilt: konventionelle Fahrzeuge (ICE), Micro- und Mildhybride (MHEV), Plug-In- und Vollhybride (PHEV), Range Extender (REX) sowie reine Elektrofahrzeuge ohne Verbrennungsmotor (BEV).

Vor- und Nachteile elektrifizierter Nebenverbraucher

Zu den Vorteilen der Elektrifizierung von ehemals riemengetriebenen Verbrauchern zählen eine bessere Regel- und Steuerbarkeit, die Optimierung des Kaltstartverhaltens des Verbrennungsmotors, die Nachlaufunktionalität (verbessert die Lebensdauer), die motorunabhängige Platzierung im Fahrzeug und nicht zuletzt eine höhere Effizienz, wodurch Kraftstoffeinsparungen und eine bessere Umweltbilanz zu erzielen sind. Laut [4] sind elektrische Nebenaggregate somit unverzichtbar bei der Hybridisierung. In der Pannestatistik der letzten Jahre sind vermehrt Batterieausfälle zu verzeichnen, da der Energiebedarf des Fahrzeugs an die Grenzen des 12-V-Bordnetzes stößt. Durch die Elektrifizierung des Antriebsstrangs und ehemals riemengetriebener Komponenten werden kurzzeitig Spitzenlasten in der Größenordnung von 5 bis 15 kW vom elektrischen Bordnetz gefordert (vgl. Tabelle 1) [1].

Anforderungen und Maßnahmen

Durch die zunehmende Hybridisierung der Fahrzeuge in den vergangenen Jahren rückte das 48-V-Bordnetz in den Fokus. Aufgrund der höheren Spannung wird mit einer geringeren Stromstärke die gleiche Leistung übertragen. Dies ermöglicht eine Reduzierung der Leiterquerschnitte und somit eine flexiblere Unterbringung im Bauraum. Alternativ wurden in der Oberklasse zur Erhöhung der Leistungsfähigkeit teilweise zwei 12-V-Batterien verbaut: die

erste zur Absicherung des Fahrzeugstarts, die zweite zur Versorgung der elektrischen Verbraucher. Der eingeschränkte Bauraum und immenser Kostendruck limitieren jedoch, unabhängig von der Fahrzeugtopologie, den Einsatz größerer oder mehrerer Energiespeicher [1].

Umfangreich ausgestattete Fahrzeuge, die die Leistungsfähigkeit des 12-V-Bordnetzes ausreizen, benötigen ein ausgeklügeltes elektrisches Energiemanagement. Zu dessen Aufgaben zählt die ausreichende Bereitstellung elektrischer Energie, um die Fahrzeugverfügbarkeit, aber auch den Komfort zu gewährleisten. Beispielsweise müssen Assistenzsysteme jederzeit zuverlässig und unmittelbar zur Verfügung stehen, ohne dass Leistungseinbrüche einzelner Komponenten (z. B. reduzierte Leuchtkraft der Scheinwerfer) hingenommen werden müssen. Darüber hinaus muss das Energiemanagement den Anforderungen der neuen Funktionen gerecht werden. Dazu gehören beispielsweise der erhöhte Leistungsbedarf und die höhere Zyklenzahl, bedingt durch die SSA. Ein weiteres Beispiel bei Mild-Hybrid-Konzepten ist der Zielkonflikt zwischen Startfähigkeit (hoher Ladezustand) und optimaler Ladefähigkeit der Batterie zur Aufnahme der hohen Ladeströme durch die Bremsenergieerückgewinnung. Eine Begrenzung des Einzel- und Gesamtenergiebedarfs sowie die Einhaltung dieser Grenzen durch Überwachung und Regelung liegen angesichts der großen Komponentenzahl nahe. Die Regelung kann anhand hinterlegter Daten oder durch selbsttätige Verbraucher, die ihre Energieanforderung auf Basis einer Preis-Nachfrage-Funktion anpassen, erfolgen.[1] Die vorübergehende Reduktion der Leistung oder sogar das Abschalten eines elektrischen Verbrauchers gehört ebenfalls zu den Aufgaben des Energiemanagements.

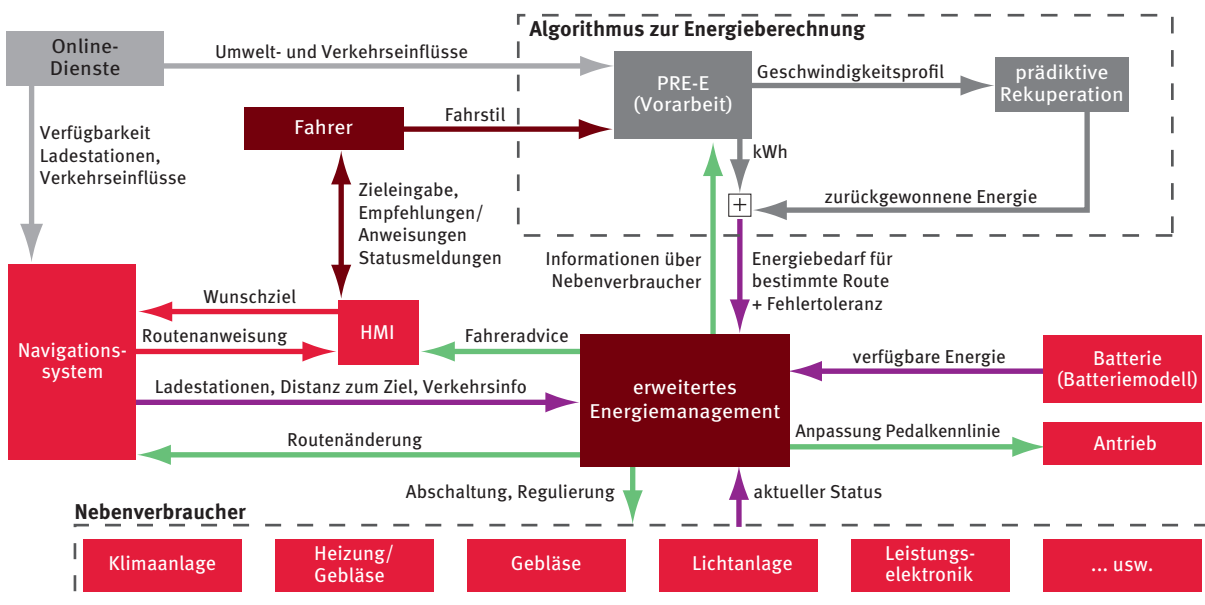


Abb. 1: Schnittstellen des erweiterten Energiemanagements

Fazit und Ausblick

Durch gesetzlich festgelegte CO₂-Flottengrenzen und steigende Kundenanforderungen sind die Fahrzeughersteller mit der Herausforderung konfrontiert, innovative Funktionen in ihre Fahrzeuge zu implementieren und dabei stets die wachsende Komplexität des elektrischen Bordnetzes unter Kontrolle zu haben. Für die Einhaltung von Sicherheitsanforderungen und die Reduktion des Energieverbrauchs sind intelligente Maßnahmen zur bedarfsgerechten Energieverteilung im Bordnetz und routenoptimierte Betriebsstrategien notwendig.

Am Institut für Energieeffiziente Mobilität (IEEM) der Hochschule Karlsruhe wird seit April 2015 das Forschungsthema „Entwicklung eines erweiterten Energiemanagements für Elektrofahrzeuge“ bearbeitet. Der Fokus liegt hierbei auf einer intelligenten Steuerung der Nebenverbraucher, wodurch der Energieverbrauch eines Elektrofahrzeugs streckenbezogen optimiert werden soll. Der zu entwickelnde Algorithmus soll bei Fahrten im Grenzbereich der Reichweite die Erreichung des Wunschziels gewährleisten. Darüber hinaus kann er dazu beitragen, die Lebensdauer der Traktionsbatterie zu erhöhen, indem kritische Ladungszustände, die die Leistungsfähigkeit der Batterie reduzieren, vermieden werden. Abbildung 1 stellt die Schnittstellen des erweiterten Energiemanagements als Schema dar.

Literatur

- [1] H. Wallentowitz und K. Reif (Hrsg.), *Handbuch Kraftfahrzeugelektronik*, 2., verb. und aktualisierte Aufl. Hrsg., Wiesbaden, Vieweg + Teubner, 2011.
- [2] Christiane Brünglinghaus, 06.05.2014 [Online]. Available: <http://www.springerprofessional.de/elektronik-und-software-beherrschen-innovationen-im-auto/5097588.html>. [Zugriff am 5.10.2015].
- [3] Spiegel online, Hamburg und Germany, 25.02.2014 [Online]. Available: <http://www.spiegel.de/auto/aktuell/neue-co2-grenzwerte-vom-eu-parlament-verabschiedet-a-955591.html>. [Zugriff am 25.09.2015].
- [4] Jochen Matern, *Auf den Antrieb kommt es an – Entwicklung von elektrischen Nebenaggregaten im Automobil*, MAHLE International GmbH, Stuttgart.
- [5] K. Reif, *Automobilelektronik – Eine Einführung für Ingenieure*, 5., überarb. Aufl. 2014 Hrsg., Wiesbaden, Springer Vieweg, 2014, p. 499.
- [6] E-Auto.TV, 2013 [Online]. Available: <http://e-auto.tv/reichweite-variablen-im-elektroauto.html>. [Zugriff am 29.09.2015].

Abstract

The number of safety, comfort and fuel efficiency functions for vehicles has increased steadily in recent years. This growing functionality includes new challenges for the vehicle's energy management. This article provides an overview of selected auxiliary consumers of motor vehicles from different topologies. Furthermore, reasons for the growing number of consumers and the related advantages and disadvantages of this growth are discussed. Based on this, a description of the requirements and possible measures relating to the vehicle's energy management system, due to the electrification of the powertrain, is given.

Zusammenfassung

In den letzten Jahren stieg die Zahl an Sicherheits-, Komfort- und Spritsparfunktionen im Kraftfahrzeug ständig. Der wachsende Funktionsumfang birgt neue Herausforderungen für das Energiemanagement eines Kraftfahrzeugs. Dieser Artikel gewährt dem Leser einen Überblick ausgewählter Nebenverbraucher aus Kraftfahrzeugen verschiedener Topologien. Außerdem werden Ursachen für die wachsende Verbraucherzahl und damit verbundene Vor- und Nachteile diskutiert. Darauf aufbauend werden Anforderungen und mögliche Maßnahmen des Energiemanagements aufgrund der Elektrifizierung des Antriebsstrangs beschrieben.

Autoren

Dipl.-Ing. Kurt Kruppok
Benedict Jäger M.Eng.

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

Prof. Dr.-Ing. Reiner Kriesten

Professor an der Fakultät für Maschinenbau und
Mechatronik der Hochschule Karlsruhe

Kontakt

Dipl.-Ing. Kurt Kruppok
Hochschule Karlsruhe – Technik und Wirtschaft
Fakultät für Maschinenbau und Mechatronik
Institut für Energieeffiziente Mobilität (IEEM)
Moltkestraße 30
76133 Karlsruhe
E-Mail: kurt.kruppok@hs-karlsruhe.de
Telefon: 0721 925-1655



Metall & Edelstahl

- Geländer- und Treppenbau
- Rohrleitungsbau
- Podeste und Balkone
- Zäune
- Edelstahlsockelleisten

**Kontaktieren Sie uns,
wir machen Ihnen ein
Angebot!**

info@dereli.de - www.dereli.de

Betonanker einfach montieren!



 **2012 IENA Gold**

**DIE INNOVATION IN DER BRANCHE
DÜBELTECHNIK!**

**Neugierig?
Dann schnell zu**

www.blitzhammer.eu

Navigation und Steuerung skalierbarer UAV und bemannter e-Multikopter

Reiner Jäger

NAVKA – Navigationskomponente der Flugsteuerung

Die weitreichenden und nachhaltigen Potenziale der NAVKA FuE basieren – hinsichtlich der Schätzung des Navigationszustandsvektors $\mathbf{y}(t)$ – auf verschiedenen allgemeinen Vorhersagemodellen zum Navigationszustandsvektor $\mathbf{y}(t)$

Die weitreichenden und nachhaltigen Potenziale der NAVKA FuE basieren – hinsichtlich der Schätzung des Navigationszustandsvektors $\mathbf{y}(t)$ – auf verschiedenen allgemeinen Vorhersagemodellen zum Navigationszustandsvektor $\mathbf{y}(t)$ und der Sensorarten, in der Regel als tiefe Kopplung (Deep Coupling) der Rohdaten der GNSS (Code-, Phasen- und Dopplermessungen) und MEMS-Sensoren (Beschleunigungsmesser, Gyroskope, Magnetometer, Barometer) sowie Kameraoptik (Marker, Virtuelle Marker, visuelle Odometrie (VO)) hinzu.

Navigations-Zustandsvektor:
$$\mathbf{y}(t) = [x^e \ y^e \ z^e \ | \ \dot{x}^e \ \dot{y}^e \ \dot{z}^e \ | \ r^e \ p^e \ y^e \ || \ \ddot{x}^e \ \ddot{y}^e \ \ddot{z}^e \ | \ \omega_{eb,x}^b \ \omega_{eb,y}^b \ \omega_{eb,z}^b \ | \ \mathbf{s}]^T \quad (1)$$

Dieser umfasst in obiger Reihenfolge der Parameter in $\mathbf{y}(t)$ (1) die 3D-Position, -Geschwindigkeit, -Orientierung, -Beschleunigung und -Drehraten des sich in allgemeiner Bewegung, im Sonderfall in Ruhe, befindlichen Objekts (Body (b)).

Für GNSS und weitere, Positions- und Geschwindigkeitsinformation liefernde Komponenten (WiFi, Odometer) ist auch eine enge Kopplung (Tight Coupling) mit den übrigen Sensordaten möglich. Die mathematische Modellbildung der Sensorkomponenten erfolgt bei NAVKA zudem in einem Multisensor-Multiplattform-Design.

Die Navigationskomponente des Regelkreises der Flugsteuerung hat die Aufgabe der fortlaufenden Bestimmung des Zustandsvektors $\mathbf{y}(t)$ der auf dem Body (b) verorteten, multisensorischen Navigationsplattformen oder Einzelsensoren (s. Abb. 1). Als zweite Komponente tritt im NAVKA-Konzept die algorithmische Modellie-

Bei diesem weiteren Alleinstellungsmerkmal erhalten die GNSS-, MEMS- und MOEMS- bzw. Kamera-Einzelsensoren zum einen den Plattformindex (i), unter dem die Sensorposition und -Orientierung auf der j-

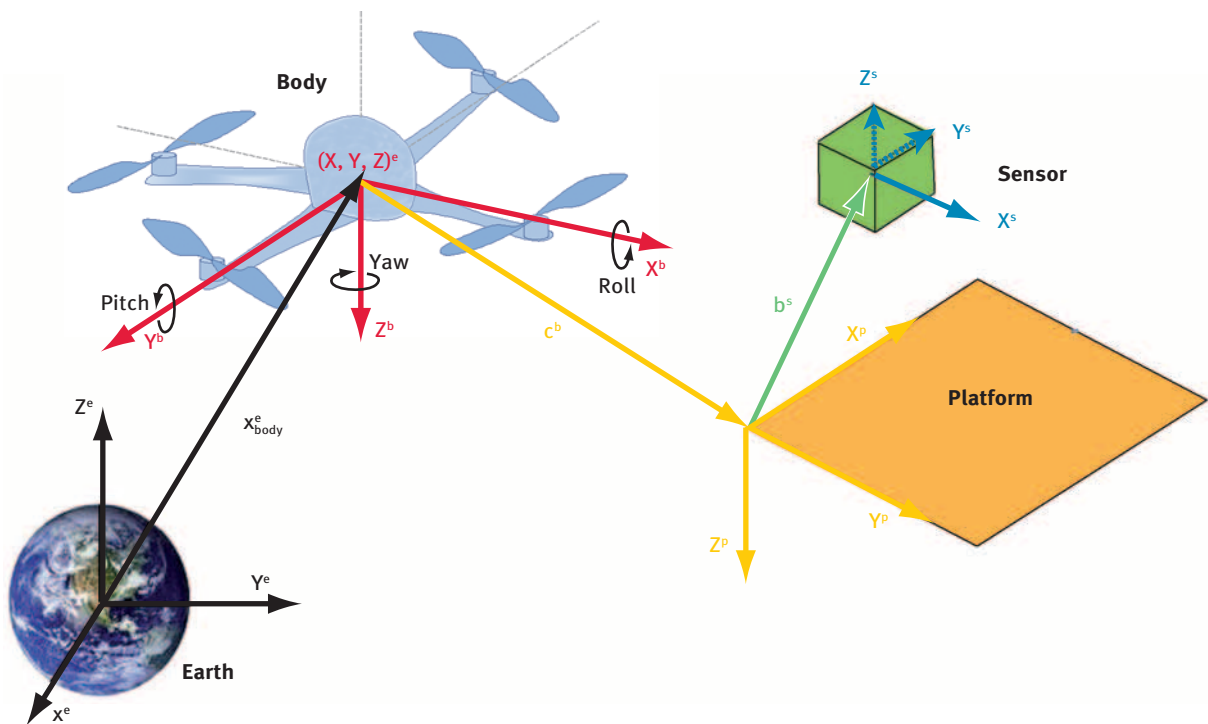


Abb. 1: Navigation eines Bodys (b) mit verteilten GNSS/MEMS/MOEMS-Sensoren und Plattformen am Beispiel eines Quadropters (n = 4 Propeller Multikopter) UAV

ten Plattform $p(j)$ verwaltet wird. Der Index j der j -ten Plattform – im Sonderfall auch ein Smartphone oder Tablet – verwaltet die Position und Orientierung der Plattform im Objektkoordinatensystem („Body-System“ (b), s. Abb. 1). Erst dieses algorithmische Design (NAVKA „Leverarm-Konzept“) ermöglicht die Schätzung des weit über die 3D-Position hinausreichenden allgemeinen 15-parametrischen Navigationszustandsvektors \mathbf{y} aus einer beliebigen Anzahl auf dem zu navigierenden Body (b) verteilter Plattformen und Sensoren. Die „Verortung“ der verteilten Sensoren umfasst dabei bis zu elf Leverarm-Parameter. Der – z. B. im Fall Fahrzeugnavigation – auftretende Sonderfall Plattform $p(j)$ gleich Body (b) ist dabei mit eingeschlossen. Die dritte Komponente und die weiteren NAVKA-Alleinstellungsmerkmale beziehen sich auf folgende Eigenschaften zur Zustandsschätzung $\mathbf{y}(t)$:

- Integration von Zusatzinformationen zum geometrischen und physikalischen Bewegungsprofil
- Einbeziehung von Zusatzsensoren/-Informationen zum Raumbezug (Gleichungen/Ungleichungen)
- Einbeziehung von Sensorkalibrierungsparametern s und -algorithmen
- robuste Schätzung des Zustandsvektors $\mathbf{y}(t)$ und auftretender stochastischer Modellkomponenten

Physikalische Grundlagen und Konzept der NAVKA-Flugsteuerung

Bei einem Multikopter mit $i = 1, 2 \dots n$ Propellern (s. Abb. 1) ist die Flugdynamik einzig über die Propellerdrehzahlen ω_i als Stellgrößen steuerbar. Ausgehend von den propellerspezifischen, festen Größen Schubbeiwert c_i und Propeller-Radius R_i , gilt für dessen Schubkraftvektor \mathbf{T}_i^b im Body-Koordinatensystem (b) des UAV oder bemannten Multikopters:

Mit α_i bzw. δ_i werden die azimutale bzw. vertikale Orientierung der i -ten Propellerachse und mit r_i der 3D-Positionsvektor des Propellers im Bodysystem (b) bezeichnet. Analog zur o. g. Behandlung verteilter Navigationssensoren erlaubt die NAVKA-Flugsteuerung auch ein freies Design zur räumlichen Verteilung und Orientierung der n Propeller. Die entsprechenden fünf geometrischen Konfigurationsparameter pro Propeller sind r_i, α_i, δ_i . So kann z. B. der Nachteil eines unteraktuierten Flugsystems bzw. Bodys (b) bei einheitlicher Propellerausrichtung in z -Richtung ($\delta_i=0^\circ$), wo nur vier der sechs Freiheitsgrade direkt regelbar sind, aufgehoben werden. Als freie physikalische Konfigurationsparameter treten propellerweise c_i und R_i hinzu. Die über die individuellen Propellerdrehzahlen ω_i erzeugten Schubkräfte \mathbf{T}_i^b (2a) und die direkt daraus resultierenden Propellerdrehmomente \mathbf{M}_i^b führen auf die folgenden Newton'schen bzw. Euler'schen Bewegungsgleichungen des Multikopter-Bodys (b):

Mit der Überführung der Beschleunigung $\ddot{\mathbf{x}}^i$ (2b) vom Inertialsystem (i) in das der Navigation mit $\mathbf{y}(t)$ (1) gegenständliche erdfeste System (e) treten infolge der Rotation \mathbf{R}_i^e zwischen inertialem (i) und erdfestem (e) System in (2b) noch die von den Navigationszustandsgrößen $\mathbf{y}(t)$ (1), Geschwindigkeit $(\dot{x}^e \dot{y}^e \dot{z}^e)$ und Position $(x^e y^e z^e)$ abhängigen Coriolis- bzw. Fliehkraftterme hinzu. Links sind – neben dem durch die gravitative Beschleunigung \mathbf{g}^e hervorgerufenen Kraftanteil – noch weitere Luftwiderstands- und windinduzierte Umgebungs-(Environment)-Kräfte \mathbf{F}_{env}^b zu berücksichtigen. Mit m und \mathbf{J} werden die Masse und der Trägheitstensor des UAV bzw. des bemannten Multikopter-Bodys (b) bezeichnet. Auch bei den Drehmomenten (2c) kommen weitere – zum Teil vom Drehsinn d_i (+1 rechts-, -1 linksdrehend) abhängige – propellerinduzierte, aerodynamisch bedingte Drehmomente $\mathbf{M}_{env}^b(d_i)$ wie Roll-, Brems- und Horizontalkraft-Moment hinzu.

Schubkraftvektor:
$$\mathbf{T}_i^b = \rho \cdot \pi \cdot c_i \cdot R_i^4 \omega_i^2 \cdot (\cos \alpha_i \cdot \sin \delta_i, \sin \alpha_i \cdot \sin \delta_i, -\cos \delta_i)^T \quad (2a)$$

Newtonsche Bewegungsgleichung:
$$\mathbf{F}_{ges}^b = \sum_1^n \mathbf{T}_i^b + m \cdot \mathbf{R}_e^b(r, p, y) \cdot \mathbf{g}^e + \mathbf{F}_{env}^b = m \cdot \mathbf{R}_e^b \cdot \mathbf{R}_i^e \cdot \ddot{\mathbf{x}}^i \quad (2b)$$

Eulersche Bewegungsgleichung:
$$\mathbf{M}_{ges}^b = \sum_1^n \mathbf{M}_i^b + \mathbf{M}_{env}^b(d_i) = \boldsymbol{\omega}_{ib}^b \times (\mathbf{J} \cdot \boldsymbol{\omega}_{ib}^b) + \mathbf{J} \cdot \dot{\boldsymbol{\omega}}_{ib}^b \quad (2c)$$

Die Bewegungsgleichungen (2b, c) implizieren ein, bezüglich der sechs Freiheitsgrade – der drei 3D-Translationen (x^e, y^e, z^e) und der drei 3D-Rotationen (r^e, p^e, γ^e) – inhärent instabiles, gekoppeltes Differenzialgleichungssystem. Der Navigationszustandsvektor $\mathbf{y}(t)$ (1) des Bodys (b) ist daher als Gegenstand des Regelkreises der Flugsteuerung fortlaufend, standardmäßig in 400–1000 Hz, über die n Propellerdrehzahlen ω_i als Stellgrößen zu regeln. Als Regeldifferenz $\Delta\mathbf{y}(t)^e$ tritt mit

$$\text{Regeldifferenz: } \Delta\mathbf{y}(t)^e = \mathbf{y}(t)_{\text{Soll}}^e - \mathbf{y}(t)_{\text{Ist}}^e \quad (3a)$$

die Differenz zwischen dem mit der multisensoriellen Navigationskomponente der Flugsteuerung festgestellten Istzustand $\mathbf{y}(t)_{\text{Ist}}^e$ und dem – per Fernsteuerung, Piloten-Joystick oder Autopiloten – fortlaufend angeforderten Sollzustand $\mathbf{y}(t)_{\text{Soll}}^e$ auf. Aus den Bewegungsgleichungen (2b, 2c) und der Schubgleichung (2a) lässt sich der folgende schematische Ansatz für die NAVKA-Flugsteuerung gewinnen:

Realisierung von NAVKA-Flugsteuerung und Flugobjekten

Abbildung 2 zeigt die auf den Grundgleichungen zur Regelung (3a–d) basierende kaskadierende Regelung der NAVKA Flight-Control für den Abschnitt der Regelstrecke der Lage(Attitude)-Regelung, wie sie derzeit in

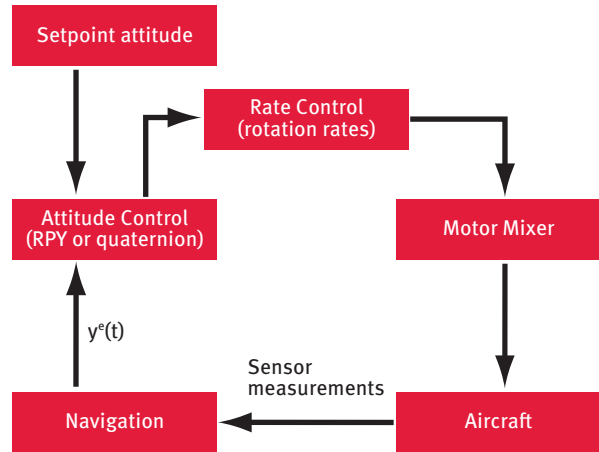


Abb. 2: NAVKA Flight-Control: Regelstrecke der Lage-(Attitude) Steuerung im kaskadierenden NAVKA PID-Regler

Ausgangsansatz NAVKA Flugsteuerung: $[\Delta\mathbf{T}, \Delta\mathbf{M}]^T = \mathbf{F}(m, \mathbf{J}, R_i, c_i, \mathbf{r}_i, \omega_i, \mathbf{y}(t)^e, \dot{\mathbf{y}}(t)^e \mid \Delta\mathbf{y}(t)^e) = \mathbf{F}(\mathbf{c}(t) \mid \Delta\mathbf{y}(t)^e) \quad (3b)$

$$[\Delta\mathbf{T}, \Delta\mathbf{M}]^T = \mathbf{K} \cdot [\Delta\omega_1, \dots, \Delta\omega_n]^T = \mathbf{F}(\mathbf{c}(t) \mid \Delta\mathbf{y}(t)^e) \quad (3c)$$

$$[\Delta\omega_1, \dots, \Delta\omega_n]^T = \mathbf{K}^+ \cdot \mathbf{F}(\mathbf{c}(t) \mid \Delta\mathbf{y}(t)^e) \quad (3d)$$

Der Ansatz (3a, b, c, d) zur Flugsteuerung führt in (3d) auf die gesuchten Stellgrößen der fortlaufenden Änderungen $[\Delta\omega_1, \dots, \Delta\omega_n]^T$ der n Propellerdrehzahlen in Funktion der auf den Navigationszustand $\mathbf{y}(t)^e$ (1) bezogenen Regeldifferenz $\Delta\mathbf{y}(t)^e$ (3a). Mit \mathbf{K}^+ (3d) wird die, wegen der, infolge der Überbestimmtheit in (3c) nicht eindeutigen Stellgrößen $\Delta\omega_i$, üblicherweise verwendete singuläre Pseudoinverse der Matrix \mathbf{K} bezeichnet. In Hinblick auf verbesserte Flugeigenschaften und geringere Relaxationszeiten in der Motorsteuerung liefert \mathbf{K}^+ die fortlaufende Minimierung der Summe der quadratischen Drehzahländerungen $\Delta\omega_i^2$. [3] Der Ansatz (3a–d) wurde im derzeitigen Entwicklungsstand der NAVKA Flight-Control NAVKArine-FC4 (s. Abb. 3, links) als kaskadierender PID Regler realisiert. Die Kaskadierung in eine Positions- und eine Lage(Attitude)-Regelstrecke ergibt sich aufgrund der o. g. Unteraktuierung des Bodys (b) bzw. Flugsystems bei standardmäßigem Design einer durchgehend einheitlichen Propellerausrichtung in z-Richtung ($\delta_i=0^\circ$).

Form eines PID-Reglers für eine redundante Zahl von Navigations- und Flugsteuerungseinheiten („Flight-Control-Boxen“) nach Abbildung 3, realisiert ist.

Die Plattformredundanz sorgt insbesondere hinsichtlich bemannter Flüge für eine erhöhte technische Sicherheit. Wie in Abbildung 4, rechts am Beispiel der Verwendung der NAVKArine-FC4 auf einem der NAVKA-Test UAV zeigt, können die entwickelten Flight-Control-Boxen (s. Abb. 4, links) auch lediglich als navigationsensor-redundante Einzelplattformen zum Einsatz kommen.

Abbildung 4 zeigt links die Flight-Control Hardware NAVKArine-FC4 in Gestalt der geöffneten Box. Neben dem Mikrocontroller (ARM Cortex-M4) sind in der oberen Lage die MEMS InvenSense Sensorhardware, das GNSS-Board (u-blox L1 NEO M8) sowie das Funkmodul zu erkennen. Abbildung 4 zeigt rechts die auf dem NAVKA Klein-UAV ($n = 6$ Propeller) verbaute NAVKArine-

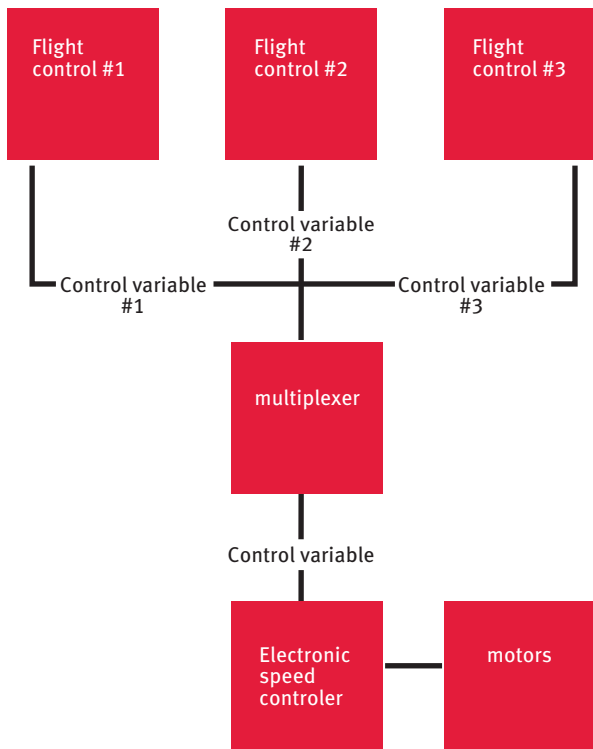


Abb. 3: NAVKA Flight-Control: Regelungsdiagramm für plattform-redundante Flight-Control-Boxen



Abb. 5: UAV VC 25 (25 kg, 3 m, n = 18 Propeller) (oben); bemannter Multikopter VC 200 (Payload 450 kg, n = 18 Propeller) (unten) (Fotos: R. Jäger)



Abb. 4: NAVKA Flight-Control Box NAVKArine-FC4 (links) (Foto: J. Zwiener); NAVKA Klein-UAV mit NAVKArine-FC4 Box (rechts) (Foto: R. Jäger)

ne-FC4 mit Funkantenne und GNSS-Antennenkabel an den entsprechenden Schnittstellen-Ausgängen.

Abbildung 5 zeigt oben das Test-UAV VC 25 (n = 18 Propeller, Durchmesser 3 m, Tragkraft bis 50 kg) und unten den als bemanntes Flugobjekt VC 200 im Rahmen der ZIM-Verbundforschung (ZIM VP2957702TL2) bei sechs Konsortiumpartnern realisierten e-Multikopter VC200 (n = 18 Propeller, Tragkraft 450 kg). Bei diesem ZIM-Projekt wurde NAVKA-seits ebenfalls die zugehörige Navigations- und Steuerungskomponente als Plattform-redundante Flight-Control entwickelt.



Fazit und Ausblick

Im Rahmen des IAF-Projektes NAVKA wurde am Institut für Angewandte Forschung (IAF) eine allgemeine Flight-Control für – aus Sicherheitsgründen insbesondere im bemannten Flug – redundant verteilte GNSS/MEMS Navigationssensoren und -Plattformen realisiert. Redundanz sowie freie Konfigurierbarkeit besteht für die NAVKA Flight-Control auch in Bezug auf n Propeller. Damit leistet die NAVKA Flight-Control neben einer so möglichen Aktuiertheit des Flugsystems auch die Skalierbarkeit von Multikopter-Flugsystemen, die mit der NAVKA Flight-Control per Remote Control, per Piloten-

Joystick (bemannt) oder im autonomen Flug (Auto-Pilot) betrieben werden können. Skalierbarkeit besteht in Bezug auf Größe, Einsatzbereich und Systemdesign. Neben bemanntem Flug bestehen so in vielen Gebieten Einsatzpotenziale für UAV-Systeme (UAS). Beispielhaft zu nennen sind 3D out-/indoor-Mapping-UAS mit Kameras und Laserscannern, ABC-Geosensing UAS, Inspektions-UAS für Bauwerke, UAS für out-/indoor-Facility Management und Observierung von Produktionsabläufen, UAS zur Personenbergung bei diversen SAR-Szenarien (Save&Rescue), Feuerbekämpfungs-UAS, Transport-UAS, UAS für die Filmbranche, UAS in Land- und Forstwirtschaft und vieles mehr. Die gegenwärtigen FuE zur NAVKA Flight-Control sind mit der Aufdeckung und Regelung von Änderungen in Masse und Trägheitstensor von UAS und bemannten Multikoptern befasst. Darüber hinaus steht die Erweiterung der Navigationskomponente um optische Sensoren (MOEMS, Kameras, Laserscanner) im Fokus. Damit wird die Flugfähigkeit von UAS sowie bemannten Systemen in GNSS abgeschatteten Bereichen

verbessert. UAS können damit automatisierte Anflug- und Landemanöver auf Objekten (z. B. bewegten Fahrzeugen für SAR) durchführen und schließlich wird so in der FuE z. B. deren Indoorfähigkeit erschlossen.

Literatur

- [1] ESNC 2015 Website, www.esnc.info/index.php?anzeige=bawue14.html
- [2] R. Jäger, *Navigation mit verteilten GNSS/MEMS Sensoren - Mathematische Modelle, Algorithmen und Anwendungspotenziale*, Horizonte 43(2014), ISSN 1432-0174, S. 7–10.
- [3] J. Zwiener, R. Jäger, *Flight-Control and Navigation for Scalable and Arbitrarily Dimensioned UAV and Manned Multicopters*, Proceedings of Interexpo-GeoSiberia 2015, April 2015, Siberian State Academy of Geodesy (SSGA), ISBN 978-5-87693-803-9, S. 98–108.

Verantwortung. Chance. Leidenschaft. Machen. Zukunft. Veränderung.
Energie. Netzwerk. Bewegen. Innovation. Sicherheit. Team >

Gestalten Sie mit uns die Energiewelt von morgen. Die EnBW ist eines der bedeutendsten Energieversorgungsunternehmen in Deutschland. Wir werden viel bewegen, bauen erneuerbare Energien aus, machen unsere Städte nachhaltiger und entwickeln für unsere Kunden intelligente Energieprodukte. In dieser sich stark verändernden Energiewelt stellen wir auch weiterhin eine zuverlässige Versorgung sicher.

Dazu brauchen wir Talente, die ihr Fachwissen und neue Impulse einbringen. Ob **Praktikum**, **Abschlussarbeit** oder **Werkstudententätigkeit**: Wir bieten Ihnen spannende Perspektiven und Freiraum für eigene Ideen.

Machen Sie mit und entdecken Sie die Vielfalt der EnBW unter www.enbw.com/karriere



— EnBW

Abstract

The NAVKA navigation technologies for distributed GNSS/MEMS/MOEMS sensors, which started being developed at the Institute of Applied Research (IAF) of the Karlsruhe University of Applied Sciences in 2008, were the regional winners in Baden-Württemberg and were also on an international level, from among more than four hundred competitors, awarded Bronze at the European Satellite Navigation Competition (ESNC) 2014.[1] The NAVKA flight-control system (algorithms, software and hardware) is one part of the above mentioned technologies. Based on other previous research and developments on UAV within the NAVKA project, it was further developed in the included ZIM project under the project leadership of the author. The flight-control system can be used for the navigation and control of UAV and manned multicopters as objects. The multicopters can be designed to be scalable in respect to their propeller design, applications, size and payload, sensor and system equipment. The NAVKA flight-navigation and -control system is based on redundant GNSS and MEMS sensors. Currently cameras/MOEMS and laserscanning sensors are being prepared. Changes in the payload and physical properties of the inertia tensor, respectively of UAV and manned multicopter body (b) are detected and considered automatically. The mathematical models of the navigation and control algorithms, the usability of the flight-control system, and further developments for the NAVKA flight control system are presented and discussed.

Zusammenfassung

Die 2008 am Institut für Angewandte Forschung (IAF) der Hochschule Karlsruhe begonnenen Entwicklungen von Navigationstechnologien für verteilte GNSS/MEMS/MOEMS-Sensoren und Plattformen wurden beim European Satellite Navigation Competition (ESNC) 2014 in Berlin als Landessieger Baden-

Württemberg sowie – auf internationaler Ebene unter mehr als 400 Mitbewerbern – gleichzeitig mit Bronze ausgezeichnet. Das NAVKA-Flugsteuerungssystem (Algorithmen, Software und Hardware) wurde aufbauend auf bestehende UAV-Navigationsentwicklungen im Rahmen des ZIM-Projekts Volokopter unter der Leitung des Autors weiter vorangetrieben. Das NAVKA-Flugkontrollsystem (Flight-Control) kann für die Navigation und Steuerung von Multicopter-UAV sowie bemannten Multikoptern als zu navigierende Bodys (b) eingesetzt werden. Die Multicopter können mittels NAVKA Flight-Control in Bezug auf Propellerdesign, Größe, Anwendungen, Zuladung und Sensorik skalierbar gehalten werden. Das Flugsteuerungssystem basiert auf redundant verbauten GNSS- und MEMS-Sensoren, in Vorbereitung sind auch Kamera/MOEMS- und Laserscanning-Sensoren. Veränderungen in der Nutzlast und den physikalischen Eigenschaften des Trägheitstensors von UAV bzw. bemannten Multikoptern als Bodys (b) können detektiert und automatisch berücksichtigt werden. Die mathematischen Modelle der Navigations- und Regelalgorithmen, die Verwendbarkeit des Flugsteuerungssystems sowie die weiteren Entwicklungen des NAVKA-Flugsteuerungssystems werden vorgestellt und diskutiert.

Autor

Prof. Dr.-Ing. Reiner Jäger

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

Kontakt

Prof. Dr.-Ing. Reiner Jäger
Hochschule Karlsruhe – Technik und Wirtschaft
Hoffstraße 3
76133 Karlsruhe
E-Mail: reiner.jaeger@hs-karlsruhe.de
Telefon: 0721 925-2589

Fiber Spring – umweltverträgliche Fahrzeugsitze

Frank Pöhler, Florian Noga und Christian Langhorst

Ziel des Projekts „Fiber Spring“ ist die Entwicklung von faserbasiertem Polstermaterial zur Substitution von Polyurethan-Schaum, wie er zum Beispiel in Fahrzeugsitzen Verwendung findet (s. Abb. 1).



Abb. 1: Autositz aus Fasern (Foto: Fibre Engineering, Karlsruhe)

Die Hauptmotivation für diese Substitution ist der Umwelt- und Klimaschutz, zum einen durch die eingesetzten rezyklierten Kunststoffe selbst und zum anderen durch die damit einhergehende Gewichtsverringering der Fahrzeugsitze, die zu einer Reduzierung des Kraftstoffverbrauchs der Fahrzeuge führt. Es werden zwei

Arten von Fasern für die Polster verwendet, die unter Druck und Temperatur zu einem Kissen verschmolzen werden. Zum einen die Matrix-Faser (aus PPS), die als Füllfaser verwendet wird. Zum anderen eine Prototyp-Faser (aus PET), die mit einer Art Klebemantel umzogen ist. Sie dient der Faserbindung untereinander. Für den Einsatz als Fahrzeugsitz gilt neben der Rückstellkraft vor allem der Druckverformungsrest (DVR) als bestimmende Größe. Der DVR gibt an, wie viel an Höhe das Kissen nach einem Drucktest unter bestimmten Randbedingungen eingebüßt hat. Je kleiner der DVR, desto geeigneter ist das Material. Konkret wird der Druckverformungsrest ermittelt, indem die Ausgangshöhe eines Versuchskissens gemessen und dieses danach um einen bestimmten Prozentsatz zusammengedrückt wird. Die linke Aufnahme in Abbildung 2 zeigt ein Kissen mit dieser Belastung. Danach wird es – immer noch zusammengedrückt – in einer Klimakammer (s. Abbildung 2, rechts) zweiundzwanzig Stunden lang bei 70° C gelagert, ehe die Belastung entfernt und die verbleibende Kissenhöhe gemessen wird. Über eine Formel, die beide Höhen und den prozentualen Grad der Stauchung als Variablen enthält, kann der DVR schließlich berechnet werden.

In diesem Fall ist die Vorgabe, dass der DVR bei einer Temperatur von 70° C den Wert 25 unterschreiten muss. Hierbei ist die Temperaturgrenze eine Forderung der Automobilindustrie und richtet sich nach Umgebungstemperaturen, die in einem Automobil im Extremfall erreicht werden könnten. Der Wert 25 für den

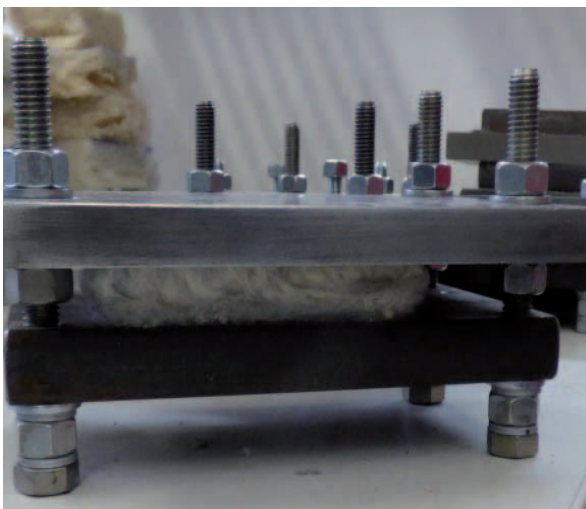


Abb. 2: Bestimmung des Druckverformungsrests (DVR) (Foto: Fibre Engineering, Karlsruhe)



(Foto: HsKA)

DVR stammt von einem Vorgängerprojekt. Er markiert den Beginn des Bereichs, in dem die entwickelten Faserkissen mit denen des bisher eingesetzten Kissenmaterials Polyurethan konkurrenzfähig sind. Der Hochschule Karlsruhe fällt neben der Untersuchung von Probekissen mittels eines Rasterelektronenmikroskops (REM; Beispielaufnahme in Abbildung 3) die Aufgabe der Analyse und Optimierung zu. Dazu wird mit der statistischen Versuchsplanung gearbeitet.

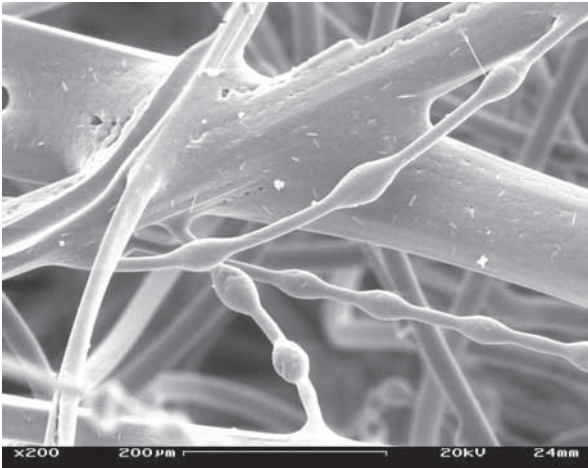


Abb. 3: REM-Aufnahme von verbundenen Fasern (Foto: HsKA)

Durch Vorüberlegungen und Tests wird die Anzahl potentieller Einflussgrößen (auf die Zielgröße DVR) auf drei bis vier reduziert und mit diesen Ergebnissen anschließend ein faktorieller Versuchsplan ausgearbeitet. Bei diesem werden die Messungen des DVR nach einem festgelegten Ablaufplan durchgeführt, indem eine festgelegte Anzahl von Einflussgrößen gezielt variiert wird. Die Abarbeitung und anschließende Auswertung dieses Versuchsplans zeigt, welche Einflussgrößen für sich allein oder in Kombination mit einer anderen Einflussgröße eine Wirkung auf die hier wesentliche Zielgröße DVR ausüben. Damit lässt sich gezielt eine Optimierung vornehmen, in dem die entsprechenden Einflussgrößen auf die entsprechenden Parameter eingestellt werden.

Abbildung 4 zeigt die Entwicklung des gemittelten DVR während des Projektzeitraums. Auf der Ordinate ist der DVR aufgetragen, während die fortlaufende Versuchsnummerierung auf der Abszisse die zeitliche Durchführungsreihenfolge der Versuche darstellt. Die horizontale Linie bei $\text{DVR} = 25\%$ ist die Grenze, ab der die Ergebnisse im gewünschten Bereich liegen. Es ist gut zu erkennen, dass sich der DVR in drei Stufen entwickelt hat. Zum Ende des Projektzeitraums konnten Versuchsmuster mit dem gewünschten DVR hergestellt werden.

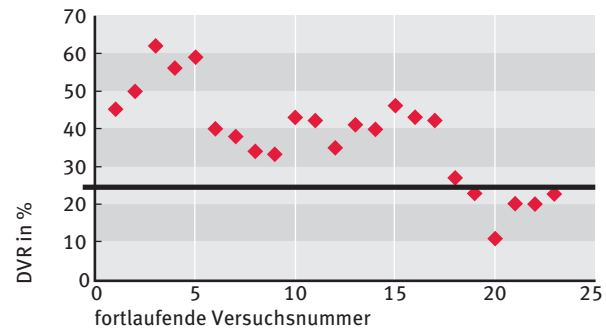


Abb. 4: Druckverformungsrest der getesteten Proben

Dieses Projekt wurde unterstützt durch das Förderprogramm „Umwelttechnik (EFRE) des Ministeriums für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg“ (Förderkennzeichen UT762) und in Kooperation mit den Unternehmen Fiber Engineering GmbH und Extrudex GmbH sowie dem Institut für Textil- und Verfahrenstechnik (ITV), Denkendorf, durchgeführt.

Abstract

The "Fiber Spring" project has the goal of replacing polyurethane cushions for car seats with three dimensional, elastic fiber structures with a low density. The project comprises three steps: development of suitable fiber combinations, optimization of the production process for the fiber cushions, and the configuration of the first prototype seats. The development of an alternative to polyurethane foam for car seats is shown using a statistical method for the design of experiments and electronic microscopy.

Zusammenfassung

Das Projekt „Fiber Spring“ hatte das Ziel, Polyurethanschaukissen in Fahrzeugsitzen durch elastische dreidimensionale Fasernetzwerke geringer Dichte zu ersetzen. Es teilte sich in drei Phasen auf: Entwicklung einer passenden Faserkombination, Optimierung des Faserkissenherstellungsprozesses und Herstellung erster Musterfahrzeugsitze. Mithilfe der statistischen Versuchsplanung und der Rasterelektronenmikroskopie wurde die Entwicklung von Alternativen zu Polyurethan-Schaum aufgezeigt.

Autoren

Prof. Dr.-Ing. Frank Pöhler

Professor an der Fakultät für Maschinenbau und Mechatronik der Hochschule Karlsruhe

Dipl.-Ing. Florian Noga

Christian Langhorst B.Eng.

Akademische Mitarbeiter an der Fakultät für Maschinenbau und Mechatronik

Kontakt

Prof. Dr.-Ing. Frank Pöhler
Hochschule Karlsruhe – Technik und Wirtschaft
Fakultät für Maschinenbau und Mechatronik
Moltkestraße 30
76133 Karlsruhe
E-Mail: frank.pöhler@hs-karlsruhe.de
Telefon: 0721 925-1846



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

LEITER- PLATTE + KARRIERE- LEITER

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

Entdecken auch Sie Ihre Formel für Zufriedenheit

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

Wir suchen regelmäßig Interessenten (m/w) 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 GmbH+Co. KG
Katrin Schmidt, Melanie Stock
Hauptstraße 1
79689 Maulburg
Tel.: +49 7622 28 3000
students@pcm.endress.com

MSC Software®

Adams Powerful Simulation for Mechanical Drive Systems

www.mscsoftware.com/de



Überzeugen durch Leistung

 **RUTRONIK**
ELECTRONICS WORLDWIDE

Elektronik bewegt die Welt. Wir bewegen die Elektronik.

Bewegen Sie mit!

Weltweit durchstarten ...

Ein globales Business mit großer Zukunft: die Distribution elektronischer Bauelemente. **Technische Beratung, Vertrieb, Produktmarketing** und **Logistik** sind die 4 Säulen unseres Handelsunternehmens. Neue, zukunftsweisende Technologien und Produkte sind die zentralen Komponenten unseres Erfolgs.

... mit Perspektive

Wir investieren mit qualifizierten Mitarbeitern in unsere Zukunft. In einem inhabergeführten Unternehmen mit flachen Hierarchien und mit Perspektiven für steile Karrieren bietet **RUTRONIK** vielfältige Karrierechancen: Praxissemester, Abschlussarbeiten oder Traineeprogramme für Absolventen, außerdem vielseitige Projekte im Ausland. Als Spezialist oder als Führungskraft – wer mit guten Ideen und Teamgeist in die erfolgreiche Zukunft starten will, ist bei uns richtig.

Bewegen Sie mit, kommen Sie zu **RUTRONIK!**



Laden Sie sich das PDF unserer Broschüre herunter!

RUTRONIK Elektronische Bauelemente GmbH

Industriestraße 2 | 75228 Ispringen | Tel. +49 7231 801-1273 | career@rutronik.com | www.rutronik.com/karriere

Mechatronik-Simulation von Knickarmrobotern auf mobilen Plattformen

Martin Kipfmüller, Marc Schell und Aishe Toledo-Fuentes

Einleitung

Derzeitige Prognosen für die Anforderungen an moderne Fertigungsanlagen deuten darauf hin, dass eine immer größere Variantenvielfalt von Produkten auf ein und derselben Linie produziert werden muss. Um das zu realisieren wird einerseits ein wachsender Einsatz von Informationstechnologie in der Fertigung erwartet [1], andererseits ändern sich auch die Anforderungen an die Maschinen- und Handhabungseinrichtungen selbst: An einer Fertigungslinie, in der Maschinen über stationäre Handhabungseinrichtungen starr miteinander verkettet sind, bestehen nur wenige Freiheitsgrade für zusätzliche Flexibilisierung. Geringere Automatisierungsgrade werfen aber in Hochlohnländern wie Deutschland sofort die Frage nach der Wirtschaftlichkeit der Lösungen auf.

Deshalb setzen führende deutsche Unternehmen im Bereich der Handhabungstechnik wie KUKA Roboter GmbH und Schunk GmbH zusehends auf Handhabungseinrichtungen/Knickarmroboter auf mobilen Plattformen.[2, 3] Bei der Entwicklung dieser Plattformen besteht ein grundsätzliches mechanisches Problem: Eine stabile Fahrdynamik lässt sich am besten mit einem Fahrzeug erreichen, dessen Verhältnis von Grundfläche zu Höhe des Schwerpunktes groß ist. Die typischen Höhen, in denen Handhabungseinrichtungen agieren müssen, um sinnvoll mit bestehenden Maschinen und dem Menschen interagieren zu können, verlangen allerdings hoch liegende Schwerpunkte der Fahrzeuge. Damit steigt wiederum die Grundfläche des Fahrzeugs, um eine stabile Fahrdynamik zu erzeugen. Ein Fahrzeug mit großer Grundfläche ist in einer Produktion allerdings mit hohen Kosten verbunden, da die Kosten von Fertigungsstätten pro Quadratmeter abgerechnet werden.

Um diesem Problem zu begegnen, untersucht die Hochschule Karlsruhe im Rahmen des vom Land Baden-Württemberg geförderten Projekts StabilRobot, wie Knickarmroboter mit einem hohen Schwerpunkt auf Plattformen mit geringer Grundfläche stabil bewegt werden können. Der Ansatz des Vorhabens ist die Übertragung des Funktionsprinzips eines Segways auf die vorliegende Problemstellung: Beim Segway wird ein mechanisch instabiles System durch aktive Regelung stabilisiert. Auch im vorliegenden Projekt soll

die Stabilisierung durch den geschickten Einsatz von Regelungstechnik erfolgen (s. Abbildung 1). Allerdings wird dabei weder die Aktorik des verwendeten Knickarmroboters noch die der Plattform verwendet, sondern es werden zusätzliche Aktoren zwischen Roboter und Plattform angebracht, um die Technik hersteller- und systemunabhängig zu gestalten. Die Entwicklung des Funktionsprinzips und der Regelungsalgorithmen erfolgt in einem mechatronischen Simulationsmodell, das in den folgenden Abschnitten näher beschrieben wird. Zum Abschluss des Projekts werden die Ergebnisse an einem realen Versuchsträger umgesetzt. An diesem Projekt ist das Institut für Technische Mechanik des Karlsruher Instituts für Technologie (KIT) als Partner bei der Auswahl, Modellierung und Anbringungsstrategie der Aktorik beteiligt. Außerdem ist das Unternehmen Hirschmann Automation and Control GmbH in das Projekt involviert. Es bringt sein Expertenwissen im Bereich der Messtechnik in das Projekt ein und ist auch potenzieller Anwender der entwickelten Strategien bei der mobilen Krantechnik.

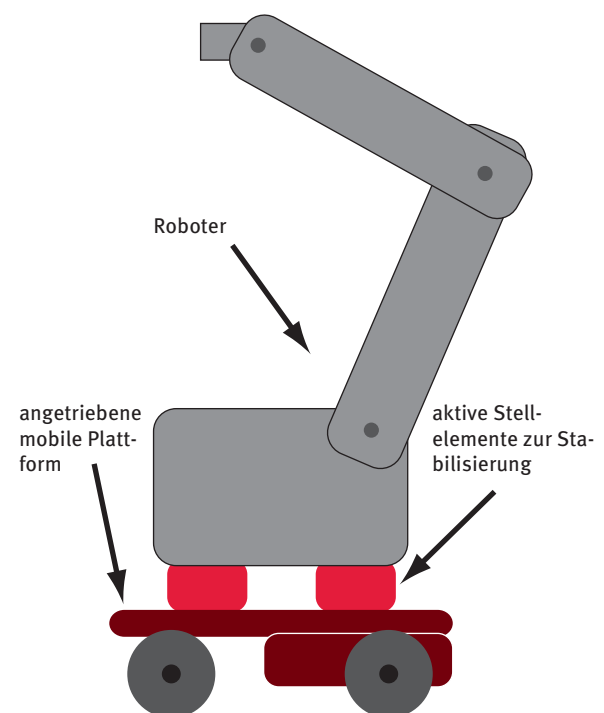


Abb. 1: Funktionsprinzip

Modellierung

Zur mechatronischen Modellierung von Industrierobotern auf Basis von Mehrkörpersystemen gibt es erstaunlicherweise bislang nur relativ wenige Arbeiten.[4] Die Modellierung erfolgte deshalb auf Basis einer eigenen, für Werkzeugmaschinen mit Parallelkinematik entwickelten Vorgehensweise.[5] Ausgangspunkt für die Modellierung des mechatronischen Systems sind dabei die mechanischen Bauelemente, an die dann in weiteren Modellierungsschritten die elektrischen Antriebe und Regelungen angeschlossen werden. Die Modellierung der Mechanik erfolgt mithilfe des Mehrkörpersimulationssystems MSC.Adams der MSC. Software GmbH, die das Projekt durch Beratungen zur optimalen Modellierung unterstützt.

Zunächst wurde die Mechanik des Industrieroboters modelliert. Dazu wurden die von Herstellern verfügbaren Daten zur Außenkontur, den verbauten Bauteilen wie Motoren und Getrieben sowie Messungen am realen Versuchsträger genutzt, um ein CAD-Modell des Roboters aufzubauen. Da Bauteile wie Verkabelungen, Verschraubungen usw. zu einer unnötig hohen Modellkomplexität geführt hätten, mussten teilweise auch Schätzungen vorgenommen werden, um die Massen und Massenträgheitsmomente seiner Teilkörper, die Lage der Schwerpunkte und die Lage der Gelenkachsen möglichst realitätsgetreu abzubilden. Die so entstandenen Körper wurden dann aus dem CAD-System in das Mehrkörpersimulationssystem MSC. Adams exportiert und dort zu einem Mehrkörpermodell zusammengeführt. Dabei wurden die Körper nicht nur kinematisch verknüpft, sondern die Steifigkeiten der Konstruktion wurden in den Gelenken kondensiert (s. Abbildung 2). Die Steifigkeiten zwischen zwei Körperschwerpunkten, die sich aus den Steifigkeiten der Struktur sowie der Gelenke/Lager ergeben, wurden mittels eines Feder-Dämpfermodells (Bushings) am Gelenkpunkt zwischen zwei Körpern angebracht, um so eine möglichst einfache Abbildung der Struktur nachgiebigkeit zu erreichen. Dieses Vorgehen ist möglich, weil die bei Robotern relevanten Eigenschwingungsformen, die mit der Regelungstechnik zu ungewollten Wechselwirkungen/Resonanzen führen könnten, maßgeblich durch sogenannte Starrkörperschwingungen, d. h. Schwingungen der einzelnen Körper des Roboters relativ zueinander, bestimmt werden. Die Steifigkeiten der Körper wurden mittels Finite-Elemente-Analysen am CAD-Modell, die Steifigkeiten der Lagerungen mittels Lagerkatalogen abgeschätzt. Zusätzlich stellte MSC.Software das Berechnungspaket Bearing Advanced Technology (Bearing AT) zur Verfügung, das eine Berechnung von Lagersteifigkeiten auf Basis von Finite-Elemente-Berechnungen erlaubt.

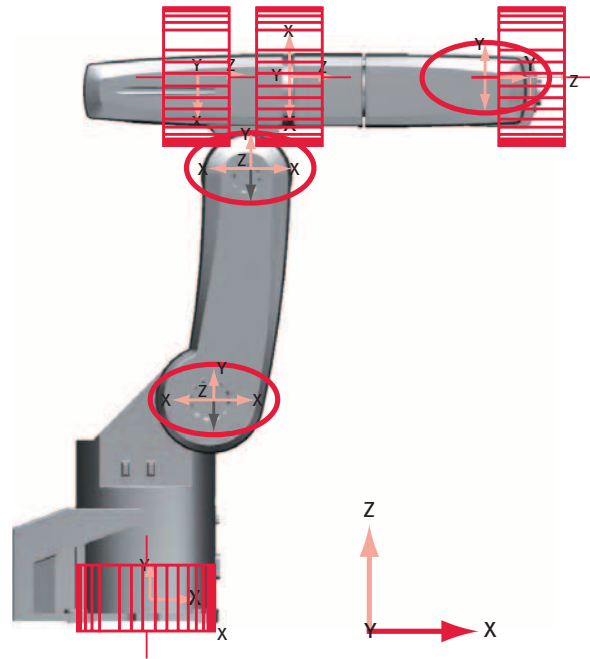


Abb. 2: Feder- und Dämpferelemente in den Lagern

Die so abgebildete Mechanik des Roboters wurde vor der Steigerung der Modellkomplexität zunächst mittels einer Messung überprüft. Als Messverfahren wurde die Modalanalyse verwendet, die eine gute Beurteilung zulässt, ob ein Simulationsmodell die wesentlichen dynamischen Eigenschaften eines Systems abbildet. Nach wenigen Iterationsschritten, in denen schwierig bestimmbare Steifigkeits- und Dämpfungparameter an das Messergebnis angepasst wurden, konnten die in Tabelle 1 gezeigten Ergebnisse erzielt werden. Bei der Anpassung der Steifigkeits- und Dämpfungswerte wurde nicht nur darauf geachtet, die Eigenfrequenzen aus der Messung zu treffen, sondern es erfolgte außerdem eine Zuordnung der Eigenschwingungsformen. Sowohl MSC.Adams als auch das verwendete Modalanalysesystem geben neben der Eigenfrequenz eine Animation der zugehörigen Schwingform aus. Erst über den Vergleich

		Reales System (Modalanalyse)	Simulation (Mehrkörpermodell MSC.Adams)	Abweichung
	Einheit	[1/s]	[1/s]	[%]
Eigenfrequenzen	ω_1	11,8	13,0	10,2
	ω_2	20,6	22,5	9,2
	ω_3	27,7	27,2	-1,8
	ω_4	61,7	68,3	10,7
	ω_5	83,0	88,9	7,1
	ω_6	99,8	103,4	3,6

Tab. 1: Vergleich Eigenfrequenzen

dieser Eigenschwingungsformen kann eine Zuordnung von Mess- zu Simulationsergebnissen erfolgen. Es konnte eine Genauigkeit von 10 % innerhalb der ersten Eigenschwingungsformen bis etwa 100 Hz erreicht werden. Höhere Schwingungsfrequenzen wurden nicht betrachtet, da für das dynamische Verhalten des mobilen Roboters vor allem die sogenannten Starrkörpermoden kritisch sind, also diejenigen Schwingungen, bei denen sich die Körper des Roboters relativ zueinander bewegen. Elastische Verformungen der Körper selbst sind bei den derzeit verhältnismäßig dickwandigen Strukturbauteilen weniger kritisch und werden daher nicht in der Simulation berücksichtigt.

In einem nächsten Schritt sollte der Einfluss der elektrischen Antriebe des Roboters und deren Regelung auf das System untersucht werden. Dabei ging es zunächst darum, eine Modellierungshypothese zu bewerten: Zwischen dem elektrischen Antrieb und dem angetriebenen Teil eines Industrieroboters sitzen typischerweise selbsthemmende Übersetzungsgetriebe mit einer Übersetzung von über 100:1. Die Modellierungshypothese besagt, dass diese Getriebe mechanisch induzierte Schwingungen soweit abschirmen, dass eine Wechselwirkung mit dem elektrischen Teil des Schwingungssystems nicht stattfindet. Um diese Hypothese zu überprüfen, wurde eine zweite Modalanalyse mit dem Roboter in Regelung (Bremsen offen) durchgeführt und mit den Ergebnissen der ersten Modalanalyse verglichen, bei der der Roboter ausgeschaltet war. Dabei konnten keine signifikanten Änderungen der dynamischen Systemeigenschaften beobachtet werden, weshalb auf eine Modellierung der Roboterantriebe im Rahmen dieses Projekts verzichtet wurde.

Entwicklung der Stabilisierungsalgorithmen mittels Co-Simulation

Um geeignete Algorithmen zur Stabilisierung des Roboters auf der mobilen Plattform zu finden, muss in einem nächsten Schritt ein mechatronisches Simulationsmodell aufgebaut werden, das die Wirkung der aktiven Regelung auf das Systemverhalten beschreibt. Dazu werden zunächst der Roboter und die Plattform als Mehrkörpermodelle in MSC.Adams modelliert. Aktoren, Antriebe und Regelungen werden im Programmsystem MATLAB/Simulink abgebildet, das für den Einsatz zur Regelungssimulation ausgelegt ist. Zur Integration der beiden Modelle wird das Mehrkörpermodell, das in MSC.Adams modelliert wurde, als Block in das Blockschaltbild des MATLAB/Simulink-Modells integriert und mit Ein- und Ausgängen versehen (s. Abb. 3). Über diese Ein- und Ausgänge können im Simulationstakt Daten aus dem Mehrkörpermodell ausgelesen werden (zum Beispiel Kräfte und Momente, die in Gelenken auftreten) und auch Daten in das Modell zurückgeführt werden (zum Beispiel die Kräfte/Momente, die durch einen Aktor oder Antrieb an einer bestimmten Stelle des Mehrkörpersystems aufgebracht werden). Durch diesen ständigen Datenaustausch wird eine parallele, gekoppelte Simulation von mechanischen und elektrischen/elektronischen Komponenten des Systems möglich.

In aktuellen Arbeiten wird diese sogenannte Co-Simulation genutzt, um mögliche Regelungsalgorithmen für das System zu bestimmen. Als Aktoren werden dabei auf Grundlage der Voruntersuchungen am Institut für Technische Mechanik des KIT zunächst piezoelektrische Aktoren getestet. Zum einen lassen sich diese Aktoren

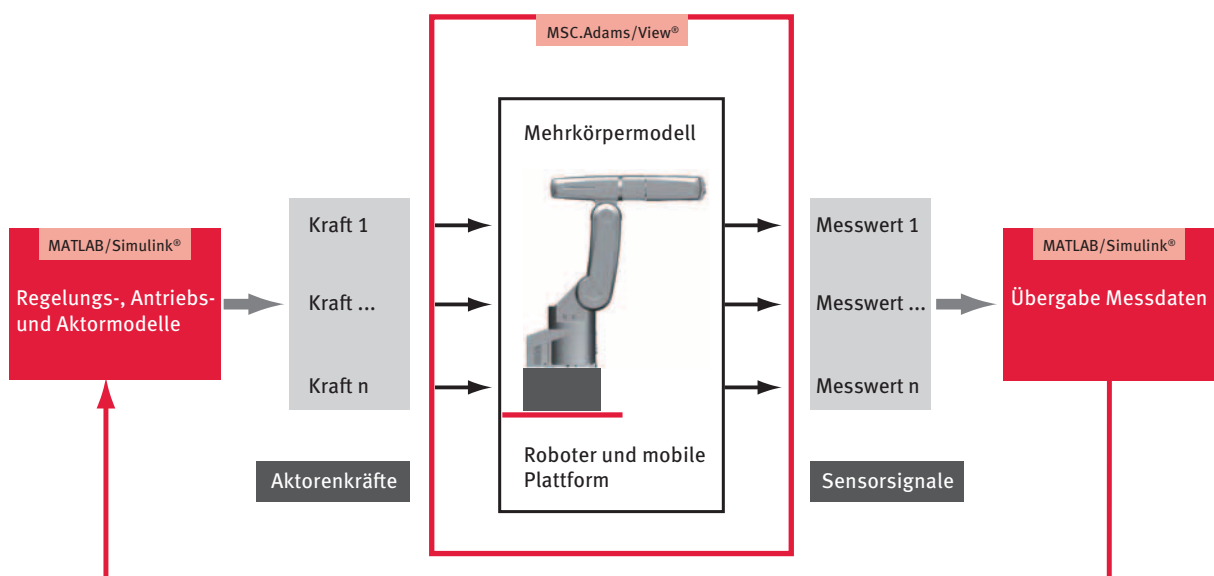


Abb. 3: Aufbau der Co-Simulation

aufgrund der elektrischen Ansteuerung relativ gut in einen Regelkreis integrieren: sie können hohe Kräfte aufbringen und benötigen keine zusätzlichen Aggregate, wie zum Beispiel fluidische Aktoren. Zum anderen haben die Aktoren relativ geringe Stellwege, das heißt, die Stabilisierung des Systems kann nicht über eine Positionsregelung, sondern muss über Kraftimpulse erfolgen.

Am Institut für Technische Mechanik des KIT wurde zum Test des Funktionsprinzips bereits ein analytisches Simulationsmodell aufgebaut. Erste Untersuchungen an diesem Modell haben gezeigt, dass das Funktionsprinzip – was die Theorie der Mechanik betrifft – sogar mit einem einfachen PID-Regler umsetzbar ist. In einem nächsten Schritt wird das Prinzip aktuell am beschriebenen, detaillierteren mechatronischen Simulationsmodell getestet, um eine höhere Prognosegüte über das reale Systemverhalten zu erreichen. Damit sollen dann verschiedene Regelungsstrategien getestet werden, bevor das System in einem letzten Schritt des Projekts auch als Hardware aufgebaut und getestet wird.

Literatur

- [1] T. Bauernhansl, M. ten Hompel, B. Vogel-Heuser, *Industrie 4.0 in Produktion, Automatisierung und Logistik, Anwendung, Technologien, Migration*, Springer Fachmedien Wiesbaden, 2014.
- [2] KUKA Roboter GmbH, *Mobile Robotik iiwa*, http://www.kuka-robotics.com/germany/de/products/mobility/KMR_iiwa/, abgerufen am 7.9.2015.
- [3] Schunk GmbH, *Mobile Greifsysteme*, http://www.schunk.com/schunk_files/attachments/Mobile_Greifsysteme_2013-02_DE.pdf, abgerufen am 7.9.2015.
- [4] M. Krauß, *Aufwandsoptimierte Simulation von Produktionsanlagen durch Vergrößerung der Geltungsbereiche von Teilmodellen*, Band: 184, Reihe: Forschungsberichte aus dem wbk, Institut für Produktionstechnik, Karlsruher Institut für Technologie (KIT), ISBN: 978-3-8440-2799-0, Juni 2014.
- [5] M. Kipfmüller, *Aufwandsoptimierte Simulation von Werkzeugmaschinen*, Band: 153, Reihe: Forschungsberichte aus dem wbk, Institut für Produktionstechnik, Karlsruher Institut für Technologie (KIT), ISBN: 978-3-8322-8764-1, Januar 2010.

Abstract

Modern production processes require high levels of flexibility which is offered by systems such as articulated robots on mobile platforms. In the project StabilRobot, stabilization strategies based on the Segway stabilization model are developed to achieve dynamic systems with small footprints. This article describes the development of a mechatronic simulation model which is used to implement the control algorithm for the active stabilization of the system.

Zusammenfassung

Knickarmroboter auf mobilen Plattformen bieten das Potenzial, steigende Flexibilitätsanforderungen moderner Fertigungssysteme zu erfüllen. Im Projekt StabilRobot werden Stabilisierungsstrategien entwickelt, die solche Systeme nach dem Vorbild eines Segways stabilisieren, um dynamische Systeme mit geringem Platzbedarf zu erhalten. Der vorliegende Artikel beschreibt die Entwicklung eines mechatronischen Simulationsmodells zur Regelung der aktiven Stabilisierung moderner Fertigungssysteme.

Autoren

Prof. Dr.-Ing. Martin Kipfmüller

Professor an der Fakultät für Maschinenbau und Mechatronik der Hochschule Karlsruhe

Aishe Toledo Fuentes Lic.-Ing.

Marc Schell B.Eng

Akademische Mitarbeiter an der Fakultät für Maschinenbau und Mechatronik

Kontakt

Prof. Dr.-Ing. Martin Kipfmüller

Hochschule Karlsruhe – Technik und Wirtschaft

Fakultät für Maschinenbau und Mechatronik

Moltkestraße 30

76133 Karlsruhe

E-Mail: martin.kipfmüller@hs-karlsruhe.de

Telefon: 0721 925-1905

Mikroroboter in der Medizintechnik und medizinischen Labortechnik

Michael Uhl, Julien Mintenbeck und Ramon Estaña

Einleitung

Die Analyse und Herstellung von biotechnologischem Material ist eine höchst anspruchsvolle Aufgabe. Der Einsatz von Automatisierungssystemen in der Biotechnologie erlaubt die reproduzierbare Ausführung der unterschiedlichsten analytischen und präparativen Aufgaben – von der Prüfung flüssiger Stoffe bis hin zur Züchtung von Gewebekomponenten. Des Weiteren kann hierdurch die Laborarbeit vereinfacht, beschleunigt und wesentlich effizienter gestaltet werden. Zusätzlich wird das Risiko einer Kontamination von Zellkulturen durch den Laboranten minimiert. Aufgrund der hohen Bandbreite an biotechnologischen Analysemethoden und Experimenten variieren die Verfahren von manuellen Aufgaben bis zur vollautomatischen Anlage, die für das Hochdurchsatz-Screening optimiert wurde. Daneben existiert eine Vielzahl an individuellen, nicht automatisierten Prozessen.

Die Grundidee besteht darin, ein modulares System zu entwickeln, mit dem verschiedene Laboraufgaben durchgeführt werden können. Das Ziel ist also nicht, ein Produkt für die Massenproduktion zu entwickeln, son-

dern für Anwendungen mit geringem Durchsatz. Dies erfordert ein System, das für diverse Anwendungen ohne größeren Aufwand angepasst werden kann. Realisiert wird dieses Ziel durch mehrere Systemebenen. Auf der untersten Ebene befindet sich die Arena mit den jeweiligen Modulen. Das Kernelement des Systems ist die Trägereinheit. Die Funktionseinheit wird auf die Trägereinheit montiert und bildet somit die oberste Ebene. Trägereinheit und Funktionseinheit bilden gemeinsam den Roboter, genannt „Microman“. Die Arena, die auf einem Mikroskop-Tisch montiert ist, enthält ein Farbmuster, das als passives Roboternavigationssystem dient. Der „Microman“ kann dabei unter Verwendung von Farbsensoren seine aktuelle Position bestimmen und diese dem Master-PC übermitteln. Zur weiteren Ausstattung der Arena gehören verschiedene austauschbare Module wie Pipettenspitzen, Racks sowie ein Flüssigkeitstank und eine Ladestation für den Roboterakku.

Mechanischer Aufbau

Das Gehäuse des Roboters ist im Wesentlichen zylindrisch. Sowohl die Höhe als auch der Durchmesser des Roboters betragen 50 mm. Hinzu kommt noch die Rad-

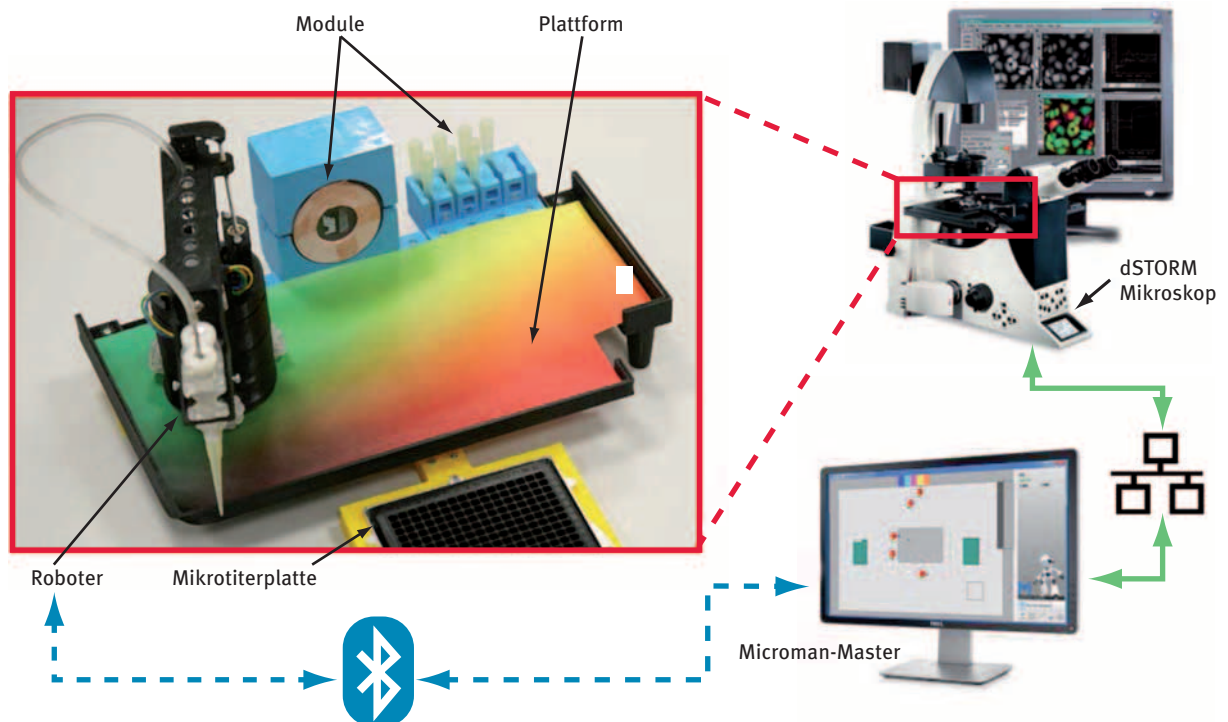


Abb. 1: Gesamtaufbau des „Microman“-Systems mit Roboterebene, Mikroskop und Master-PC (Foto: J. Mintenbeck)

breite von 8 mm. Somit besitzt der Roboter einen minimalen Kollisionsdurchmesser von 66 mm. Das Gehäuse besteht aus drei 3D-gedruckten Kunststoffteilen. Im Boden befinden sich Platinen mit LEDs, die für die notwendige Helligkeit der Farbsensoren sorgen. Im mittleren Teil des Roboters sind drei Antriebsmotoren und die Farbsensoren integriert. Diese sind jeweils um 120° zueinander versetzt. Direkt darüber ist in diesem Bauteil noch die Antriebsplatine angebracht. Ebenfalls befindet sich hier noch an der hinteren Außenseite die sekundäre Ladespule. Im oberen Teil des Gehäuses wurden der Akku, die Bluetooth-Einheit sowie die Steuereinheit platziert.

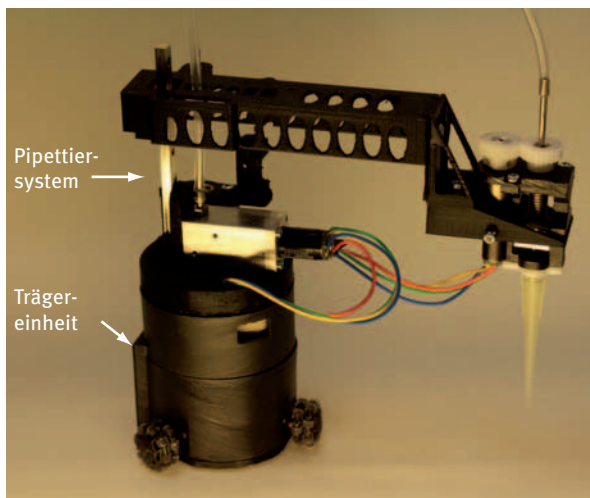


Abb. 2: erster Prototyp des Roboters „Microman“, bestehend aus der Trägereinheit und des Pipettiersystems (Foto: J. Mintenbeck)

Das Antriebssystem des Roboters wurde ausgehend von den am Karlsruher Institut für Technologie (KIT) entwickelten Wanda-Robotern grundlegend verändert. Hierbei wurde zwar der Radantrieb beibehalten, was eine schnelle Bewegung innerhalb der Arena ermöglicht, jedoch erhält der Roboter einen holonomen Antrieb. Dies bedeutet, dass sich der Roboter aus jeder Position innerhalb der Arbeitsfläche translatorisch als auch rotatorisch bewegen kann. Das hat den Vorteil, dass Positionierfahrten direkt an der Mikrotiterplatte ohne Rangierfahrten möglich sind. Ebenfalls ergeben sich für die Bahnplanung beim Einsatz mehrerer Roboter geringere Einschränkungen hinsichtlich der Kollisionsvermeidung. Jedes Rad besitzt zwei zueinander versetzte Reihen mit jeweils acht umlaufenden Rollen (s. Abb. 3). Somit ist gewährleistet, dass immer mindestens eine Rolle ausreichend Kontakt zur Fahrfläche hat und dadurch eine hohe Stabilität und Rundläufigkeit vorliegt. Das Rad besteht aus einem einzigen Teil. An der Lauffläche besitzt es Öffnungen, in die die Achsen der Rollen geklippt werden. In die Bohrung an der Innenseite der Räder werden die Motorwellen

mit dem Rad verbunden und durch einen Gewindestift fixiert. Das Rad besteht aus einem photopolymeren Kunstharz und wird mittels des sogenannten SLA-Verfahrens hergestellt. Als Achsen für die Rollen dienen Zylinderstifte. Angetrieben werden die drei Räder durch jeweils einen DC-Motor des Unternehmens Faulhaber GmbH & Co. KG, die im Gehäuse um 120° versetzt zueinander angebracht sind. Die Ansteuerung geschieht durch die darüber liegende Antriebsplatine.

Elektronik und Software

Analog zur Entwicklung der Elektronik wurde auch die Software des Roboters grundlegend überarbeitet. Hierbei wurde der bereits existierende Quellcode von der Programmierung in der Sprache C hin zur objektorientierten Programmierung in C++ portiert. Dabei wurde die für den Prozessor LPC1768 von NXP die frei verfügbare Softwarebibliothek ARM-mbed eingesetzt. Dieser Umstieg der internen Softwarestrukturen ermöglicht im Sinne des Softwareengineerings eine verbesserte Adaption neuer Funktionalitäten und eine verbesserte Wartung bzw. Fehleranalyse des Systems. Für die Kommunikation mit dem Roboter wurde eine Terminal-Schnittstelle implementiert, die mittels ASCII-Zeichenfolgen einzelne Befehle entgegennehmen und verarbeiten kann. Über eine Bluetooth- und USB-Verbindung können die einzelnen Roboter mit dem Zielsystem verbunden und konfiguriert werden. Damit der autonome fahrende Roboter mit ausreichend Energie versorgt werden kann, wurde die von vom Unternehmen Linear Technology und PowerbyProxi entwickelte indukti-

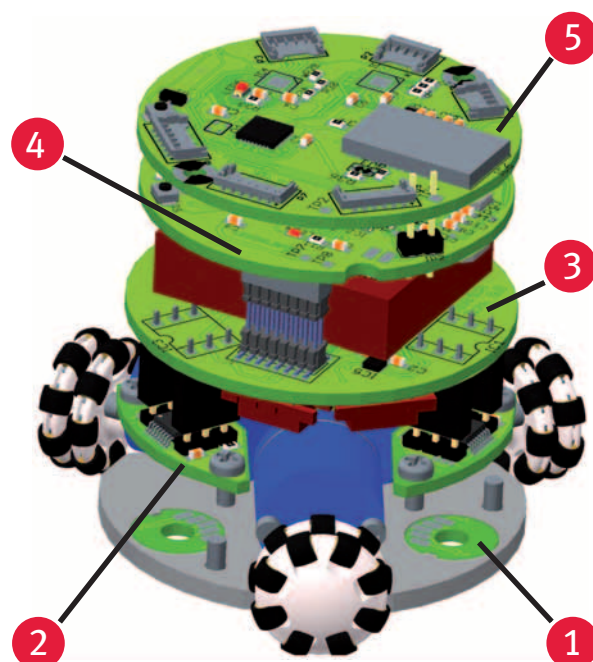


Abb. 3: CAD-Modell der montierten Roboterelektronik mit LED-Platine (1), Farbsensoren (2), Antriebsplatine (3), Steuerplatine (4) und der Platine für die Funktionseinheit (5)

ve Ladetechnologie als Grundlage verwendet. Hierzu existieren prototypische Aufbauten der Sende- und Empfangsschaltung, die auf dem integrierten Schaltkreis LTC4120 basieren. Anhand zahlreicher elektrischer Simulationen wurde zunächst die entsprechende Schaltung entworfen und anhand von Funktionstests mit einem 400-mA-LiPo-Akku optimiert. Wie bereits erwähnt, befindet sich dabei die Sekundärspule auf der Rückseite des Roboters. Die primäre Spule hingegen ist in einem Kunststoffgehäuse fest an der Arena montiert.

Navigationssystem

Die Positionierung des Roboters auf der Arena wird durch drei Farbsensoren sowie eines sich auf der Arena befindenden Farbfeldes ermöglicht. Die Farbsensoren messen dabei die aktuellen Lab-Farbraumwerte des Farbfeldes. Durch ein vorausgegangenes Vermessen des Farbfeldes, das mithilfe einer 3D-Koordinatenmessmaschine durchgeführt wurde, kann so jedem Farbwert genau ein räumlicher XY-Wert zugeordnet werden. Für die Realisierung wurden Versuche mit verschiedenen Farbsensoren, Farbfeldern und unterschiedlicher Beleuchtung durchgeführt. Damit bei allen Messungen eine konstante Helligkeit vorliegt, besitzt der Aufbau je Farbsensor vier separat ansteuerbare SMD-LEDs sowie eine 2 mm dicke Glasscheibe zum Schutz. Messungen zeigen, dass eine minimale Roboterbewegung von bis zu 0,4 mm registrierbar ist. Die Reproduzierbarkeit der Messergebnisse wurde ebenfalls untersucht und ist für die aktuelle Anwendung ausreichend. Entscheidend ist, dass bei dem verwendeten Setup vor den Farbmessungen ein Referenzweiß einmalig gemessen werden muss. Dies ist notwendig, um die vom Sensor erhobenen XYZ-Farbwerte in den Lab-Farbraum konvertieren zu können.

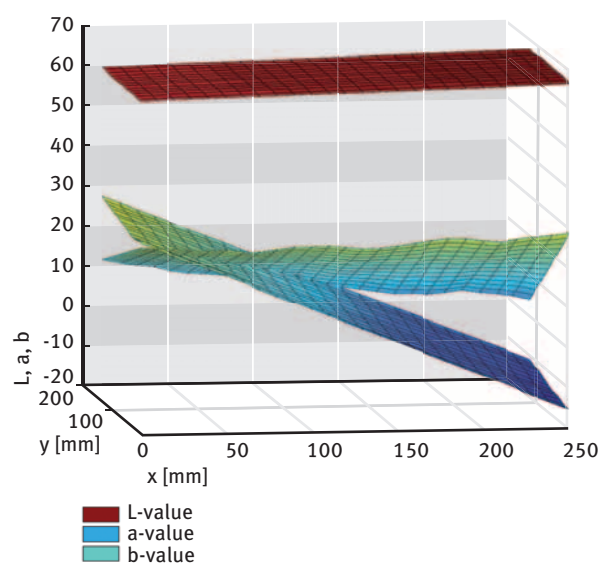


Abb. 4: linearisierte Kennfelder der gemessenen L-, a-, b-Werte des Farbfeldes über den x- und y-Koordinaten dargestellt

Ergebnisse

Entscheidend für die Anwendung des „Microman“ im Zell-Screening ist ein hochpräzises Pipettiersystem. Aus diesem Grund wurden zunächst die einzelnen Komponenten wie Pumpe, Pipettenwechselsystem und Höhenverstellung und anschließend das gesamte System getestet. Nachdem die einzelnen Komponenten angepasst und verbessert wurden, konnte eine ausreichende Genauigkeit der Höhenverstellung sowie die erforderliche Dichtigkeit des Wechselsystems erreicht werden. Zielvorgaben für die pneumatische Pumpe waren ein maximales Saugvolumen von 380 μl und eine Pipettiergenauigkeit von 0,1 μl . Um das maximale Gesamtvolumen überprüfen zu können, wurde die entsprechende Menge an Flüssigkeit angesaugt und anschließend ausgestoßen. Es zeigte sich, dass die gesamte Flüssigkeit korrekt pipettiert wurde. Um nachzuweisen, dass die geforderte Pipettiergenauigkeit erreicht wurde, diente der Vergleich einer optischen Vermessung der Flüssigkeit in der Pipettenspitze mit dem theoretisch berechneten Wert. Die optische Messung wurde unter Verwendung eines an einen Rechner angeschlossenen Mikroskops durchgeführt. Auf der Grundlage eines entsprechenden Evaluierungsprogramms konnte der Beweis erbracht werden, dass der Füllstand hinreichend genau mit der Berechnung übereinstimmte. Die erfolgreiche Prüfung des gesamten Pipettiersystems erfolgte durch einen vollständig durchgeführten Arbeitsprozess. Entscheidend ist ebenfalls, wie lange der „Microman“ mit einem komplett geladenen Akku auskommt. Hierzu wurde der Roboter zunächst aufgeladen. Anschließend führte dieser ohne Unterbrechung eine Rotationsbewegung aus, bis der Akku zu schwach wurde und der Roboter anhält. Parallel hierzu wurde kontinuierlich der Ladezustand des Akkus abgefragt und visualisiert. Es zeigte sich, dass die Ladeinheit ausreichend dimensioniert wurde, zumal der Roboter zwischen den einzelnen Arbeitsschritten genügend Zeit hat, sich zur Ladestation zu begeben. Der Ladevorgang dauert etwa eine Stunde. Die Entladedauer ist abhängig von der Roboterbelastung. Wird der Roboter mit 20 % der maximalen Geschwindigkeit gefahren, hält er 68 Minuten durch. Bei 50 % sind es immerhin noch 42 Minuten. Die verwendeten Geschwindigkeiten entsprechen denen der aktuellen Anwendung. Abschließend wurde die Funktionalität des omnidirektionalen Antriebssystems kontrolliert. Diese Tests bestätigten, dass die Räder eine ausreichende Haftung auf der Glasplatte besitzen. Darüber hinaus hat sich gezeigt, dass der Roboter mit einer hohen Genauigkeit sowohl Rotations- als auch Linearbewegungen ausführen und dadurch eine maximale Geschwindigkeit von etwa 100 mm/s erreichen kann.

Abstract

In this article we present a new autonomous and mobile robot especially for research in the fields of biotechnology and miniaturized automation. The robot "Microman" has a modular structure with a basic and functional unit. It has an omni-directional driving system which makes the robot able to move in a very limited area. The robot also comes with a versatile arena with several application modules that guarantee autonomous work. For this project a cell screening application was selected. The mechanical and electrical design as well as the novel color-based navigation system and first results are all described in this article.

Zusammenfassung

In diesem Artikel wird ein neuartiger, autonomer und mobiler Roboter vorgestellt, der für die Forschung in der Biotechnologie im Einsatzbereich miniaturisierter Automation entwickelt wurde. Der Roboter „Microman“ selbst ist durch eine Träger- und Funktionseinheit modular aufgebaut. Durch ein omnidirektionales Antriebssystem ist der Roboter in der Lage, sich in einem sehr eingeschränkten Bereich zu bewegen. Zum Roboter gehört eine

vielseitige Arena mit mehreren Anwendungsmo-
dulen, die ein autonomes Arbeiten garantieren.
In diesem Projekt wurde eine Zell-Screening-
Anwendung gewählt. Neben der mechanischen
und elektrischen Konstruktion werden in diesem
Artikel auch das neuartige, farbgestützte Navigati-
onssystem und erste Ergebnisse beschrieben.

Autoren

Michael Uhl M.Sc.

Julien Mintenbeck M.Sc.

Akademische Mitarbeiter am Institut für Ange-
wandte Forschung (IAF) der Hochschule Karlsruhe

Prof. Dr.-Ing. Ramon Estaña

Professor an der Fakultät für Maschinenbau und
Mechatronik

Kontakt

Prof. Dr.-Ing. Ramon Estaña
Hochschule Karlsruhe – Technik und Wirtschaft
Fakultät für Maschinenbau und Mechatronik
Moltkestraße 30
76133 Karlsruhe
E-Mail: ramon.estana@hs-karlsruhe.de
Telefon: 0721 925-1874

**Innovative Produkte
Qualifizierte Mitarbeiter**

*FASZINATION
TECHNIK*

*LUST AUF
ZUKUNFT*

HIRSCHMANN GMBH
78737 FLUORN-WINZELN
TELEFON 07402 183-0
www.hirschmanngmbh.de

100% GERMANY

HIRSCHMANN
RUNDTEILTISCHE • SPANNSYSTEME • SPHÄRISCHE GLEITLAGER

Entwicklung und Untersuchung eines über Ionenstromanalyse gesteuerten NO_x-Abgasnachbehandlungssystems für magerbetriebene Klein-Blockheizkraftwerke

Paul Gerisch, Fino Scholl und Maurice Kettner

Einleitung

Blockheizkraftwerke (BHKW), die nach dem Prinzip der Kraft-Wärme-Kopplung (KWK) arbeiten, stellen im Vergleich zu herkömmlicher Erzeugung von thermischer und elektrischer Energie eine Möglichkeit zur Senkung des CO₂-Ausstoßes bei gleichzeitiger Reduktion des Primärenergieeinsatzes dar. Dabei wird zum Großteil neben der über einen Generator erzeugten elektrischen Energie die thermische Energie von Motor und Abgas genutzt, was selbst bei kleinen Anlagen Gesamtwirkungsgrade von über 90 % ermöglicht.[1] Wie bei jeder motorischen Verbrennung entstehen dabei jedoch Schadstoffe, die durch den Gesetzgeber verschärft reguliert werden. So gilt ab 2018 beispielsweise ein neuer NO_x-Grenzwert für BHKW nach EU-Verordnung 813/2013.[2] Durch innermotorische Maßnahmen wie der Anpassung von Zündzeitpunkt und Kraftstoff-Luft-Verhältnis kann diesen Anforderungen grundsätzlich auch bei in Serie eingesetzten Magermotoren entsprochen werden, jedoch auf Kosten des Wirkungsgrads. Mittels Abgasnachbehandlung könnte dagegen trotz verschärfter Abgasnorm ein hoher Wirkungsgrad erreicht werden (s. Abb. 1).



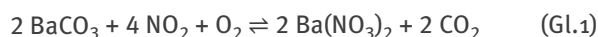
Abb. 1: Trade-off zwischen Wirkungsgrad und NO_x-Emissionen (schematisch)

Bei stöchiometrisch ($\lambda = 1$) betriebenen Ottomotoren kommen üblicherweise 3-Wege-Katalysatoren zum Einsatz. Diese eignen sich jedoch nicht für den Einsatz im

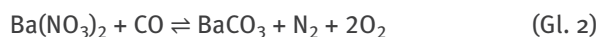
Magerbetrieb ($\lambda > 1$), da der Luftüberschuss dazu führt, dass NO_x nicht reduziert werden kann. Der Magerbetrieb erfordert deshalb andere Technologien der Abgasnachbehandlung. NO_x-Speicherkatalysatoren (NSK) bieten die Möglichkeit, Stickoxide einzuspeichern und die Speicherfähigkeit anschließend in kurzen Phasen des Fettbetriebs ($\lambda < 1$) durch Regeneration wiederherzustellen. Bei der NO_x-Speichertechnologie handelt es sich um ein etabliertes Verfahren, das bereits bei Fahrzeugen mit Otto- und Dieselmotor im transienten Betrieb zum Einsatz kommt. Im Rahmen des Forschungsprojekts I-LeNT (Ion current controlled Lean NO_x Trap) wird deshalb der Einsatz in einem Blockheizkraftwerk im Stationärbetrieb untersucht und Betriebsstrategien werden entwickelt. Das Projekt wird im Forschungsbereich Motorentechnik des Instituts für Kälte-, Klima- und Umwelttechnik (IKKU) in enger Kooperation mit den Industriepartnern SenerTec Kraft-Wärme-Energiesysteme GmbH, Weissgerber Engineering GmbH, der Huber Group Holding SE sowie dem Institut für Kolbenmaschinen (IFKM) am Karlsruher Institut für Technologie (KIT) durchgeführt und vom Ministerium für Wissenschaft, Forschung und Kunst Baden-Württemberg gefördert.

Betriebsweise NO_x-Speicherkatalysator

Das Grundprinzip des NO_x-Speicherkatalysators (NSK) beruht auf der chemischen Einspeicherung von Stickstoffdioxid (NO₂) durch eine Reaktion mit Bariumcarbonat während des Magerbetriebs:



Da es sich um ein chemisches Gleichgewicht handelt, läuft diese Reaktion abhängig von Temperatur, Druck und Konzentration unterschiedlich schnell ab. Wenn die Speicherkapazität erschöpft ist, steigt die NO_x-Konzentration nach Katalysator an und eine Regeneration ist nötig. Diese erfordert ein fettes Gemisch, wodurch CO, H₂ sowie HC die Stickoxide mithilfe von Platin als heterogenem Katalysator reduzieren können. Als Reaktionsprodukte entstehen dabei CO₂, H₂O und N₂: [3]





Versuchsprüfstand

Zur Durchführung der Versuche wurde eine Abgasanlage für den Prüfträger entwickelt, mit der verschiedene Konfigurationen (mit bzw. ohne Oxidationskatalysator und NSK) durch Austausch einzelner Komponenten dargestellt werden konnten (s. Abb. 2). Um die Temperaturabhängigkeit des NSK in einem Bereich von 200° C bis 400° C variieren zu können, wurde eine zweiflutige Ausführung konstruiert, bei der ein Wärmeübertrager und ein Bypass parallel geschaltet sind und das Einstellen der gewünschten Temperatur mittels Abgasklappen ermöglicht wird. Neben einer Zylinderdruckindizierung zur Analyse der Verbrennung wurde der Prüfstand mit zahlreichen Druck- und Temperaturmessstellen ausgestattet.

Entwicklung der Regenerationsstrategien

Da während der Regenerationsphase kurzzeitig ein fettes Gemisch eingestellt werden muss – ohne einen Lastsprung zu verzeichnen – wurden geeignete Regenerationsstrategien entwickelt. Die zeitlichen Abläufe von Anfettung und Androsselung des Gemischs sowie der Verstellung des Zündzeitpunkts müssen dabei sehr gut aufeinander abgestimmt werden. Die Strecke zwischen Gasmischer und Einlassventil stellt mit ca. 2000 mm eine besondere Herausforderung beim dynamischen Übergang von magerem zu fettem Gemisch dar, da dies zu großen Totzeiten führt und Mischungseffekte die Anfettung dämpfen. Eine ausgefeilte Regenerationsstrategie ist daher erforderlich, um den Kraftstoffverbrauch und die Emissionen während die-

ser Phase gering zu halten und gleichzeitig den Motor vor Schäden zu schützen.

Versuche mit NO_x-Speicherkatalysator

Abbildung 3 zeigt den Verlauf des Verbrennungsluftverhältnisses nach NSK über der Zeit. Dieses liegt während der Regeneration bei etwa 1, da die HC- und CO-Emissionen währenddessen durch desorbierte Stickoxide oxidiert werden (s. Gleichung 2 und 4). Erst wenn keine gespeicherten Stickoxide mehr freigesetzt werden können, fällt λ auf die vor dem NSK anliegenden 0,72 ab. Der NSK ist demnach zu diesem Zeitpunkt vollständig regeneriert.

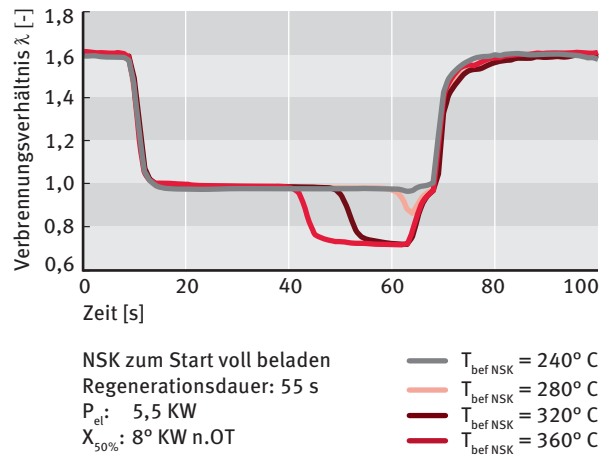


Abb. 3: Verlauf des Luftverhältnisses nach dem NO_x-Speicherkatalysator während der Regeneration

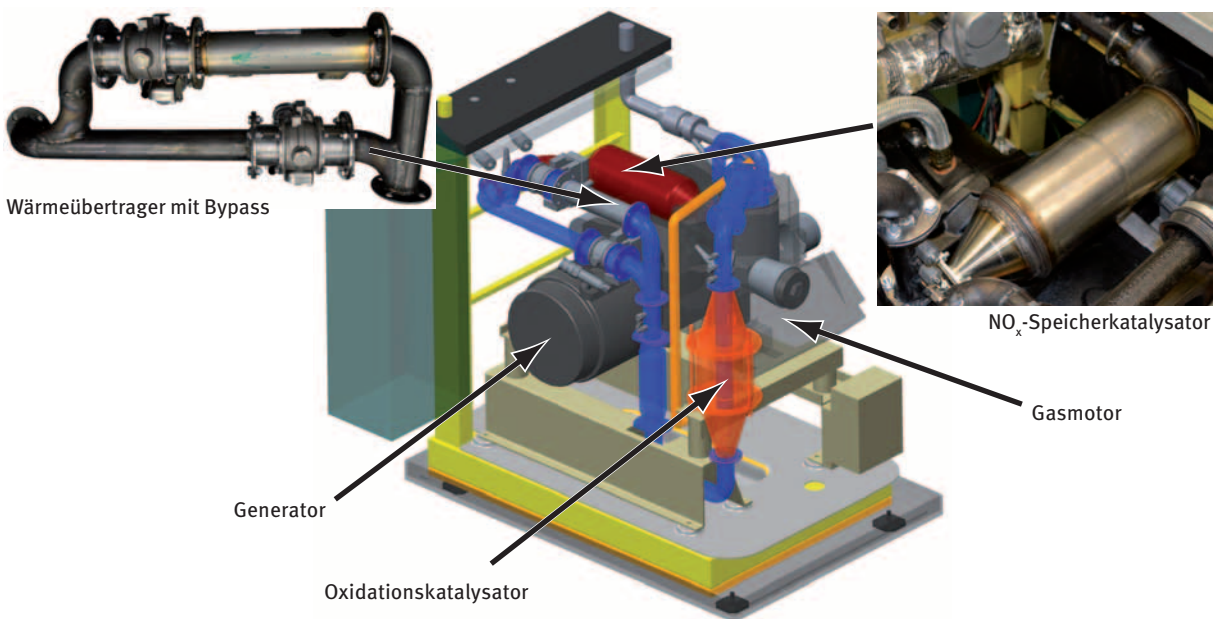


Abb. 2: Versuchsaufbau und Untersysteme des Prüfträgers mit NO_x-Speicherkatalysator

Bei der Untersuchung des NSK stand vor allem der Einfluss der Abgastemperatur auf das Einspeicherungs- und Regenerationsverhalten im Vordergrund. Dabei zeigen Regenerationszeit und Konvertierungsrate eine starke Temperaturabhängigkeit. Abbildung 4 (links) zeigt die erforderliche Regenerationsdauer über der Temperatur. Begründet werden kann dies damit, dass die Desorption der Stickoxide sowie die katalytische Reaktion von CO und HC mit NO bzw. NO₂ bei höheren Temperaturen schneller abläuft. In Abbildung 4 (rechts) ist die Konvertierungsrate im Magerbetrieb für vier verschiedene NSK-Eingangstemperaturen (nach einer Regenerationsdauer von 25 s) dargestellt. Da eine unterschiedliche Regenerationszeit bei verschiedenen Temperaturen benötigt wird, ergibt sich bei höheren Temperaturen eine bessere Regeneration des NSK. Dies äußert sich in einer längeren, annähernd konstanten Konvertierungsrate, bevor diese abfällt. Die maximalen Konvertierungsraten erreichen dagegen höhere Spitzenwerte bei Betriebspunkten mit niedriger Eingangstemperatur. Dies deutet auf ein schlechteres Einspeicherverhalten bei steigenden Temperaturen hin, was sich auch in einem steileren Abfall der Konvertierungsrate zeigt. Begründet werden kann dies mit einer Verschiebung des Gleichgewichts der Speicherkomponente bei höheren Temperaturen von Ba(NO₃)₂ zu BaCO₃ (s. Gleichung 1).[3] Obwohl die Regeneration bei hohen Temperaturen schneller abläuft, kann bei einer Temperatur von 290° C die längste Einspeicherdauer bis zum Erreichen eines vorher definierten NO_x-Schwellwerts von 100 ppm erzielt werden.

Ausblick

Im Rahmen des Projekts sind weitere Optimierungen der Regenerationsstrategien geplant. So soll beispielsweise eine Strategie mit Abgasrückführung (AGR) untersucht werden, da hiermit während der Regeneration weniger gedrosselt werden muss, was zu einer Wirkungsgradverbesserung während der Regenerationsphase führen soll. Zudem soll untersucht werden, ob ein Verzicht auf den serienmäßig vorhandenen Oxidationskatalysator möglich ist, da der NSK bereits Edelmetall-Bestandteile enthält, die für die Oxidation von NO zu NO₂ sowie der HC- und CO-Emissionen ausreichend sein könnte. Es soll außerdem die Korrelation des Ionenstromsignals im Brennraum mit den Stickoxiden weiter untersucht werden, um eine Regeneration auf Basis dieser Daten einzuleiten.

Literatur

- [1] Arbeitsgemeinschaft für sparsamen und umweltfreundlichen Energieverbrauch e. V., *Die Strom erzeugende Heizung*, Berlin, 2011.
- [2] Europäische Kommission, *Verordnung (EU) 813/2013: Anforderungen an die umweltgerechte Gestaltung von Raumheizgeräten und Kombiheizgeräten*, Brüssel, 2013.
- [3] N. Werquet, *Modellgesteuerte Regelung der Regenerationseinleitung in einem Abgassystem mit NO_x-Speicherkatalysator*, TU Clausthal-Zellerfeld, Dissertation, 2008.

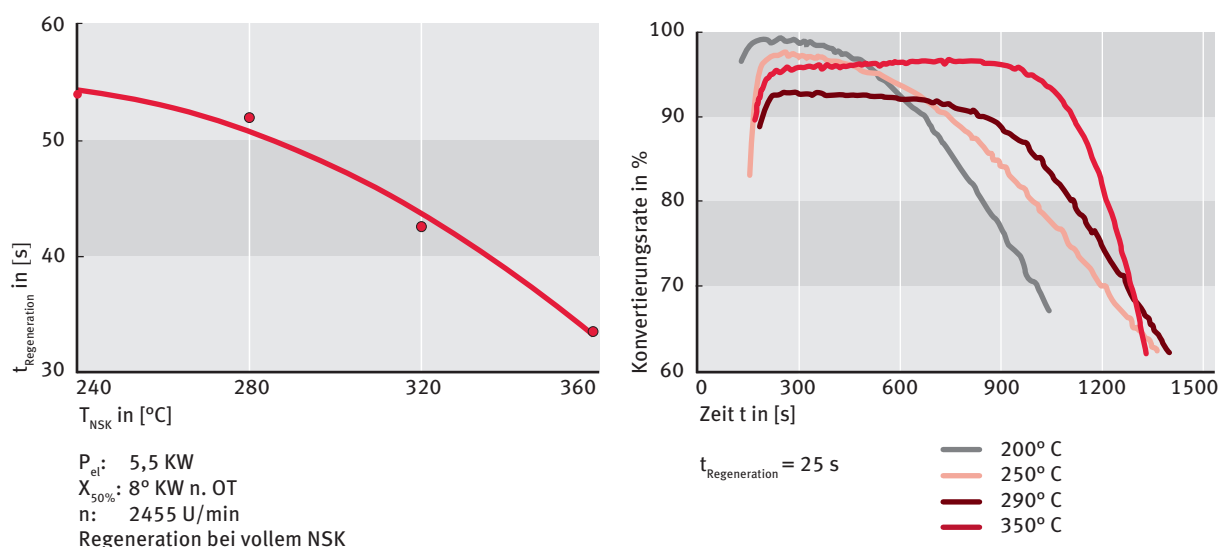


Abb. 4: benötigte Regenerationsdauer in Abhängigkeit der Temperatur (links) und zeitlicher Verlauf der Konvertierungsraten für verschiedene Temperaturen (rechts)

Abstract

A Lean NO_x Trap based exhaust aftertreatment system for small-scale cogeneration units is currently being developed and tested by the Engine Technology research team of the Institute of Refrigeration, Air Conditioning and Environmental Engineering (IKKU). The aim of this research project is to meet future stringent NO_x limits while retaining high engine efficiency. The experimental work is focused on the development of different operating strategies and the analysis of the effect of exhaust gas temperature on the processes of NO_x storage and regeneration. Furthermore, the ion current signal measured in the spark gap is analyzed with regard to its correlation to engine-out NO_x emissions.

Zusammenfassung

Im Forschungsbereich Motorentchnik des Instituts für Kälte-, Klima- und Umwelttechnik (IKKU) wird im Rahmen des Forschungsprojekts I-LeNT ein auf NO_x-Speichertechnologie basierendes Abgasnachbehandlungssystem für Klein-Blockheizkraftwerke entwickelt und untersucht. Ziel des Vorhabens ist dabei die Einhaltung künftiger strenger NO_x-Grenzwerte bei gleichzeitig hohen Wirkungs-

graden der Anlagen. Neben der Entwicklung unterschiedlicher Betriebsstrategien und der Analyse der Temperaturabhängigkeit von Einspeicher- und Regenerationsverhalten wird zudem die Korrelation der Rohemissionen mit dem über die Zündkerze gemessenen Ionenstromsignal untersucht.

Autoren

Paul Gerisch B.Eng.

Fino Scholl M.Sc.

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

Prof. Dr.-Ing. Maurice Kettner

Professor an der Fakultät für Maschinenbau und Mechatronik

Kontakt

Prof. Dr.-Ing. Maurice Kettner

Hochschule Karlsruhe – Technik und Wirtschaft

Fakultät für Maschinenbau und Mechatronik

Institut für Kälte-, Klima- und Umwelttechnik

Moltkestraße 30

76133 Karlsruhe

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

Telefon: 0721 925-1845

Wissen mit Innovationskraft verbinden

DOLL



Dynamik bringt Bewegung.

In drei Kompetenzfeldern – Holz- und Schwere transportfahrzeuge sowie im Ground Support von Flughäfen – hat sich DOLL durchgesetzt.

Zukunft beginnt hier.

In welcher Phase Ihres technischen Studiums Sie sich gerade befinden – DOLL macht sich stark für Ihre berufliche Zukunft.

Starten Sie jetzt. Bewerben Sie sich bei uns.

Wir freuen uns auf Sie und sind gespannt, was wir gemeinsam alles erreichen können.

DOLL Fahrzeugbau GmbH • Carina Lehnerer • Tel.: +49 7804 49-326 • E-Mail: karriere@doll-oppenu.com • www.doll-oppenu.com

Akustische Detektion des Fluidisierungsgrades von Schüttgütern

Christof Krülle

Einleitung

Schüttgüter verhalten sich als Gemenge im Ganzen anders, als man es von Festkörpern erwartet. Wie Wasser können Schüttgüter, auch granulare Materie genannt, in einen Behälter beliebiger Form gefüllt werden. Einen Festkörper, eine Flüssigkeit, ein Gas (s. Abb. 1), plastische Verformung, glasartiges Verhalten – Schüttgüter können all diese Aggregateigenschaften imitieren. In diesem Sinne kann granulare Materie als ein weiterer Zustand der Materie betrachtet werden.

tete Phasenübergang in einer kontraintuitiven Weise von der Amplitude des treibenden Rüttlers ab: eine Flüssig-fest-Übergangslinie kann durch Erhöhung der Amplitude und somit bei Zufuhr einer größeren Energiemenge überschritten werden. Ein ähnliches Phänomen wurde im Kontext von getriebenen mesoskopischen Systemen „freezing by heating“ getauft. [3, 4]

Im Falle einer vertikal geschüttelten Säule von Kugeln wurde festgestellt, dass die kritische Beschleunigung

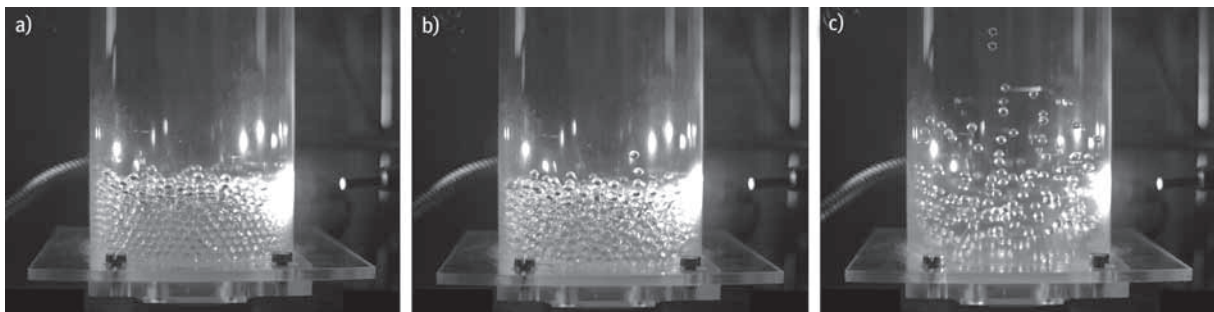


Abb. 1: Seitenansichten eines granularen Systems aus monodispersen Glaskugeln mit Durchmesser $d = 4$ mm unter vertikaler sinusförmiger Vibration mit Maschinenkennziffer $K = 3,0$ bei einer Rüttlerfrequenz $f = 30$ Hz; a) granularer Kristall mit 3000 Teilchen, b) granulare Flüssigkeit mit 2000 Teilchen, c) granulares Gas mit 100 Teilchen (Fotos: C. Krülle)

Die Übergänge zwischen verschiedenen Aggregatzuständen hängen von den inneren Eigenschaften des granularen Systems (wie z. B. dem mittleren Durchmesser d der Teilchen, ihrer Dichte ρ , der Füllhöhe H im Behälter etc.) ebenso ab wie von den äußeren Parametern des antreibenden Schwingerregers (Amplitude A bzw. Frequenz f der Schwingung und der Schwingungsrichtung im Vergleich zur Schwerkraft). Die Anregungsstärke wird in dimensionslosen Größen angegeben, wie etwa der Maschinenkennziffer $K = A(2\pi f)^2/g$ der sinusförmigen Vibration oder der Froude-Zahl

$$Fr = \frac{(A \cdot 2\pi f)^2}{gd} = K \cdot \frac{A}{d},$$

die das Verhältnis zwischen der kinetischen Energie der Teilchen und der potenziellen Energie beschreibt, die man benötigt, um es um seinen Teilchendurchmesser d anzuheben.

Die Fluidisierung einer zweidimensionalen Schicht unter vertikaler [1] oder horizontaler [2] Vibration wurde schon in den 1990er-Jahren studiert und dabei wurde die Dichte- und Geschwindigkeitsverteilungen der Teilchen ermittelt. Manchmal hängt der beobach-

kein geeignetes Kriterium für den Einsatz der Fluidisierung ist, sondern von der Rüttelfrequenz abhängt. [5] Als weiterer relevanter Kandidat für einen dimensionslosen Parameter wurde die Froude-Zahl vorgeschlagen.[6]

Experimenteller Aufbau

Das Experiment [7] besteht aus einem Plexiglaszylinder von 94 mm Durchmesser und 200 mm Höhe, der auf einem elektromechanischen Kalibrier-Schwingererregger (Brüel & Kjær, Typ 4808) montiert ist. Dieser Behälter wird durch eine sinusförmige Modulation der Schwerebeschleunigung in vertikale Vibration versetzt. Das Gerät arbeitet bei Frequenzen f zwischen 0 und 100 Hz. Die Maschinenkennziffer K , auch normalisierte Beschleunigung genannt, wird mit einem Beschleunigungsaufnehmer gemessen, der an der Grundplatte des Zylinders befestigt ist. Das verwendete Schüttgut besteht aus Glaskugeln mit Durchmesser $d = 4$ mm. Das Rasselgeräusch, verursacht durch die inelastischen Stöße der angeregten Kugeln, kann leicht mit einem Mikrofon detektiert werden, das über eine Soundkarte mit einem PC verbunden ist.

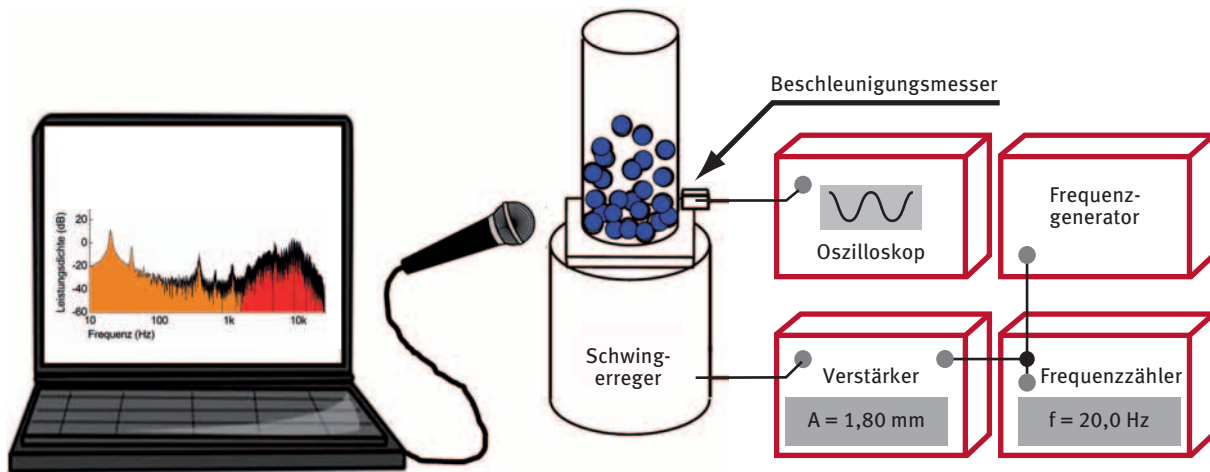


Abb. 2: Skizze des experimentellen Aufbaus

Analyse der Audiodaten

Aus den Zeitreihen $x(t)$ der Audioaufnahmen (mit Abtastrate 48 kHz und 16 Bit-Auflösung) wird eine Fast-Fourier-Transformation (FFT) berechnet, und zwar in Echtzeit, d. h. die zugehörige spektrale Leistungsdichte $P(f)$ wird alle 200 ms abgespeichert. Dieses Vorgehen erlaubt das granulare Rasseln gleichzeitig im Zeit- und Frequenzbereich zu überwachen und Änderungen im Spektrum zu beobachten, während das Experiment durchgeführt wird. Da die erwarteten Veränderungen im kHz-Regime sind, genügt es bis zu drei Rüttlerperioden zu analysieren, um ein Spektrum im Bereich $f_{min} = 10$ Hz und $f_{max} = 24$ kHz zu erhalten.

disches Signal mit Periode $1/f_{Rüttler}$. Die zugehörige FFT zeigt einen deutlichen Peak bei $f_{Rüttler} = 20$ Hz zusammen mit einer langen Reihe von Oberschwingungen. Dagegen ist das Audiosignal des granularen Gases viel stärker verrauscht und zwar mit einer darunterliegenden periodischen Struktur, die kaum erkennbar ist. Im zugehörigen Leistungsspektrum ist die Frequenz des Schwingerreggers bei 20 Hz noch erkennbar, mit nur zwei übrig gebliebenen Oberschwingungen. Das dominierende Geräusch der multiplen Teilchenstöße im Innern des angeregten granularen Gases ist ein Breitbandrauschen im Frequenzbereich 5 bis 10 kHz, wie im Leistungsspektrum erkennbar ist (s. Abb. 3d).

Abbildung 3 zeigt ein Beispiel für zwei verschiedene Signale: für einen granularen Kristall (s. Abb. 3a und b) bzw. ein granulares Gas (s. Abb. 3 c und d). Beim granularen Kristall zeigt die Zeitreihe $x(t)$ deutlich ein perio-

Die Analyse und das Verständnis der Details der beiden Spektren ist eine schwierige Aufgabe, aber eine lohnende Herausforderung für zukünftige Untersuchungen. Um jedoch einfach nur ein Kriterium für den

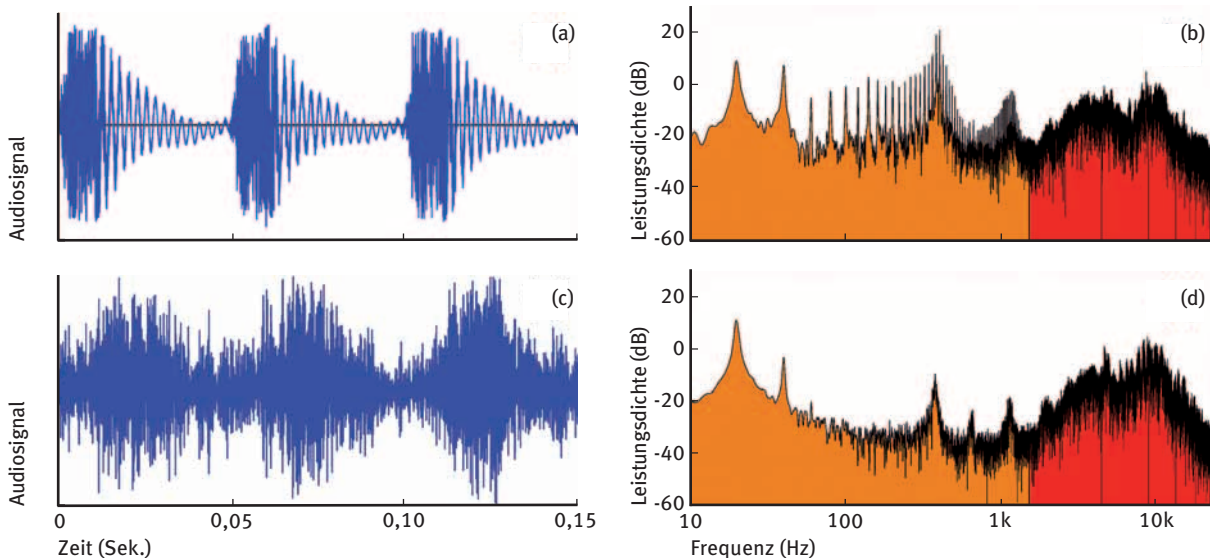


Abb. 3: Audiosignale, aufgenommen für einen granularen Kristall (a) bzw. ein granulares Gas (c) zusammen mit den zugehörigen Leistungsspektren (b) und (d) und erhalten durch FFT in Echtzeit; Energieeintrag über vertikale sinusförmige Vibration mit Maschinenkennziffer $K = 2,9$ bei einer Rüttlerfrequenz $f = 20$ Hz

Übergang zwischen verschiedenen granularen Phasen zu finden, kann ein sehr einfacher Ansatz verwendet werden. Zur Unterscheidung zwischen den beiden Spektren – mit entweder dominierenden niedrigen oder hohen Frequenzen – kann das volle Spektrum $[f_{\min}, f_{\max}]$ in zwei Bänder $[f_{\min}, f_m]$ bzw. $[f_m, f_{\max}]$ geteilt werden. Indem man eine geeignete Trennung der beiden Bänder bei der mittleren Frequenz $f_m = 1500$ Hz weit oberhalb der Oberschwingungen der Rüttlerfrequenz wählt, kann eine neue Art von „Ordnungsparameter“ definiert werden: als das Verhältnis r_p der Gesamtleistung im oberen und unteren Frequenzband, gemäß

$$r_p \equiv \frac{\int_{f_m}^{f_{\max}} P(f) df}{\int_{f_{\min}}^{f_m} P(f) df} \quad (1)$$

Der größte Vorteil dieses einfachen Vorgehens ist, dass die Analyse sehr schnell durchgeführt werden kann, d. h. während das Experiment läuft. Wie sich herausstellt, ist das Leistungsverhältnis r_p , wie in (1) definiert, für ein granulares Gas mehrere Größenordnungen höher als bei einer granularen Flüssigkeit oder einem Kristall. Deshalb ist dieses Audiosignal geeignet, um klar zwischen diesen Phasen zu unterscheiden und das Ergebnis sofort anzuzeigen.

Ergebnisse und Diskussion

Das experimentelle Vorgehen zur Bestimmung der kritischen Schwelle, bei der das Schüttgut einen Fluidisierungsübergang zeigt, ist wie folgt: Der Schwingerreger wird so eingestellt, dass er eine sinusförmige, vertikale Vibration bei fester Amplitude A und Frequenz f ausführt. Damit wird die Maschinenkennziffer $K > 1$ sowie der Gesamtenergieeintrag konstant gehalten. Die Anzahl der Teilchen N im Behälter wird in Schritten von $\Delta N = 60$ erhöht. Nach einem kurzen Zeitintervall, in dem das System sich auf die neue Teilchenzahl einstellt, wird eine Audioaufnahme aufgezeichnet und sofort danach mittels einer FFT analysiert. Daraus erhält man den Ordnungsparameter r_p , der simultan auf dem Monitor angezeigt und abgespeichert wird. Nachdem eine kritische Teilchenzahl N_c überschritten ist, fällt der Ordnungsparameter sehr schnell um drei Größenordnungen (s. Abb. 4) und zeigt damit an, dass eine Kondensation des granularen Gases eingetreten ist.

Abbildung 5 zeigt das Phasendiagramm der granularen Aggregatzustände für die zwei Kontrollparameter Teilchenzahl N vs. Maschinenkennziffer K . Die Übergangslinie zwischen der festen und fluidisierten Phase startet für eine sehr kleine Teilchenzahl beim offensichtlichen Startpunkt $K = 1$. Bei höheren Beschleunigungen steigt die kritische Teilchenzahl, die noch fluidisiert gehalten werden kann, monoton an. Um den zweiten Übergang zu einem granularen Gas zu identifizieren, ist diese

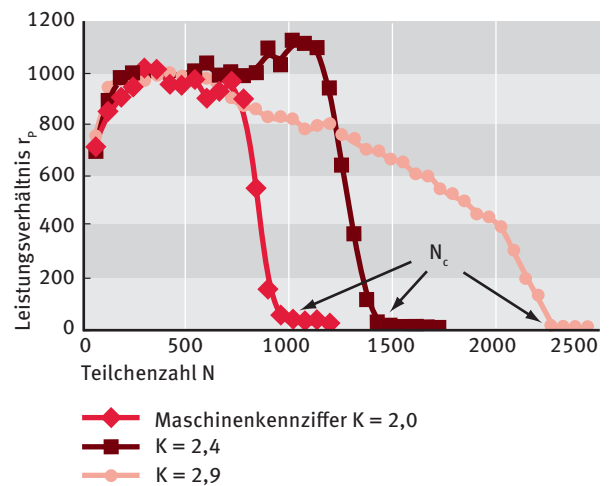


Abb. 4: Leistungsverhältnis r_p , bestimmt aus den Spektren der Audiosignale, als Funktion der Teilchenanzahl N im Zylinder unter vertikaler sinusförmiger Vibration bei verschiedenen Maschinenkennziffern K ; Rüttlerfrequenz $f = 20$ Hz. N_c ist die kritische Teilchenzahl, bei der das System einen Fluidisierungsübergang zeigt

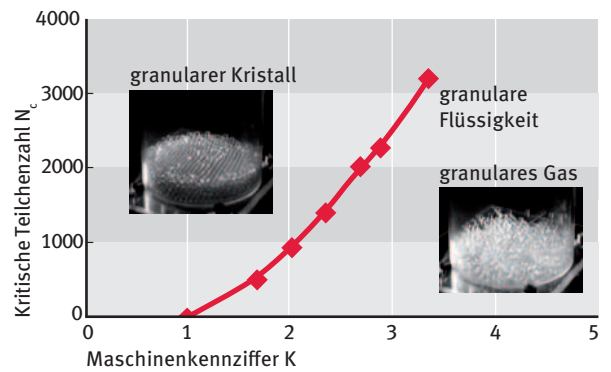


Abb. 5: kritische Teilchenzahl N_c – bei der ein granularer Kristall, bestehend aus monodispersen Glaskugeln, einen Fluidisierungsübergang erfährt – als Funktion der Maschinenkennziffer K einer sinusförmigen vertikalen Vibration

auf Audiosignalen basierende Methode (noch) nicht geeignet. Hierfür wird eine genauere Analyse der Fouierspektren benötigt.

Um mehr Einsicht in das Skalierungsverhalten der Übergangslinie zu gewinnen, müssen die experimentellen Daten normalisiert werden. Es scheint zweckmäßig, die Systemgröße anhand der Anzahl n der Teilchenschichten im kristallinen Zustand zu messen. Und da die Fluidisierung eines Festkörpers auf der Dissipation des Energieeintrags basiert, ist es angemessen, für den Ordnungsparameter eine dimensionslose Energie wie die Froude-Zahl Fr anstatt der Maschinenkennziffer K zu verwenden.

Abbildung 6 zeigt dieselben Daten reskaliert gemäß $n = N/N_{\text{Schicht}}$ und $Fr = K \cdot \frac{A}{d}$ sowie mit vertauschten Achsen. Damit wird demonstriert, dass die Übergangslinie nichtlinear bleibt. Dies legt einen komplizierten Mechanismus für die Dissipation der zugeführten Ener-

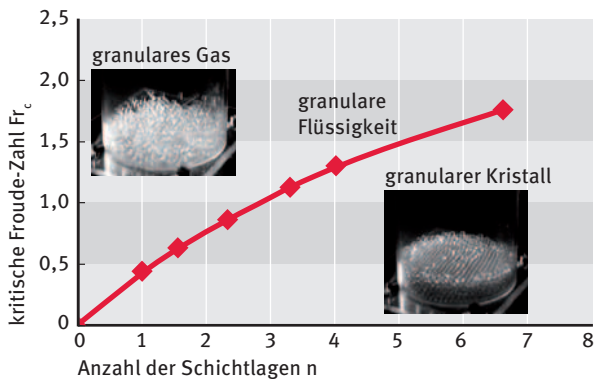


Abb. 6: kritische Froude-Zahl Fr_c , oberhalb der ein granularer Kristall abhängig von der Anzahl n seiner Schichten fluidisiert wird

gie nahe, der eventuell mithilfe einer Art von effektivem Restitutionskoeffizient für die Stöße zwischen den Teilchen und mit der Behälterwand behandelt werden kann.

Ausblick

Die neue Methode zeigt, dass es möglich ist, die subjektiven Audioeindrücke analytisch zu quantifizieren, wenn ein Schüttgut einem Fluidisierungsübergang ausgesetzt ist. Diese Studie kann in Zukunft eventuell auch andere granulare Phänomene „hörbar“ machen, wie z. B. Entmischungs- oder Strukturbildungsphänomene.

Referenzen

[1] E. Clément, J. Rajchenbach, *Fluidization of a Bidimensional Powder*, Europhys. Lett. 16, 1991, pp. 133–138.

[2] O. Pouliquen, M. Nicolas, P. D. Weidman, *Crystallization of non-Brownian Spheres under Horizontal Shaking*, Phys. Rev. Lett. 79, 1997, pp. 3640–3643.

[3] D. Helbing, I. Farkas, T. Vicsek, *Freezing by Heating in a Driven Mesoscopic System*, Phys. Rev. Lett., 84, 2000, pp. 1240–1243.

[4] E. Stanley, *Non-Equilibrium Physics: Freezing by Heating*, Nature, 404, 2000, pp. 718–719.

[5] S. Renard, T. Schwager, T. Pöschel, C. Salueña, *Vertically shaken column of spheres: Onset of fluidization*, Eur. Phys. J. E, 4, 2001, pp. 233–239.

[6] H. K. Pak, R. P. Behringer, *Surface waves in vertically vibrated granular materials*, Phys. Rev. Lett., 71, 1993, pp. 1832–1835.

[7] C.A. Kruelle, A. García Sánchez, *Can One “Hear” the Aggregation State of a Granular System?*, AIP Conf. Proc. 1542, 2013, pp. 803–806, Proceedings of Powders and Grains 2013, Sydney, 8 – 12 July 2013.

Abstract

If an ensemble of macroscopic particles is mechanically agitated the constant energy input is dissipated into the system by multiple inelastic collisions. As a result, and depending on the magnitude of agitation, the granular material can exhibit, several physical states - such as a gaseous phase for high energy input or a condensed state for low agitation. Here we introduce a new method for quantifying the acoustic response of the granular system. Transitions between different states can be detected with a microphone connected to the soundcard of a PC. From the recorded audio track a Fast Fourier Transformation is calculated and analyzed in real-time. This method demonstrates that it is possible to quantify the subjective audio impressions of a careful listener and thus to distinguish easily between different aggregation states of an agitated granular system.

Zusammenfassung

Wenn ein Ensemble von makroskopischen Teilchen mechanisch angeregt wird, dann dissipiert die stetige Energiezufuhr in das System durch multiple inelastische Stöße. Als Ergebnis dieses Fließgleichgewichts kann ein Schüttgut – je nach Anregungsstärke – mehrere „Aggregatzustände“ annehmen: z. B. einen gasförmigen Zustand für hohe Energiezufuhr oder einen kondensierten Zustand bei geringer Anregung. Wenn man die Anzahl der Teilchen über eine kritische Schwelle erhöht, kollabiert ein „granuläres Gas“ spontan. Dieser Übergang kann mit einem Mikrofon detektiert werden. Die Schallereignisse werden über eine Soundkarte in einem PC aufgezeichnet und ihr Fourier-Spektrum wird in Echtzeit errechnet und analysiert. Diese Methode zeigt, dass es möglich ist, die subjektiven Höreindrücke zu quantifizieren und damit leicht zwischen den verschiedenen Aggregatzuständen eines granularen Systems zu unterscheiden.

Autor

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

Kontakt

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

α -MAX: passive Kühlung einer Ultraschallsonotrode mittels Heat-Pipe

Holger Albiez und Matthias Stripf

Einführung

Ultraschallschweißen ist ein weitverbreitetes Verfahren zum Fügen von Kunststoffen. Hierbei wird über ein Werkzeug (Sonotrode) hochfrequente Schwingungsenergie in ein Werkstück eingekoppelt, die dort dissipiert. Die dabei frei werdende Wärme führt zu einem lokalen Aufschmelzen und somit zum Verschweißen zweier Werkstücke. Vorteil dieses Schweißverfahrens ist die hohe Effizienz sowie die einfache Automatisierung einer Anlage. Anwendung findet das Ultraschallschweißen unter anderem in großen Fertigungsstraßen in der Automobilindustrie.

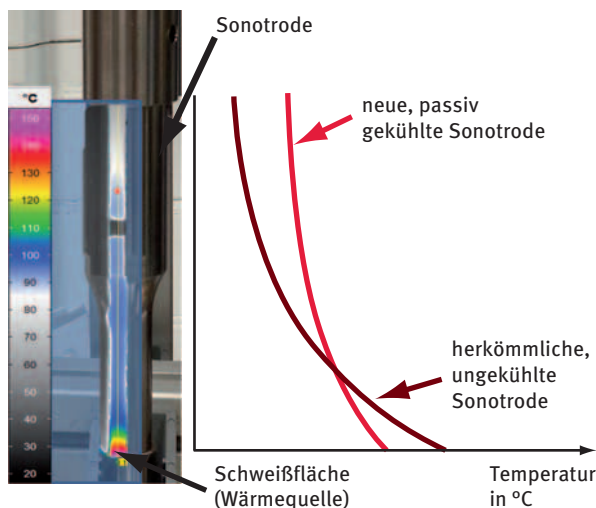


Abb. 1: thermographische Aufnahme eines Ultraschallschweißwerkzeugs unter thermischer Belastung

Aus Festigkeitsgründen werden die Sonotroden meist aus einer Titan-Aluminium-Legierung gefertigt, einem Material mit einer geringen Wärmeleitfähigkeit von ungefähr $6 \text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})$. Während des Schweißens kommt es zu einer Erwärmung an der Kontaktfläche von Sonotrode und Werkstück. Im Dauerbetrieb oder bei Schweißrobotern mit geringen Taktzeiten kann dabei die Schmelztemperatur des zu bearbeitenden Kunststoffs überschritten werden, sodass dieser bereits beim Kontakt mit der Sonotrode ohne Einwirkung von Ultraschall erweicht, was die Qualität der Schweißung deutlich herabsetzt. Um dennoch die Taktzeiten zu minimieren, werden die Werkzeuge mit kühler Luft angeströmt; allerdings hat sich dies aus verschiedenen Gründen als unvorteilhaft und ineffizient herausgestellt. Nachteilig ist dieses Konzept beispielweise

bei Wartungsarbeiten, bei denen die Luftschläuche demontiert werden müssen. Bei Anwendungen in der Lebensmittelindustrie müsste die Kühlluft zudem besondere Qualitätsanforderungen erfüllen.

Im Rahmen dieses Projekts soll der Wärmetransport in der Sonotrode mittels einer integrierten Heat-Pipe erhöht werden, wodurch die Wärme von der Sonotroden spitze schneller abgeführt wird. Der prinzipielle Aufbau einer solchen Sonotrode ist in Abbildung 2 dargestellt. Die Heat-Pipe besteht aus einer Bohrung, die teils mit einem Kältemittel gefüllt wird. Die Kühlung erfolgt dadurch, dass bei Erwärmung der Sonotroden spitze das Kältemittel an der Unterseite Wärme aufnimmt und verdampft (Fall 1 in Abb. 2). Am oberen Ende der Sonotrode kondensiert der Dampf wieder und gibt dort die Wärme ab. Das Kondensat läuft schwerkraftbedingt an der Wand wieder nach unten, wo es erneut verdampfen kann.

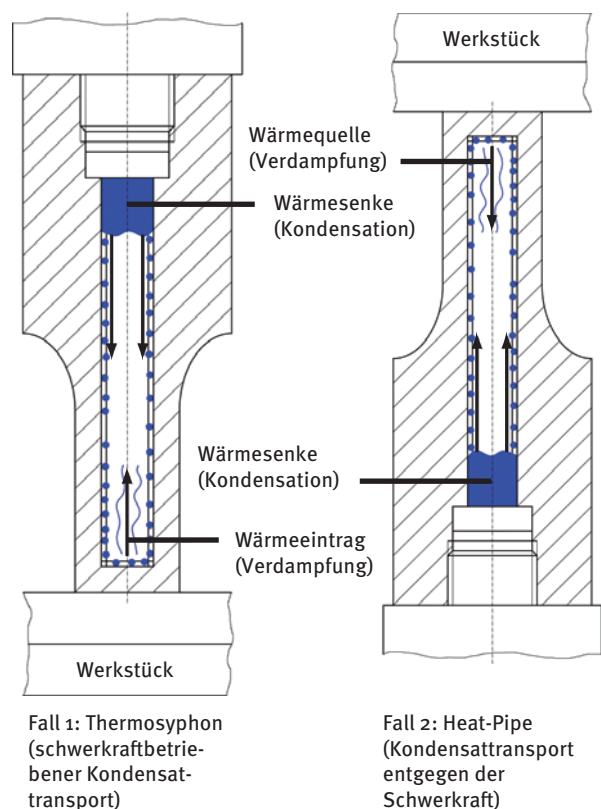


Abb. 2: Ultraschallsonotrode mit Heat-Pipe

Eine Herausforderung stellen Anwendungen in gedrehter Lage dar, wenn die heiße Spitze oben ist (Fall 2 in Abb. 2). Hierbei muss Kondensat entgegen der Schwerkraft zur Sonotroden Spitze transportiert werden. Das Transportsystem muss dabei auch unter Ultraschallschwingung funktionsfähig sein und darf durch die Ultraschallenergie nicht zerstört werden.

Experimentelle Untersuchung

Zur Untersuchung des Kühlverfahrens wird in einem Versuchsaufbau das thermische Verhalten der Sonotrode sowohl im ruhenden als auch im schwingenden Zustand analysiert. Hierzu wird die Sonotrode an der Spitze mit einem elektrischen Heizelement (oder durch dissipierte Schwingungsenergie an einer Silikonschicht) auf einen vorgegebenen Wert temperiert. Im ruhenden Zustand wird der in das System eingetragene Wärmestrom mit einem Wärmestromsensor erfasst. Die Wärme wird über freie Konvektion über die Sonotrodenoberfläche wieder an die Umgebung abgegeben. Dieser Aufbau entspricht den realen Einsatzbedingungen einer Sonotrode. Der Temperaturverlauf über die Länge der Sonotrode wird mit einer Infrarotkamera gemessen. Abbildung 3 zeigt den Versuchsaufbau.

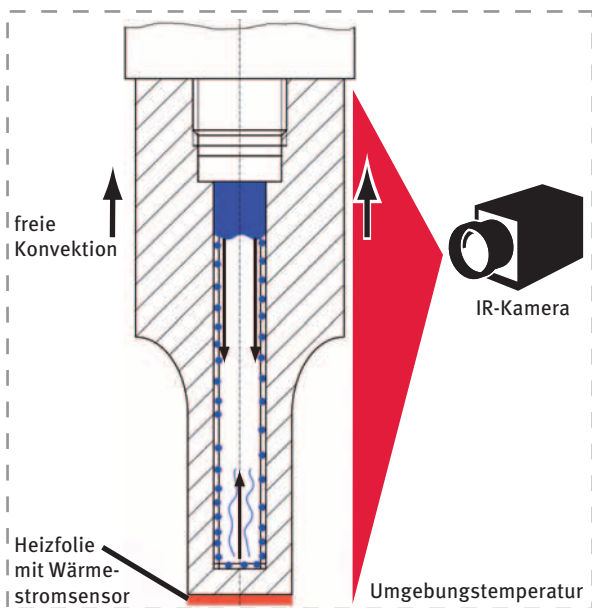


Abb. 3: Versuchsaufbau zur Charakterisierung der Kühlleistungen verschiedener Heat-Pipe-Konfigurationen

In Abbildung 4 sind die gemessenen Temperaturverläufe aufgetragen. Dort stellt die Kurve a) den Temperaturverlauf einer herkömmlich eingesetzten Sonotrode ohne Heat-Pipe dar. Die Temperatur fällt über die gesamte Länge, da der Wärmetransport in der Sonotrode von Wärmeleitung dominiert wird. Kurve b) zeigt den Temperaturverlauf einer Sonotrode mit Heat-Pipe im ruhenden und Kurve c) im schwingenden Zustand.

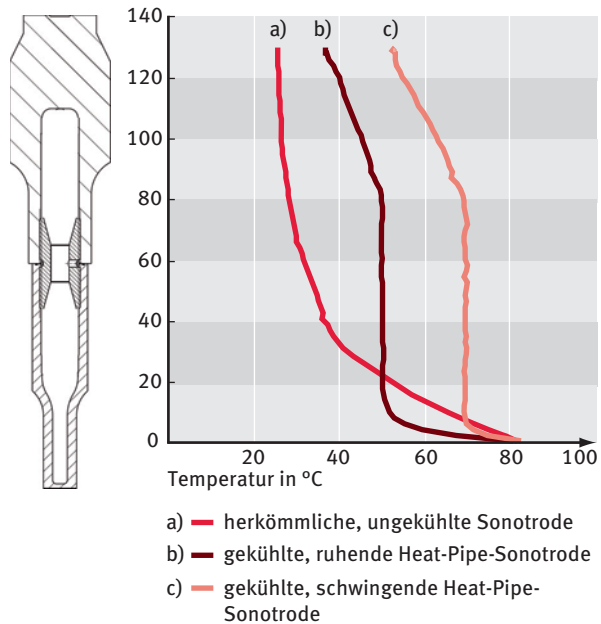


Abb. 4: experimentelle Untersuchung einer mittels Heat-Pipe gekühlten Sonotrode im Vergleich zu einer herkömmlich eingesetzten Variante

Bei diesen Sonotroden mit integrierter Heat-Pipe ist im Bereich der Sonotroden Spitze ein größerer Temperaturgradient als bei der Standardvariante festzustellen, was auf einen höheren Wärmeeintrag an der Spitze hindeutet. Weiterhin ist ein Bereich mit konstanter Temperatur festzustellen. In diesem kondensiert das Kältemittel an der Innenwand der Sonotrode, wodurch diese gleichmäßig temperiert wird. Oberhalb der Heatpipe findet der Wärmetransport im Feststoff über Wärmeleitung statt. Messungen mit dem Wärmestromsensor ergaben bei vorgegebener Maximaltemperatur einen dreifach höheren möglichen Wärmeeintrag im Vergleich zur bisher eingesetzten Sonotrode. Die Temperaturverläufe im schwingenden Zustand zeigen, dass durch die Ultraschallschwingung die Wärmeübergänge zwischen Kältemittel und Innenwand erhöht werden, was eine weitere Verbesserung des Wärmetransports darstellt. Die Zykluszeit eines Schweißvorgangs kann deshalb bei der Sonotrode mit Heat-Pipe auf weniger als ein Drittel reduziert werden. Um die Auslegung der gekühlten Sonotroden zu erleichtern, wurde ein Finite-Elemente-Modell erstellt, bei dem die Kondensations- und Verdampfungswärmeübergänge sowie die freie Konvektion an der Außenseite berücksichtigt werden. Das Modell wurde anhand von Messungen an zwei unterschiedlichen Sonotrodengeometrien kalibriert.

Entwicklung der lageunabhängigen Sonotrode

Für den Rücktransport des Kondensats gegen die Schwerkraft wurden verschiedene Funktionsprinzipien untersucht. Der Transport mittels Kapillarkräften, die gängigste Methode bei Heat-Pipes, ist für die Anwen-

dung in der Sonotrode ungeeignet. Problematisch sind hier die Anbindung der erforderlichen Kapillarstruktur an die Sonotrode und die Dauerfestigkeit der Kapillarstruktur unter Ultraschalleinfluss. Als geeignetste Methode hat sich das Prinzip der Ultraschallpumpe herausgestellt, die hier erstmals bei Heat-Pipes und unter Dampfdruck angewendet wird. Aufgrund der Relativbewegung in einem definierten kleinen Spalt zwischen einem Rohrende und einer schwingenden Oberfläche wird eine Pumpwirkung erzielt. Dieses Funktionsprinzip ist in Abbildung 5 dargestellt.

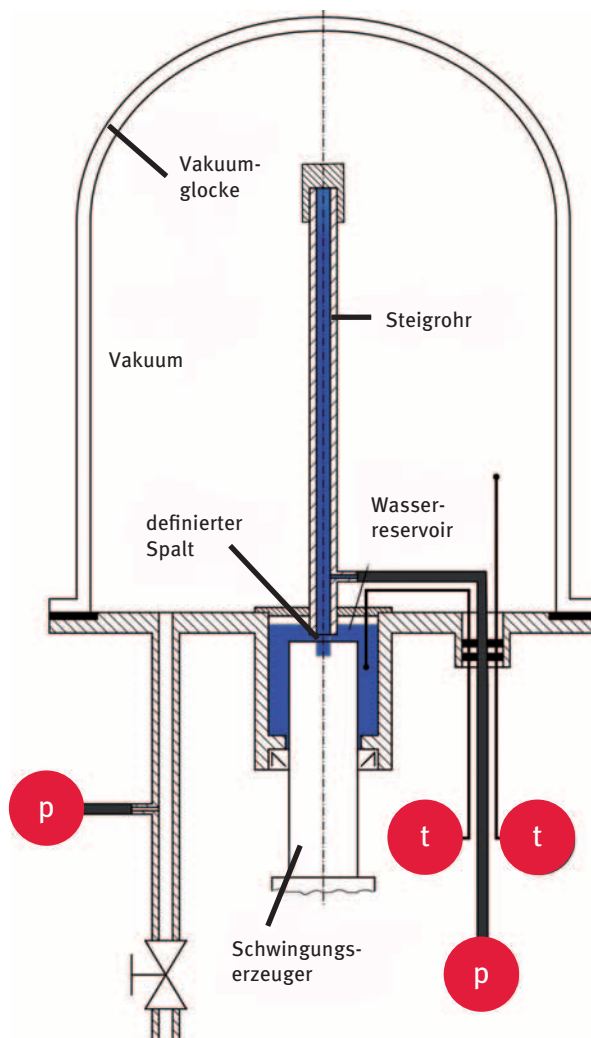


Abb. 5: Versuchsstand zur Bestimmung der Pumpenkennlinie einer Ultraschallpumpe (p = Druck; t = Temperatur)

Entscheidende Einflussgrößen auf die erzeugte Pumpleistung sind neben der eigentlichen Schwingung, die durch die Anwendung vorgegeben wird, auch die Geometrie des Steigrohres, der Spaltabstand zwischen der schwingenden Fläche und dem Steigrohr sowie die Füllhöhe des Wasserreservoirs.[2] Da die Abhängigkeiten für die hier vorliegenden Randbedingungen nicht bekannt sind, werden im Rahmen des Projekts an

einem speziellen Versuchsaufbau (s. Abb. 5) entsprechende Grundlagenuntersuchungen durchgeführt. Abbildung 6 zeigt die mit der Pumpe erreichten Drücke in Abhängigkeit des Spaltabstands und der Füllhöhe. Es ist ersichtlich, dass der maximale Druck bei einem Spaltabstand von 0,25 mm erreicht wird, was fertigungstechnisch leicht umzusetzen ist.

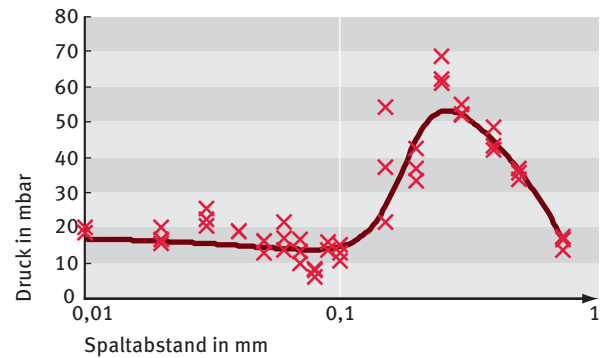


Abb. 6: Funktionsweise einer Ultraschallpumpe

Praktische Umsetzung: Integration der Ultraschallpumpe in die Sonotrode

Die Implementierung der Ultraschallpumpe erfolgt nach dem in Abbildung 7 gezeigten Prinzip. Das Steigrohr muss von der longitudinalen Schwingung entkoppelt werden. Dies ist nur in den Knotenpunkten der Sonotrode möglich. Hierzu muss die Heat-Pipe in den Booster bis hinter dessen Knotenpunkt vergrößert werden. Dies bringt neben der Möglichkeit das Steigrohr zu lagern auch eine vergrößerte Kondensationsfläche mit sich, wodurch der Wärmetransport nochmals verbessert wird. Bei der Auslegung der Sonotrode ist zu beachten, dass an dem definierten Spalt eine Schwingungsamplitude von ca. 6 µm als Pumpenantrieb anliegt.

Das erarbeitete Konzept konnte an einer einfachen Sonotrodengeometrie in beiden Einbaulagen erfolgreich getestet werden und wird nun in einer ersten Pilotanwendung eingesetzt.

Literatur

[1] EP 2832456 A2, *Sonotrodenwerkzeug mit integrierter Kühleinrichtung*, 01. August 2013.
 [2] T. Hasegawa, J. Friend, K. Nakamura, S. Ueha, *Characteristics of Ultrasonic Suction Pump Without Moving Parts*, Japanese Journal of Applied Physics, Vol. 44, No. 6B, 2004, pp. 4658–4661, DOI: 10.1143/JJAP.44.4658.

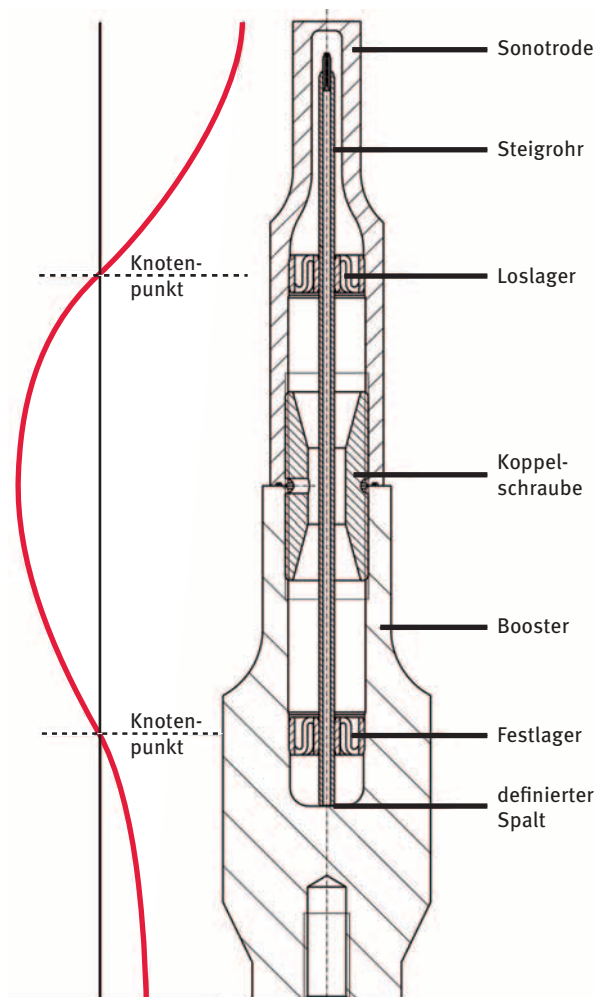


Abb. 7: Zusammenschluss der Ultraschallpumpe und der Sonotrode zu einem gekühlten Ultraschallschweißwerkzeug

Abstract

One of the biggest problems with welding thermo-plastic materials by means of ultrasound is the overheating of the ultrasonic welding tool which limits the minimum cycle time. Thus, the main goal of this project is to develop a cooling technique for the thermally stressed tip of the ultrasonic horn. This report presents an overview of the procedure, the measurement methods and the results. It is shown that heat transfer can be significantly improved by the use of an integrated heat pipe. Furthermore, a new concept for condensate transport against gravity inside the heat pipe [...] is presented.

Zusammenfassung

Beim Schweißen von Kunststoffen mittels Ultraschall stellt die Erwärmung der Ultraschallsonotrode ein großes Problem dar und begrenzt die minimale Zykluszeit. Ziel dieses Projekts ist die Entwicklung eines Kühlverfahrens zur Temperierung der thermisch kritischen Bereiche des Werkzeugs. Dieser Bericht gibt einen Überblick über die Vorgehensweise, die Messmethoden sowie die Ergebnisse des Projekts. Es wird gezeigt, dass sich bei der vorgegebenen Geometrie der Wärmetransport durch diese Entwicklung deutlich verbessern lässt. Weiterhin wird im Bereich der Heat-Pipe-Technologie ein neues Konzept zum Kondensat-Transport entgegen der Schwerkraft vorgestellt.

Autoren

Holger Albiez 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

Kontakt

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



Zukunft braucht Visionen...



www.guentner.de

...und jemanden,
der sie umsetzt.

Die Güntner GmbH & Co. KG entwickelt, produziert und vertreibt Wärmeübertrager für Kälte- und Verfahrenstechnik. Unsere Produkte stehen für höchste Qualität, abgestimmt auf die spezifischen Bedürfnisse internationaler Kunden.

Informieren Sie sich!



KOCHEN AUS LEIDENSCHAFT SEIT 1877

ENDLICH EINE INNOVATION,
DIE MEINER INTUITION FOLGT:
DAS TWIST PAD® FLAT.

DIE NEUEN NEFF KOCHFELDER.

Eine der wichtigsten Zutaten beim Kochen ist: Intuition. Bei der Bedienung der neuen, flexiblen Induktionskochfelder können Sie sich darauf verlassen. Dank der einzigartigen Einknopf-Bedienung TwistPad® Flat – seine flache Form rundet das Design der Kochfelder ab. Die Auswahl der Kochzone erfolgt durch leichte Berührung und die Einstellung der Temperaturstufe durch eine Drehbewegung. Eben ganz intuitiv.



Mehr über die neuen Induktionskochfelder: neff.de



Die Ursache für die geringe Duktilität ultrafeinkörniger Baustähle

Rainer Schwab

Die typische Aufgabe von Baustählen ist es, tragende Funktionen für Stahlbauwerke der unterschiedlichsten Art zu übernehmen: vom Eiffelturm über atemberaubende Brückenkonstruktionen und Hochhäuser bis hin zu U-Bahn-Röhren. Baustähle verwendet man aber auch im Fahrzeugbau, im Maschinenbau, in der chemischen Industrie und vielen anderen Bereichen. Sie sind die am häufigsten eingesetzte Gruppe der metallischen Werkstoffe, nicht nur aufgrund ihrer herausragenden Eigenschaften, sondern auch, weil sie in großer Menge verfügbar sind, sich umweltfreundlich herstellen und beliebig oft wiederaufbereiten lassen.

Damit sie ihre Aufgaben gut erfüllen können, sollen sie eine möglichst hohe Festigkeit und eine möglichst gute plastische Verformbarkeit (Duktilität) aufweisen, wobei oft noch die gute Eignung zum Schweißen und anderes hinzukommt. Die Festigkeit soll hoch sein, weil dann filigrane und leichte Konstruktionen überhaupt erst möglich werden, aber auch deswegen, weil man dadurch weniger Werkstoff benötigt und in vielen Fällen die Kosten senken kann. Hohe Duktilität und Zähigkeit sind wünschenswert, weil man die Stähle dann durch Umformen gut verarbeiten kann und die Konstruktionen in mechanischer Hinsicht sicher sind.

Der Wunsch nach hoher Festigkeit beschäftigt die Ingenieure und Werkstoffwissenschaftler schon seit vielen Jahrzehnten. Für die typischen, polykristallinen aufgebauten metallischen Werkstoffe sind vier wichtige Methoden zur Festigkeitssteigerung bei nicht zu hohen Anwendungstemperaturen bekannt:

- Kaltverfestigung, auch Dehnungsverfestigung genannt, durch plastische Verformung
- Mischkristallverfestigung, durch Legieren mit geeigneten Elementen
- Teilchenverfestigung, durch viele kleine Teilchen/Kriställchen, die in „normale“ Kristalle, in der Fachsprache auch Körner genannt, eingelagert sind
- Feinkornverfestigung, durch viele kleine statt weniger großer Körner

Alle vier genannten Methoden zur Festigkeitssteigerung wendet man intensiv in der Praxis an. Bei den Baustählen hat die Feinkornverfestigung eine besonders hohe Bedeutung erlangt. Sie ist so wichtig, dass man eine ganze Untergruppe der Baustähle, die sogenannten Feinkornbaustähle, nach ihr benannt hat. Warum ist sie so wichtig?

Der Charme der Feinkornbaustähle

Feinkornbaustähle weisen gegenüber den „normalen“ Stählen besonders kleine Körner im Inneren auf. In „normalen“ Stählen beträgt die typische Größe der Körner etwa 10 bis 100 μm , also 0,01 bis 0,1 mm. Bei den Feinkornbaustählen liegt die Korngröße unterhalb von etwa 10 μm . Der Vorzug der kleinen Körner liegt darin, dass sie für eine erhebliche Festigkeitssteigerung sorgen. Die Grenzen zwischen den Körnern, die sogenannten Korngrenzen, wirken als Hindernisse bei der plastischen Verformung. Vereinfacht ausgedrückt, ist es schwieriger, einen Werkstoff mit vielen kleinen Körnern plastisch zu verformen als einen Werkstoff mit wenigen großen Körnern. Je schwieriger es nun ist, einen Werkstoff plastisch zu verformen, desto höhere mechanische Spannungen benötigt man dabei. Und wenn man höhere Spannungen für plastische Verformung benötigt, dann bedeutet dies höhere Festigkeit.

Der besondere Charme der Feinkornbaustähle liegt nun darin, dass sie nicht nur besonders fest sind, sondern gleichzeitig auch vergleichsweise gut plastisch verformbar. Mit abnehmender Korngröße leidet die Duktilität im Zugversuch zwar etwas, was sich im Rückgang der Gleichmaßdehnung und Bruchdehnung äußert. Die Kerbschlagzähigkeit steigt aber und die Neigung zu Sprödbrüchen sinkt. Dies hat in den zurückliegenden etwa fünf Jahrzehnten dazu geführt, dass Feinkornbaustähle immer mehr Verwendung finden und in der Praxis kaum noch wegzudenken sind.

So ist es nicht verwunderlich, dass man im Zuge der Weiterentwicklung der Feinkornbaustähle versucht hat, sie noch viel feinkörniger zu gestalten als bisher, um sie noch wesentlich fester zu machen. Mit der weiteren Verkleinerung der Korngröße bis zu etwa 0,1 μm , was oft als ultrafeinkörniger Bereich bezeichnet wird, ist aber ein ernstes Problem aufgetaucht: der völlige Verlust der Gleichmaßdehnung bei Zugbeanspruchung.

Das Problem der ultrafeinkörnigen Baustähle

Die typischen ultrafeinkörnigen Baustähle sind in der Regel un- oder niedriglegiert und enthalten bis zu etwa 0,2 % Kohlenstoff. Meist lässt man sie nach dem letzten Schritt der thermomechanischen Herstellung langsam abkühlen. In diesem Zustand beobachtet man, dass sie unterhalb von ungefähr 1 µm Korngröße die Fähigkeit zur gleichmäßigen plastischen Zugverformung verlieren. Bei Zugbeanspruchung setzt die lokale Einschnürung unmittelbar nach Beginn der plastischen Verformung ein und konzentriert sich ausschließlich auf den Einschnürbereich, die Gleichmaßdehnung wird Null. Als typisches Beispiel zeigt Abbildung 1 Spannungs-Dehnungs-Diagramme für einen unlegierten Baustahl bei unterschiedlichen Korngrößen.[1] Bei einer Korngröße von 0,47 µm beginnt die Einschnürung gleich nach Fließbeginn.

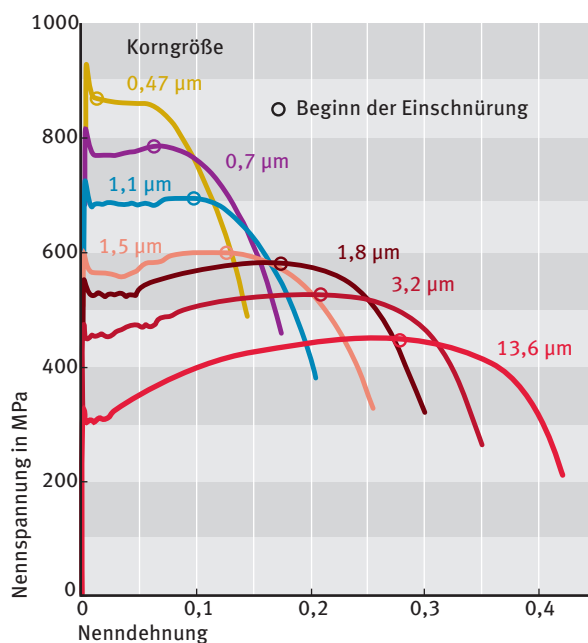


Abb. 1: Spannungs-Dehnungs-Diagramme im Zugversuch für einen typischen Baustahl (JIS-SM490, entspricht etwa dem S355JR) mit 0,15 % C-Gehalt bei unterschiedlichen Korngrößen; Dehngeschwindigkeit $3,3 \cdot 10^{-4} \text{ s}^{-1}$; nach [1]

Bei der Verwendung dieser ultrafeinkörnigen Stähle stellt der Verlust der Gleichmaßdehnung ein schwerwiegendes Problem dar: Die mechanische Sicherheit ist gering und Umformen im Zugbereich kaum noch möglich. Bislang konnte weltweit keine schlüssige Erklärung für dieses Verhalten gefunden werden, das sich übrigens nicht nur bei Baustählen zeigen kann, sondern auch bei anderen Werkstoffen mit kubisch-raumzentriertem Kristallgitter sowie als Variante bei vielen nanokristallinen Werkstoffen mit noch kleineren Körnern. Interessant ist, dass aber in allen Fällen immer das Phänomen der ausgeprägten Streckgrenze auftritt, und das ist der Schlüssel zur Erklärung.

Das wahre Werkstoffverhalten und seine Folgen

Neuere Untersuchungen [2, 3] haben gezeigt, dass der Bereich der unteren Streckgrenze im Zugversuch keine inhärente Eigenschaft von Werkstoffen ist. Er ist vielmehr eine logische Folge aus dem Kräftegleichgewicht zwischen dem noch elastischen und dem schon plastischen Werkstoffbereich während des Zugversuchs. Das „wahre“ Verhalten eines Werkstoffs mit ausgeprägter Streckgrenze unterscheidet sich von einem Werkstoff ohne ausgeprägte Streckgrenze nur in einem Punkt: Für den Beginn der ersten plastischen Verformung ist eine höhere Spannung nötig (das ist die wahre obere Streckgrenze) als für den Fortgang der plastischen Verformung.[2]

Schaut man sich die umfangreiche Literatur zum Verhalten von Werkstoffen mit ausgeprägter Streckgrenze sorgfältig an, so lassen sich die folgenden stark vereinfachten Grundsätze für die typischen un- und niedriglegierten Baustähle mit bis zu etwa 0,2 % Kohlenstoffgehalt herausarbeiten:

- Die wahre obere Streckgrenze folgt einer typischen Hall-Petch-Gleichung mit einer großen Neigung der Hall-Petch-Geraden.
- Die wahre Fließkurve folgt mit ihrem Spannungsniveau ebenfalls einer Hall-Petch-Geraden, aber mit viel geringerer Neigung.
- Das Phänomen der ausgeprägten Streckgrenze ist im Wesentlichen ein athermischer Vorgang; der thermisch aktivierbare Anteil der Fließspannung ist nur in einer Grundspannung enthalten.

Aus diesen Grundsätzen ergibt sich als logischer Schluss, dass mit abnehmender Korngröße die wahre Fließkurve maßvoll parallel angehoben wird, die wahre obere Streckgrenze aber viel stärker. Als Folge dessen wird auch das Spannungsniveau an der unteren Streckgrenze stärker erhöht als das der Fließkurve, bis es schließlich die Zugfestigkeit erreicht. Liegt die untere Streckgrenze oberhalb der Zugfestigkeit, kommt kein mechanisches Gleichgewicht im Bereich der unteren Streckgrenze mehr zustande und plastische Instabilität ist die Folge, die Gleichmaßdehnung wird Null.

Aus diesen Überlegungen wurde ein empirisch begründetes konstitutives Gesetz für die wahre obere Streckgrenze und die wahre Fließkurve mit der Korngröße als Variable entwickelt. Ganz absichtlich soll das Gesetz nicht nur für einen bestimmten Werkstoff gelten, sondern für einen praxisnahen Bereich innerhalb der typischen Feinkornbaustähle. Stellt man das

wahre Werkstoffverhalten für fünf charakteristische Korngrößen in Diagrammform dar, so erhält man die Kurven in Abbildung 2.

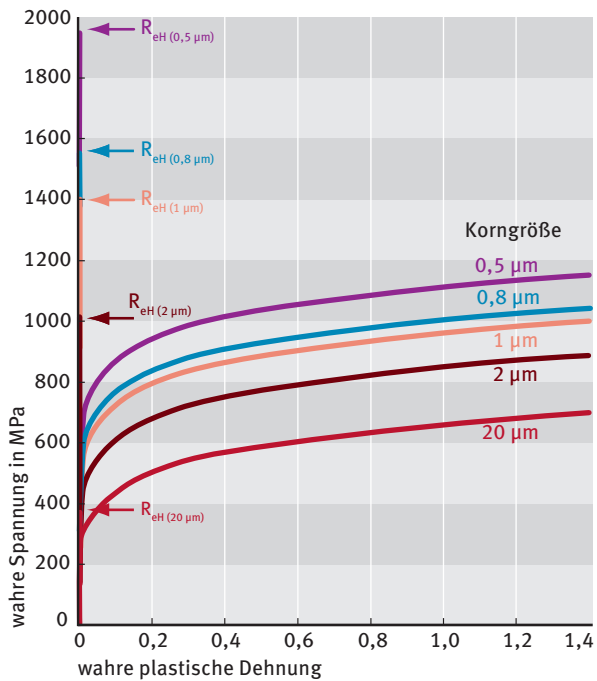


Abb. 2: wahres Werkstoffverhalten, berechnet nach einem eigenen, empirisch ermittelten konstitutiven Gesetz; quasistatische Prozessführung; für un- und niedriglegierte Baustähle mit bis zu etwa 0,2 % C-Gehalt geeignet

Beschreibt dieses konstitutive Gesetz die Realität richtig? Um diese Frage zu beantworten, wurden umfangreiche Finite-Elemente-Rechnungen und analytische Rechnungen durchgeführt. Die wichtigsten Ergebnisse sind in Abbildung 3 dargestellt. Alle wesentlichen Erscheinungen sind klar zu erkennen: Die Gleichmaßdehnung sinkt mit abnehmender Korngröße und springt unterhalb von etwa 1 μm Korngröße schlagartig auf Null. Der leichte Spannungseinbruch kurz nach Fließbeginn ist anders als bei den Experimenten. Dies rührt aber daher, dass bei den FE-Rechnungen noch quasistatisches Werkstoffverhalten angesetzt wurde. Neuere Rechnungen mit dehnratenabhängigem Werkstoffverhalten zeigen den Spannungseinbruch kaum noch. Die in den Versuchen niedrigere obere Streckgrenze (s. Abb. 1) ist auf die nie vollständig symmetrische Belastung im Zugversuch zurückzuführen. Damit ist eines der grundlegenden Probleme der Werkstoffmechanik verstanden und mögliche Lösungsansätze können zielgerichteter angegangen werden.

Literatur

- [1] N. Tsuchida, H. Masuda, Y. Harada, K. Fukaura, Y. Tomota, K. Nagai, *Effect of ferrite grain size on tensile deformation behavior of a ferrite-cementite low carbon steel*, Materials Science and Engineering A 488 (2008) pp. 446–452.
- [2] R. Schwab, V. Ruff, *On the nature of the yield point phenomenon*, Acta Materialia 61, Heft 5(2013), pp. 1798–1808.

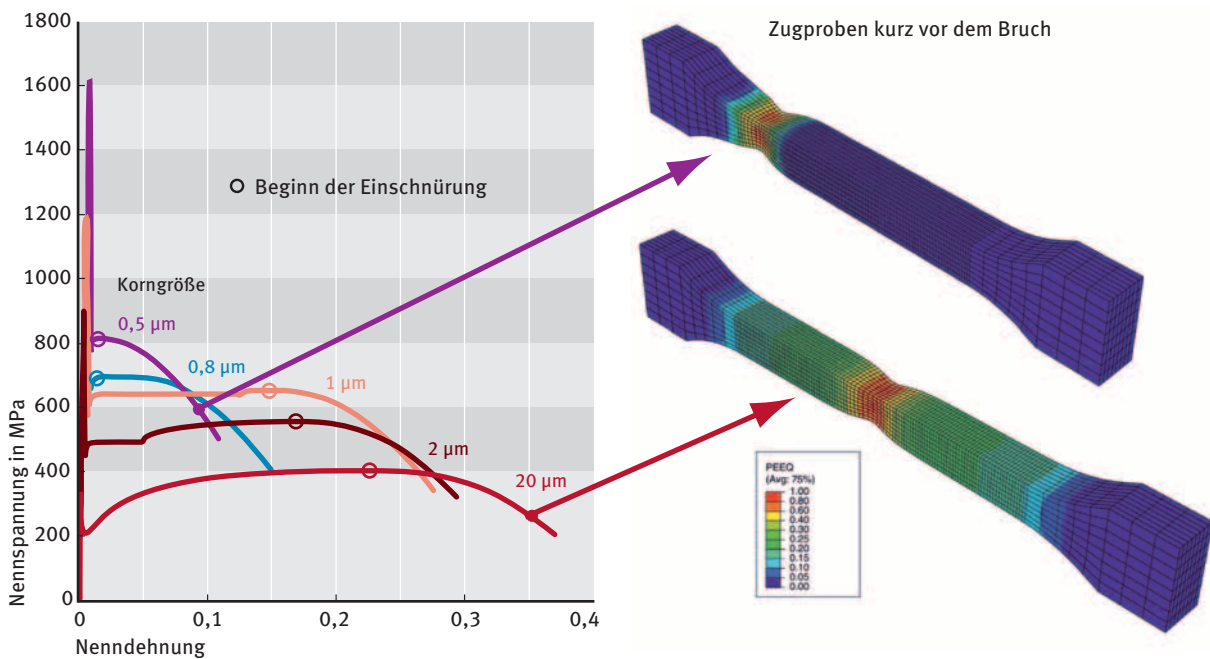


Abb. 3: Ergebnisse der Finite-Elemente-Rechnungen; die Farben rechts stellen die plastische Vergleichsdehnung PEEQ in der Zugprobe dar; blau entspricht dem noch elastischen Zustand

- [3] R. Schwab, E. O. Bernhardt, *Ein neues makromechanisches Werkstoffmodell zur Erklärung des Phänomens der ausgeprägten Streckgrenze mit Lüderseffekt*, Forschung aktuell 2015, Hochschule Karlsruhe – Technik und Wirtschaft, pp. 63–65.

Abstract

Fine-grained structural steels have outstanding properties due to their high strength, acceptable ductility, good toughness and low tendency towards brittle fracturing. Unfortunately, for grain sizes of below $1\ \mu\text{m}$ the feature of uniform tensile deformation is lost completely, and necking starts immediately after first yielding. Using a “true” material law reveals the answer to this long-standing riddle in materials science. Analytical and finite element calculations confirm the new approach.

Zusammenfassung

Feinkörnige Baustähle zeichnen sich durch herausragende Festigkeitseigenschaften, akzeptable Duktilität, gute Zähigkeit und geringe Sprödbrechneigung im Zugbereich aus. Sinkt die Korngröße aber unter eine bestimmte Grenze, die oft bei etwa $1\ \mu\text{m}$ liegt, so verlieren sie die Gleichmaßdehnung bei Zugbeanspruchung völlig und schnüren kurz nach Fließbeginn ein. Die Ursache für dieses gravierende Problem war bislang unbekannt. Mithilfe eines neuen, „wahren“ Werkstoffgesetzes werden erstmals die Ursachen für das Problem klar. Umfangreiche Finite-Elemente- und analytische Berechnungen bestätigen den neuen Ansatz.

Autor

Prof. Dr.-Ing. Rainer Schwab

Professor an der Fakultät für Maschinenbau und Mechatronik der Hochschule Karlsruhe und Leiter der Abteilung Angewandte Materialforschung (AMR) des Institutes of Materials and Processes (IMP) an der Hochschule Karlsruhe

Kontakt

Prof. Dr.-Ing. Rainer Schwab
Hochschule Karlsruhe – Technik und Wirtschaft
Fakultät für Maschinenbau und Mechatronik
Moltkestraße 30
76133 Karlsruhe
E-Mail: rainer.schwab@hs-karlsruhe.de
Telefon: 0721 925-1902



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.

μBANSAL – Biomedizinisches Analysesystem mit Laserlicht

Christoph Prokop und Christian Karnutsch

Das Institute for Optofluidics and Nanophotonics (IONAS) der Hochschule Karlsruhe forscht in enger Kooperation mit dem Zentralinstitut für Laboratoriumsmedizin, Mikrobiologie und Transfusionsmedizin (ZLMT) des Städtischen Klinikums Karlsruhe und dem Royal Melbourne Institute of Technology (RMIT University) in Melbourne, Australien, an neuartigen integrierten Sensorsystemen auf Basis nanophotonischer und optofluidischer Prinzipien.[1] Unter dem Akronym BANSAL (Biomedizinisches Analysesystem mit Laserlicht) werden durch die Kombination modernster Mikro- und Nanotechnologien mit aktuellen medizinischen Fragestellungen Sensorsysteme erforscht, die zukünftig bestehende medizinische Analysesysteme unter Verwendung von Laserlicht vereinfachen und verkleinern sowie die Entwicklung neuer Analysemethoden ermöglichen sollen. Ziel des Projekts μBANSAL ist die Erforschung eines chipbasierten miniaturisierten Sensorsystems zur hochsensitiven photometrischen Untersuchung von flüssigen Analyten. Dabei sollen fingernagelgroße Bauteile entwickelt werden, die für sensorische Anwendungen in der medizinischen Diagnostik und Umwelttechnik geeignet sind.

μBANSAL-Konzept

Die Basis des miniaturisierten photometrischen Sensorsystems μBANSAL sind zwei optische Gitterkoppler, die durch einen Wellenleiter verbunden sind. Die Gitterkoppler dienen dazu, das Laserlicht, mit dessen Hilfe die Analyse erfolgt, über optische Fasern in das System ein- und auszukoppeln. Die gesamte Anordnung soll dabei über Luftkavitäten angebracht sein, damit Licht möglichst effizient eingebracht und geführt werden kann. Die Luftkavitäten haben neben dem Vorteil der effektiveren Lichtführung die weitere Funktion, den zu untersuchenden Analyt in das Sensorsystem zu bringen. Abbildung 1 zeigt den schematischen Aufbau des Wellenleiters und der Gitterkoppler.

Ziel ist es, ein chipbasiertes photometrisches Sensorsystem zu realisieren, das eine verstärkte Interaktion mit dem Analyten im Vergleich zu den bisher vorhandenen Systemen bietet. Die Interaktion soll nicht wie bisher über eine Transmission des Analyselichts durch den Analyten hindurch erfolgen, sondern über hochsensitive optische Sensorelemente wie langperiodische Gitter oder Bragg-Gitter. Das gesamte System soll hierbei komplett aus Polymeren entwickelt werden, da diese biokompatibel sind und eine schnelle und kostengünstige Massenherstellung erlauben.

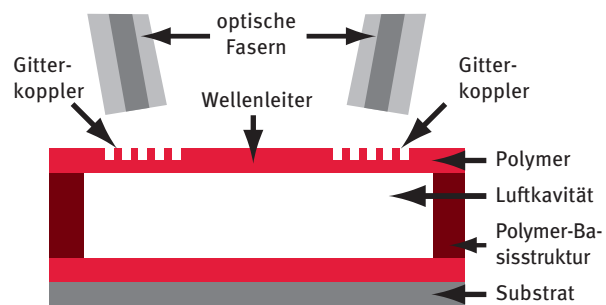


Abb. 1: Laserlicht wird über Gitterkoppler in das Sensorsystem ein- und ausgekoppelt; durch die Interaktion mit einem flüssigen Analyten kommt es zu einer Veränderung der optischen Eigenschaften des Wellenleiters, die als Sensorsignale über Photodioden ausgewertet werden können.

Ergebnisse

Detaillierte Simulationen haben gezeigt, dass integrierte, rein polymere Gitterkoppler in Kombination mit Luftkavitäten eine vergleichsweise hohe Kopplungseffizienz aufweisen können. Um die simulierten Strukturen herstellen zu können, wurde an der Hochschule Karlsruhe innerhalb des von Bürkert Fluid Control Systems finanziell unterstützten Australian-German Study Centre for Optofluidics and Nanophotonics (SCON) [2] eine Technik entwickelt, mit der es möglich ist, eine sehr dünne unvernetzte Polymerschicht über eine Luftkavität zu laminieren. [3] Diese Technik ist für

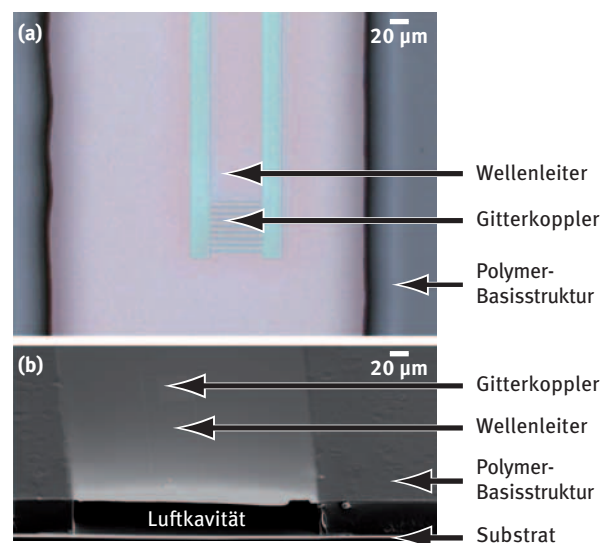


Abb. 2: erste Ergebnisse des Laminierungsverfahrens: Über eine ca. 25 μm tiefe Luftkavität wurde eine 500 nm dünne Polymerschicht, die Gitterkoppler und Wellenleiter enthält, beschädigungsfrei und mit guter mechanischer Stabilität laminiert.

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 über 45 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



Komplexes
System sucht
leidenschaftliche
Ingenieure,
für die anspruchsvolle
Lösungen ganz
großes Kino sind.

Bei Bürkert arbeiten wir an individuellen Systemlösungen für unsere Kunden. Die Erfahrung und das Wissen unserer Ingenieure sind dabei ebenso gefordert wie ihre Leidenschaft, ihre Kreativität und auch ihr Mut, über Grenzen hinweg zu denken und auch mal ganz neue Wege zu gehen. Dafür braucht man Leute, die Herausforderungen gerne annehmen und sich nicht mit der Rolle des Zuschauers begnügen. Gehören Sie dazu?

Mutige gesucht.

www.buerkert.de



bürkert
FLUID CONTROL SYSTEMS

FLUID CONTROL SYSTEMS

Monomodalen-Wellenleiter geeignet und damit hoch interessant für chemische und biologische Analysen. [4]

In bisherigen Experimenten konnten bereits erfolgreich polymere Gitterkoppler über eine Luftkavität laminiert (s. Abb. 2) und in ersten Transmissionsmessungen auf ihre Funktionalität überprüft werden. Damit ist es gelungen, Licht, das später zur Analyse einer flüssigen Probe genutzt werden soll, in das Sensorsystem einzubringen.

Ausblick

In der nächsten Phase der Erforschung von μ BANSAL sollen die mit Gitterkopplern und Wellenleitern strukturierten Polymerfolien optimiert und in einem Transmissionsmessplatz charakterisiert werden. Anschließend sollen hochsensitive optische Sensorelemente, die bereits heute am Institut IONAS erdacht und simuliert werden, in die Polymerplattform integriert werden, um dem Ziel μ BANSAL einen großen Schritt näher zu kommen.

Referenzen

- [1] C. Karnutsch, C. Prokop, *Optofluidics and Nanophotonics at IONAS - Enabling technologies for micro- and nanoplatforms for biosensors and biomedical analysis systems*, 16th German-American Frontiers of Engineering Symposium (GAFOE), Potsdam, Germany, 2015.
- [2] www.hs-karlsruhe.de/SCON
- [3] C. Prokop, S. Schoenhardt, T. Mahmud, A. Mitchell, C. Karnutsch, *Bonding of SU-8 films onto KMPR structures for microfluidic, air-suspended photonic and optofluidic applications*, Journal of Micromechanics and Microengineering, in preparation.
- [4] C. Prokop, S. Schoenhardt, C. Karnutsch, A. Mitchell, *Microfluidic refractive index sensor based on polymer grating couplers*, Laser Optics Congress for Optical Sensors and Cyber-Physical Systems, Berlin, Germany, 2014.

Abstract

The aim of the μ BANSAL project is to conduct research on chip-based sensor systems for optical analysis of liquids in the fields of medical and environmental analysis. Highly sensitive, miniaturized polymer platforms which use optical grating structures are developed to enhance the interaction of light and analyte solutions.

Zusammenfassung

Ziel des Projekts μ BANSAL ist die Erforschung eines chipbasierten miniaturisierten Sensorsystems zur hochsensitiven photometrischen Untersuchung von flüssigen Analyten. Dabei sollen fingernagelgroße Plattformen aus Kunststoff entwickelt werden, deren verbesserte Interaktion von Licht und Analyt für sensorische Anwendungen in der medizinischen Diagnostik und Umwelttechnik geeignet sind.

Autoren

Christoph Prokop M.Eng.

Akademischer Mitarbeiter und Doktorand an der Hochschule Karlsruhe im Rahmen des PhD Studies Agreements zwischen der Hochschule Karlsruhe und des Royal Melbourne Institute of Technology (RMIT University), Melbourne, Australien

Prof. Dr.-Ing. Christian Karnutsch

Professor für Optosensorik an der Fakultät für Elektro- und Informationstechnik der Hochschule Karlsruhe, Institutsleiter des Institute for Optofluidics and Nanophotonics (IONAS), Leiter des Deutsch-Australischen Studienzentrums für Optofluidik und Nanophotonik (SCON) sowie Adjunct Professor der RMIT University, Melbourne, Australien.

Kontakt

Prof. Dr.-Ing. Christian Karnutsch
Hochschule Karlsruhe – Technik und Wirtschaft
Fakultät für Elektro- und Informationstechnik
Institute for Optofluidics and Nanophotonics (IONAS)
Moltkestraße 30
76133 Karlsruhe
E-Mail: christian.karnutsch@hs-karlsruhe.de
Telefon: 0721 925-1352

GANZHEITLICHE LÖSUNGEN FÜR IHREN ERFOLG

Energetisch optimiert und wirtschaftlich effizient: Nachhaltige Immobilien entstehen aus ganzheitlichen Lösungen für Energiekonzepte, aus dem optimalen Zusammenspiel von Gebäudehülle, Technikkonzept und erneuerbaren Energien. Schont die Ressourcen, erhöht die Nutzerqualität, bietet Sicherheit für Ihre Investition. Über den gesamten Lebenszyklus hinweg. Mit Brief und Siegel und mit Bilfinger.

BILFINGER HOCHBAU GMBH
Niederlassung Karlsruhe
www.hochbau.bilfinger.com



HEBERGER

- Schlüsselfertiger Industriebau
- Parkhausbau
- Betonfertigteilwerk

HEBERGER System-Bau GmbH · Altretweg 15 · 68809 Neulussheim
Tel. 06205-399-0 · Fax 06205-399-200 · www.heberger.de

Sanierung eines Universitätsgebäudes aus den 1960er-Jahren

Bernhard Lenz und Arne Abromeit

Kollegiengebäude Mathematik nach der Sanierung

Das Kollegiengebäude Mathematik des Karlsruher Instituts für Technologie (KIT) aus den 1960er-Jahren wies vor der Sanierung baualtersbedingt eine äußerst schlechte Performance der Gebäudehülle auf. Problematisch waren vor allem großflächige Wärmebrücken sowie generell eine hohe Gebäudeundichtigkeit. Um die Wärmebrücken zu eliminieren, wurden die zuvor auf allen Etagen etwa ein Meter auskragenden Deckenplatten dem Gebäudeinnenraum zugeschlagen. Als weitere effektive Maßnahme wurde das Erdgeschoss, das zuvor lediglich der Erschließung der Obergeschosse diente und größtenteils Außenraum war, mit einer Folienkissenkonstruktion überdacht und ebenfalls dem Innenraum zugeschlagen. So wurde aus dem zuvor offenen Kaltatrium eine mäßig temperierte Zone. Zusätzlich wurde das gesamte Gebäude um ein zurückversetztes Geschoss aufgestockt. Das sanierte Gebäude ist nun komplett neu strukturiert und die Nutzfläche wurde durch die beschriebenen Maßnahmen um über die Hälfte vergrößert. Das Verhältnis der thermischen Hüllfläche zum Gebäudevolumen (A/V) wurde durch die Sanierung deutlich verbessert.



Abb. 1: Kollegiengebäude Mathematik des KIT nach der Sanierung (Foto: Hochschule Karlsruhe)

Das Energiekonzept des Gebäudes stützt sich im Wesentlichen auf die effiziente Nutzung eines vorhandenen Fernwärme- und Nahkältenetzes. Für das Lüftungskonzept wurde eine anspruchsvolle Kombination gewählt, die sich aus einer kontrollierten Be- und Entlüftung in Verbindung mit einer natürlichen Lüftung zusammensetzt und auch die im Gebäude vorhandene thermische Speichermasse sowie den im Atrium

entstehenden thermischen Auftrieb nutzt. Der Schutz vor einer sommerlichen Überhitzung des Gebäudes wird über einen effizienten, überwiegend außenliegenden Sonnenschutz sowie durch Nachtauskühlung gewährleistet. Durch eine Reduktion der effektiven Raumtiefen von über 7 Metern auf 5 Meter sind eine höhere Tageslichtautonomie und ein geringerer Energieverbrauch für Kunstlicht in den außenliegenden Büroräumen zu erwarten.



Abb. 3: überdachtes Atrium nach der Sanierung (Foto: Hochschule Karlsruhe)

Innerhalb des Forschungsprojekts wird ermittelt, wie hoch der Energieverbrauch für den Gebäudebetrieb ist. Außerdem werden Optimierungsvorschläge für den Gebäudebetrieb erarbeitet. Vertieft betrachtet werden die Gebäudelüftung und der thermische Komfort. Erstere erfolgt über eine Fensterlüftung sowie eine Lüftung über das Gebäudeatrium in Verbindung mit einer mechanischen Lüftungsanlage. Insbeson-

dere soll die Leistungsfähigkeit des natürlichen thermischen Auftriebs innerhalb des Atriums überprüft werden. Das Atrium fungiert in Abhängigkeit der Außentemperatur als Überström- oder Abluftzone. Hierzu wird im Atrium zu ausgewählten Zeiten das vorhandene Druckprofil ermittelt. Darauf aufbauend werden Aussagen über die daraus resultierende Effizienz der natürlichen Lüftung unter variierenden Innenraum- und Witterungszuständen getroffen. Zur Beurteilung des thermischen Komforts werden in ausgewählten Bereichen Messungen der relevanten Raumklimagrößen wie Strahlungstemperatur, Lufttemperatur, Luftgeschwindigkeit und relative Luftfeuchte vorgenommen. Es werden über 50 Energiezäh-

ler und über 150 Kontrolldaten aus dem Gebäude sowie Außenklimawerte kontinuierlich aufgezeichnet. Ergänzt werden diese Werte durch manuelle Datenerhebungen sowie mobile Datenlogger für Luftdruck, Stromverbrauch, Temperatur und weitere Komfortparameter.

Das Gebäude, das im April 2015 dem Nutzer übergeben wurde, befindet sich seit Oktober 2015 im Vollbetrieb. Erste Ergebnisse zum Heizenergiebedarf werden im Frühjahr 2016 vorliegen; hinsichtlich der Nachtauskühlung des Atriums ist nach der Sommerperiode 2016 mit ersten Datenauswertungen zu rechnen.

Abstract

The Karlsruhe University of Applied Sciences is carrying out a scientific evaluation of a refurbished and energy-optimized building for the research initiative EnOB. The teaching and office building of the Karlsruhe Institute of Technology (KIT) was built in the 1960's. At that time it was common for buildings to have very high levels of energy consumption as well as deficiencies in their user comfort. Indicators for energy consumption and for user comfort are recorded. An operational optimization will be carried out for two years.

Zusammenfassung

Die Hochschule Karlsruhe führt im Rahmen der Forschungsinitiative EnOB eine wissenschaftliche Evaluierung eines sanierten und energieoptimierten Hochschulgebäudes durch. Das Kollegengebäude Mathematik des Karlsruher Instituts für Technologie (KIT) aus den 1960er Jahren wies vor der Sanierung einen überdurchschnittlich hohen Energieverbrauch sowie Defizite hinsichtlich des Nutzerkomforts auf. Über zwei Jahre werden ein Monitoring von Energie- und Komfortkennwerten sowie eine Optimierung des Gebäudebetriebs durchgeführt. Dabei werden über 50 Energiezähler und über 150 Kontrolldaten aus dem Gebäude sowie Außenklimawerte konti-

nuitlich aufgezeichnet. Ergänzt werden diese Werte durch manuelle Datenerhebungen sowie mobile Datenlogger für Luftdruck, Stromverbrauch, Temperatur und weitere Komfortparameter. Das Gebäude wurde im April 2015 dem Nutzer übergeben. Seit Oktober 2015 befindet es sich im Vollbetrieb. Erste Ergebnisse zum Heizenergiebedarf werden im Frühjahr 2016 vorliegen. Mit ersten Ergebnissen hinsichtlich der Nachtauskühlung des Atriums ist nach dem Sommer 2016 zu rechnen.

Autoren

Dipl.-Ing. Arne Abromeit

Akademischer Mitarbeiter am Institut für Angewandte Forschung (IAF)

Prof. Dr.-Ing. Bernhard Lenz

Professor für Energieoptimiertes Planen und Bauen an der Fakultät für Architektur und Bauwesen

Kontakt

Prof. Dr.-Ing. Bernhard Lenz

Hochschule Karlsruhe – Technik und Wirtschaft

Fakultät für Architektur und Bauwesen

Moltkestraße 30

76133 Karlsruhe

E-Mail: bernhard.lenz@hs-karlsruhe.de

Telefon: 0721 925-2764

**Wer will gemeinsam
mit uns die Welt von
morgen vernetzen?**



Software Innovations



BOSCH

Technik fürs Leben

Tolle Ideen kann man alleine haben. Sie zu verwirklichen, geht nur gemeinsam. Darum arbeiten bei Bosch Software Innovations kluge Köpfe mit viel Leidenschaft. Mit dem gemeinsamen Ziel, durch intelligente Softwarelösungen die Zukunft einer vernetzten Welt schon heute möglich zu machen. Für alle, die davon ein Teil sein möchten, bieten wir Praktika, Abschlussarbeiten oder Positionen für den Direkteinstieg.

Haben wir Ihr Interesse geweckt? Dann starten Sie mit uns durch – denn jeder Erfolg hat seinen Anfang.

www.bosch-si.de/karriere



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 15.000 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.

www.zueblin.de



ZÜBLIN

TEAMS WORK.



Ed. Züblin AG, Human Resource Development, Albstadtweg 3
70567 Stuttgart/Deutschland, Regionaler Standort: Direktion Karlsruhe

Mischflächen

Jan Riel

Einleitung

Wenn wir uns im Straßenverkehr fortbewegen, folgen wir Verhaltensregeln, die im Rahmen der Verkehrserziehung antrainiert wurden, sei es als Fußgänger oder Autofahrer. Die aktuelle Rechtsstellung bzw. Rollenverteilung der unterschiedlichen Verkehrsarten kann aus historischer Sicht hinterfragt werden¹, steht jedoch derzeit nicht zur Debatte, wenngleich es häufig zu systembedingten Gefährdungspotenzialen kommt, beispielsweise beim Queren der Straße durch Fußgänger. Sichere Quermöglichkeiten für Fußgänger sind daher – neben dem Wunsch nach weniger Lärm und Emissionen – einer der am häufigsten geäußerten Wünsche von Bewohnern an die Baulastträger von stark befahrenen Straßen.

Die Wünsche der Nutzer

Auch abseits der Hauptverkehrsadern werden zunehmend Wünsche an die Gestaltung der Straßenräume und den Umgang der Verkehrsteilnehmer miteinander laut: Insbesondere in den schmaleren Straßen der städtischen Wohngebiete dominiert der ruhende Verkehr den öffentlichen Raum. Gehwege sind häufig (baulich oder aufgrund der Mitbenutzung durch geparkte Fahrzeuge) so schmal, dass die Begegnung zweier Fußgänger kaum noch möglich ist. Gerade in Wohngebieten bemängeln Bewohner häufig zu hohe Geschwindigkeiten von Autos, beengte Verhältnisse für Fußgänger und deren Gefährdung durch den Autoverkehr. Neben dem Aspekt der Verkehrssicherheit gewinnen aber auch zunehmend andere Kriterien wie Barrierefreiheit für mobilitätseingeschränkte Personen oder die Auf-

enthaltsqualität (z. B. Nebeneinanderlaufen mit der Möglichkeit zur Unterhaltung) an Bedeutung.

In den 1980er-Jahren wurden in der ersten „Welle“ der Verkehrsberuhigung zahlreiche Umbauten von Straßenräumen vorgenommen, vor allem durch Verschwenkungen, Einengungen oder Bodenschwellen, die die Geschwindigkeiten des Kfz-Verkehrs reduzieren sollten. Diese Ziele wurden auch weitgehend erreicht, die Konkurrenz um die Fläche konnte jedoch mit diesen Ansätzen nicht behoben werden.

Der Ansatz „Mischfläche“

Seit gut zehn Jahren werden zunehmend Umbauten von Straßen vorgenommen, die die räumliche Trennung der unterschiedlichen Verkehrsarten aufheben oder zumindest verringern und damit zu einer gewollten Mischung verschiedener Verkehrsarten auf derselben Fläche führen. Diese Ansätze wurden zunächst unter dem Namen Shared-Space² diskutiert; inzwischen sind jedoch auch andere Begriffe gebräuchlich: So wurde in einer Bewohnerumfrage in Hamburg der Begriff „Gemeinschaftsstraße“ etabliert, im Schweizer Verkehrsrecht ist die „Begegnungszone“ als offizielle Bezeichnung verankert.

Nach anfänglich sehr kontroversen und polarisierenden Diskussionen über die neuen Entwurfsprinzipien wurden inzwischen mehrere Publikationen zu Einsatzbereichen und -grenzen von Straßenraumgestaltungen nach dem Shared-Space-Gedanken veröffentlicht, die in der Planungspraxis und Wissenschaft zu größeren Teilen anerkannt sind. [1, 2] Diese betrachten jedoch überwiegend stark belebte, urbane Bereiche mit hohen Fußgängermengen vor allem in Querrichtung zum Kfz-Verkehr.



Abb. 1: Gehwege sind zu schmal für den Begegnungsfall zweier Fußgänger oder das Nebeneinanderlaufen und Unterhalten („kleine“ Rheinstraße, Karlsruhe, Foto: Jan Riel)

¹ Der Straßenraum „gehörte“ zu Beginn der Automobilära in erster Linie den Fußgängern und Gespannen. Bei den zahlreichen für Fußgänger tödlichen Zusammenstößen mit Kfz in den 1920er-Jahren in den USA wurden in der Regel die Autofahrer des Totschlags angeklagt. Erst mit der sog. „Jaywalking-Kampagne“ wurde die Rechtslage zu Lasten der Fußgänger umgekehrt. [3]

² Der Begriff ist inzwischen durch das Shared-Space-Institut/NHL University (NL) rechtlich geschützt.

Von möglicherweise größerer Bedeutung für eine flächendeckende Stärkung des Zu-Fuß-Gehens als die umwelt- und umfeldfreundlichste Art der Fortbewegung könnten aber auch die zahlreichen kleinen, weniger stark frequentierten Straßen in den Quartieren sein. Dort wird entschieden, ob der Weg zur nächsten Einkaufsmöglichkeit zu Fuß, mit dem Rad oder mit dem Auto angetreten wird. Die Gestaltung der Straßen hat auch hohen Einfluss darauf, ob diese als Ort der Begegnung und des Aufenthalts oder lediglich als Zubringer zu Wohnung oder Haus wahrgenommen werden. Vor diesem Hintergrund bekommt auch die Kritik der Bewohner an den beengten räumlichen Verhältnissen und zumindest gefühlten Sicherheitsdefiziten in den Quartiersstraßen eine weitere Dimension.

Pilotversuch „kleine“ Rheinstraße

In Karlsruhe wurde bereits 2011 der Umbau einer schmalen Straße im Karlsruher Stadtteil Wolfartsweier detailliert untersucht. Damals zeigte sich, dass ein entsprechender Umbau zu geringeren Geschwindigkeiten im Kfz-Verkehr führen kann, Autofahrer größere Abstände zu Fußgängern sowie zu Hauseingängen halten und die Straße von mehr Fußgängern genutzt wird und diese nicht mehr (auf dem schmalen Gehweg) hintereinander, sondern nebeneinander laufen können. [4] Es wird derzeit diskutiert, inwieweit solche Erfahrungen auf andere Straßen übertragbar sind und wie solche Straßen dann straßenverkehrsrechtlich einzuordnen sind.

Auf Initiative des Ministeriums für Verkehr und Infrastruktur des Landes Baden-Württemberg und im Auftrag der Stadt Karlsruhe untersucht die Hochschule Karlsruhe – Technik und Wirtschaft derzeit am Beispiel der „kleinen“ Rheinstraße im Karlsruher Stadtteil Mühlburg, wie sich der Umbau der Straße auf Verkehrssicherheit und Aufenthaltsqualität auswirkt.



Abb. 2: „Kleine“ Rheinstraße nach dem Umbau (Foto: Jan Riel)

Dabei wurden die Gehwege entfernt, sodass parkende Kfz dicht an den Hauswänden stehen. Fußgänger, Radfahrer und Autofahrer nutzen die Mischfläche zwischen den parkenden Autos gemeinsam. Zudem ist die Straße als verkehrsberuhigter Bereich ausgewiesen.

Erste Ergebnisse deuten darauf hin, dass die gemeinsame Nutzung der Fläche durch die verschiedenen Verkehrsarten „funktioniert“: Autofahrer und Fußgänger reagieren aufeinander, passen die Geschwindigkeit an die Situation an und machen einander Platz. Inwiefern sich dennoch potenzielle Gefährdungen ergeben können und wie diese im Vergleich zur früheren Situation zu beurteilen wären, ist abschließend noch zu klären. Für eine belastbare Empfehlung, solche Mischflächen in das Verkehrsrecht zu integrieren, sind außerdem noch zahlreiche weitere Beobachtungen unter verschiedenen Randbedingungen durchzuführen.

Literatur

- [1] J. Gerlach, D. Boenke, J. Leven, R. Methorst, *Sinn und Unsinn von Shared Space – Zur Versachlichung einer populären Gestaltungsphilosophie*, in: Straßenverkehrstechnik, Köln, (2 und 3)2008.
- [2] R. Baier, K. Engelen, A. Klemps-Kohnen, A. Reinhardt, *Einsatzbereiche und Einsatzgrenzen von Straßenumgestaltungen nach dem Shared-Space-Gedanken*, in: Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen, Verkehrstechnik, Bergisch-Gladbach, V251(2015).
- [3] P. Norton, *Fighting Traffic: The Dawn of the Motor Age in the American City*, MIT Press, 2008.
- [4] J. Riel, *Niveaugleicher Umbau einer ehemaligen Ortsdurchfahrt – Einfluss auf Verkehrssicherheit und Verkehrsablauf am Beispiel der Steinkreuzstraße in Karlsruhe-Wolfartsweier*, in: Straßenverkehrstechnik, 9(2012).

Abstract

Pedestrians and vehicle-drivers normally use separate spaces on the roads and their behavior patterns towards each other are regulated according to the legal rules of the road. In some situations the classic differentiations no longer apply: E.g. if there is too little space for proper pavements and driving lanes or when large numbers of pedestrians cross a road. Shared Spaces where the separation of road users is reduced or impossible are more frequently used in places where conventional design principles no longer apply. There is a lack of clarity on two points: the legal classification of such Shared Spaces and the circumstances under which they safely and comfortably do function. The current project is part of the answer to these questions

Zusammenfassung

Fußgängern und Autofahrern sind normalerweise separate Flächen zugeteilt und die Verhaltensmuster gegenüber anderen Verkehrsteilnehmern orientieren sich an der StVO. In bestimmten Situationen stößt diese „klassische“ Flächen- und Rollenverteilung jedoch an ihre Grenzen, z. B. wenn zu wenig Fläche für ausreichend breite Gehwege und Fahrbahnen zur Verfügung

steht oder wenn starke Fußgängerströme Fahrbahnen kreuzen. Mischflächen, bei denen die Separation der Verkehrsteilnehmer ganz oder teilweise aufgehoben wird, kommen seit einiger Zeit in solchen Situationen zum Einsatz, bei denen die herkömmlichen Gestaltungsprinzipien nicht funktionieren. Unklar sind jedoch immer wieder die verkehrsrechtliche Einordnung solcher Bereiche und die Randbedingungen, unter denen Mischflächen sicher und komfortabel funktionieren. Die derzeit laufende Untersuchung stellt einen Beitrag zur Beantwortung dieser Frage dar.

Autor

Prof. Dr.-Ing. Jan Riel

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

Kontakt

Prof. Dr.-Ing. Jan Riel
Hochschule Karlsruhe – Technik und Wirtschaft
Fakultät für Architektur und Bauwesen
Moltkestraße 30
76133 Karlsruhe
E-Mail: jan.riel@hs-karlsruhe.de
Telefon: 0721 925-2626



JE HELLER DER KOPF, UMSO BRILLANTER DIE IDEE.

THIS IS SICK

Sensor Intelligence.



Ambitionierter Nachwuchs mit Weitblick gesucht. Bringen Sie Ihre Talente in Sensorlösungen ein, die weltweit Standards setzen und die nächste industrielle Revolution mitgestalten. Ihre Möglichkeiten: Praktika, Abschlussarbeiten oder Berufseinstieg. Ihr Umfeld: hochprofessionell, international und inspirierend. Ihr neuer Arbeitgeber: ein Hightech-Unternehmen mit weltweit rund 7.000 Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern. Ihre Zukunftsadresse: www.sick.de/karriere

Sie sehen all
Ihre Möglichkeiten?

Wir auch.

**Balluff sucht inspirierende Teamplayer,
die viel bewegen wollen.**



BALLUFF

sensors worldwide

Als Spezialist für die industrielle Automation vereint Balluff die Tradition eines Familienunternehmens mit der Weltläufigkeit des Global Players. Innovative Technik, Kundenorientierung und ein weltweites Qualitätsversprechen sind die Basis für ein erfolgreiches Wirtschaften bei Balluff. Dafür engagieren sich 3000 Mitarbeiter an 61 Standorten weltweit. Für den stetigen Ausbau unserer Produktentwicklung und unseres Produktmanagements suchen wir die besten

Hochschulabsolventen m/w

Sie haben Ihr Studium der Elektronik, Elektrotechnik, Nachrichtentechnik, Mikroelektronik, Optoelektronik, Informatik oder der Wirtschaftswissenschaften erfolgreich abgeschlossen und suchen interessante Perspektiven. Neben ausgezeichnetem Fachwissen verfügen Sie über soziale Kompetenz und gute Englischkenntnisse. Sie wollen selbstständig arbeiten und sich auch in internationalen Teams engagieren. Dann sollten Sie zum Erfolg eines modernen, globalen Unternehmens beitragen und sich bei uns bewerben.

Wir freuen uns auf Ihre Online-Bewerbung unter www.balluff.de/karriere.
Bewerbungen per E-Mail oder Post sind uns ebenfalls willkommen.

Haben Sie Fragen? Frau Freyberg beantwortet Ihnen diese gern. Tel. 07158 173-602

Balluff GmbH, Personalabteilung
Schurwaldstraße 9, 73765 Neuhausen a.d.F., personal@balluff.de



ANTRIEB BEWEGT ZUKUNFT

BEWEGEN SIE
MIT

SEW
EURODRIVE



Über 120 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