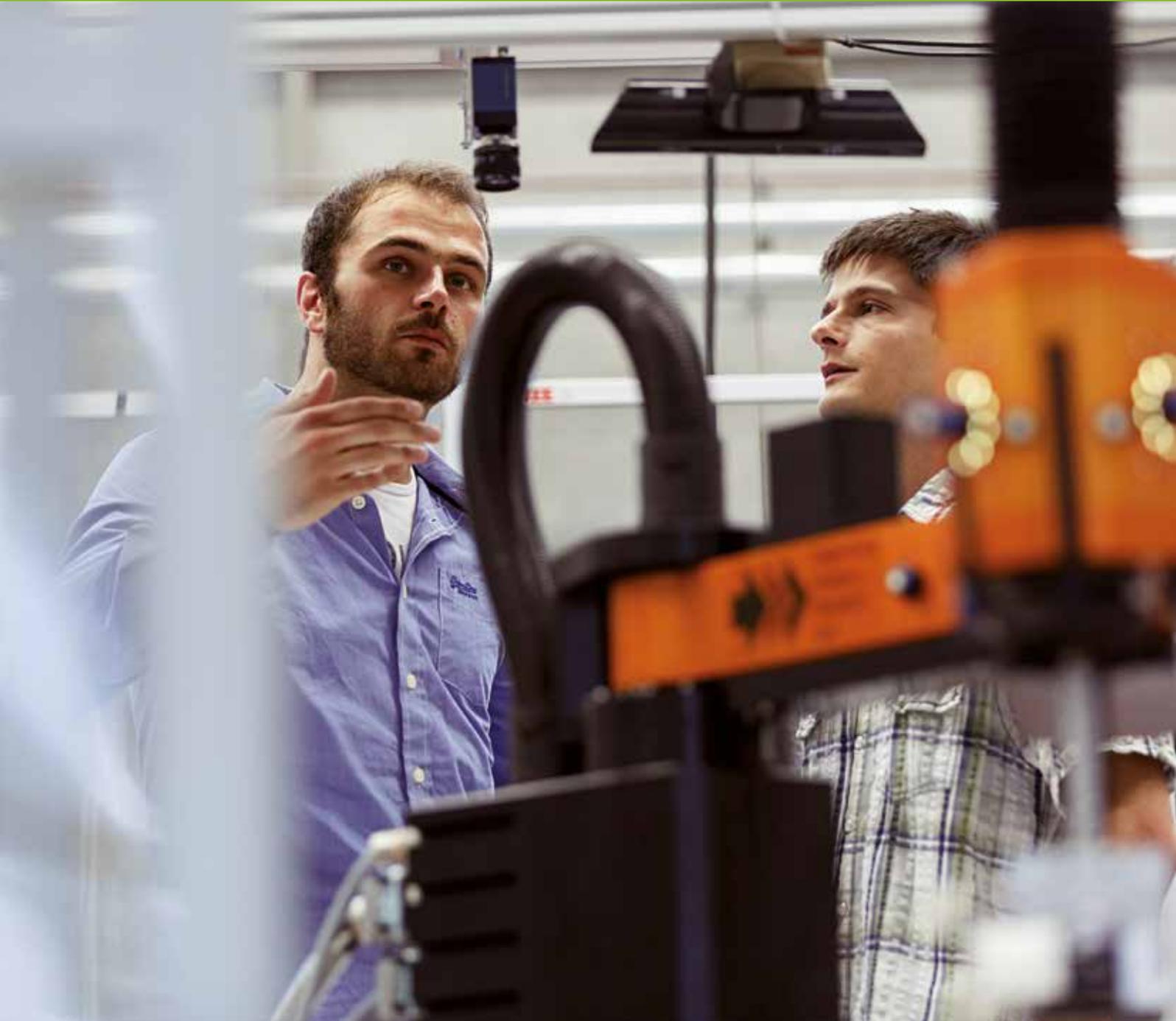


FORSCHUNGSBERICHT 2015



Wegweisend.

Das neue Audi TTS Coupé mit Audi virtual cockpit und optionalem Audi connect*. Fordert heraus. Mehr erfahren unter www.audi.de/tts



*Nähere rechtliche Informationen und Nutzungshinweise zu Audi connect finden Sie unter www.audi.de/connect
Kraftstoffverbrauch in l/100 km: kombiniert 7,2-6,9;
CO₂-Emissionen in g/km: kombiniert 166-159.

Audi 
Vorsprung durch Technik

LIEBE LESERIN, LIEBER LESER,

zum ersten Mal lassen wir in unserem Forschungsbericht junge Nachwuchswissenschaftler und Nachwuchswissenschaftlerinnen zu Wort kommen. Die Interviews und Werdegänge zeigen eindrucksvoll, dass sich die frühe Einbindung in Forschungsprojekte und die Förderung junger talentierter Forscher rentiert. Wir haben im zurückliegenden Jahr ein Doktoranden- und Doktorandinnenseminar eingerichtet, um die Rahmenbedingungen für kooperative Promotionen an der OTH Regensburg deutlich zu verbessern. Die Doktoranden und Doktorandinnen werden durch das Seminar während der Promotionsphase besser begleitet, stärker vernetzt und gezielt auf den Arbeitsmarkt „Wissenschaft“ beziehungsweise auf die Übernahme von Führungsverantwortung in der Wirtschaft vorbereitet.

Ein weiterer Schwerpunkt des vergangenen Jahres war die Umsetzung der im OTH-Verbund formulierten Ziele. So wurden gemeinsam mit der OTH Amberg-Weiden elf hochschulübergreifende Forschungscluster etabliert, die sich an den interdisziplinären Leitthemen des Verbunds – Energie und Mobilität, Information und Kommunikation, Lebenswissenschaften und Ethik, Produktion und Systeme sowie Gebäude und Infrastruktur – orientieren. Für alle Cluster konnten junge Forschungsassistenten und -assistentinnen gewonnen werden, die nun bei der Bearbeitung der anspruchsvollen Projekte Unterstützung leisten. An den Forschungsaktivitäten sind zudem zahlreiche Einrichtungen und Firmen der Region als Kooperationspartner beteiligt. Der vorliegende Forschungsbericht zeigt sehr eindrucksvoll, dass mittlerweile alle Forschungsprojekte der OTH Regensburg die genannten Leitthemen im Fokus haben.

Der OTH-Verbund wurde im zurückliegenden Jahr an mehreren Stellen im „Nordbayern-Plan“ der Bayerischen Staatsregierung berücksichtigt und erhielt Mittel für sein Engagement im Technologie- und Wissenschaftsnetzwerk Oberpfalz (TWO), im Bereich Gesundheit und Medizintechnik sowie für die Beteiligung an einem Zentrum für digitale Produktion. Damit kann die OTH Regensburg an die Erfolge aus den Vorjahren anknüpfen. Im Jahr 2014 wurden 53 öffentlich geförderte Projekte beantragt. Davon wurden insgesamt 27 mit einem Fördervolumen in Höhe von knapp 6,6 Millionen EUR aus Landes-, Bundes- und EU-Mitteln sowie Stiftungen bewilligt. Gerade auf Ebene der Fördermittel des Freistaats und des



Bundes konnten im Vergleich zum Vorjahr deutlich mehr Projekte akquiriert werden. Mit den bereits in den Vorjahren angelaufenen Projekten waren somit insgesamt 56 laufende öffentlich geförderte Projekte mit einem Gesamtvolumen von 15.345.463 EUR in Bearbeitung, was eine deutliche Steigerung im Vergleich zum Vorjahr (49 Projekte, Gesamtvolumen: 14.636.292 EUR) bedeutet.

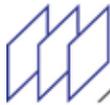
Auch das Volumen der abgewickelten Projekte im Bereich der privaten Drittmittel (Auftragsforschung und Anwendung gesicherter Erkenntnisse) ist gestiegen und betrug im Jahr 2014 gut zwei Millionen EUR (Vorjahr 1,5 Millionen EUR). Insgesamt wurden dabei gemeinsam mit 72 Unternehmen 147 Projekte bearbeitet.

Ich freue mich, dass so viele Kolleginnen und Kollegen mit ihren Forschungsaktivitäten zu diesen Erfolgen und damit auch zur nationalen und internationalen Sichtbarkeit der OTH Regensburg beitragen. Für dieses Engagement danke ich Ihnen allen sehr herzlich!

Den Leserinnen und Lesern wünsche ich eine interessante Lektüre!

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'W. Baier'.

Prof. Dr. Wolfgang Baier
Präsident der OTH Regensburg



**Bayerische
Patentallianz**

we manage innovations



Wir bieten der Industrie einen zentralen Zugang zum Technologiepool von 28 bayerischen Universitäten und Hochschulen

Bayerische Patentallianz GmbH | Destouchesstraße 68 | 80796 München
Tel.: 089 5480177-0 | www.baypat.de | kontakt@baypat.de

Drehstuhl „black dot net“
Tischsystem „temptation twin“

sedus



Place 2.5 – Produktives Wohlfühlen www.sedus.com



RaumConcept

Büro- und Objekt-Einrichtungs- GmbH

Haydnstraße 9
93053 Regensburg
www.raumconcept-gmbh.de

Tel. 0941.7081323-0
Fax. 0941.7081323-22
eMail. info@raumconcept-gmbh.de

**Mit Energie
in die Zukunft**



Sichere Energieversorgung und gutes Trinkwasser. 400 engagierte Mitarbeiter. Hohe technologische Kompetenz. Kundenorientierte, marktgerechte Strategien. Die REWAG: ein starkes Unternehmen.

Immer für Sie nah!
REWAG
www.rewag.de



**TECHNIK
braucht Frauen**



www.oth-regensburg.de

von Dusterlho · Rothammer · Partner mbB

Wirtschaftsprüfer · Steuerberater · Rechtsanwälte

Unser Team – bestehend aus 6 Steuerberatern, 3 Rechtsanwälten, 2 Wirtschaftsprüfern und ca. 50 Mitarbeitern – betreut Sie in allen steuerlichen, rechtlichen und betriebswirtschaftlichen Fragen von der Existenzgründung bis zum Unternehmensverkauf. Wir legen Wert auf eine solide, langfristige Zusammenarbeit und betrachten uns als loyalen und kritischen Begleiter Ihres Erfolgs.

kompetent · zuverlässig · erfahren



Prüfeninger Schloßstraße 2 a · 93051 Regensburg
Tel. 0941/92001-0 · Fax 0941/92001-17 · www.drpa.de · kanzlei@drpa.de

Vorwort	1
Forschungsmaster entwickelt sich zum Wirtschaftsfaktor in Bayern	4
Interviews	10
Kooperative Promotionen	17

ENERGIE UND MOBILITÄT

Neuentwicklung einer totraumreduzierten Gamma-Typ-Stirlingmaschine	18
Korrosionsuntersuchungen an einem Erhitzerkopf einer Stirlingmaschine	20
Regelbare Ortsnetztransformatoren – Bausteine der Energiewende	22
Bedeutung und Notwendigkeit von „Windgas“ für die Energiewende in Deutschland – Ausbaupfad und Mehr-Ebenen-Perspektive auf eine Nischentechnologie vor der Markteinführung	24
Stromspeicher in der Energiewende – Untersuchung zum Bedarf an neuen Stromspeichern in Deutschland für den Erzeugungsausgleich, für Systemdienstleistungen und im Verteilnetz	26
Performante und zuverlässige Embedded Multi-Core-Systeme	28

INFORMATION UND KOMMUNIKATION

Einsatz eines Exoskeletts als haptisches Eingabegerät für Telerobotiksysteme im industriellen Umfeld	30
Smart Workbench – Ein bidirektionales Assistenzsystem für den industriellen Einsatz	32
Code, Cluster und Communities – Wissen statt raten im Softwareengineering	34
Schnelle Segmentierung von Magnetresonanztomographien des Gehirns durch parallele Berechnung auf Grafikkarten	36
Texturmerkmale aus Knochen-Röntgenbildern zur Diagnose von Osteoporose	38
SMART-iBrush – Individuelle Zahnreinigung mit einer intelligenten Zahnbürste	41
Schema-Extraktion aus BigData JSON-Kollektionen	43

PRODUKTION UND SYSTEME

Hydrophone zur 3D-Ultraschallfeldvermessung an der OTH Regensburg	45
Fließbänder und Mobiltelefone – Informationstechnologie trifft Industrie	47
Experimentelle Ermittlung von Materialkennwerten und numerische Untersuchungen an einem gefüllten Elastomer	49

LEBENSWISSENSCHAFTEN UND ETHIK

Der Einfluss sozialer Netzwerke auf den Wissenstransfer am Beispiel der Reproduktionsmedizin (NeWiRe)	51
Evaluationsstudie zur Verbesserung der Koordinierung von Integrationskursen	53
Kindeswohl zwischen Jugendhilfe und Justiz	55
Besondere Zielgruppen innerhalb der Gruppe älterer Menschen in der Stadt Regensburg	57
Erhöhung der Extrazellulären Matrix-Rigidität verändert die biologischen Eigenschaften von Sehnervenzellkörpern	59
Finite-Elemente-Analyse des Crimpprozesses eines Koronarstents	61
Die Work-Life-Balance von Gründern und Unternehmern	63
Der Einfluss von Unternehmensplanspielen als Lehrmethode auf die unternehmerischen Kompetenzen und die Gründungsmotivation von Studierenden – Ein Review über 10 Jahre Evaluationsforschung im Bereich Entrepreneurship Education	65

GEBÄUDE UND INFRASTRUKTUR

Energietransport – Entwicklung innovativer Rollenlager für gasisolierte Leiter-Rohre	67
Reduzierung des Versinterungspotentials von Spritzbeton	71

SENSORIK

Optimierung der geordneten Anordnungen von piezoelektrischen Biegewandlern zur breitbandigen Energiegewinnung aus mechanischen Schwingungen	73
Rechenzeitoptimierte Temperaturfeldberechnung zur virtuellen Prozessauslegung des quasisimultanen Laser-Durchstrahlenschweißens	75
Feldemissionskathoden als Elektronenquellen in miniaturisierten Röntgenquellen	78

Branchenverzeichnis, Impressum	80
--------------------------------------	----

FORSCHUNGSMASTER ENTWICKELT SICH ZUM WIRTSCHAFTSFAKTOR IN BAYERN

Forschung und Entwicklung an Hochschulen soll eine Brücke zwischen Wissenschaft und Wirtschaft schlagen. Insbesondere die anwendungsnahe Forschung und Entwicklung an Hochschulen vom Typ Fachhochschule setzt auf innovative Aufgabenstellungen, die marktfähige Produkte oder Verfahren in der Zusammenarbeit mit Unternehmen – insbesondere auch KMUs – zum Ziel haben.

Die Arbeit der forschungsaktiven Hochschullehrerinnen und Hochschullehrer war in der Vergangenheit eher isoliert, da kaum eine Möglichkeit für eine unterstützte kontinuierliche Arbeit bestand, zum Beispiel durch Einbindung von Studierenden. Mit dem im Jahre 2009 eingeführten forschungsorientierten Masterstudiengang ‚Master of Applied Research in Engineering Sciences‘ (genannt Forschungsmaster), der heute an einer Vielzahl von Hochschulen in Bayern angeboten wird, hat sich die Situation vollständig geändert. Mehr als 120 Forschungsprojekte werden aktuell, mit einer steigenden Zahl pro Semester, durch Einbindung von Studierenden des Studiengangs gestützt und sind damit zum Wirtschaftsfaktor in Bayern geworden.

EINFÜHRUNG

Angewandte Forschung und Entwicklung an den Hochschulen in Bayern fand in der Vergangenheit im Forschungsbereich des Hochschullehrers recht isoliert statt. Es muss festgestellt werden, dass bis zur Änderung des Bayerischen Hochschulgesetzes im Jahr 1998 Professoren mit Industriekontakten und Interesse an anwendungsorientierten Entwicklungs- und Forschungsthemen neben der Lehre nur begrenzten Raum für ihr innovatives Tun hatten. Laboratorien waren mit ihren Einrichtungen stets Lehraufgaben zugeordnet und ließen kaum Raum für umfangreiche oder zeitintensive F&E-Projekte unter Einbindung von Studierenden. So wurde kontinuierliches Arbeiten an Projekten weitgehend nur durch persönliches und zeitliches Engagement des einzelnen Professors möglich. Sowohl die Einwerbung von Forschungsmitteln als auch die interdisziplinäre Kooperation an der Fachhochschule oder mit der Industrie bzw. mit Instituten waren nur im Einzelfall durchführbar und oft kaum sichtbar.

Die Notwendigkeit zur angewandten Forschung und Entwicklung, aber auch das Interesse daran, wurde 2001 von Herbert Bassarak und Uwe Dieter Steppuhn wie folgt formuliert: „Unser Land sollte der Motor für eine rollende Reform innovativer Strategien auf hohem Niveau werden! Die wissenschaftlichen Fachkräfte der Hochschulen in Bayern sind

nicht nur bereit, sondern auch fähig, den erforderlichen sozialen Wandel interdisziplinär forschend und entwickelnd zu begleiten und zu fördern“ (vgl. Bassarak 2001).

Mit der Neuregelung des bayerischen Hochschulreformgesetzes von 1998 (vgl. BayHSchG) und, wie später ausgeführt wird, mit der Hochschulreform im Rahmen des Bologna-Prozesses und der damit verbundenen Einführung von Masterstudiengängen, konnten sich die Fachhochschulen in der Forschungslandschaft völlig neu platzieren und sind heute als „Brücke zwischen Wissenschaft und Wirtschaft“ anerkannt.

HOCHSCHULREFORMGESETZ 1998

Zentrale politische Zielsetzungen des am 2. Oktober 1998 verabschiedeten „Bayerischen Hochschulgesetz[es]“ (vgl. BayHSchG) waren „mehr Autonomie und Freiheit für die Hochschulen, die Förderung der Leistung und des Wettbewerbs zwischen und in den Hochschulen, mehr Professionalität in der Verwaltung der Hochschulen, Verbesserung der Lehre, Verbesserung der Internationalität der Hochschulen und Stärkung der Wirtschaftlichkeit der Universitätsklinika“ (vgl. Störle 2000). In Art. 2 des BayHSchG erhalten die Fachhochschulen erstmals den Auftrag, im Rahmen der vorhandenen Ausstattung anwendungsbezogene Forschungs- und Entwicklungsvorhaben durchzuführen, mit der Einschränkung, dass diese überwiegend aus Drittmitteln zu finanzieren sind.

Anzumerken ist, dass mit der Fassung des Hochschulgesetzes in Art. 86 a zudem die akademischen Grade „Bachelor“ und „Master“ zur Erprobung an den Hochschulen eingeführt werden können.

Mit dem Bologna-Prozess erkannten die Fachhochschulen im BayHSchG die Chance zur Neuprofilierung. An den Fachhochschulen entstanden institutionelle Organisationen, die die forschungsorientierten Professoren z. B. für Technologietransfer oder zu Forschungsanträgen unterstützen. Parallel dazu löste der Bologna-Prozess auf der akademischen Seite das Interesse zur Entwicklung von Masterstudiengängen aus, um an der Hochschule in einem zweiten Bildungsabschnitt hochwertige berufsfähige Abschlüsse zu ermöglichen.

FORSCHUNGSMASTER

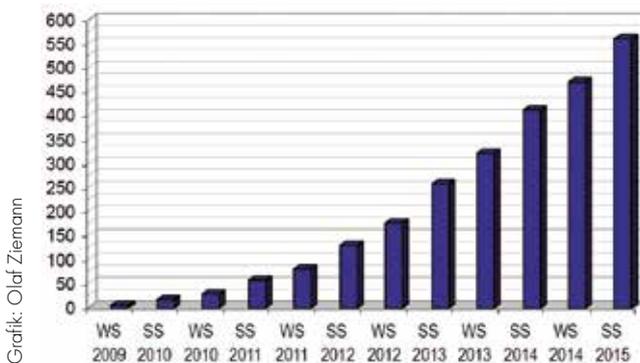
Die entstehenden Masterstudiengänge orientieren sich im Schwerpunkt an der „Vermittlung durch angewandte Lehre“, wie das BayHSchG die Aufgabenstellung den Fachhoch-

schulen zuweist. Mitte 2006 entstand ein erstes Konzept für einen Studiengang „Forschungsmaster“ (vgl. Scharfenberg 2006), der eine Qualifizierung der Studierenden auf der Basis einer eigenständigen, wissenschaftlich fundierten, anwendungsorientierten Forschungsarbeit vorsah, die durch eine fachtheoretische Vertiefung im Umfeld des Forschungsgebietes ergänzt wurde.

Aus diesem Konzept entstand zum Wintersemester 2009/10 unter Führung der Kollegen an der Hochschule in Nürnberg der Studiengang „Applied Research in Engineering Sciences“ in der kooperativen Zusammenarbeit mit den Hochschulen Deggendorf und Regensburg (vgl. SPOM-APR 2011) für die Gebiete der Elektro- und Informationstechnik, Mechatronik/Feinwerktechnik sowie artverwandte Fachrichtungen.

Die Ziele des Studiengangs sind:

- analytische, kreative und gestalterische Fähigkeiten zu vermitteln sowie fachliche, methodische und personale Kompetenzen auf der Basis von zusammenhängenden Forschungsprojekten zu trainieren und
- durch Vermittlung von Forschungsmethoden und -strategien und aufeinander aufbauende Projektphasen an systematisches, wissenschaftlich fundiertes Arbeiten heranzuführen sowie
- mit der Erstellung einer einschlägigen wissenschaftlichen Publikation zu einer fundierten Vertiefung der fachlichen Kenntnisse anzuleiten.



Entwicklung der Zulassungszahlen zum Forschungsmaster an den bayerischen Hochschulen (AW: Amberg-Weiden; Ans: Ansbach; Aug: Augsburg; Deg: Deggendorf, Ing: Ingolstadt; Nür: Nürnberg; Reg: Regensburg)

Die Studierenden werden in allen Phasen durch eine betreuende Hochschullehrerin bzw. einen betreuenden Hochschullehrer und durch Seminare angeleitet. Die Einbindung der

Studierenden in ein Forschungsprojekt dient dabei neben der fachlichen und methodischen Qualifizierung vor allem auch dem praktischen Training personaler Kompetenzen wie Teamfähigkeit, Kommunikationsfähigkeit, Sprachkompetenz, Internationalität und Präsentationsfähigkeit. Begleitende Seminare dienen der wissenschaftlichen Reflexion und dem teamübergreifenden Erfahrungsaustausch.

Die jeweiligen Fakultäten der Elektrotechnik haben die Federführung und haben von Beginn an die hochschulinterne interdisziplinäre Kooperation mit den anderen ingenieurwissenschaftlichen Fakultäten der Hochschule unterstützt. Heute befinden sich weitere Hochschulen im Kooperationsverbund (OTH Amberg-Weiden, Hochschule Augsburg und die TH Ingolstadt).

REFLEXION DES STUDIENGANGS

Entscheidet sich ein Bachelorabsolvent für eine Weiterqualifizierung im Forschungsmaster, so sind nach der Studienordnung im Auswahlverfahren erhöhte Anforderungen im Vergleich zu klassischen Masterstudiengängen zu erfüllen (vgl. SPOM-APR 2011). Nachfolgend kann der Bewerber zu einer Forschungsarbeit durch den ausschreibenden Professor ausgewählt werden. Im Regelfall ist das Forschungsprojekt dann bereits begonnen, die Forschungspartner sind fixiert und oftmals stößt der Studierende auf ein Forschungsteam, in dem unter Anleitung des Professors meistens die Zuarbeit zur Forschungsaufgabe eines Doktoranden definiert wird. Prof. Dr. Ingo Ehrlich (Maschinenbau) berichtet z. B. von einer Gruppengröße von bis zu 10 Studierenden, wobei eingegrenzte Unterthemen auch in Abschlussarbeiten von Bachelorstudenten bewältigt werden. Prof. Ehrlich stellt fest: „Durch diese Form der Forschungsorganisation sind wir in der Lage, zielgerichtet ein komplexes Thema zu bearbeiten. Die Studierenden erfahren eine intensive Betreuung durch ihren Professor und die Mitarbeiter im Projekt. Der forschungsorientierte Studierende erlangt oft selber Betreuungsverantwortung und liefert mit seiner Arbeit eine wichtige Basis für die Kontinuität im Projekt. Verbunden damit sind selbständige Projekt- und Teamerfahrung, eine fachlich hochgradige Ausbildung. Alles das ist eine hervorragende Visitenkarte für den Berufseinstieg.“ Die Studierenden stehen zudem im unmittelbaren Kontakt mit den Firmenpartnern, die nicht nur am Forschungsthema partizipieren, sondern zudem interessante potentielle Mitarbeiter kennenlernen, die fachlich bereits sehr weit fortgeschritten sind.



Im BMW Group Werk Regensburg geben 9.000 Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter täglich ihr Bestes, um 1.100 Fahrzeuge der BMW 1er, 2er, 3er und 4er Reihe, den BMW Z4 und M Varianten zu bauen. Damit begeistern wir Kunden auf der ganzen Welt. Mit unseren Arbeitsplätzen und Investitionen tragen wir nicht nur zum Erfolg der Wirtschaftsregion Oberpfalz bei, sondern setzen uns mit unserem Engagement auf den Gebieten Kultur, Sport, Bildung, Umwelt und Soziales für eine hohe Lebensqualität in der Region ein. Besuchen Sie uns – Infos unter www.bmw-besuchen.com

SPORTLICHE LEISTUNG.

ERFAHREN SIE MEHR IM INTERNET UNTER WWW.BMW-WERK-REGENSBURG.DE

**BMW
GROUP**
Werk Regensburg



Der Studierende Lukas Osinski im Förderprojekt MEHREN mit dem Forschungsthema „Entwicklung eines funktionalen Sicherheitskonzepts für ein radnabengetriebenes Fahrzeug“ unter Betreuung der Professoren Mottok und Scharfenberg an der OTH Regensburg erklärt: „Der Forschungsmaster hat mein fachliches Interesse und meine Motivation voll getroffen. Das Studium bot mir die einmalige Chance, individuell ein forschungsnahes Thema in enger Zusammenarbeit mit automobilen OEMs bzw. Zulieferern zu bearbeiten und die vermittelte Theorie sofort in die Praxis umzusetzen. Das große Angebot an Forschungsseminaren war unverzichtbar für meine Karriere, die ich nach dem anstehenden Abschluss in einer aussichtsreichen Promotion fortsetzen kann.“

Die Maschinenfabrik Reinhausen GmbH (MR) arbeitet seit mehreren Jahren in verschiedenen Forschungsprojekten zum ‚Regelbaren Ortsnetztrafo (RONT)‘ mit Prof. Brückl an der OTH Regensburg zusammen. In diese Projekte sind mehrere Studierende eingebunden. Der Betreuer Dr. Smolka stellt die Bedeutung der studentischen Arbeit aus Sicht des Unternehmens wie folgt dar: „Es ist für uns sehr hilfreich, Studierende längerfristig thematisch in anwendungsnahe Forschungsprojekte unseres Unternehmens einzubinden. Für eine erfolgreiche Zusammenarbeit ist die Kontinuität für alle drei Seiten (MR, Hochschule, Studierende/r) sehr wichtig. Das funktioniert mit der OTH Regensburg in unserem Bereich hervorragend. Für die jungen Menschen ist dies eine sehr gute Voraussetzung für den Berufseinstieg in Industrieunternehmen.“

ENTWICKLUNG ZUM WIRTSCHAFTSFAKTOR

Für die beteiligten Hochschulen ist der Forschungsmaster nicht nur ein Instrument zur forschungsnahen Qualifizierung von Studierenden, vielmehr beflügelt das Studienprogramm die forschungsorientierten Hochschullehrer in der Einbindung von Studierenden in die Forschungsaktivitäten als ein flankierendes Schlüsselement im Ausbau der Forschungskompetenz durch:

- Steigerung der Verbundfähigkeit mit Universitäten, Instituten und Unternehmen und damit deutlich verbesserten Bedingungen zur Erlangung von Forschungsmitteln,
- den darauf aufbauenden Möglichkeiten zur Einrichtung von forschungsbezogenen Stellen durch die erfolgreiche Einwerbung von Drittmitteln und damit
- die Entwicklung zu einer hervorragenden Reputation, verbunden mit der fachlichen Anerkennung zum Ausbau von kooperativen Promotionen.

Heute, bereits fünf Jahre nach der Einführung des Studiengangs, ist erkennbar, dass die beteiligten Hochschulen zu ‚Motoren der Region geworden sind‘. Ablesen lässt sich der Erfolg an der verbesserten Ausstattung der forschungsorientierten Laboratorien, die mit den eingeworbenen Forschungsmitteln in der Lage sind, kostenintensive Einrichtungen zu finanzieren. Die Attraktivität für die forschungsaktiven Professoren an den beteiligten Hochschulen ist so groß, dass im Sommersemester 2014 insgesamt 123 Hochschullehrer mit etwa 250 „Forschungsmaster-Studierenden“ arbeiteten.

IAFW

Institut für Angewandte Forschung und Wirtschaftskooperationen



Forschen an der Ostbayerischen Technischen Hochschule Regensburg

www.oth-regensburg.de

RVV

So fahr ich gut.
Regensburger
Verkehrsverbund

Technische Hochschule Regensburg – bestens erreichbar mit dem Semester-Ticket des RVV

Standort Prüfening Str. 58: „Hst. Lessingstraße“ mit den Linien 1 und 4

Standort Galgenbergstr. 30: „Hst. Galgenberg“ mit den Linien C6 und 6

Standort Seybothstr. 2: „Hst. Hochschule“ mit den Linien C1 und 11

Standort Universitätsstr. 31: „Hst. Universität“ mit den Linien C1, 11, C2, 2B, C4, 4, C6, 6 und 19



Nähere Informationen unter www.rvv.de oder nebenstehenden Code scannen.
RVV-Kundenzentrum, Hemauerstr. 1, Tel. 09 41 / 601-28 88, kuz@rvv.de

QR-Code scannen und sofort mehr erfahren.



LANGPATENT

ANWALTSKANZLEI IP LAW FIRM

Ihr Ansprechpartner:

Dr.-Ing. Christian Lang

Joh.-Seb.-Bach-Str. 25

92637 Weiden

www.langpatent.com

0961/40 18 5 - 66/ -77 (Fax)

Patente – Gebrauchsmuster – Marken – Designs

Ihr Partner in der Oberpfalz für globalen Schutz Ihres geistigen Eigentums

München

- Weiden

- Zürich

STADT
REGENSBURG

TechCampus Regensburg die Hightech-Adresse

TECHCAMPUS
REGENSBURG

TECHBASE
REGENSBURG



techbase Regensburg

- 13000 m² für junge Innovationen
- 18000 m² für Life Sciences
- 10 ha für Hightech im Mittelstand

Exit Regensburg
Universität/Klinikum

BLOPARK
REGENSBURG GMBH



bioPark Regensburg

Interesse geweckt?
Stadt Regensburg
Amt für Wirtschaftsförderung
Dipl. Phys. Toni Lautenschläger
Telefon 0941/507-1851
lautenschlaeger.toni@regensburg.de

Die Forschungsaufgaben sind anwendungsnah und finden im Verbund mit Partnern, insbesondere aus der Wirtschaft, statt. Generell ist damit gewährleistet, dass eine große Nähe zu marktfähigen Produkten und Verfahren gegeben ist. Auch KMUs nutzen zunehmend die Zusammenarbeit mit den Hochschulen in regionalen Verbundprojekten mit den anwendungsnahen F&E-Aktivitäten. Die Bedeutung der Hochschule vom Typ Fachhochschule für die Region wurde bereits von den Ökonomen Marian Beise und Harald Stahl belegt (vgl. Beise 1998).

Ein Indiz für die gestiegene Leistungsfähigkeit im Innovationsbereich sind die erfolgreichen kooperativen Promotionsergebnisse. Am Beispiel der OTH Regensburg setzt die Zahl der 64 laufenden Promotionen (Wintersemester 2013/14) ein deutliches Signal für den Erfolg des Forschungsmasters, da die Doktoranden einerseits durch den Masterstudenten in ihrer Forschungsarbeit unterstützt werden und andererseits sich z. T. aus diesem Studiengang rekrutieren.

Literatur

BayHSchG vom 2. Oktober 1998. Datenbank BAYERN-Recht.

Störle, Johann: Die Entwicklung des Bayerischen Hochschulrechts in Bayern, 25 Jahre Bayerisches Hochschulgesetz, Beitrag zur Hochschulforschung 1/2-2000.
Scharfenberg, Georg: Studien- und Prüfungsordnung für den Masterstudiengang Forschungsmaster, nicht veröffentlicht, Fachhochschule Regensburg, 8. November 2006.

SPO M-APR 2011, Studien- und Prüfungsordnung für den forschungsorientierten kooperativen Masterstudiengang Applied Research in Engineering Sciences an der Technischen Hochschule Nürnberg Georg Simon Ohm 2011 (aktuelle Fassung).

Heubisch, Dr. Wolfgang: Rede zur Übergabe des Titels „Technische Hochschule“ an die Hochschulen Regensburg und Amberg-Weiden, 12. April 2013.

Bassarak, Herbert, Steppuhn, Uwe Dieter (Hrsg.): Angewandte Forschung und Entwicklung an bayerischen Hochschulen, 2000.

Beise, Marian, Stahl, Harald: Public Research and Industrial Innovations in Germany, ZEW Discussion Paper, 1998.

BMBF 2014: Programme „Forschung an Fachhochschulen“, 2014.

BFS 2014: Programme „Bayerische Forschungstiftung“, 2014.

Hinter jedem Forschungsprojekt steht in der anwendungsorientierten Forschung ein Forschungsverbund, dessen Ziel stets innovative, produktnahe Themen sind. Auch die Forschungsmittel sind in der Regel an den Wissens- und Technologietransfer zwischen Hochschulen und Unternehmen für zukunftssträchtige Schlüsseltechnologien gebunden (z. B. vgl. BMBF 2014 und BFS 2014). Die Anzahl von über 120 laufenden Forschungsprojekten unter Leitung der jeweils hochspezialisierten Teams, im Forschungsverbund mit Unternehmen und Instituten, setzen in Bayern einen exzellenten wirtschaftlichen Impuls.

ZUSAMMENFASSUNG UND AUSBLICK

Der forschungsorientierte kooperative Masterstudiengang „Applied Research in Engineering Sciences“ ist ein deutliches Aushängeschild für die beteiligten Hochschulen in Bayern mit einer ambitionierten Ausrichtung in der Lehr- und Forschungslandschaft. Hier werden Forschung und Entwicklung aktiv und zielorientiert mit der Lehre verschmolzen. Forschungsorientierte Professorinnen und Professoren stellen sich aktuellen innovativen Anforderungen und vermitteln so synergetisch eine Up-to-date-Ausbildung in der Lehre und in den Projekten. Durch die Brücke zwischen der Hochschule und den Unternehmen kann mit den eingebundenen Studierenden eine kontinuierliche Zusammenarbeit entstehen, die die Voraussetzung für bedarfsgerechte Hilfestellungen für Innovationen und Investitionen bietet und zudem weitere Anstöße zur Entwicklung und Erprobung neuer Technologien oder Verfahren geben kann. Anzumerken bleibt, dass Fördermittel den Prozess stützen müssen, damit neue Wege mit überschaubaren Risiken angegangen werden können. Auch wenn sich die Fördermittel des BMBF in den Jahren 2006 bis 2011 fast verdreifacht haben (vgl. BMBF 2014), bleiben die Förderquoten weit hinter der Nachfrage zurück.

Ostbayerische Technische Hochschule Regensburg (OTH Regensburg)

Seybothstraße 2, 93053 Regensburg

Georg Scharfenberg
georg.scharfenberg@oth-regensburg.de
Jürgen Mottok
juergen.mottok@oth-regensburg.de

EINE FRAU, DIE FÜR MOTOREN BRENNT

Christina Artmann forscht als wissenschaftliche Mitarbeiterin am Labor für Verbrennungsmotoren und Abgasnachbehandlung der OTH Regensburg.

Es ist eine Materie, die sie noch nie kalt gelassen hat: Schon als kleines Kind haben Christina Artmann die großen Landwirtschaftsmaschinen auf dem Hof ihres Vaters in Riekofen begeistert. Aus der kindlichen Faszination für Traktoren, Mähdrescher und Co. entstand eine wissenschaftliche Neugierde, die die heute 30-Jährige zu einem Dokortitel im Maschinenbau geführt hat. Und zu zahlreichen Auszeichnungen: Im Jahr 2014 wurde ihre Forschungsarbeit von Bayerns Wissenschaftsstaatssekretär Bernd Sibler für preiswürdig befunden. Außerdem stand Artmann im Finale des Woman DrivING Award der Volkswagen Group. Ihre Dissertation mit dem Titel „Ein neues Verfahren zur Online-Ermittlung der Schmierölverbindung bei Verbrennungsmotoren“ wurde in Wolfsburg „als bedeutend insbesondere für die Entwicklung von Hybridfahrzeugen“ gelobt.

Raum C-112 im Keller des OTH-Maschinenbaugeschäftes an der Galgenbergstraße: Über die Monitore an Christina Artmanns Arbeitsplatz flackert in feurig lodernden Lettern „ceec“. Die Abkürzung steht für „combustion engines and emission control laboratory“ und heißt nichts anderes als „Labor für Verbrennungsmotoren und Abgasnachbehandlung“. Seit 2008 arbeitet Christina Artmann hier, zunächst neben Studium und Promotion, jetzt in Vollzeit als wissenschaftliche Mitarbeiterin – und einzige Frau im Team.

Foto: OTH Regensburg



Frau Artmann, wie haben Sie sich hierher verlaufen?

Zuerst habe ich ganz normal Maschinenbau auf Diplom hier an der Hochschule studiert. Die Themen zu Verbrennungsmotoren haben mich dann besonders interessiert, weil Prof. Rabl das sehr anschaulich rübergebracht hat. Also habe ich eine Diplom-Arbeit zu diesem Thema bei Continental – damals noch Siemens VDO – gemacht. Bei meinem Abschluss im September 2007 startete dann erstmals der Masterstudiengang „Mechanical Engineering“. Durch Prof. Rabl hatten zwei Kommilitonen und ich die Möglichkeit, das mit einer Teilzeitstelle hier im Labor zu verknüpfen. Der Master war für mich dann der Grundstein für die Promotion. Übrigens waren wir im ersten Jahrgang des neuen Masterstudiengangs etwa elf, zwölf Leute, und von denen haben alle bis auf ein, zwei eine Promotion angehängt.

Wie war dann Ihr Weg zur Dr.-Ing.?

Das Thema für meine Doktorarbeit war damals von der FVV (Forschungsvereinigung Verbrennungskraftmaschinen e. V.) ausgeschrieben gewesen. Gefördert wurde das Projekt dann vom Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie. Als Kooperationspartner hatte ich die TU München mit dem Wissenschaftszentrum Straubing. Erstprüfer war Prof. Mayer vom Lehrstuhl für Rohstoff- und Energietechnologie an der TU München.

Wie ist das in der Praxis abgelaufen?

Die Forschung, also die Tests am Prüfstand und die Entwicklung der Messtechnik, habe ich hier im Labor gemacht, zum Doktorandenseminar musste ich regelmäßig nach Straubing. Dort habe ich dann auch meine mündliche Doktorprüfung abgelegt. Durch eine Glasscheibe im ceec-Labor sind zwei Aufbauten zu sehen: Ein Prüfstand mit Ottomotor und einer mit Dieselmotor. Christina Artmann steht vor dem mit zahllosen Kabeln und Leitungen aufgebauten Ottomotor und deutet auf einen daran angeschlossenen Kasten mit Reglern, in den Schläuche hineinführen: Das ist das von ihr entwickelte Tool zur Analyse des Öls aus der Ölwanne des Motors.

Was kann denn nun dieses Messverfahren, und was ist das Neue daran?

Das System analysiert, wie viel Kraftstoff im Öl vorhanden ist. Das Ziel ist, den Motor so zu optimieren, dass möglichst wenig Kraftstoff im Öl ist. Mehr Kraftstoff im Öl bedeutet nämlich eine geringere Motorlebensdauer und höhere Emissionen. Weniger Kraftstoff im Öl ist also umweltschonend. Bisher gab es zwar bereits ein System für derartige Analysen – das aber arbeitet mit Radioaktivität. Mein Tool kommt ohne Radioaktivität aus und liefert sofort Ergebnisse.

Welche Tests können Sie am Prüfstand allgemein durchführen?

Der Prüfstand ist im Prinzip wie ein Motor im Fahrzeug. Wir können hier Betriebsbedingungen simulieren und quasi unter realen Bedingungen Messungen durchführen. Es gibt zig Parameter, die wir einstellen können, zum Beispiel Drehzahl und Drehmoment, den Zeitpunkt der Zündung oder der Einspritzung. Dabei ist immer unser Ziel, herauszufinden, wie die Effizienz bei der Verbrennung gesteigert werden kann. Dabei muss auch immer wieder am Prüfstand selbst umgebaut werden – ein bisschen ist das wie Lego für Erwachsene.

Was macht für Sie die Faszination Motor aus?

Eigentlich, dass in einem einzigen Motor alles zusammenfließt, was man im Maschinenbau gelernt hat. Die Forschung daran hat so viel Kreatives und ist immer interessant.

Sind Sie auch privat ein Motor-Fan?

Also Autofahren ist für mich keine Leidenschaft. Ich glaube, das Autofahren aus Passion wird doch immer Männersache bleiben. Persönlich fahre ich zwar mehr Auto als Rad, aber wohl eher, weil ich eben 30 Kilometer außerhalb wohne und deshalb auf das Auto angewiesen bin.

Auch das Herumbasteln an Autos und Motoren in der Freizeit überlässt Christina Artmann gerne den Männern – anders übrigens als den Schießsport: Als Sportleiterin im Schützen-

verein „Eintracht“ Riekofen ist Christina Artmann begeisterte Sportschützin. Als Ingenieurin setzt sie sich dafür ein, dass auch Mädchen den Sprung in männerdominierte Arbeitswelten schaffen. Ans Ursulinen-Gymnasium in Straubing, wo sie selbst vor zwölf Jahren Abitur machte, ist sie jedenfalls wieder zurückgekehrt, um am Berufsinfortag über ihren Weg zu einem MINT-Studium zu erzählen und den jungen Frauen durch ihre eigene Erfolgsstory Mut zu machen.

Christina Artmann

1984 Geboren in Regensburg

2003 Abitur am Gymnasium der Ursulinen in Straubing

2007 Abschluss Dipl.-Ing. (FH) im Studiengang Maschinenbau an der Fachhochschule Regensburg

2009 Abschluss M. Sc. im Masterstudiengang Mechanical Engineering an der Hochschule Regensburg

2013 Promotion

Seit 2008 Mitarbeiterin am Labor für Verbrennungsmotoren und Abgasnachbehandlung unter Leitung von Prof. Dr.-Ing. Hans-Peter Rabl

Mitglied im Fakultätsrat der Fakultät Maschinenbau der OTH Regensburg

DER PROF STAND NICHT AUF DEM PLAN**Mit 33 Jahren ist Martin Hobelsberger Gesellschafter eines von ihm und Michael Deubzer gegründeten international erfolgreichen High-Tech-Unternehmens und Hochschulprofessor.**

Architekten planen, entwerfen, bauen; sie schaffen Architektur. Wie wir alle ist Martin Hobelsberger Architekt seines eigenen Lebens. Doch er ist zudem Architekt eines ganz speziellen Software-Tools – eines Tools, auf das insbesondere die Automobilwelt geradezu gewartet hat. Deshalb sind die Pläne von Martin Hobelsberger größer geworden, als auf seinem ursprünglichen Entwurf vorgesehen: Als er 2002 mit seinem Studium zum Diplom-Informatiker an der Fachhochschule Regensburg begann, wollte er Anwendungsentwickler in der Industrie werden. Dass er nur zwölf Jahre später Professor für Embedded Systems und sicherheitskritische Softwaresysteme an der Hochschule München sein und den Umzug des von ihm mitgegründetem Unternehmens

„Timing-Architects“ in die oberste Etage des neuen Innovationszentrums Regensburg an der Galgenbergstraße planen würde, überrascht ihn manches Mal sogar selbst.

Herr Hobelsberger, erstaunt Sie Ihre eigene Erfolgsstory?

Ein bisschen schon, jedenfalls war das alles so nicht geplant. Eine Professur schon gar nicht.

Wie ist es dann trotzdem so gekommen?

Die Stelle in München passte genau auf mein Profil. Dass es dann mit der Bewerbung gleich geklappt hat, war schon überraschend – zumal ich ja auch noch relativ jung bin. Aber nach dem ersten Semester kann ich sagen: Es war die richtige Entscheidung. Die Interaktion mit den Studierenden funktioniert sehr gut, vielleicht gerade wegen des geringen Altersunterschieds.

Vom FH-Studenten zum Lehrstuhlinhaber – das ist aber auch nicht der gängige Weg, oder?

Nein. Bei mir verlief es ja auch nicht ganz so linear, weil ich

Martin Hobelsberger

1981 Geboren in Freyung
 1998 Mittlere Reife an der Realschule Grafenau
 2000 Fachhochschulreife an der Aloys-Fischer-Schule Degendorf
 2002 Abschluss der Ausbildung zum Fachinformatiker
 2002-2007 Diplomstudiengang Technische Informatik an der FH Regensburg, Abschluss: Diplom-Informatiker
 2007-2011 Wissenschaftlicher Mitarbeiter und Lehrbeauftragter an der Hochschule Regensburg, Aufbau des Labors LaS³ unter Leitung von Prof. Dr. Jürgen Mottok

2011 Promotion (Uni Magdeburg)
 2011 Gründung des High-Tech-Start-ups „Timing-Architects“, gemeinsam mit Dr.-Ing. Michael Deubzer
 2014 Rückzug aus dem operativen Geschäft bei Timing-Architects, aber weiterhin aktiv als Gesellschafter und Mitglied des Executive Boards
Seit 15.09.2014 Professor an der Hochschule München für sicherheitskritische eingebettete Systeme
 (Fakultät Informatik und Mathematik)



eben zuerst einmal eine Ausbildung zum Fachinformatiker gemacht habe. Erst dann habe ich mit dem Studium der Technischen Informatik begonnen.

Warum?

Die Herausforderung hat mir wohl gefehlt. Der Wunsch, zu studieren, war aber vorher schon da. Ich wollte durch die Ausbildung vielmehr reinschnuppern in den Beruf. Und das war auch sehr gut so. Dort habe ich gelernt, acht Stunden am Tag konzentriert zu arbeiten.

Wie kamen Sie dann zur Forschung?

Meine Diplomarbeit habe ich als Werkstudent bei Siemens VDO in der Innovationsabteilung gemacht. Das hat mir richtig Spaß gemacht. Und über Prof. Mottok bin ich dann zu meinem Promotionsprojekt gekommen, bei dem es um Dynamische Software-Architekturen in eingebetteten Automotive-Systemen ging. Zusammen mit Prof. Mottok bauten wir das Labor LaS³ auf. Michael Deubzer, mit dem ich später „Timing-Architects“ gegründet habe, und ich waren damals die ersten wissenschaftlichen Mitarbeiter an der Hochschule. Zunächst waren wir ja als technische Mitarbeiter angestellt und arbeiteten ein halbes Jahr lang mit dem PC an der Werkbank, weil wir noch keine Büros hatten. Meine Promotion lief in Kooperation mit der Uni Magdeburg, an der ich auch Grundlagenfächer nachholen musste, da ein FH-Diplom nicht als Zulassung zur Promotion genügte. Industriepartner war die Continental AG in Regensburg.

Continental ist dann auch Ihr erster Kunde beim Spin-off der „Timing Architects“ gewesen.

Ja, Michael Deubzer und ich hatten sehr vielversprechende Ergebnisse in unserem Forschungsprojekt erhalten. Conti war daran sehr interessiert. Im April 2011 haben wir dann mit Unterstützung des Start-up-Centers der Hochschule und einem

Exist-Gründerstipendium die „Timing-Architects“ gegründet und im IT-Speicher die ersten Räumlichkeiten bezogen.

Die „Timing Architects Embedded Systems GmbH“ von Martin Hobelsberger und Michael Deubzer hat noch im Jahr ihrer Gründung mehrere Preise abgeräumt. So landete sie 2011 auf dem ersten Platz für den Hochschul-Gründer-Preis und auf dem 3. Platz des Businessplan Wettbewerbs Nordbayerns. Außerdem wurden sie vom Bundesministerium für Wirtschaft und Energie im Rahmen des Gründerwettbewerbs „IKT innovativ“ als innovativstes Start-up Deutschlands ausgezeichnet. Und es folgten weitere Awards: 2013 wurde die Firma vom damaligen Wirtschaftsminister Philipp Rösler als „IKT-Gründung des Jahres“ ausgezeichnet, im vergangenen Jahr gewannen sie den Industriepreis 2014 in der Gesamtwertung und in der Kategorie „IT & Software Solutions“. Inzwischen beschäftigen die „Timing Architects“ über 30 Mitarbeiter, Ende 2015 sollen es 40 sein.

Worin steckt die Innovation bei dem von Ihnen entwickelten Software-Tool?

Ganz grundsätzlich ist es ein Tool, das mehr Rechenleistung im Embedded-Bereich, also zum Beispiel im Auto, ermöglicht. Fahrzeuge werden ja immer mehr durch elektronische Systeme gesteuert. In einem Standard-Auto befinden sich jetzt schon 60 bis 100 kleine Computer. Diese Steuersysteme werden immer aufwändiger, Beispiele dafür sind moderne Fahrerassistenzsysteme oder in Zukunft das autonome Fahren. Durch immer komplexere Systeme steigen aber auch die Fehleranfälligkeit und die Kosten. Um dem entgegenzuwirken, kann unser Produkt, die „TA Tool Suite“, Software-Systeme, wie zum Beispiel eine Airbag-Steuerung oder auch Steuergeräte zum autonomen Fahren, schon vor der eigentlichen Entwicklung simulieren und optimieren. Dadurch kann Zeit und Aufwand und somit Geld eingespart werden. Mit dieser Lösung konnten

wir bisher nahezu alle namhaften Automobilhersteller und Zuliefererfirmen als Kunden gewinnen. Mit dem Umzug ins Innovationszentrum hier gegenüber des Hochschul-Campus wollen wir uns noch vergrößern, unser internationales Geschäft ausbauen und in weitere Branchen expandieren.

Sie halten also am Standort Regensburg fest?

Der Standort Regensburg ist für uns optimal. Das Angebot für Gründer ist super. Und die Nähe zur Hochschule ist für uns enorm wichtig. Wir sind ein forschendes Unternehmen

und haben als solches derzeit fünf Doktoranden, die wir als Industriepartner unterstützen. Die Zusammenarbeit mit der OTH funktioniert sehr gut.

Auch in der Lehre ist Martin Hobelsberger seinem „Architekten-Dasein“ treu geblieben. In seinen Vorlesungen geht es um Rechnerarchitekturen und Software-Architekturen. Wie seine weiteren Pläne aussehen, darauf darf man gespannt sein.

EIN EXPERTENTEAM FÜR EIN BETONMISCHER-EXPERTENSYSTEM

Ivan Parić und Benjamin Großmann forschen an einem intelligenten Betonmischer.

Ivan Parić (40) schwört als Betontechnologe Stein und Bein auf Brücken aus Stahl und Beton. Benjamin Großmann (28) hingegen baut lieber Brücken aus Daten und Zahlen, denn der Maschinenbauingenieur ist Spezialist für Algorithmen und Regelungstechnik. Beide sind Forschungsassistenten – Paric im Cluster EnResBau (Energieeffiziente und Ressourcen schonende Baustoffe und Bauverfahren), Großmann im Cluster ATS (Automatisierung technischer Systeme) – und haben sich für das Forschungsprojekt „Aussteuerung von selbstverdichtendem Beton im Betonmischer“ zusammengetan.

Treffpunkt Labor Betontechnologie im Erdgeschoss der OTH Regensburg an der Prüfeninger Straße. Zementsäcke liegen übereinander gestapelt auf dem Boden, Tische und Stühle sind mit einer feinen Staubschicht überzogen. Die Baustellen-Szenerie wird komplettiert durch eine große Betonmischmaschine, die mit einem Computer-Arbeitsplatz verbunden ist. Seit zwei Jahren ist Ivan Parić hier in seiner Funktion als Studentische Hilfskraft mit der Analyse von Beton beschäftigt. Genauer gesagt: von Hochleistungsbeton, sogenanntem „Selbstverdichtendem Beton“, abgekürzt SVB.

Herr Parić, was fasziniert Sie an Beton?

Parić: Im Grunde genommen, dass man aus Kies, Sand, Zement und Wasser ein Material herstellen kann, das ver gießbar in beliebige Formen und extrem haltbar ist. Letztlich ist Beton die Grundlage für unsere moderne Infrastruktur und damit unersetzlich für das Funktionieren unserer Gesellschaft. Das ist es auch, was mich bei der Forschung antreibt: Die unmittelbare Umgebung, hier, wo ich zu Hause bin, mit meiner Arbeit voranzubringen, den Innovations- und Wirtschaftsstandort Bayern zu stärken.

Womit also beschäftigen Sie sich hier im Labor bzw. in Ihrem aktuellen Forschungsantrag?

Parić: Wir untersuchen hier einen Beton, der den Vorteil hat, dass er sich selbst verdichtet, das heißt, dass er nach dem Verfüllen nicht mehr durch Rütteln bearbeitet werden muss. Dieser SVB ist nicht leicht zu handeln: Bei der Herstellung gibt es immer wieder umweltbedingte Schwankungen zum Beispiel im Wassergehalt. Diese zu erfassen, ist sehr schwierig. Beton fängt durch den Hydratationsprozess sofort an zu reagieren. Damit er beim Verarbeiten die richtige Konsistenz hat, also nicht zu zäh, aber auch nicht zu flüssig ist, muss ein Konsistenzvorhaltemaß vorgesehen werden. Was wir also machen wollen, ist kein neuer Betonmischer, sondern ein Mess- und Steuergerät zum Mischer, das zuverlässig die perfekte Mischung regelt und dabei eben schwankende Parameter wie Materialschwankungen, Sandfeuchtigkeit, Außentemperatur usw. berücksichtigt.

Und wo kommen Sie dabei ins Spiel, Herr Großmann?

Großmann: Meine Aufgabe ist es, die Erkenntnisse der Betontechnologen in eine Programmierung zu übertragen. Dazu muss eine Software entwickelt und eine visuelle Oberfläche angelegt werden. Die Zusammenhänge, die man experimentell gewonnen hat, müssen mathematisch etwa über Tabellen oder Gleichungen beschrieben werden. Auf diese Weise soll das Wissen eines Experten abgebildet und auf eine Maschine übertragen werden. Diese kann dann quasi selbst entscheiden, ob beispielsweise noch mehr Wasser zugegeben werden muss.

Parić: Unser Ziel ist sozusagen, ein Expertensystem zu entwickeln; insofern ist das auch ein Thema der Künstlichen Intelligenz.

Ivan Parić demonstriert, wie die Tests am Beton aussehen: Er taucht ein Rheometer in den Mischer, das Parameter wie Viskosität und Fließgrenze ermittelt. Anschließend erklärt er mittels entsprechender Gerätschaften den Ein-Punkt-Versuch und den V-Trichter-Test, die beide Aufschluss über die Qualität des Betons geben. Ist der Beton zu steif, kann er durch nachträgliche Zugabe von Fließmittel verflüssigt werden, ist er aber zu flüssig, ist er nicht mehr zu gebrauchen. Rund 20 Prozent Ausschuss fällt derzeit bei der Herstellung von Selbstverdichtendem Beton an. Mit dem System von Parić und Großmann soll diese Quote auf zwei Prozent reduziert werden.

Wie ist denn Ihre Zusammenarbeit zustande gekommen?

Parić: *Über das IAFW (Institut für Angewandte Forschung und Wirtschaftskooperationen) der OTH. Wir Bauingenieure lernen im Studium zwar auch Programmieren, etwa VBA-Programmierung, aber das reicht für so etwas nicht aus. Als Team passen wir beide sehr gut zusammen, ergänzen uns mit unseren Ideen, auch das Zwischenmenschliche hat gleich gepasst.*

Foto: OTH Regensburg



Können Sie denn die Faszination für Beton teilen, Herr Großmann?

Großmann: *Bei mir ist es weniger der Beton, sondern vielmehr die Regelungstechnik, die ich bei diesem Projekt spannend finde. Technische Systeme zu analysieren und zu beschreiben, das ist für mich die Faszination.*

Der Antrag für das Projekt „Aussteuerung von SVB im Betonmischer“ bei der Bayerischen Forschungsförderung läuft derzeit. Begonnen werden soll im Frühjahr 2015. Die beantragte Laufzeit beträgt 36 Monate, die Fördersumme für die OTH 240.000 Euro. In Vorläuferprojekten wie „KONSTROLL“ wurde durch die Entwicklung eines speziellen Rheometers die Grundlage für die Umsetzung geschaffen.

Ivan Parić

1974 Geboren in Moosburg a.d. Isar

1993 Abschluss der Ausbildung zum Automobilmechaniker

1994 Start in die Selbstständigkeit mit einer Firma für Trockenbau und Montagearbeiten

1997 Fachhochschulreife an der Staatlichen Fachoberschule Freising

2008-2012 Studium Bauingenieurwesen an der Hochschule Regensburg, Abschluss: Bachelor of Engineering (B. Eng.)

Seit 2014 Forschungsassistent im Cluster EnResBau bei Prof. Dipl.-Ing. techn. habil. Wolfgang Kusterle

2015 Abschluss des Masterstudiengangs „Bauen im Bestand“ als Master of Engineering (M. Eng.)

Benjamin Großmann

1987 Geboren in Heidenheim a. d. Brenz

2006 Abitur am Buigen-Gymnasium in Herbrechtingen (Baden-Württemberg)

2007-2012 Studium Maschinenbau an der Hochschule Regensburg, Abschluss: Bachelor of Engineering (B. Eng.)

Seit 2012 Mitarbeiter am Labor Robotik unter Leitung von Prof. Dr.-Ing. Thomas Schlegl

2014 Aufenthalt an der Tokyo University of Sciences für die Forschung an Exoskeletten (Projekt „Muscle Suit“)

2014 Abschluss des Masterstudiengangs „Applied Research in Engineering Sciences“ an der OTH Regensburg mit dem Titel M. Sc.

Seit 2014 Forschungsassistent im Cluster ATS im Labor Regelungstechnik unter der Leitung von Prof. Dr.-Ing. Ralph Schneider und Mitarbeiter im Projekt IndAppCC

KLEINE LICHTER IM FORSCHUNGSBETRIEB ...

... aber mit großer Strahlkraft: Clemens Pohl und Alena Wackerbarth arbeiten an Technik für den Menschen.

Wenn Clemens Pohl von seiner Arbeit spricht, geht es um Assistenzroboter, um 3D-Sensorik und um stochastische Modelle, bei Alena Wackerbarth fallen Schlagworte wie Akzeptanzfragen oder ELSA-Aspekte, eine Abkürzung für Ethical Legal and Social Aspects. Als Forschungsassistenten in den Clustern ATS (Automatisierung technischer Systeme) bzw. ETN (Ethik, Technologiefolgenforschung und Nachhaltige Unternehmensführung) befassen sich beide auf den ersten Blick mit ganz und gar unterschiedlichen Dingen. Dass sie im Grunde genommen jedoch ein und dasselbe wissenschaftliche Ziel haben, nämlich die natürliche Interaktion zwischen Mensch und Maschine, wird an ihrem gemeinsamen Forschungsprojekt deutlich: „Methodische Konzeption assistierender Arbeitsplätze zur Unterstützung der beruflichen Ausbildung lernbehinderter Jugendlicher und junger Erwachsener“ – so der Projekttitel.

Was verbirgt sich hinter diesem Titel?

Pohl: *Im Prinzip sollen hier Ergebnisse, die in den beiden Projekten „Smart Work Bench“ und „ManuCyte“ erzielt wurden, konkret angewendet werden, um Jugendliche mit Lernbehinderung bei ihrer Berufsausbildung zu unterstützen. Die Konzentration liegt dabei auf der Haptik und Kinästhetik.*

Wackerbarth: *„Stille Reserven“, wie Jugendliche und junge Erwachsene mit Lernbehinderung, sollen für den Arbeitsmarkt*

erschlossen werden. Wir wissen noch zu wenig über technologische Unterstützungsmöglichkeiten am Arbeitsplatz für diese Zielgruppe. Unterstützt werden wir von der KJF (Katholische Jugendfürsorge e. V.), die aus eigenem Interesse auf uns zugekommen ist.

Bei dem Projekt „Smart Work Bench“, abgekürzt SWoB, bei dem Clemens Pohl im Rahmen seiner wissenschaftlichen Arbeit im Labor Robotik involviert ist, geht es um die Entwicklung intelligenter Arbeitsplätze, die mit Sensoren, Projektoren und Assistenzroboter ausgestattet, den Werker bei bestimmten Arbeitsschritten unterstützen können. Im Projekt „ManuCyte“ – hier war Pohl als Bachelorand tätig – ging es um die Entwicklung eben jenes Assistenzrobotersystems CARo5x, das intelligent und leistungsfähig in Interaktion mit dem Menschen agieren kann.

Wackerbarth: *Im Vordergrund der sozialwissenschaftlichen Untersuchungen steht, wie gut lernbehinderte Personen von der Funktionalität der neuen Technologie Gebrauch machen können. Dabei wollen wir z. B. der Frage nachgehen, ob lernbehinderte Auszubildende eher Vorschläge von intelligenten Arbeitsplätzen annehmen als von realen Personen. Als Datenerhebungsmethode wählen wir Interviews.*

Pohl: *Das Ganze soll in drei Phasen vor sich gehen: In der ersten Phase wird der Roboter an den Lehrenden angekoppelt, um sich dessen Instruktionen zu merken. In der zweiten Phase wird er an den Lernenden angekoppelt. Dabei wollen wir einen Datenhandschuh einsetzen, der sensoruell die Gesten des Lernenden erfasst und diese Daten dann auswertet.*



Foto: OTH Regensburg

In der dritten Phase soll der Mensch eigenständig mit dem System interagieren können. Relativ teure Komponenten wie der Datenhandschuh könnten dann eventuell durch das Extremitätentracking ersetzt werden. Dabei wird zum Beispiel die Handposition mithilfe eines Sensors aufgezeichnet. So kann der intelligente Arbeitsplatz sich merken, wie etwa eine OK-Geste der betreffenden Person aussieht und diese das nächste Mal erkennen, um dann beispielsweise zum nächsten Arbeitsschritt weiterzuschalten.

Der entsprechende von Pohl und Wackerbarth beim Bundesministerium für Bildung und Forschung eingereichte Vorschlag ist eine zehneitige Skizze, die diese Inhalte und Zielsetzungen erläutert.

Worin besteht denn die Herausforderung bei solchen Forschungsanträgen?

Wackerbarth: Mitarbeiter unterschiedlicher Fakultäten, die unterschiedliche „Sprachen“ sprechen, sitzen plötzlich an einem Tisch und es müssen unter Zeitdruck passende Formulierungen gefunden werden. Das war für mich eine Herausforderung. Hinzu kommen die ganzen Formalien, die bei einem Forschungsantrag zu beachten sind. Da war es gut, tatkräftige Unterstützung durch die Mitarbeiter des IAFW zu erhalten, die sich in dem Bereich bestens auskennen.

Pohl: Zudem ist es sehr schwierig, die komplexen technischen Konzepte allgemeinverständlich darzustellen und seine Ideen auf den wenigen verfügbaren Seiten aussagekräftig zu präsentieren.

Was ist für Sie das Faszinierende an Ihrer Arbeit?

Wackerbarth: Die Vielseitigkeit: Als Forschungsassistent/Forschungsassistentin beschäftigt man sich nicht nur mit der Einwerbung von Drittmitteln. Neben der Lehre steht bei mir aktuell die Organisation zweier Veranstaltungsreihen an: „Energiewende“ und „Reproduktionsmedizin“. In der Forschung fasziniert mich, das Neue zu entdecken, vor allem mit dem Hintergedanken, Technik nicht um der Technik willen zu entwickeln, sondern für den Menschen.

Pohl: Das ist, glaube ich, auch unser Hauptschnittpunkt. Und ganz klar ist die Faszination für mich auch die Vielseitigkeit. Aber auch die Freiheit, in der Forschung eigene Wege zu gehen und durch extrem tiefes Bohren in fachlich schwierige Gefilde vordringen zu können. Dadurch kann man sozusagen immer am Puls der Zeit agieren. Neben der halben Stelle als Forschungsassistent, welche unter anderem Lehrverpflichtungen, Einwerbung von Drittmitteln und Öffentlichkeitsarbeit

beinhaltet, bin ich noch auf einer halben Stelle für ein Projekt angestellt, welches das Ziel hat, den intelligenten Arbeitsplatz (SVoB) bei einem Projektpartner zu integrieren. Außerdem habe ich im Rahmen einer Kooperation mit der Universität Bielefeld angefangen, an meiner Promotion zu arbeiten, in der ich mich mit der Klassifikation von Gesten über stochastische Modelle beschäftige.

Für ihre Zukunft können sich Alena Wackerbarth und Clemens Pohl sehr gut vorstellen, im Wissenschaftsbetrieb zu bleiben, sei es an einer Hochschule oder an einem Forschungsinstitut. Ob im Ausland oder doch in Deutschland, das ist für sie eher zweitrangig. Auf dem neusten Stand der Technik muss es sein, das ist die Hauptsache.

Clemens Pohl

1985 Geboren in Weiden

2004 Abschluss der Ausbildung zum Gas- und Wasserinstallateur

2007 Fachhochschulreife an der Gustav-von-Schlör-Schule, Weiden

2008-2012 Maschinenbaustudium an der Hochschule Regensburg, Abschluss als B. Eng.

Seit 2012 Wissenschaftlicher Mitarbeiter im Labor Robotik der OTH Regensburg

2012-2014 Masterstudium „Mechanical Engineering“ an der OTH Regensburg, Abschluss als M. Sc.

Seit 2014 Forschungsassistent im Cluster „Automatisierung technischer Systeme“ (ATS)

Alena Wackerbarth

1987 Geboren in Frittlar

2007 Abitur an der König-Heinrich-Schule, Frittlar

2008-2011 Bachelorstudium an der Julius-Maximilians-Universität Würzburg, Fächer: Pädagogik und Political and Social Studies

2011-2014 Masterstudium der Kultur und Technik an der BTU Cottbus-Senftenberg

2013 Praktikum am Institut für Technikfolgenabschätzung und Systemanalyse (ITAS), Karlsruhe

2013/2014 Wissenschaftliche Hilfskraft am Forschungszentrum Informatik (FZI), Karlsruhe

Seit 2014 Forschungsassistentin im Cluster „Ethik, Technologiefolgenforschung und Nachhaltige Unternehmensführung“ (ETN)

Insgesamt 70 Doktoranden und Doktorandinnen arbeiteten an der OTH Regensburg zum Stichtag 31.12.2014 im Rahmen kooperativer Promotionsverfahren an ihrer Doktorarbeit. Davon haben sich knapp 35 Promovierende in das Doktoranden- und Doktorandinnenseminar der OTH Regensburg eingeschrieben. An der OTH Regensburg sind insgesamt 36 Professoren und Professorinnen in die Betreuung der Promovierenden eingebunden.

Im Rahmen der Promotionen bestehen Kooperationen mit zahlreichen Universitäten wie z. B.:

Bayern:

Technische Universität München, Universität Regensburg, Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg, Universität Bamberg

Weiteres Bundesgebiet:

Christian-Albrechts-Universität zu Kiel, Technische Universität Ilmenau, Technische Universität Dresden, Universität Wuppertal

Ausland:

University of West Bohemia in Pilsen, Universiti Sains Malaysia, École Nationale Supérieure d'Architecture de Grenoble, Norwegian University of Sciences and Technology

Insgesamt sechs Promovierende konnten im Jahr 2014 ihre Promotion erfolgreich abschließen:

Christina Artmann

Studiengang: Master Maschinenbau
 Studienort: OTH Regensburg
 Titel der Promotion: Ein neues Verfahren zur Online-Ermittlung der Schmierölverdünnung bei Verbrennungsmotoren
 Kooperierende Universität: TU München
 Betreuung: Prof. Dr. Hans-Peter Rabl

Florian Fleischmann

Studiengang: Master Bauingenieurwesen
 Studienort: OTH Regensburg
 Titel der Promotion: Die Beurteilung und Steuerung der Konsistenz von selbstverdichtenden Betonen in Transportbetonwerken
 Kooperierende Universität: Ruhr-Universität Bochum
 Betreuung: Prof. Dr. Wolfgang Kusterle

Peter Raab

Studiengang: Master Electrical and Microsystems Engineering
 Studienort: OTH Regensburg
 Titel der Promotion: Model-Based Reliability Evaluation of Data Processing in Hardware-Fault-Tolerant Processor Systems
 Kooperierende Universität: Westböhmische Universität Pilsen
 Betreuung: Prof. Dr. Jürgen Mottok

Michael Schorer

Studiengang: Dipl. Informatik
 Studienort: OTH Regensburg
 Titel der Promotion: Virtual Integration – A Game-Theoretic Approach
 Kooperierende Universität: Universität Regensburg
 Betreuung: Prof. Dr. Jürgen Mottok

Torsten Strobl

Studiengang: Dipl. Informatik
 Studienort: OTH Regensburg
 Titel der Promotion: Editoren für interaktive animierte Sprachen – Ein modellgetriebener Ansatz unter Einsatz der Animation Modeling Language (AML)
 Kooperierende Universität: Universität der Bundeswehr München
 Betreuung: Prof. Dr. Athanassios Tsakpinis

Susanne Worbs

Studiengang: Dipl. Soziologie
 Studienort: Universität Bamberg
 Titel der Promotion: Bürger auf Zeit. Die Wahl der Staatsangehörigkeit im Kontext der deutschen Optionsregelung
 Kooperierende Universität: Pädagogische Hochschule – Schwäbisch Gmünd
 Betreuung: Prof. Dr. Sonja Haug

PROMOTIONSPROJEKTE IM ÜBERBLICK	
laufende Promotionen	70
abgeschlossene Promotionen in 2014	6
Kooperierende Universitäten	
Bayern	40
davon Universität Regensburg	7
Andere Bundesländer	25
Ausland	5
nach Fakultäten	
Allgemeinwissenschaften und Mikrosystemtechnik	10
Architektur	7
Bauingenieurwesen	3
Betriebswirtschaft	1
Elektro- und Informationstechnik	12
Maschinenbau	15
Information und Mathematik	19
Angewandte Sozial- und Gesundheitswissenschaften	3

NEUENTWICKLUNG EINER TOTRAUMREDUZIERTEN GAMMA-TYP-STIRLINGMASCHINE

Uli Pausch, OTH Regensburg
 Christian Heidrich, OTH Regensburg
 Martin Fadanelli, Fraunhofer UMSICHT
 Michael Elsner, OTH Regensburg

18

Im Zuge des steigenden Bedarfs an umweltfreundlicher Energiebereitstellung gewinnt das Konzept der Kraft-Wärme-Kopplung als dezentrale Möglichkeit der gleichzeitigen Strom- und Wärmegegewinnung immer mehr an Bedeutung. Eine der dafür geeigneten Kraftmaschinen ist der Stirlingmotor, dessen Eignung für den Brennstoff Biomasse untersucht wird. Die über einen Zeitraum von mehreren Jahren entwickelte Stirlingmaschine wird im Verlauf des vorgestellten Projekts an der OTH Regensburg gefertigt, montiert und getestet.

TOTRAUMREDUZIERUNG

Stirlingmaschinen werden generell in drei verschiedene Bauarten unterteilt. Bei α - und β -Typen sind die Expansions- und Kompressionsräume in einem Zylinder ausgeführt. Der γ -Typ hingegen weist für seinen Arbeits- und Verdrängerkolben jeweils einen separaten Zylinder auf. Beide Zylinder sind parallel oder in einem Winkel von 90° zueinander angeordnet und durch einen Überströmkanal miteinander verbunden. Da das Arbeitsgas im Überströmkanal nicht aktiv am Kreisprozess teilnimmt, stellt dieser Bereich ein Totvolumen dar. Dieses bauartspezifische Merkmal der γ -Typ-Stirlingmaschine wirkt sich nachteilig auf das Verdichtungsverhältnis und somit auf die Effizienz des Motors aus.¹ Eine Möglichkeit der Effizienzsteigerung stellt die Verkürzung des Überströmkanals dar, die in der vorgestellten Neuentwicklung umgesetzt wird. Wie Abbildung 1 zeigt, ist die Besonderheit der neukonzipierten γ -Typ-Stirlingmaschine die Reduzierung des Winkels zwischen dem Arbeits- und Verdrängerkolben von 90° auf 20° . Durch diese Neuordnung der Kolbenpositionen wird die Länge des Überströmkanals deutlich verkürzt und eine theoretische Effizienzsteigerung und somit auch eine Wirkungsgradverbesserung erreicht.

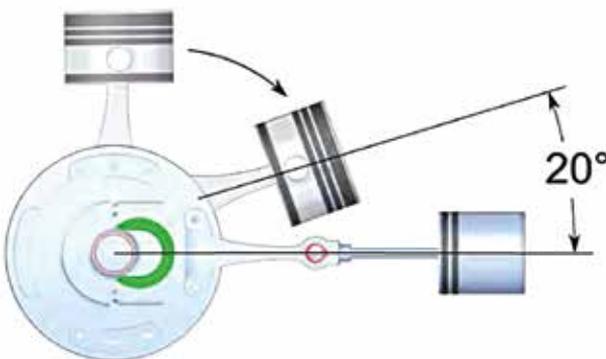


Abb. 1: Reduzierung des Winkels zwischen Arbeits- und Verdrängerkolben von 90° auf 20° ²

REGENERATOR

Der Regenerator einer Stirlingmaschine befindet sich zwischen Erhitzer und Kühler. Seine Aufgabe ist es, thermische Energie kurzzeitig zu speichern. Dazu durchströmt in einem Arbeitstakt des Kreisprozesses das heiße Arbeitsgas den Regenerator und gibt Wärme an diesen ab. Somit muss im darauffolgenden Prozessschritt eine geringere Wärmemenge als Abwärme über den Kühler abgegeben werden. Im nächsten Arbeitstakt wird das Arbeitsgas auf dem Weg von der Kompressions- zur Expansionsseite im Regenerator erwärmt, was die über den Erhitzer von außen zuzuführende Wärmemenge reduziert und damit den Wirkungsgrad des Kreisprozesses verbessert. Zur Erfüllung der Anforderungen muss der Regenerator möglichst durchlässig für das Arbeitsgas sein und zugleich eine hohe Wärmespeicherfähigkeit aufweisen. Entscheidend für seine Effektivität sind folglich das verwendete Material sowie die Porosität des Regenerators. Da europaweit kein entsprechendes Produkt zu akzeptablen Kosten verfügbar ist, wird der Wärmespeicher als Eigenentwicklung ausgelegt und gefertigt. Sein Drahtgewebe „Volumetric Mesh“ besteht aus einem austenitisch hitzebeständigen Stahl (X8CrNi25-21). Für die optimale Auslegung der Regeneratorporosität wird das Setzverhalten beim Wickeln des Gewebes sowie der Einfluss der Porosität auf den Druckverlust bei der Durchströmung und auf den Wärmeübergang in stationären und transienten Ein- und Zweizonenmodellen analysiert und berechnet. Dabei ergibt sich für die freie Gewebelänge eine optimale Porosität von 75 %. Zur Wicklung des Gewebes wird eine entsprechende Wickelvorrichtung konstruiert, gefertigt und montiert. Hauptaufgabe dieser Apparatur ist es, das Gewebeband über die gesamte Wickellänge konstant vorzuspannen und dadurch eine homogene Porosität zu gewährleisten. Bei der Umsetzung werden gegenläufige Walzen angewandt, wodurch die Spannkraft unabhängig von der Länge des Gewebes aufgebracht wird.²

GEHÄUSEFERTIGUNG

Das Gehäuse des Stirlingmotors wird in der hauseigenen DMU 60 linear Fräsmaschine der Firma DMG gefertigt. Hierfür wird ein zu Beginn 255 kg schwerer und aus einer Aluminium-Legierung (AlMg45) bestehender Quader spa-

end bearbeitet. Während der Bearbeitung nimmt das Volumen um rund 75 % ab; das fertige Gehäuse wiegt 68 kg. Die komplette Fertigung inklusive der Programmierung, zweimaligem Umspannen, Werkzeugwechsel in der Maschine plus Bearbeitungszeit (Vorderseite ca. 12 und Rückseite ca. 8,5 Stunden) beträgt insgesamt rund 250 Stunden. Abbildung 2 zeigt das Gehäuse mit Deckel der neukonzipierten Stirlingmaschine.

Foto: Autoren



Abb. 2: Gehäuse mit Deckel der Stirlingmaschine

Literatur

- 1 Wagner, A.: Calculations and Experiments on Gamma-Type Stirling Engines. Dissertation, University of Wales, Cardiff (2008).
- 2 Fadanelli, M.: Theoretische und experimentelle Untersuchungen an einem neukonzipierten Stirlingmotor. Masterarbeit OTH Regensburg (2014).

ZUSAMMENFASSUNG UND AUSBLICK

Mit dem Ziel der Wirkungsgradsteigerung wird im Labor Wärmetechnik ein neues Konzept einer Stirlingmaschine entwickelt und anschließend überwiegend an der OTH Regensburg gefertigt. Hauptmerkmal dieses γ -Typ-Stirlingmotors ist die Winkelverkleinerung zwischen dem Arbeits- und Verdrängerkolben von 90° auf 20° und die damit einhergehende Verkürzung des Überstromkanals. Des Weiteren wird der Regenerator inklusive Wickelvorrichtung konzipiert, konstruiert, gefertigt und zusammengebaut. Nach der Fertigstellung des Motors sollen erste Testläufe in einem mit Holzpellets gefeuerten Biomassekessel durchgeführt werden, bevor die Stirlingmaschine als Teil einer KWK-Anlage an der OTH Amberg-Weiden eingesetzt wird.

Projektleitung

Prof. Dr.-Ing. Michael Elsner +49 941 943-5154
OTH Regensburg, Labor Wärmetechnik
michael.elsner@oth-regensburg.de

Projektmitarbeiter

Martin Fadanelli, M. Sc., Fraunhofer UMSICHT
martin.fadanelli@umsicht.fraunhofer.de

Christian Heidrich, B. Eng., OTH Regensburg,
Labor Wärmetechnik
christian.l.heidrich@st.oth-regensburg.de

Uli Pausch, B. Eng., OTH Regensburg, Labor Wärmetechnik
uli.pausch@st.oth-regensburg.de

Geldgeber

TWO – Technologie- und Wissenschaftsnetzwerk Oberpfalz

Projektlaufzeit

39 Monate



KORROSIONSUNTERSUCHUNGEN AN EINEM ERHITZERKOPF EINER STIRLINGMASCHINE

Daniel Pöcher, OTH Amberg-Weiden
 Lenz Pittroff, OTH Regensburg
 Michael Elsner, OTH Regensburg
 Stefan Beer, OTH Amberg-Weiden

20

Die Kraft-Wärme-Kopplung basierend auf dem Brennstoff Biomasse ist ein technologisch äußerst anspruchsvolles Aufgabengebiet. Ein mögliches Arbeitsprinzip einer KWK-Anlage stellt der Stirlingmotor dar. Zur Durchführung von Korrosionsuntersuchungen wird der Erhitzerkopf einer an der OTH Regensburg entwickelten Stirlingmaschine aus verschiedenen Werkstoffen mit unterschiedlichen Beschichtungen gefertigt. Der Erhitzerkopf wird in den Abgasweg der Heißluftgasturbinenanlage im Biomasseheizkraftwerk Hersbruck integriert und den heißen Rauchgasen ausgesetzt. Nach Beendigung des Versuchsbetriebs werden Korrosionsuntersuchungen an der OTH Amberg-Weiden durchgeführt.

AUSLEGUNG UND FERTIGUNG DES ERHITZERKOPFES

Der zur Durchführung der Korrosionsversuche verwendete Erhitzerkopf wird in Anlehnung an den Wärmetauscher der neuentwickelten Gamma-Typ-Stirlingmaschine hergestellt. Während der Erhitzerkopf der Neuentwicklung einheitlich aus unbeschichtetem X10CrNiAlTi32-20 besteht, ist der hier vorgestellte Wärmetauscher aus insgesamt 44 Rohren aus acht unterschiedlichen Material- und Beschichtungsvarianten aufgebaut. Die Auswahl der verwendeten Stähle wird unter Berücksichtigung der Forderung nach Hochtemperaturbeständigkeit gegen eine Arbeitstemperatur von bis zu 1.100 °C, Beständigkeit gegen korrosiv wirkende Rauchgase, guter Wärmeleitfähigkeit sowie guten Schweißeigenschaften getroffen. Für die Integration in den Abgasweg der Heißluftgasturbinenanlage wird die Konstruktion des Erhitzerkopfes um einen Befestigungsflansch erweitert. Zur realistischen Simulation der Arbeitsbedingungen eines Stirlingmotors wird zusätzlich eine Zu- und Ablaufstrecke zur Druckbeaufschlagung einschließlich Messvorrichtungen zur Bestimmung von Druck und Temperatur integriert. Die Erhitzerkopfröhre werden in der hochschuleigenen Werkstatt der OTH Regensburg gebogen und anschließend beschichtet. Die Schweißarbeiten an der gesamten Erhitzerkopfbaugruppe werden unter Beaufsichtigung durch die OTH Regensburg extern durchgeführt.

DURCHFÜHRUNG DER VERSUCHE

Der in Abbildung 1 gezeigte Erhitzerkopf ist mit Wärmeübertragerrohren aus verschiedenen Materialien bestückt. Als Vergleichswerkstoff dient ein zunderbeständiger, kriechfester und schweißbarer Vollaustenit (1.4841 bzw. X15CrNiSi25-2), dessen Anwendungstemperaturen zwischen 900 und 1.100 °C liegen. Dieser Standardhochtemperaturstahl stellt auch preislich die günstigste Variante im Vergleich dar. Er dient als Basis für Varianten mit Funktionsschichten. Die Beschichtung erfolgte durch die Rhein-Ruhr-Beschichtungsservice GmbH. Die Lasernachbearbeitung zum „Abdichten“ der Beschichtungsoberfläche erfolgte im Labor für Lasertechnik der OTH Amberg-Weiden (Leitung: Prof. Dr. Andreas Emmel), wo die Werkstoffuntersuchungen durchgeführt wurden.

Die gewählten Kombinationen von Werkstoff und Beschichtung waren wie folgt:

- Werkstoff 1.4876H, keine Beschichtung
- Werkstoff 1.4841, keine Beschichtung
- Werkstoff 1.4841, Beschichtung mit NiCrAlY – ZrO₂/Y₂O₃, keine Lasernachbearbeitung
- Werkstoff 1.4841, Beschichtung mit NiCr – Al₂O₃, keine Lasernachbearbeitung
- Werkstoff 1.4841, Beschichtung mit NiCrAlY – ZrO₂/Y₂O₃, keine Lasernachbearbeitung
- Werkstoff 1.4841, Beschichtung mit NiCrAlY – ZrO₂/Y₂O₃, Lasernachbearbeitung
- Werkstoff 1.4841, Beschichtung mit NiCr – Al₂O₃, Lasernachbearbeitung
- Werkstoff 1.4841, Beschichtung mit NiCrAlY – ZrO₂/Y₂O₃, Lasernachbearbeitung

Der Prüfling wurde im Biomasseheizkraftwerk Hersbruck (Biomassegegenstromvergasung mit Heißluftgasturbinenprozess und ORC-Anlage) zwischen Brennkammer und Wärmeübertrager eingebaut. Die Gaszusammensetzung entspricht der einer konventionellen Biomasseverbrennung, allerdings bei einem Temperaturniveau von 1.000-1.100 °C. Durch die Besonderheit der Gegenstromvergasung liegt der Staubgehalt im Rauchgas bei unter 1 mg/m³ bei 11 % Sauerstoffgehalt. Der

Foto: Autoren



Abb. 1: Prüfling zu Beginn und am Ende des Dauertests

Prüfling wurde von Frühjahr bis Herbst 2014 über 2.617 Stunden einem Temperaturmittelwert von ca. 1.030 °C ausgesetzt. Zur Durchführung des Dauerversuchs wurde ein vollautomatisierter Prüfaufbau an der OTH Amberg-Weiden konzipiert, aufgebaut und mit Messtechnik ausgestattet. Die Messdaten waren jederzeit via Internet abrufbar, was eine permanente Fernüberwachung ermöglichte. Zur Kühlung des Prüflings wurde kontrolliert Druckluft in die Rohre eingeleitet, die sich im Mittel auf 640 °C aufheizte. Das Druckniveau betrug hierbei ca. 12 bar. Am Ende der Versuchsperiode wurden im Labor für Werkstofftechnik der OTH Amberg-Weiden Schliffbilder der verschiedenen Wärmetauscherrohre angefertigt (Abbildung 2). Unter dem Lichtmikroskop konnten die Zunderschichtdicken vermessen werden und daraus für den jeweiligen Werkstoff ein parabolisches Zundergesetz abgeleitet werden. Deutlich zu erkennen ist, dass die Oxidation bevorzugt Korngrenzen angreift. Hierdurch ist auch zu erklären warum sich die Oberfläche des Werkstoffs aufraut bzw. sich kleine Grübchen bilden.

Grafik: Autoren

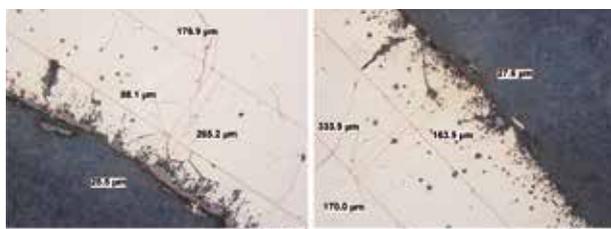


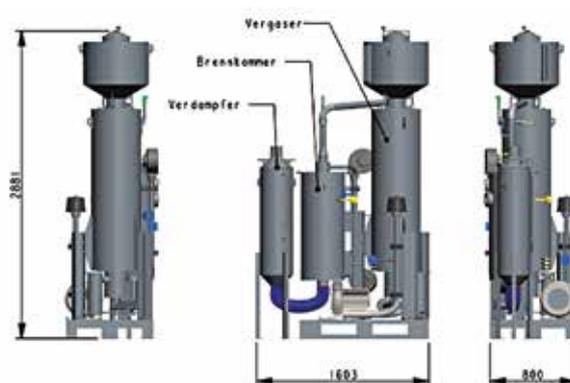
Abb. 2: Schliffbild des Werkstoffs 1.4841 mit Dicke der Zunderschicht innen (links) und außen (rechts) am Rohr

ERGEBNISSE

Als Ergebnis der Untersuchung kann festgehalten werden:

- Der Werkstoff 1.4841 ohne Beschichtung weist keine stärkere Oxidation auf als die anderen Varianten und stellt damit im Vergleich die wirtschaftlichste Variante dar.
- Die Funktionsschichten mit und ohne Lasernachbehandlung haben sich als nicht ausreichend dicht erwiesen, sodass sie den darunterliegenden metallischen Werkstoff nicht gegen Korrosionsangriff schützen konnten. Teilweise sind die Schichten auch abgeplatzt.
- Mithilfe des parabolischen Zundergesetzes kann man die Abzehrung des Werkstoffs unter den gegebenen Bedingungen verlässlich abschätzen.
- Bei ausreichender Anfangsstärke der Rohrwanddicke ist eine Lebensdauer des Wärmeübertragers von mehreren 10.000 Stunden unter den gegebenen Randbedingungen problemlos erreichbar.

Im nächsten Arbeitsschritt wird ein an der OTH Regensburg entwickelter Stirlingmotor in den KWK-Prüfstand der OTH Amberg-Weiden integriert. Der Prüfstand (vergleiche Abbildung 3) ist so konzipiert, dass in etwa gleiche Gaszusammensetzung, Temperatur und Staubgehalt herrschen wie beim Test im Biomasseheizkraftwerk Hersbruck.



Grafik: Autoren

Abb. 3: KWK-Prüfstand für Stirlingmotoren der OTH Amberg-Weiden

Im Vergleich zur konventionellen Vorgehensweise der Beaufschlagung eines Stirlingerhitzerkopfes mit den Rauchgasen einer Biomasseverbrennung mit den üblichen brennstoffabhängigen Staubgehalten von ca. 20...1000 mg/m³ sollen durch das neuartige Prinzip mit extrem niedrigen Staubwerten (< 1 mg/m³) das Korrosionsverhalten und das Fouling am Wärmeübertrager deutlich verbessert werden.

Projektleitung

Prof. Dr.-Ing. Stefan Beer,
OTH Amberg-Weiden +49 9621 482-3304
s.beer@oth-aw.de

Prof. Dr.-Ing. Michael Elsner,
OTH Regensburg +49 941 943-5154
michael.elsner@oth-regensburg.de

Projektmitarbeiter

Lenz Pittroff, B. Eng., OTH Regensburg
lenz1.pittroff@oth-regensburg.de

Daniel Pöcher, M. Eng., OTH Amberg-Weiden
da.poecher@oth-aw.de

Geldgeber

- TWO – Technologie- und Wissenschaftsnetzwerk Oberpfalz
- KWK-Kompetenzzentrum der OTH Amberg-Weiden

Projektlaufzeit

39 Monate

REGELBARE ORTSNETZTRANSFORMATOREN

Bausteine der Energiewende

Die Energiewende stellt Netzbetreiber vor enorme Herausforderungen, da sich einerseits die Versorgungsaufgabe drastisch ändert und andererseits die Übertragungsreserven im Stromnetz schwinden. Besonders betroffen sind Verteilungsnetze vom Spannungsbandproblem, d. h. ein Erreichen der zulässigen Spannungsbandgrenzen beispielsweise in Zeiten hoher Einspeisung aus dezentralen Erzeugungsanlagen. Eine Möglichkeit diesem Problem zu begegnen, ist der Einsatz regelbarer Ortsnetztransformatoren, welche eine Entkopplung der Niederspannungsebene von der Mittelspannungsebene bewirken. Das erste serienreife Modell wurde von der Maschinenfabrik Reinhausen vorgestellt. In Kooperation zwischen der Maschinenfabrik Reinhausen und der Forschungsstelle für Energienetze und Energiespeicher (FENES) der OTH Regensburg wurden in den letzten Jahren verschiedene Aspekte, wie z. B. Alterungsverhalten, Regelungskonzepte oder Einsatzvarianten regelbarer Ortsnetztransformatoren aus Sicht der Netzplanung analysiert.

HINTERGRUND

Mit dem Wechsel von Dr.-Ing. Oliver Brückl an die OTH Regensburg startete 2011 ein Kooperationsprojekt zum Thema regelbare Ortsnetztransformatoren (RONT) zwischen der OTH Regensburg und der Maschinenfabrik Reinhausen (MR). Zu dieser Zeit waren RONT nur im Rahmen von Pilotversuchen und auf Prototypenbasis im Praxiseinsatz, Konzepte für die Netzplanung waren nicht vorhanden. Durch die Weiterentwicklung des „MR-RONT-Konzeptes“ zur Serienreife und eine Begleitforschung durch die Forschungsstelle für Energienetze und Energiespeicher (FENES) der OTH Regensburg sollte dieser Missstand behoben werden. Schwerpunkte der Untersuchungen lagen auf

- der Darlegung der Einsatzvarianten,
- der Beschreibung und der Bewertung alternativer Regelkonzepte und
- der Durchführung eines Systemvergleichs unterschiedlicher Spannungshaltungskonzepte.

RONT-EINSATZVARIANTEN

Beim punktuellen Einsatz entkoppelt der RONT ein einzelnes Niederspannungsnetz von der Mittelspannungsebene und erschließt dadurch ein größeres Spannungsband. Das Potenzial dieser Einsatzvariante wurde anhand von Beispielnetzen verschiedener Ausprägungen (ländlich bis vorstädtisch) untersucht und in [1] und [2] veröffentlicht. Bei Beibehaltung eines zulässigen Spannungsfalls von 5 Prozentpunkten und einer Regelbandbreite von 4 Prozentpunkten konnte durch den alleinigen Einsatz eines RONT, d. h. ohne zusätzlichen Netzausbau, die installierbare Leistung an dezentralen Erzeugungsanlagen (EZA) um den Faktor 2 bis 4, in Extremfällen sogar bis zum Faktor 8 erhöht werden. Das Potenzial von RONT lässt sich durch einen strangweisen oder flächendeckenden Einsatz weiter erhöhen, da hierdurch auch Freiheitsgrade in der Spannungshaltung der MS-Ebene erschlossen werden. Der zulässige Spannungshub in der MS-Ebene

wird dabei von 2 Prozentpunkten, laut [3], um den Faktor 3 bis 6 erhöht. In [4] wird gezeigt, dass ein Einsparpotenzial bei den Netzausbaukosten der Mittelspannungsebene von bis zu 60 % durch den strangweisen RONT-Einsatz erzielt werden kann.

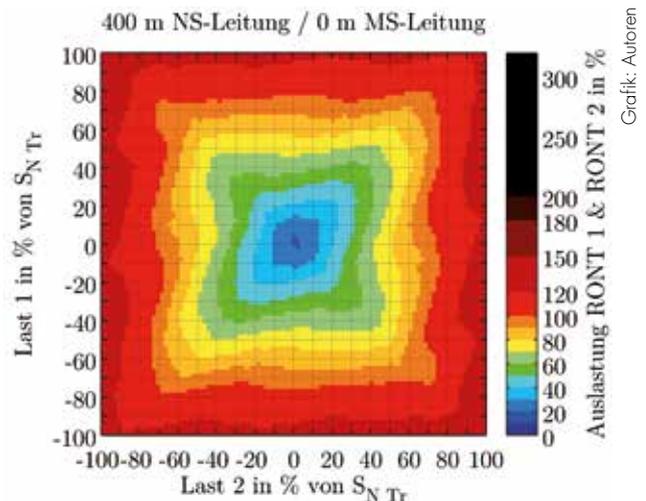


Abb.1: Auslastungsdiagramm einer unverriegelten RONT-Parallelschaltung

Ein Nebenaspekt der RONT-Einsatzvarianten ist die Parallelschaltung ohne zusätzliche Verriegelungsmaßnahmen. Bei abweichendem Übersetzungsverhältnis der RONT entstehen Kreisströme, die durch die Netz-/Transformatorimpedanz und die Spannungsdifferenz bestimmt sind (siehe [5]). Die Kreisströme überlagern sich dem Lastfluss und wirken sich folglich auf die Auslastung der RONT aus. Anhand von Simulationen wurden unterschiedliche Netzkonstellationen hinsichtlich eines möglichen unverriegelten Betriebs unter Einhaltung vorgegebener Auslastungsgrenzwerte analysiert. Hierbei wurde je RONT eine Ersatzlast zur Nachbildung der Niederspannungsebene verwendet. Die Länge der Niederspannungs- und der Mittelspannungsleitung, die Schwankung und der Lastfluss der Mittelspannungsebene wurden

als Randbedingungen variiert. Abbildung 1 zeigt ein beispielhaftes Auslastungsdiagramm. Die Achsen definieren den jeweiligen Betriebspunkt, d. h. die Leistungsaufnahme der Niederspannungslasten. Der rote Bereich beschreibt Betriebspunkte mit einer RONT-Auslastung größer gleich 100 % bei einer Worst-Case-Betrachtung der Randbedingungen. Soll dieser Grenzwert eingehalten werden, so darf die Leistungsaufnahme bzw. -abgabe der jeweiligen Niederspannungslast rund 80 % der RONT-Bemessungsleistung nicht überschreiten. Der unverriegelte Betrieb führt in diesem Fall dazu, dass die Anschlussleistung der Lasten unter der Bemessungsleistung der Transformatoren liegen muss. In weiteren Analysen wird untersucht, welche Bereiche der Randbedingungen in der Realität auftreten können. Ein unverriegelter Betrieb ist aus derzeitiger Sicht bei großer Netzimpedanz, kleiner Schwankung der MS-Ebene und unter Berücksichtigung des Kundenverhaltens durchaus realistisch.

RONT-REGELKONZEPTE

Die Standardregelung von RONT verwendet als Regelgröße den Spannungswert der NS-Sammelschiene. Über den Spannungssollwert und die Regelbandbreite kann dadurch das verbleibende Spannungsband für den Einspeise- und den Lastfall, d. h. über Worst-Case-Szenarien, fest verplant werden. Durch die Erweiterung der Regelung um Spannungsinformationen aus der NS-Ebene können weitere Reserven zugänglich gemacht werden. Die Spannungsinformation wird dabei entweder direkt über abgesetzte Spannungssensoren (ASS) oder über eine Rückrechnung anhand des Lastflusses erzeugt (Stromcompoundierung – SC). Über Regelalgorithmen, die eine dynamische Anpassung der Regelbandbreite oder des Sollwertes beschreiben, wird das nutzbare Spannungsband noch weiter vergrößert. Bei den ASS ist dabei die Wahl des Messpunktes und bei der SC die Wahrscheinlichkeitstheoretisch richtige Nachbildung des Kundenverhaltens für die Höhe des Spannungsbandgewinnes ausschlaggebend.

Im Zuge des Forschungsprojektes RONT wurde die Systemwirkung regelbarer Ortsnetztransformatoren analysiert und Erkenntnisse für die Planung von Stromnetzen extrahiert. Derzeit erfolgt die Aufbereitung der Forschungsergebnisse, welche mittelfristig unter www.ront.info publiziert werden. Ein besonderer Dank gilt der Maschinenfabrik Reinhausen für die Initiierung, Finanzierung und Mitwirkung an diesem Forschungsprojekt.

SYSTEMVERGLEICH

Neben RONT gibt es weitere Konzepte zur Lösung des Spannungsbandproblems im Verteilungsnetz. Mithilfe der in [6] vorgestellten NS-Netze und eigener Beispielnetze werden diese bei gleicher EZA-Entwicklung und einheitlichem maximalen Zubau verglichen. Erste Ergebnisse wurden in [7] publiziert. Bewertungsgrundlagen bilden Netzsimulationen, über die einerseits der Netzausbau (d. h. die Investitionskosten) bestimmt und andererseits energetische Betrachtungen über Hochrechnungsmodelle durchgeführt werden. Neben dem wirtschaftlichen Vergleich anhand der Barwertentwicklung erfolgt ein Vergleich der Lösungskonzepte über nichtmonetäre Größen. Diese sind z. B. die Effektivität und das P-Q-Verhalten. Die Effektivität beschreibt den Anteil der Lösungsmaßnahme am Gesamtnetzausbau und das P-Q-Verhalten den Einfluss auf die Blindleistungsextrema und Blindarbeit.

Literatur

- Haslbeck, M., Sojer, M., Smolka, T. und Brückl, O.: Mehr Netzanschlusskapazität durch regelbare Ortsnetztransformatoren, etz, Nr. 9/2012, S. 46–51 (2012).
- Rhode, M., Sojer, M., Smolka, T., Haslbeck, M. und Brückl, O.: Regelbare Ortsnetztransformatoren: ‚Mehr Platz‘ im Spannungsband, et, Nr. 10/2013, S. 78–81, (2013).
- BDEW (Hrsg.): Technische Richtlinie Erzeugungsanlagen am Mittelspannungsnetz – Richtlinie für den Anschluss und Parallelbetrieb am Mittelspannungsnetz (Juni 2008).
- Brückl, O., Haslbeck, M., Portner, O. und Hinz, G.: Kostenminimaler Netzanschluss einer 8-MW-PV-Anlage mithilfe regelbarer Ortsnetztransformatoren, et, Nr. 6/2014, S. 63–65 (2014).
- Stuber, J., Haslbeck, M., und Brückl, O.: Regelbare Ortsnetztransformatoren im Parallelbetrieb – Anwendungsfälle ohne Verriegelungsmaßnahmen, Netzpraxis, Bd. 10, Nr. September, S. 26–31 (2014).
- Kerber, G.: Aufnahmefähigkeit von Niederspannungsverteilnetzen für die Einspeisung aus Photovoltaikkleinanlagen, München, Technische Universität München, Diss. 2011 (2011).
- Brückl, O., Dalisson, N., Strohmayer, B. und Haslbeck, M.: Spannungshaltungsmaßnahmen im Verteilungsnetz, ew, Nr. 6/2014, S. 66–69 (2014).

Projektleitung

Prof. Dr.-Ing. Oliver Brückl, FENES
oliver.brueckl@oth-regensburg.de

Projektmitarbeiter

Raphaela Blösl, B. Eng.	Thomas Sippenauer, B. Eng.
Nils Dalisson, B. Eng.	Bernhard Strohmayer, B. Eng.
Florian Habler, B. Eng.	Johannes Stuber, B. Eng.
Matthias Haslbeck, M. Sc.	et. al.

Kooperationspartner

Maschinenfabrik Reinhausen

Projektlaufzeit

36 Monate

Projekthomepage

www.ront.info

BEDEUTUNG UND NOTWENDIGKEIT VON „WINDGAS“ FÜR DIE ENERGIEWENDE IN DEUTSCHLAND

Ausbaupfad und Mehr-Ebenen-Perspektive auf
eine Nischentechnologie vor der Markteinführung

Michael Sterner, FENES, OTH Regensburg

Martin Thema, FENES, OTH Regensburg

Nicole Muggenthaler, FENES, OTH Regensburg

Thorsten Lenck, Energy Brainpool

Philipp Götz, Energy Brainpool

24

Greenpeace Energy e.G. vermarktet als erster Energieversorger ein Windgas-Produkt an interessierte Kunden und ist damit einer der wichtigsten Vorreiter in der Entwicklung der Power-to-Gas-Technologie. Im Jahr 2014 hat eine Arbeitsgruppe an der Forschungsstelle Energienetze und Energiespeicher (FENES) an der OTH Regensburg eine Studie zur Bedeutung und Notwendigkeit von Windgas für die Energiewende in Deutschland für die Energiegenossenschaft erarbeitet.

Die Kernfrage der Studie ist, ob Windgas (respektive Power-to-Gas) für die Energiewende systemrelevant wird, wann das der Fall wäre und wie ein möglicher Ausbaupfad zu potentiell benötigter Windgas-Kapazität aussehen könnte.

Die von FENES und Energy Brainpool kooperativ durchgeführte Studie zeigt in einer qualitativ durchgeführten Betrachtung der Nischentechnologie Windgas in einem Mehr-Ebenen-System aus übergeordneten Einflussfaktoren wie Klimawandel und Ressourcenknappheit sowie Entwicklungen im Stromsystem einen aktuell günstigen Zeitpunkt zur Einführung und Weiterverfolgung dieser Technologie auf. Derzeit steht demnach ein Zeitfenster offen, welches es Windgas wie auch anderen Speichertechnologien ermöglicht, Teil des Energiesystems zu werden, um zu späterem Zeitpunkt verfügbar zu sein, wenn die Energiespeicherung unausweichlich notwendig wird.

Der Zeitpunkt dieser Notwendigkeit wurde in Simulationen der Studie auf in etwa das Jahr 2035 bei regenerativen Anteilen um 70 % beziffert. Zu diesem Zeitpunkt würden die Gesamtsystemkosten des Stromsystems unter Einsatz von Windgas kostengünstiger als ohne Windgas. Um bei ausgeglichener Exportsaldo und geringer Nutzung der Netzkoppelstellen ins europäische Ausland und damit 96 % Anteil erneuerbarer Energie im Stromsystem sämtliche Überschüsse mit Windgas aufnehmen zu können, nennt die Studie für das Jahr 2050 einen Kapazitätsbedarf für Windgas-Anlagen von 120 GW. Ausgehend vom Jahr 2020 wird ein Ausbaupfad zum Erreichen dieser Kapazität vorgezeichnet.

Darüber hinaus geht die Arbeit detailliert auf mögliche Entwicklungspfade der Windgas-Technologie, beispielsweise hinsichtlich Wirkungsgraden, Kosten und Geschäftsmodellen, ein.

DIE WICHTIGSTEN FRAGEN UND ANTWORTEN DER STUDIE IM ÜBERBLICK

1. Ab wann brauchen wir Windgas als Stromspeicher für eine erfolgreiche Energiewende?

Der Bedarf an Stromspeichern ist massiv abhängig von folgenden Annahmen: Wie viel erneuerbare Energien und Kraftwerke werden in den nächsten Jahren zugebaut? Welcher Netzausbau findet national und länderübergreifend statt? Wie stark kann die Verbraucherseite eingebunden werden und welche zusätzlichen Verbraucher kommen hinzu?

Eine genaue Angabe, zu welchem Zeitpunkt Windgas als Stromspeicher zwingend notwendig sein wird, kann daher nur als Bandbreite angegeben werden. Die größte Unsicher-

heit besteht im Netzausbau: Kommt dieser wie geplant, wird Windgas als Stromspeicher erst bei höheren Anteilen erneuerbarer Energien von ca. 70 % benötigt. Kommt es allerdings zu Ausba verzögerungen oder nur einem teilweisen Netzausbau, werden Stromspeicher erheblich früher in großem Umfang gebraucht. Massive Engpässe und Überschüsse im Stromsystem werden dann bereits in den 2020er-Jahren prognostiziert. Klar ist, dass Windgas als Stromspeicher spätestens ab 2030 systemrelevant wird, um die Ziele der Energiewende zu erreichen.

2. Was bedeutet das für den Ausbaupfad der Windgas-Technologie von heute an?

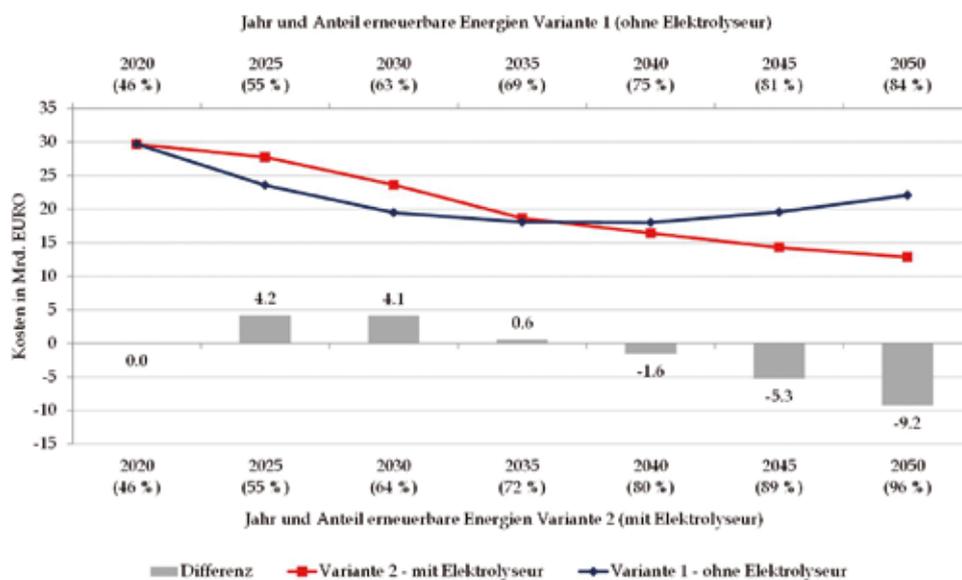
Windgas ist bereits heute marktfähig in der grünen Wärmeversorgung über Modelle wie proWindgas von Greenpeace Energy e.G. oder als grüner Stromkraftstoff für ökologisch motivierte Kunden. Zur Etablierung der Technologie ist eine Kostendegression notwendig. Um diese zu durchlaufen, sind flankierende politische und regulatorische Rahmenbedingungen notwendig, die eine Marktentwicklung ermöglichen. Es ist unstrittig, dass Windgas in der Energiewende gebraucht wird. Daher sollte die Technologie schon jetzt parallel zu anderen alternativen Flexibilitätsoptionen ausgebaut werden, damit eintretende Probleme wie Verzögerungen im Netzausbau die Energiewende nicht gefährden. Zusätzlich stellt die Windgas-Technologie eine wetterunabhängige Reserveleistung bereit, die einen Ausgleich zwischen dem unflexiblen konventionellen System und der schwankenden erneuerbaren Energieeinspeisung schafft. Windgas macht die Energiewende damit robust.

3. Wie entwickelt sich die Wirtschaftlichkeit von Windgas?

Die Technologie ist heute noch zu kostenintensiv, um auch außerhalb kleiner, ökologisch motivierter Märkte Fuß zu fassen. Bei früher Marktentwicklung mit entsprechender Kostendegression wird Windgas in den 2030er-Jahren konkurrenzfähig. Im Vergleich mit anderen Speichertechnologien hat Windgas als Stromspeicher einen Kostenvorteil aufgrund seiner Vorzüge als Langzeitspeicher: Soll Energie in großen Mengen über Zeiträume länger als eine Woche gespeichert werden, ist Windgas in Deutschland die günstigste Technologie.

(Im Sinne der Kosten-Nutzen-Relation von Windgas-Anlagen ist eine moderate Auslegung erstrebenswert: Es macht öko-

Grafik: Autoren



Vergleich der Systemkosten in einem Stromsystem ohne (Variante 1, obere horizontale Achse) und mit (Variante 2, untere horizontale Achse) Elektrolyseuren/Windgas. Die zu Beginn durch größere Investitionen höheren Kosten eines Windgas-Systems werden etwa ab dem Jahr 2035 durch Einsparungseffekte im fossilen Sektor mehr als ausgeglichen.

nomisch keinen Sinn, vollständig alle Überschüsse einzuspeichern. Daher sollten Leistungsspitzen mit geringen Energiemengen abgeregelt werden, um die Auslastung der Anlagen zu erhöhen.)

4. Welche weiteren Einsatzmöglichkeiten für Windgas gibt es?

Windgas ist viel mehr als ein Stromspeicher. Windgas ist eine zentrale Schnittstelle zwischen den Energiesektoren. Es erschließt für Wind, Sonne & Co. die Gasinfrastruktur samt den größten Speicherkapazitäten und Versorgungswegen bis zum Endanwender für Strom, Wärme, Mobilität und Chemie.

Im Wärmesektor erreicht das grüne, heimische Gas mit geringem Flächenverbrauch und keiner Landnutzungskonkurrenz etwa 50 % aller Haushalte, in denen vor Ort idealerweise Strom und Wärme über die Kraft-Wärme-Kopplung bereitgestellt werden. Im Verkehrssektor kann es als Stromkraftstoff fossile Kraftstoffe ersetzen und die Elektromobilität ergänzen. Auch im Chemiesektor entsteht ein großer Bedarf an Windgas in Form eines strombasierten Rohstoffes durch die notwendige Dekarbonisierung und zukünftige Ressourcenknappheit.

All diese Windgas-Anlagen nutzen Strom als Primärenergie und können dem Stromsektor in der Energiewende zusätzliche Stabilität und Flexibilität verleihen, indem sie Systemdienstleistungen erbringen.

5. Wie ordnet sich Windgas zu anderen Flexibilitätsoptionen ein?

Durch die vielfältigen Einsatzmöglichkeiten von Windgas in derart unterschiedlichen Bereichen lässt sich hier ein Alleinstellungsmerkmal verzeichnen: Windgas kann im Gegensatz zu allen anderen Optionen sowohl einen zeitlichen als auch

einen räumlichen Ausgleich von schwankenden erneuerbaren Energien schaffen. Ebenso aus Sicht der Langzeitspeicher: Geringe Selbstentladeverluste und hohe Speicherkapazitäten sind die großen Vorteile dieser Technologie gegenüber anderen Flexibilitätsoptionen. Die Speicherkapazitäten wären mit entsprechenden Ausspeichereinheiten wie Gasturbinen und BHKW in der Lage, über 3 Monate die deutsche Stromversorgung aufrechtzuerhalten.

Demgegenüber haben andere Flexibilitätsoptionen günstigere Kosten bei geringeren Nutzungsmöglichkeiten. Über einen Mehrfachnutzen der Technologie kann jedoch ein Mehrwert generiert werden. Dieser kann erst dann erschlossen werden, wenn die Rahmenbedingungen eine sektorenübergreifende und sektorenintegrierende Energiespeicherung diskriminierungsfrei, technologieneutral und wettbewerbssoffen ermöglichen.

Projektleitung

Prof. Dr.-Ing. Michael Sterner
Forschungsstelle Energienetze und Energiespeicher (FENES)
michael.sterner@oth-regensburg.de

Projektmitarbeiter

Martin Thema, Fabian Eckert, Thorsten Lenck, Philipp Götz,
Nicole Muggenthaler

Geldgeber:

Greenpeace Energy e.G.

Kooperationspartner

- FENES
- Energy Brainpool GmbH & Co. KG

STROMSPEICHER IN DER ENERGIEWENDE

Untersuchung zum Bedarf an neuen Stromspeichern in Deutschland für den Erzeugungsausgleich, für Systemdienstleistungen und im Verteilnetz

Michael Sterner, OTH Regensburg
 Martin Thema
 Fabian Eckert
 et. al.

26

Im Zuge der Energiewende werden Fluktuationen in der Stromerzeugung weiter zunehmen. Das wirft die Fragen auf, ob und wie viel Speicherkapazitäten in Deutschland benötigt werden, um die zeitlichen Schwankungen der Stromerzeugung auszugleichen. Dies prüfte die Forschungsstelle für Energienetze und Energiespeicher in Zusammenarbeit mit anderen Experten der Lehrstühle IAEW und ISEA der RWTH Aachen sowie einem Lehrstuhl der TU Dortmund und veröffentlichte die Ergebnisse in der Agora Speicherstudie.

Die Studie differenziert vorab klar zwischen Stromspeichern und sektorenübergreifenden Speichern, da dies für die Speicherdiskussion ein elementar wichtiger Ausgangspunkt ist. Auf Ebene des Verteil- und Übertragungsnetzes wird der zukünftige Bedarf an Stromspeichern untersucht. Die Betrachtungen der Studie zu den Systemgesamtkosten beziehen sich jeweils auf die Jahre 2023 und 2033 sowie ein Szenario mit 90 % erneuerbaren Energien (EE) in Deutschland. Weiter wird aus gesamtwirtschaftlicher Sicht geprüft, ob sich Stromspeicher in Märkte wie der Bereitstellung von Systemdienstleistungen einbringen können. Klar ist, dass die Wirtschaftlichkeit von Energiespeichern zunimmt, wenn sie zusätzlich Systemdienstleistungen anbieten würden. Zudem untersucht die Studie neue Märkte, die sektorenübergreifend auch im Stromsektor Flexibilität liefern könnten. Insbesondere Power-to-X (Power-to-Gas, Power-to-Liquid) wird als essentieller Baustein identifiziert, da im nicht zu elektrifizierenden Bereich der Mobilität und chemischen Industrie wenig Alternativen für die Erzeugung von Stromkraftstoffen oder strombasierten Grundstoffen aus erneuerbaren Energien vorhanden sind.

Die Studie „Stromspeicher in der Energiewende“, die im September 2014 von Agora Energiewende veröffentlicht wurde, befasst sich mit der Untersuchung zum Bedarf an neuen Stromspeichern in Deutschland für den Erzeugungsausgleich, für Systemdienstleistungen und im Verteilnetz. Basierend auf den Beschlüssen der Bundesregierung, die Treibhausgasemissionen zu senken, wird das Stromsystem zunehmend von Erzeugungsanlagen erneuerbarer Energie (EE-Anlagen) gestaltet. Durch die dargebotsabhängige Stromerzeugung entsteht ein Ungleichgewicht zwischen Energieerzeugung und -verbrauch. Daraus resultiert eine immer höhere Anforderung an die Flexibilität des Stromsystems. Diese kann u. a. durch Netzausbau und Energiespeicherzubaue gewährleistet werden. Die Studie strukturiert dabei die Debatte um die Notwendigkeit von Energiespeichern. Hauptaugenmerk liegt auf der Betrachtung des Stromsektors. Es werden aber auch Speichertechnologien betrachtet, die sektorenübergreifend eingesetzt werden.

Die Studie gliedert sich in fünf Themenbereiche:

1. Rolle der Energiespeicher im Stromsystem und alternative Flexibilitätsoptionen
2. Speicherbedarf auf Verteilnetzebene
3. Speicherbedarf auf Übertragungsnetzebene im europäischen Kontext
4. Bedarf an Stromspeichern zur Bereitstellung von Systemdienstleistungen
5. Märkte für Batteriespeicher und Power-to-Gas außerhalb des Stromsektors

Wesentliche Grundlage für den zukünftigen Anteil Erneuerbarer Energien an der Stromerzeugung liefert der Netzentwicklungsplan 2013¹, aus dem folgende drei Szenarien der Studie entwickelt wurden:

- 2023: 43 % EE-Anteil in Deutschland, 23 % in Gesamteuropa
- 2033: 60 % EE-Anteil in Deutschland, 40 % in Gesamteuropa
- 90 % EE-Anteil in Deutschland, 60 % in Gesamteuropa

KLASSIFIZIERUNG

Die unterschiedlichen Speichertechnologien lassen sich nach ihrem physikalischen Wirkungsprinzip oder der Energieform in die Bereiche elektrische, chemische, mechanische und thermische Speicher gliedern. Aus der Gruppe der chemischen Energiespeicher werden die elektrochemischen Speicher (Batterien) oft separat dargestellt, da sie eine sehr große Gruppe darstellen. Die Ausspeicherdauer und die Speicherkapazität sind bei der Speicherwahl zwei wichtige Kriterien.

Speicher können zusätzlich in Kurz- und Langzeitspeicher eingeteilt werden. Charakteristisches Kriterium hierfür ist die Ausspeicherdauer. Kurzzeitspeicher besitzen dabei eine Ausspeicherdauer von 4 Stunden, Langzeitspeicher von 720 Stunden (ein Monat).

SPEICHERBEDARF AUF VERTEILNETZEBENE

Die Studie untersucht weiter, ob Stromspeicher eine kosteneffiziente Alternative zum Netzausbau darstellen können. Es werden ausschließlich Batteriespeicher betrachtet, die netzdienlich eingesetzt werden. Für eine quantitative Abschätzung wird der Speicherbedarf für repräsentative Nieder- und Mittelspannungsnetze ermittelt. Anschließend werden die Daten auf das Nieder- und Mittelspannungsnetz in Deutschland hochgerechnet. Die Analyse liefert die Ergebnisse, dass der Einsatz von Batteriespeichern in der Mittelspannungsebene im Vergleich zum Netzausbau nicht kosteneffizient durchgeführt werden kann. In der Niederspannungsebene können in Einzelfällen Batteriespeicher oder eine individuelle Abregelung von EE-Anlagen kosteneffiziente Planungsvarianten darstellen.

SPEICHERBEDARF AUF ÜBERTRAGUNGSNETZEBENE

Zur Klärung der Rolle von Stromspeichern im europäischen Kontext auf Übertragungsnetzebene wird eine kosteneffiziente Kombination aus Lang- und Kurzzeitspeichern ermittelt. Die Simulation der Erzeugungssituation für die drei Szenarien zeigt, dass aus technischer Sicht und unter den gesetzten Annahmen Stromspeicher nicht zwingend erforderlich sind. Mittelfristig bildet sich so für einen EE-Anteil von bis zu 60 % in Deutschland kein gesamtwirtschaftlicher Mehrwert für das Erzeugungssystem ab. Langfristig, bei einem EE-Anteil von 90 %, besitzen Stromspeicher einen deutlichen Einfluss auf den Kraftwerkseinsatz. Insbesondere bei Kurzzeitspeichern ist der gesamtwirtschaftliche Vorteil aufgrund alternativer Flexibilitätsoptionen gering. Allerdings hat ein gemäßigter Ausbau von Kurz- und Langzeitspeichern langfristig einen positiven Einfluss auf die Systemgesamtkosten.

BEDARF AN STROMSPEICHERN ZUR BEREITSTELLUNG VON SYSTEMDIENSTLEISTUNGEN

Systemdienstleistungen (SDL) sind Dienstleistungen der Marktteilnehmer für die Übertragungsnetzbetreiber, mit deren Hilfe ein sicherer, zuverlässiger und effizienter Netzbetrieb gewährleistet wird. SDL werden bisher vorwiegend von konventionellen Kraftwerken bereitgestellt. In Zeiten mit wenig konventioneller Einspeisung werden alternative Erbringer benötigt, die SDL bereitstellen. Die Studie erläutert die möglichen SDL-Potenziale von Speichern auf Verteil- und Übertragungsnetzebene. Im mittelfristigen Betrachtungszeitraum ergibt sich kein zwingender Bedarf an Stromspeichern für

die Bereitstellung von SDL. Auch darüber hinaus stehen genügend alternative Erzeugungsanlagen zur Erbringung dieser Dienstleistungen zur Verfügung. Jedoch können sie das Stromerzeugungssystem effizient und kostensenkend unterstützen, insbesondere im Primärregelleistungsmarkt.

MARKTPOTENZIALE VON BATTERIESPEICHERN UND POWER-TO-GAS AUSSERHALB DES STROMMARKTS

In der Studie werden zusätzliche Anwendungsfälle von Energiespeichern geprüft, insbesondere von Batteriespeichern und Power-to-Gas außerhalb des Stromsektors. Besonders hilfreich für die Entwicklung des Stromsystems sind diese, wenn die entsprechenden Speicher für einen anderen Nutzen gebaut werden, aber direkt an das Stromsystem angebunden werden können. Batteriespeicher finden großen Anwendungsraum in der Elektromobilität oder in Form dezentraler Hausspeicher, Power-to-Gas dient zur Dekarbonisierung im Verkehrs- und Chemiesektor. In diesen beiden Bereichen ist die Abhängigkeit von fossilen Rohstoffen besonders ausgeprägt und es gibt kaum Alternativen zu ihrer Substitution – insbesondere im Luft- und Schiffsverkehr sowie dem Güter- und Langstreckenverkehr. Eine Kostendegression der Power-to-X-Technologie zeichnet sich durch diese Marktentwicklung ab, sodass sie auch im Stromsektor als kostengünstige Flexibilitätsoption zur Verfügung steht. Power-to-Gas stellt darüber hinaus aus heutiger Sicht in einem 100 %-EE-Szenario die einzige Technologie zur Langzeitspeicherung dar. Es ist demnach sinnvoll, eine Technologie- und Marktentwicklung von Power-to-Gas voranzutreiben.

Literatur

1 Bundesnetzagentur 2013: Netzentwicklungsplan 2013. [Online] 2013, http://data.netzausbau.de/Bravo/NEP/NEP2023_Bestaetigung.pdf.

Konsortialleitung:

Forschungsstelle Energienetze und Energiespeicher (FENES),
OTH Regensburg
Prof. Michael Sterner +49 941 943-9888
michael.sterner@oth-regensburg.de

Geldgeber

Agora Energiewende

Kooperationspartner

- RWTH Aachen, Institut für Elektrische Anlagen und Energiewirtschaft (IAEW)
- RWTH Aachen, Institut für Stromrichtertechnik und Elektrische Antriebe (ISEA)
- ef.Ruhr GmbH/TU Dortmund, Institut für Energiesysteme, Energieeffizienz und Energiewirtschaft (ie3)

PERFORMANTE UND ZUVERLÄSSIGE EMBEDDED MULTI-CORE-SYSTEME

Michael Deubzer, Timing-Architects Embedded Systems GmbH
 Armin Stingl, iSYSTEM AG
 Erol Simsek, iSYSTEM AG
 Stefan Krämer, Timing-Architects Embedded Systems GmbH
 Jürgen Mottok, OTH Regensburg

28

Der korrekte Einsatz moderner Multi-Core-Prozessoren bringt große Vorteile hinsichtlich der Performanz und der Zuverlässigkeit sicherheitskritischer eingebetteter Systeme. Damit einhergehend ist aber auch die Steigerung der Entwicklungsaufwände und -zeiten. Dies spiegelt sich in neuen Herausforderungen hinsichtlich Zeitverhalten, Datenabhängigkeiten, Performanz und Zuverlässigkeit wider, welche bereits früh im Entwicklungsprozess berücksichtigt werden müssen.

Der Einsatz von Multi-Core-Prozessoren ermöglicht die physikalische Leistungsschranke von Single-Core-Prozessoren zu überwinden. Der Grund hierfür liegt in den Wechselwirkungen der Prozessorarchitektur auf die Applikationssoftware auf der obersten logischen Ebene.

MOTIVATION

Echtzeitkritische Softwareapplikationen bauen meistens bereits auf einem Echtzeitbetriebssystem mit mehreren Tasks auf. Die Applikationssoftware innerhalb einer Task ist in einzelne Funktionsaufrufe gegliedert, auch Runnables genannt. Die einzelnen Tasks können nebenläufig ablaufen. Das bedeutet, die Tasks können in unterschiedlichen Reihenfolgen abgearbeitet werden und dürfen sich auch unterbrechen, was zur Folge hat, dass die Runnables verschiedener Tasks in unterschiedlichen Reihenfolgen ablaufen können; innerhalb einer Task jedoch nur in der implementierten Sequenz.

Die Herausforderung in der Taskparallelität liegt in der Absicherung der Datenkonsistenz und Datenkohärenz. Hierzu bestehen verschiedene Ansätze,¹ die durch Datenmanagement – wie beispielsweise lokale Kopien – eine sichere Abarbeitung ermöglichen. Vereinfacht lässt sich sagen, dass die einzelnen Tasks auf verschiedene Kerne verteilt werden und somit alle Rechenkerne genutzt werden können. Der Nachteil dieses Vorgehens besteht darin, dass keine Verbesserung der Reaktionszeit von Tasks erreicht wird. Viel schwieriger gestalten sich hingegen die Identifikation von tatsächlich parallel ausführbaren Bereichen und die anschließende Auslegung der Parallelität.

TIMING MODELLIERUNG DES EINGEBETTETEN SYSTEMS UND APPLIKATIONS SOFTWARE

Zur effizienten Parallelisierung eines Systems ist eine ausreichend genaue Beschreibung des Systems essentiell, um Ausführungsstrukturen der Software auf die Hardware abzubilden. Das Modell der Applikationssoftware gliedert sich in die Elemente:

1. Aufrufsequenz/-graph von Runnables innerhalb der Tasks
2. Datenabhängigkeiten von Runnables
3. Laufzeiten von Runnables

Die Aufrufsequenz/-graph beschreibt, in welcher Art die Runnables bzw. Funktionen innerhalb der Task aufgerufen

werden. Dies kann von einer einfachen Liste an Runnables bis zu einem komplexen systemzustandsabhängigen Aufrufgraphen mit bedingten Aufrufen von Runnables gestaltet sein. Verfahren zur Bestimmung sind entweder die Ableitung aus Modellierungswerkzeugen oder das Parsen des Source Codes, wobei das Ergebnis hier abhängig von der Verwendung ausgefallener Aufrufkonstrukte (wie beispielsweise Funktions-Pointer) und Ausführungsbedingungen ist. Die Datenabhängigkeiten (Abbildung 1) beschreiben, welche Daten konsumiert und produziert werden. Dies kann beispielsweise über Funktionsparameter, globale Variable oder Kommunikations-APIs erfolgen. Diese Informationen können aus Funktionsmodellierungswerkzeugen oder ebenfalls über Parsen des Source Codes erfolgen. Die Laufzeiten beschreiben den Rechenzeitbedarf der Runnables. Im Vergleich zu Single-Core-Systemen ist hier jedoch die reine Betrachtung von Maximalwerten (Worst Case Execution Time) nicht mehr ausreichend, da sich das Task Scheduling durch ungünstige Ausführungsrelationen ändern kann und somit bei einer kürzeren Laufzeit einer Task eine andere Task verzögert werden kann.

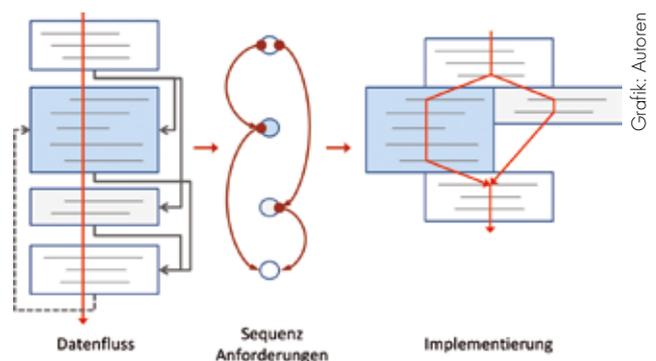


Abb. 1: Datenflussbetrachtung innerhalb einer Task

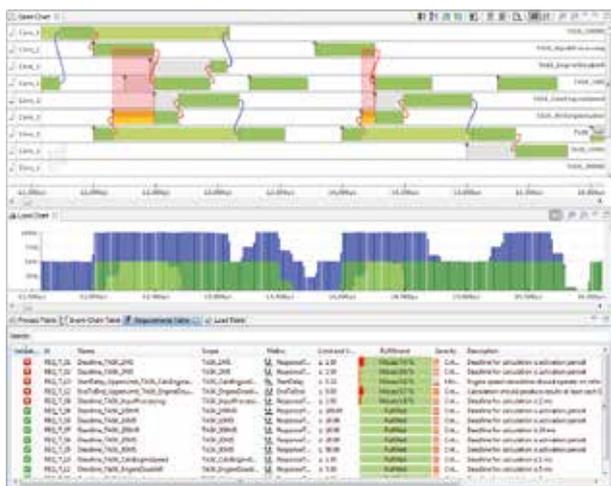
Bei der Datenflussanalyse werden die Abhängigkeiten zwischen Runnables auf Basis einer Produzenten-/Konsumentenbeziehung ermittelt. Es wird jedoch nicht angenommen, dass eine Datenbeziehung in einer zu erfüllenden Sequenzanforderung resultiert. Vielmehr unterstützt die Beziehung bei der Ermittlung tatsächlicher Sequenzanforderung. Die Schwierigkeit besteht in der kritischen Bewertung der Abhängigkeit hinsichtlich ihrer Sequenzanforderung. So suggerieren beispielsweise Zugriffe auf gemeinsam genutzte Register, wie Fehlerspeicher, bei einer reinen Betrachtung der Datenabhängigkeit eine Sequenzanforderung, wobei hier lediglich

Bitmasken für eine spätere Auslese mittels Diagnosegeräte gesetzt werden. Zudem gilt es, zyklische Abhängigkeit aufzulösen, d. h. gegenseitige Datenabhängigkeiten. Dies kann beispielsweise im Falle von Regler-/Rückkopplungsbeziehungen oder Statushinweisen passieren. Die tatsächlichen Sequenzanforderungen werden mit standardisierten Konstrukten im Modell festgehalten. So bietet z. B. der AUTOSAR Standard die Möglichkeit, Sequenzanforderungen (engl. Sequencing Constraints) zu definieren. Im nächsten Schritt können diese Informationen nun verwendet werden, um valide Parallelisierungslösungen automatisiert zu erstellen.

TIMING-SIMULATION UND OPTIMIERUNG

Voneinander unabhängige Bereiche können in verschiedene Tasks ausgelagert werden. Synchronisationselemente zwischen den Tasks werden notwendig, um Zusammenführungen der Ausführung zu realisieren. Aufgrund der Vielzahl an möglichen Lösungen der Parallelisierung müssen mögliche Lösungen sinnvoll gewählt und schnell überprüft werden. Zu diesem Zwecke wird eine Timing-Simulation mit Optimierungsverfahren eingesetzt. Mittels der Timing-Simulation können schnell Bewertungen hinsichtlich Zeitverhalten, Performance, Speicherverbrauch oder Kommunikationsintensität durchgeführt werden.

Abb.: Autoren



EINSATZ EINES EXOSKELETTS ALS HAPTISCHES EINGABEGERÄT FÜR TELEROBOTIKSYSTEME IM INDUSTRIELLEN UMFELD

Das Projekt *Muscle Suit Robot Interaction (MuRI)* ist ein Kooperationsprojekt zwischen dem Kobayashi Laboratory der Tokyo University of Science und der Regensburg Robotics Research Unit der OTH Regensburg. Ziel des Projektes ist es, ein im Kobayashi Laboratory entwickeltes Exoskelett mit einem Robotersystem der Regensburg Robotics Research Unit gemeinsam als Telerobotiksystem im industriellen Umfeld einzusetzen. Dem Nutzer des Exoskeletts soll es damit möglich sein, einen Roboter durch die Bewegung seiner Arme aus der Ferne zu steuern. Mit den am Exoskelett angebrachten künstlichen Muskeln kann dem Träger zudem eine Krafrückmeldung vermittelt werden. Für die Verwendung des Exoskeletts innerhalb der Telerobotikanwendung sind Modifikationen an der Mechanik, der Sensorik und der Aktorik des Exoskeletts vorzunehmen. Die wissenschaftliche Herausforderung des Forschungsprojekts liegt vor allem in der Entwicklung von intelligenten Algorithmen, die eine transparente, immersive, performante sowie robuste Telerobotik-anwendung mit dem Exoskelett ermöglichen.

Am Kobayashi Laboratory (Kobalab) der Tokyo University of Science wird unter der Leitung von Prof. Hiroshi Kobayashi bereits seit mehreren Jahren an Exoskeletten (Abbildung 1) geforscht. Exoskelette sind Strukturen, die sich außerhalb eines Körpers von Lebewesen befinden und diesen stützen. Sie kommen in der Natur bei den meisten Gliederfüßern und auch bei Weichtieren vor. Das am Kobalab entwickelte Exoskelett kann von Menschen getragen werden und die Muskelkraft des Trägers verstärken. Es besteht aus einer leichten Aluminiumkonstruktion und pneumatisch aktuierten, künstlichen Muskeln, welche nach dem McKibben-Prinzip aufgebaut sind. Diese unterstützen die Bewegung des Nutzers durch deren Verbindung über Bowdenzüge mit Riemenscheiben, die am Ellbogen, der Schulter und der Hüfte angebracht sind. Die pneumatisch aktuierten, künstlichen Muskeln kontrahieren, sobald vom Nutzer eine Taste betätigt wird und die Muskeln dadurch mit Druck beaufschlagt werden. Eine zweite Taste führt zum Ausströmen der Luft aus den Muskeln und damit zu deren Expansion. Die Arme des Exoskeletts können eine Last von 10 kg selbsttätig, ohne zusätzliche Anstrengung des Nutzers, tragen.¹

In seinem Herkunftsland Japan wird das Exoskelett bereits in ersten Feldversuchen erprobt. In der Automobilbranche unterstützt es bei der Montage von Fahrzeugteilen wie Reifen oder Türen, in der Pflege beim Patiententransfer sowie innerhalb der Landwirtschaft beim manuellen Ernten niedrigwachsender Pflanzen.

Die Regensburg Robotics Research Unit (RRRU) hat sich innerhalb des Forschungsprojekts *Muscle Suit Robot Interaction (MuRI)* zum Ziel gesetzt, das Exoskelett des Kobalabs für Telerobotiksysteme zu verwenden. Telerobotiksysteme (Abbildung 2) können als eine Kombination eines Telepräsenzsystems mit einem Telemanipulationssystem verstanden werden. Telepräsenzsysteme vermitteln durch visuelle Systeme, wie Bildschirme oder 3D-Brillen, einem Benutzer das Gefühl,



Foto: Autoren

Abb.1: Exoskelett des Kobayashi Laboratory

an einem entfernten Ort zu sein. Telemanipulationssysteme ermöglichen diesem Benutzer, die entfernte Umgebung zu beeinflussen und eine Krafrückmeldung beim Manipulieren von Objekten zu erfahren. So soll einem Träger des Exoskeletts ermöglicht werden, durch die Bewegung seines Arms einen Roboter zu steuern. Trifft der Roboter auf Hindernisse, so spürt der Benutzer diese Hindernisse durch die Aktuierung der künstlichen Muskeln. Aufgaben, wie das bekannte Bolzen-Loch-Problem und eine Vielzahl artverwandter Montageaufgaben können dadurch auch aus der Ferne bewältigt werden. Ein wesentlicher Vorteil der Manipulation von Objekten aus der Ferne ergibt sich vor allem bei Vorgängen, die eine Gefahr für den Menschen darstellen können. Es können somit Aufgaben aus einer für den Menschen sicheren Distanz ausgeführt werden, die die Feinfühligkeit des Menschen erfordern. Ein Beispiel ist die feinfühligkeitsreiche Montage mit großen und leistungsstarken Industrierobotern, in deren Nähe sich Menschen nicht aufhalten dürfen, um den Roboter durch direkten Kontakt zu führen.

Die RRRU nimmt am Exoskelett Modifikationen hinsichtlich der Mechanik, der Elektronik und der Software vor, um das Exoskelett für Telerobotikanwendungen verwenden zu können. Derzeit verbaute Schaltventile werden durch Proportionalventile mit integrierter Druckmessung ersetzt. An jedem Gelenk wird zudem Positionssensorik verbaut, sodass eine feinfühligere Druck- und Positionsregelung möglich wird. Die einseitige Aktuierung des Ellbogengelenks und eines Freiheitsgrads des Schultergelenks nun in beugender Richtung werden auf eine bidirektionale Aktuierung aller Freiheitsgrade der Schulter und des Ellbogengelenks umgerüstet. Damit werden alle Voraussetzungen für eine feinfühligere Kraftdarstellung in alle Bewegungsrichtungen eines Arms erreicht. Um diese zu realisieren, sind neuartige Regelungsverfahren notwendig. Diese werden benötigt, um die Positionsvorgaben des Benutzers an den Roboter sowie die auftretenden Kräfte auf der entfernten Seite an den Benutzer möglichst detailgetreu wiederzugeben – auch wenn diese über den Kommunikationskanal, wie etwa eine Internetverbindung, verzögert werden. Es können hier Verzögerungen bis zu mehreren Zehntelsekunden auftreten, die die Feinfühligkeit verschlechtern. Die Entwicklung von Echtzeit-Algorithmen zur feinfühligeren Teleoperation mit dem Exoskelett stellt das größte Arbeitspaket innerhalb des Forschungsprojekts MuRI dar.

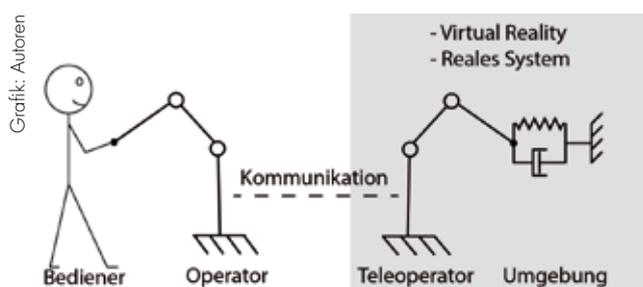


Abb. 2: Prinzipieller Aufbau eines Telerobotiksystems

Eingesetzt werden soll das von der RRRU und dem Kobalab entwickelte System vor allem innerhalb des industriellen Bereichs. Viele Prozesse aus der Fertigung, der Montage und der Qualitätsprüfung, die nicht vollautomatisierbar sind, können durch den Einsatz des Systems hinsichtlich deren Effizienz, der Sicherheit für den Arbeiter und der Qualität profitieren. Es ist denkbar, das System bei der Montage von schweren Bauteilen, bei der Sichtprüfung von Bauteilen, welche während der Prüfung bewegt werden müssen, und bei der Oberflächenbearbeitung einzusetzen. Zudem wird das Exoskelett auch für das Teachen eines Roboters einzusetzen sein. Derzeit ist es nur erfahrenen Programmierern von

Robotersteuerungen möglich, die Bewegungen eines Roboters für einen definierten Anwendungsfall zu programmieren. Mit dem entwickelten System soll der Roboter von den Bewegungen eines Menschen, der das Exoskelett trägt, lernen. So können die Bewegungen und Arbeitsschritte des Menschen durch das Exoskelett aufgenommen und damit ein Programm für den Roboter effektiv und intuitiv erstellt werden.

Seit November 2014 existiert eine Kooperationsvereinbarung zwischen dem Kobalab und der RRRU, welche den bilateralen Austausch von Forschenden und Geräten erleichtert und gemeinsame Publikationen sowie gemeinsame Förderanträge ermöglicht.^{2, 3}

Literatur

- 1 Muramatsu, Y.; Kobayashi, H., Sato, Y., Jiaou, H., Hashimoto, T., Kobayashi, H. (2011): Quantitative Performance Analysis of Muscle Suit – Estimation by Oxyhemoglobin and Deoxyhemoglobin. In: 2011 IEEE International Conference on Robotics and Biomimetics (ROBIO). Karon Beach, Thailand, S. 293–298.
- 2 Ostbayerische Technische Hochschule Regensburg (11.02.2015): Die OTH Regensburg entwickelt das „Muscle Suit“ weiter. Regensburg. Online verfügbar unter <https://www.oth-regensburg.de/hochschule/aktuelles/einzelansicht/article/muscle-suit-von-der-tokyo-university-wird-in-regensburg-weiterentwickelt.html> (zuletzt geprüft am 17.02.2015).
- 3 Knobloch, L. (2015): Roboter steuern per Exoskelett. In: Mittelbayerische Zeitung vom 15.02.2015, S. 19. Online verfügbar unter <http://www.mittelbayerische.de/nachrichten/wissenschaft/wissenschaft/artikel/roboter-steuern-per-exoskelett/1191162/roboter-steuern-per-exoskelett.html> (zuletzt geprüft am 17.02.2015).

Projektleitung

Prof. Dr.-Ing. Thomas Schlegl +49 941 943-5180
thomas.schlegl@oth-regensburg.de

Projektmitarbeiter

Benjamin Großmann, M. Sc. +49 941 943-9854
benjamin2.grossmann@oth-regensburg.de

Kooperationspartner

Prof. Dr. Hiroshi Kobayashi
Kobayashi Laboratory, Dept. of Mechanical Engineering,
Tokyo University of Science
hiroshi@kobalab.com

Weitere Informationen

- Regensburg Robotics Research Unit, Cluster ATS, OTH Regensburg
www.rrru.de/
- www.oth-regensburg.de/fakultaeten/maschinenbau/labore/robotik/muri.html

SMART WORKBENCH

Ein bidirektionales Assistenzsystem für den industriellen Einsatz

Sascha Niedersteiner, OTH Regensburg

Clemens Pohl, OTH Regensburg

Thomas Schlegl, OTH Regensburg

Thomas Berlechner, Infineon Technologies AG

32

Im Rahmen industrieller Produktionsprozesse weisen manuell ausgeführte Tätigkeiten in vielen Fällen eine hohe Wiederholungsrate bei gleichzeitig nur moderatem Schwierigkeitsgrad auf. Dies führt langfristig bei den Arbeitenden zu einer Abnahme der Konzentration und damit verbunden zu Qualitätsmängeln der Produkte. Das Projekt Smart Workbench (SWoB) befasst sich mit der Entwicklung eines Systems zur Beobachtung des Arbeitsfortschritts, um eine schritthaltende Qualitätskontrolle und Unterstützung des Personals zu ermöglichen. Das System verarbeitet Sensorinformationen und Nutzereingaben und liefert dem Benutzer Anleitungen und Hinweise. Dieser bidirektionale Informationsaustausch erfolgt über ein bildverarbeitungsgestütztes Gesteninterface und die Darstellung visueller Handlungshilfen direkt auf der Arbeitsfläche.

Um die hohen Anforderungen an die Qualität industrieller Fertigung zu erfüllen, werden in vollautomatisierten Produktionsanlagen verschiedenste Methoden implementiert, um die qualitätskritischen Parameter der Erzeugnisse zu überwachen. Doch obwohl die Automatisierung von Produktionsanlagen weiter zunimmt, gibt es viele Tätigkeiten, die auf absehbare Zeit nicht automatisiert werden können. In einigen Fällen sind die produzierten Mengen zu gering, als dass sie eine kosteneffiziente Automatisierung erlauben würden. Bei anderen liegt der Hinderungsgrund in der Komplexität der Aufgabe oder dem Bedarf an menschlicher Geschicklichkeit oder Entscheidungsfähigkeit. Solchen Handarbeitsplätzen fehlt die integrierte Qualitätskontrolle ihrer automatisierten Gegenstücke, was zu erhöhten Kosten oder einem Umsatzverlust durch nicht detektierte Mängel führt.

Anleitungen für Arbeitskräfte, die an solchen Arbeitsplätzen tätig sind, werden gegenwärtig in Papierform zur Verfügung gestellt oder auf einem Bildschirm visualisiert. Daraus ergibt sich das Problem, dass Arbeitende durch die Unterbrechung ihres Arbeitsflusses beim Nachschlagen von Informationen von ihrer Aufgabe abgelenkt werden.

SYSTEMBESCHREIBUNG

Die Ziele des Projekts SWoB liegen in der Verbesserung der Qualität und daraus folgend in der Reduzierung der Kosten bei händischen sowie teilautomatisierten Verpackungs- und Montageaufgaben. Zusätzlich können Arbeitende, die nicht mit der vorliegenden Aufgabenstellung vertraut sind, von der Anlage angeleitet werden und benötigen hierbei nur minimale Betreuung durch erfahrenes Personal. Um dies zu erreichen, werden textuelle, piktografische oder animierte Arbeitsanleitungen gezeigt, abhängig davon, welche Schritte die Aufgabenstellung als Nächstes erfordert. Eine Beobachtung der Arbeitsfolge des Arbeiters anhand definierter Schlüsselaktionen – im Vorfeld durch eine Analyse des Prozesses festgelegt – wird durch die Anlage schritt haltend durchgeführt. Diese Aktionen beinhalten manuelle Arbeitshandlungen, die der Arbeitende ausführt, Positionierung und Eigenschaften von Objekten, Informationsfluss von externen Systemen sowie Eingaben mittels der gestenbasierten Benutzerschnittstelle. Wenn eine qualitätskritische Abweichung

vom Arbeitsfluss festgestellt wird, bestimmte Schritte deutlich länger dauern als erwartet oder andere Qualitätsaspekte des Produkts gefährdet sind, zeigt die Anlage korrektive Hinweise an.



Foto: Autoren

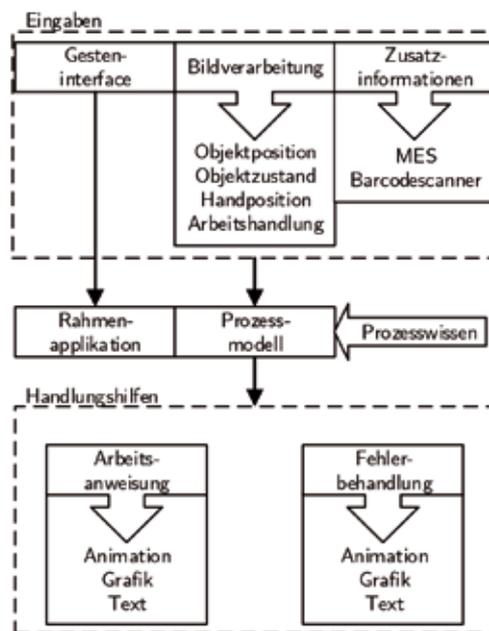
Abb. 1: Das System SWoB im industriellen Einsatz zur Unterstützung bei Qualitätskontroll- und Verpackungsarbeiten in der Halbleiterfertigung

Das industriell erprobte, in Abbildung 1 zu sehende System besteht aus einem Standardindustriearbeitsplatz, welcher durch einen Computer, einen Projektor für die Darstellung der Informationen auf der Tischfläche und zwei Kameras ergänzt wird. Bei den Kameras handelt es sich um eine Standard-Industriekamera sowie eine auf dem Verfahren der Triangulation basierende 3D-Kamera. Diese stellt ein dreidimensionales Abbild der Tischoberfläche zur Verfügung, indem Tiefeninformationen aus der Verzerrung eines projizierten Infrarotlichtmusters rückgerechnet werden. Die gewonnenen Daten werden verwendet, um die Anlage über Gesten interaktiv und auf eine natürliche Art und Weise zu bedienen. Die zusätzlich angebrachte 2D-Kamera dient, in Verbindung mit komplexen Bildverarbeitungsalgorithmen, der Erkennung von Objekten, die sich in der Arbeitsumgebung befinden. Dabei muss die fehlerfreie Erkennung der Objekteigenschaften immer gewährleistet werden. Unter den Eigenschaften werden neben der Position alle Modifikationen an einem Objekt verstanden, so z. B. ob eine Transportverpackung geöffnet oder geschlossen ist oder ein Barcodelabel aufgeklebt ist.

Um Arbeitenden zum richtigen Zeitpunkt die passende Unterstützung zu bieten und die Qualität des Produktes kontinuierlich zu überwachen, benötigt das System detailliertes Wissen darüber, welcher Arbeitsschritt gerade ausgeführt wird und wann dieser beendet ist. Grundlage hierfür ist ein Modell des Arbeitsprozesses, das alle einzelnen Arbeitsschritte beinhaltet. Vorhersehbare Bedienungsfehler sowie qualitätskritische Abweichungen der ausgeführten Arbeiten vom Normablauf werden durch dieses Modell ebenfalls repräsentiert.

Das implementierte Modell abstrahiert den Arbeitsprozess als eine Abfolge von Zuständen. Um von einem Zustand in den nächsten zu wechseln, müssen logische Bedingungen, sogenannte Transitionsbedingungen, erfüllt werden. Diese Abstraktion als deterministischer endlicher Automat ist als Repräsentation für diese Anwendungen gut geeignet, da sich der komplette Arbeitsablauf in einzelne Teilschritte separieren lässt. Zustände des Automaten stellen dabei auszuführende Arbeitsschritte dar, bei denen es sich sowohl um Teilprozesse aus dem Normablauf als auch um Maßnahmen zur Korrektur von Fehlern handeln kann. Transitionsbedingungen dienen der Erkennung des Abschlusses eines Arbeitsschrittes und der Abfrage von detektierbaren Fehlerzuständen. Der Entwurf des Modells erfolgt heuristisch auf Basis von Beschreibungen des Prozesses und Gesprächen mit Mitarbeitern und Prozessverantwortlichen.

In Abbildung 2 ist ein Ablaufdiagramm des Informationsflusses zu sehen. Um den aktuellen Zustand zu bestimmen, werden verschiedene Aspekte des Arbeitsablaufs beobachtet. Aus den Informationen, die von Objekterkennung und Handtracking zur Verfügung gestellt werden, kann unter der Voraussetzung eines bekannten Anfangszustandes der Anlage, welcher durch den definierten Normablauf gegeben ist, in den meisten Fällen auf die erfolgreiche Beendigung eines Arbeitsschrittes geschlossen werden. Wo dies aufgrund der Komplexität eines Teilprozesses nicht möglich ist oder eine Unterscheidung zwischen zwei möglichen Folgeschritten vom System nicht getroffen werden kann, wird der Benutzer über die gestenbasierte Benutzerschnittstelle zu einer Eingabe aufgefordert. Bei manchen Prozessen ist es zudem möglich, zusätzliche spezifische Informationen, beispielsweise Ausgabewerte zusätzlicher Peripheriegeräte oder die Kommunikation mit einem übergelagerten Fertigungsmanagementsystem, als Transitionsbedingungen zu nutzen. Durch die Verwendung dieses Wissens kann der Rechenaufwand für die Beobachtung der Nutzerhandlungen verringert und gleichzeitig die Häufigkeit von nötigen Nutzereingaben minimiert werden.



Grafik: Autoren

Abb. 2: Informationsfluss durch das System SWoB

Derzeit laufende Arbeiten konzentrieren sich darauf, die sensorielle Ausstattung des Tisches zu erweitern und somit ein besseres Abbild der Situation auf dem Arbeitsplatz zu erhalten sowie den Arbeitsplatz um ein kollaboratives, also direkt mit dem Menschen zusammenarbeitendes Robotersystem zu ergänzen.

Projektleitung

Prof. Dr.-Ing. Thomas Schlegl +49 941 943-5180
OTH Regensburg, Regensburg Robotics Research Unit
thomas.schlegl@oth-regensburg.de

Projektmitarbeiter

J. Höcherl, J. Lang, S. Niedersteiner

Geldgeber

FuE-Programm „Informations- und Kommunikationstechnik“
des Freistaates Bayern

Kooperationspartner

Infineon Technologies AG Regensburg, Test- & Handling-Automation (THA)

Projektlaufzeit

36 Monate

Fördersumme

Gesamt: 1.320.000 €
Teilprojekt OTH Regensburg: 395.000 €

Weitere Informationen

www.oth-regensburg.de/fakultaeten/maschinenbau/labore/robotik/swob.html

CODE, CLUSTER UND COMMUNITIES

Wissen statt raten im Softwareengineering

Mitchell Joblin, Siemens AG
 Wolfgang Mauerer, OTH Regensburg
 Sven Apel, Universität Passau
 Janet Siegmund, Universität Passau
 Dirk Riehle, Universität Erlangen-Nürnberg

Software ist eine zentrale Ingenieursdisziplin der modernen Welt. Sie wirft mit immer weiter wachsenden Systemen aber auch viele nicht-technische Fragen zur Kooperation zwischen den beteiligten Ingenieuren auf. International verteilte Teams mit Tausenden von Entwicklern sinnvoll aufzuteilen und zu vernetzen, ist offensichtlich kein einfaches Problem. Viele Management-Ansätze orientieren sich dennoch an persönlichen Erfahrungen oder gar Vermutungen, die einem Vergleich mit rigorosen, quantitativen Ingenieurstechniken nicht standhalten.

Das Codeface-Projekt trägt dazu bei, die soziologischen Aspekte der Softwareentwicklung quantitativ zu verstehen: Mathematische Modelle zur Kooperation werden durch maschinelles Lernen an großen Datenbasen kalibriert und durch systematische, quantitative Umfragen unter Entwicklern verifiziert, um aus erfolgreichen Projekten konkrete Ratschläge für neue Entwicklungsverfahren zu gewinnen. Ein dynamisches Web-Frontend erlaubt es, Projekte von den groben Strukturen bis in die kleinsten Details zu begutachten, um Defizite und Stärken objektiv zu erkennen. Ein interdisziplinäres Team aus Informatikern, Naturwissenschaftlern und Psychologen arbeitet daran, durch Anwendung und Kombination von Erkenntnissen aus Mathematik, Physik, Soziologie und Linguistik für bessere Softwareentwicklung zu sorgen.

Grafik: Autoren

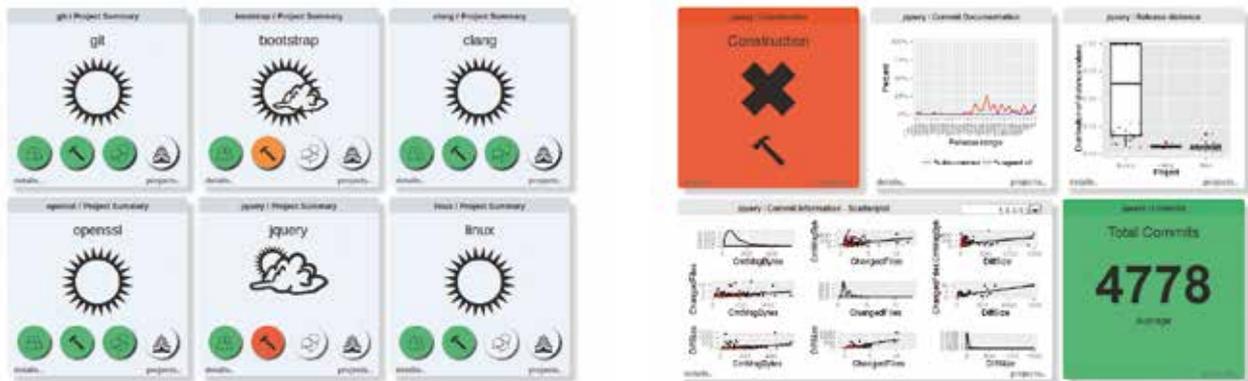


Abb. 1: Das Web-Frontend von Codeface

Die Komplexität von Softwaresystemen wird üblicherweise durch Divide-and-Conquer-Strategien handhabbar gemacht, indem ein Gesamtsystem in einfachere Teilsysteme zerlegt wird. Entwickler müssen Abhängigkeiten zwischen diesen Teilsystemen koordinieren und diese zu einem kohärenten Ganzen integrieren. Fehler in der Software stammen häufig aus Fehlern bei der Zusammenarbeit zwischen Teilsystemen, die aus unzureichender Koordination zwischen den Entwicklern folgen.

Die Organisationsstruktur von Entwicklern beeinflusst Architektur und Qualität eines Systems, wie von wissenschaftlichen Studien nachgewiesen wurde. Ebenfalls ist bekannt, dass Kongruenz zwischen Organisations- und Systemarchitektur sicherstellt, dass Entwickler schneller und produktiver arbeiten können und die ursprünglichen Design-Ziele besser eingehalten werden. Ambitionierte Softwareentwicklung verläuft heutzutage praktisch immer geographisch verteilt, was zu zunehmender Komplexität bei der technischen Koordination führt. Trotz der bekannt hohen Relevanz der Organisationsstruktur sind umfassende, akkurate und aktuelle Daten zur Entwicklerzusammenarbeit nur selten verfügbar, um Managern und Ingenieuren Software-Engineering-Entscheidungen zu erleichtern.

Moderne Entwicklungswerkzeuge (beispielsweise Revisionskontrollsysteme, die koordinieren, wie Änderungen in eine gemeinsame Codebasis einfließen, Bugtracker und Mailinglisten), die ursprünglich zur technischen Erleichterung eingeführt wurden, stellen datenreiche Archive bereit, die implizit auch Spuren aufzeichnen, wie Entwickler ihre Aktivitäten sozial koordinieren. Das Forschungsprojekt „Codeface“ nutzt diese Big Data-Quellen nicht nur zur mathematischen Modellierung, sondern auch, um Ingenieuren und Managern praktisch relevante Vergleichsmöglichkeiten in die Hand zu geben, um die Auswirkungen unterschiedlicher Zusammenarbeitsmodelle verstehen und die Eigenschaften von Projekten bewerten zu können.

Abbildung 1 zeigt einen Screenshot des Webportals beim Vergleich mehrerer Projekte in einer Management-Übersicht (links), die den Vergleich auf wenige Kategorien reduziert und einer detaillierteren Ansicht für Entwickler (rechts). Ohne auf die methodischen Details einzugehen (die Projekthomepage gibt ausführliche Informationen dazu), zeigt die Detailansicht, warum ein bestimmtes Projekt (jquery) im Vergleich zu anderen Projekten (dem linux-Kernel und clang) als problematisch bezüglich der Softwarekonstruktion eingestuft

wurde. Vergleiche dieser Art können herangezogen werden, um die Qualität eigener Entwicklungen gegenüber anderen Vorhaben zu quantifizieren.

Aus wissenschaftlicher Sicht werden die Daten aus Revisionskontrollsystemen beispielsweise genutzt, um automatisch Kollaborationsnetzwerke abzuleiten, die zeigen, wie Entwickler miteinander kooperieren. Die Strukturen ändern sich mit der Zeit: Abbildung 2 zeigt ein Beispiel für ein Projekt (qemu), das sich im Laufe der Zeit von einem Hobbyprojekt mit wenigen, aber sehr aktiven Entwicklern zu einem professionell betriebenen, stabilen Projekt mit uniformer Community-Struktur entwickelt hat. Die Struktur hat offensichtliche

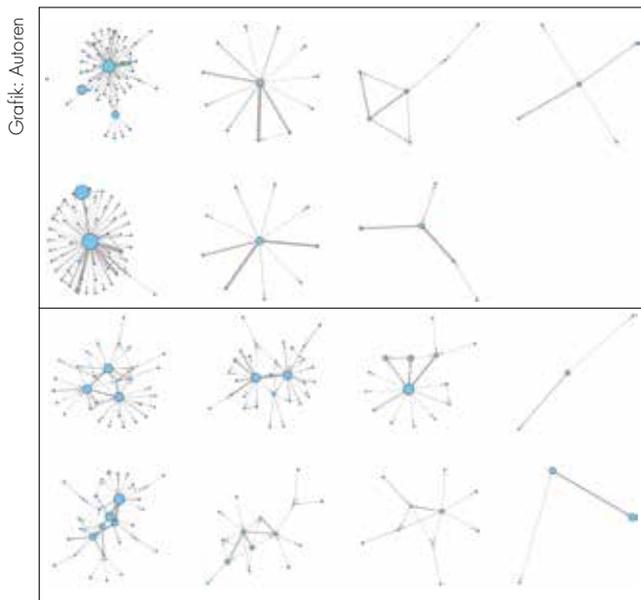


Abb. 2: Community-Strukturen im Wandel der Zeit für das Qemu-Projekt. Jeder Mitarbeiter wird durch einen Kreis repräsentiert, die Größe des Kreises ist proportional zu Wichtigkeit bzw. Einfluss des Beitragenden. Die obere Abbildung gibt die Anfangssituation des Projekts, die untere die aktuelle Struktur wieder. In seiner aktuellen Inkarnation ist das Projekt eine wesentliche Komponente der Cloud-Infrastruktur.

Auswirkungen auf die Risiken des Projekts: Entfällt einer der zentralen Beitragenden, ist in einem Projekt mit ersterer Struktur der Erfolg offensichtlich stark gefährdet, während bei letzterer Struktur keine Auswirkungen zu erwarten sind, da die Kompetenzen auf viele Schultern und Untergruppen verteilt sind.

Literatur

Joblin, M., Mauerer, W., Apel, S., Siegmund, J., Riehle, D.: From Developer Networks to Verified Communities: A Fine-Grained Approach, Proceedings of the 37th International Conference on Software Engineering. Italien (2015).

WIE KANN MAN SICHERGEHEN, DASS DIE ALGORITHMISCH ABGELEITETEN NETZWERKE DIE SOZIALE WIRKLICHKEIT REFLEKTIEREN?

Unser Ansatz führt neue feingranulare Methoden ein, die bisherige Analysetechniken statistisch nachweisbar verbessern, um Verbindungen zwischen Entwicklern präzise zu rekonstruieren. Diese Ausgangsdaten werden mit verschiedenen modernen Mitteln des maschinellen Lernens analysiert, um Gruppen von Entwicklern zu identifizieren, die gemeinsame Interessen besitzen, und damit zu Graphen wie dem in Abbildung 2 gezeigten Beispiel zu gelangen. Die Methoden wurden auf Open Source-Projekte aus verschiedenen Domänen und stark variierender Größe angewendet, von Web-Frameworks mit 20 Beitragenden bis hin zum Linux-Kernel, der von über tausend Ingenieuren entwickelt wird. Die Korrektheit der Ergebnisse wird neben stringenter statistischer Validierung durch strukturierte Umfragen unter Entwicklern sichergestellt, die mithilfe von Psychologen entworfen wurden. Die Resultate zeigen, dass unsere maschinell ermittelten Resultate sehr gut mit der Perzeption der beteiligten Entwickler übereinstimmen. Auf dieser Grundlage kann nun ermittelt werden, welche Projektstrukturen welche positiven und negativen Auswirkungen auf Dinge wie Fehlerfreiheit, Entwicklungsgeschwindigkeit etc. besitzen.

Das Projekt wird nicht nur in der Forschung, sondern auch in der Lehre eingesetzt: Studenten der OTH Regensburg arbeiten im Rahmen eines Masterseminars mit Studenten aus Clermont-Ferrand zusammen, um die Software zu verbessern und gleichzeitig Erfahrungen in der Kooperation in geographisch verteilten, internationalen Teams zu sammeln und für die Wirtschaft relevante Kommunikationskompetenzen zu gewinnen.

Projektleitung

Prof. Dr. Wolfgang Mauerer

+49 941 943-9753

wolfgang.mauerer@oth-regensburg.de

Projektmitarbeiter

Mitchell Joblin, B. Sc. (hons)

Kooperationspartner

- OTH Regensburg
- Siemens AG
- Uni Passau
- Uni Erlangen

Weitere Informationen:

<http://siemens.github.io/codeface>

SCHNELLE SEGMENTIERUNG VON MAGNETRESONANZ-TOMOGRAPHIEN DES GEHIRNS DURCH PARALLELE BERECHNUNG AUF GRAFIKKARTEN

Joachim Weber,

Regensburg Medical Image Computing (ReMIC), OTH Regensburg

Christoph Palm,

Regensburg Medical Image Computing (ReMIC), OTH Regensburg

36

Magnetresonanztomographien (MRTs) des Gehirns liefern dreidimensionale strukturelle Informationen über die räumliche Gewebeverteilung. Vor der Operation z. B. eines Hirntumors wird anhand dieser Daten der Eingriff geplant. Können die einzelnen Gewebearten mit Methoden der Medizinischen Bildverarbeitung aus den Bilddaten extrahiert werden (Segmentierung), lassen sich die Strukturen leicht visualisieren und ihre Lage zueinander einschätzen. In diesem Projekt wurde eine häufig genutzte Segmentierungssoftware parallelisiert und für die Ausführung auf Grafikprozessoren portiert. Die Parallelisierung machte kleine Änderungen im Algorithmus nötig, die allerdings zu signifikant veränderten Segmentierungsergebnissen führten. Deshalb wurde der Algorithmus so adaptiert, dass vergleichbare oder sogar verbesserte Segmentierungsergebnisse erzielt werden konnten. Gleichzeitig wurde die Ausführung beschleunigt, sodass die Verarbeitungszeit von über zwei Minuten auf etwa eine halbe Minute (Speed-up-Faktor: 3.59) gesenkt werden konnte.

Die strukturelle Analyse von MRTs des Gehirns sind Teil der Interventionsplanung in der täglichen Routine der Neurochirurgie. Als ein wichtiger Vorbereitungsschritt ist die Unterscheidung der Gewebetypen des Gehirns (weiße Substanz, graue Substanz, CSF und Blutgefäße), die rechnergestützt und automatisch erfolgt (Abbildung 1 a und b). Speziell zur Segmentierung von MRTs des menschlichen Gehirns bietet sich die freie Software FSL-Fast vom Zentrum für Magnetresonanztomographie des Gehirns (FMRIB) der Universität Oxford, England, an.¹ Allerdings dauert die Segmentierung eines Datensatzes mit ca. 8 Mio. Voxeln (volume elements) über 2 Minuten. Zur Beschleunigung wurde die Software auf moderne Grafikkarten mit mehreren Prozessoren (General Purpose Graphics Processing Units, GPGPU) portiert und dazu parallelisiert. Es wurde die Open Source C++-Softwarebibliothek Insight Toolkit (ITK) verwendet, die auf Algorithmen der Medizinischen Bildverarbeitung spezialisiert ist. Die Parallelisierung für GPGPUs erfolgte mithilfe der Open Computing Language (OpenCL).²

PARALLELISIERUNG VON ALGORITHMEN

Zur Parallelisierung ist eine datenparallele (DP) Verarbeitung nötig, d. h. die Voxel eines Bilddatensatzes werden in kleine disjunkte Einheiten aufgeteilt und gleichzeitig verarbeitet. Den Gegensatz dazu bildet die datenabhängige (data dependent: DD) Verarbeitung, bei der das Verarbeitungsergebnis eines Bildteils Auswirkungen auf die Prozessierung anderer Bildausschnitte hat. DD-Verarbeitung muss damit sequentiell erfolgen. FSL-Fast besteht aus einer Mischung von DP- und DD-Algorithmen, sodass zur Parallelisierung eine Umstellung der DD-Anteile auf DP-Verarbeitung notwendig war.³

Ein Beispiel für die notwendige Anpassung ist die Summenbildung einer Reihe von Werten. Diese Summenbildung tritt in FSL-Fast innerhalb einer Schleife auf, wird also mehrfach angewendet. Bei einer **linearen Summation** werden zunächst die ersten beiden Werte summiert, dann das Ergebnis mit dem dritten Wert addiert, das Ergebnis wiederum mit

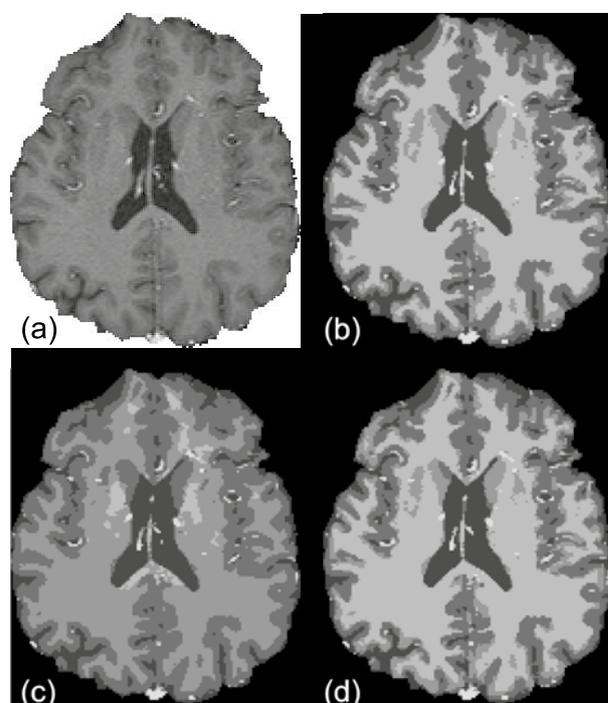


Abb.: Autoren

Abb. 1: Original-MRT (Grauwerte bezeichnen die Intensitäten) (a), FSL-Fast Segmentierung (b), Ergebnis nach DP-Segmentierung (c), Ergebnis nach DP-Segmentierung mit Adaption (d). Bei den Segmentierungen (b, c, d) geben die Grauwerte die Segmentzugehörigkeit an.

dem vierten usw. (Abbildung 2 a). Eine **parallele Summation** folgt einer Baumstruktur. Dabei werden je zwei Werte addiert, von den Ergebnissen werden wiederum je zwei Werte addiert usw., bis nur noch zwei Werte übrig sind deren Addition das Endergebnis liefert (Abbildung 2 b). Anders als in der Mathematik sind beide Varianten in der Informatik aber nicht äquivalent. Der Grund dafür liegt in der digitalen Zahlendarstellung von Fließkommazahlen (gespeichert als Exponent und Mantisse) und der begrenzten Genauigkeit der Speicherung.⁴ Werden z. B. Fließkommazahlen unterschiedlicher Größenordnung miteinander addiert, so ändert sich der Wert der größeren Zahl kaum oder gar

Grafik: Autoren

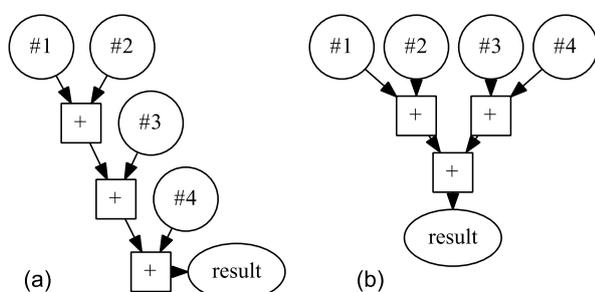


Abb. 2: Lineare Summation (a) führt zu größeren Rundungsfehlern als parallele Summation (b).

nicht. Deshalb ist die lineare Summation nicht nur weniger effizient (linear vs. logarithmisch), sondern neigt auch zu größeren Rundungsfehlern.⁵

Die Umstellung des Summationsverfahrens hat signifikante Auswirkungen auf das Segmentierungsergebnis. Anders als vielleicht zu erwarten wäre, führt der geringere Rundungsfehler nicht zu verbesserten Ergebnissen (Abbildung 1 c). Grund hierfür ist eine Vielzahl von Parametern, die in der Implementierung von FSL-Fast fest eingebaut wurden und für die lineare Summation optimiert wurden. Ändert man die Art der Summation, führen diese Parameter nicht mehr zu den gleichen Ergebnissen.

QUALITÄT DER SEGMENTIERUNG

Eine Segmentierung ist dann korrekt, wenn der Algorithmus in der Lage ist, jedem Voxel das richtige Gewebe zuzuordnen. Welches Gewebe richtig ist, wird durch den sogenannten Goldstandard festgelegt. Wie häufig in der Medizinischen Bildverarbeitung ist ein Goldstandard auch im Bereich der Hirnsegmentierung problematisch, weil eine voxelgenaue Zuordnung selbst für einen Facharzt oft schwierig zu entscheiden ist. Deshalb wurde in diesem Projekt die ursprüngliche FSL-Fast-Segmentierung als „Goldstandard“ angenommen, obwohl kein Segmentierungsverfahren als fehlerfrei gelten kann (Abbildung 1 a und b). Da FSL-Fast aber ein etabliertes und häufig angewendetes Verfahren ist, kann die Segmentierung zumindest als verlässlich gelten.

ADAPTION DES ALGORITHMUS

Zur Rekonstruktion der ursprünglichen FSL-Fast-Segmentierungsergebnisse trotz DP-Summation wurde der Rundungsfehler künstlich wieder in die Verarbeitung eingefügt. Dazu wurde einmalig vor der Schleife der Fehler geschätzt, dann

die wiederholte Summenbildung in der Schleife ausgeführt und jeweils um den geschätzten Fehler korrigiert. Dadurch konnten die ursprünglichen FSL-Fast-Segmentierungsergebnisse in hohem Maße angenähert werden (Abbildung 1 d). Weitere notwendige Adaptionen sind in [3] zu finden. Trotz des zusätzlichen Aufwandes zur Fehlerschätzung und weiterer Adaptionen führt die Parallelisierung zu einem Speedup von ca. 3,6 und reduziert die Verarbeitungszeit auf etwa eine halbe Minute.

Der Artikel beschreibt, dass harmlos scheinende Rundungsfehler aufgrund digitaler Zahlendarstellung signifikante Auswirkungen auf das Verarbeitungsergebnis haben können. Die Parallelisierung deckte diese Fehler auf, weil in der parallelen Verarbeitung von einer linearen auf eine baumartige Summation umgestellt werden musste.

Literatur

- 1 Zhang, Y., Brady, M., Smith, S.: Segmentation of Brain MR Images through a Hidden Markov Random Field Model and the Expectation-Maximization Algorithm. *IEEE Trans Med Imaging* 20(1), 45–57 (2001).
- 2 Group KOW: The OpenCL Specification 1.1. (2008).
- 3 Weber, J., Doenitz, C., Brawanski, A., Palm, C.: Porting FSL-Fastv4 to GPGPUs – Data-Parallel MRI Brain Segmentation in Clinical Use. In: Handels et al. (eds.), *Bildverarbeitung für die Medizin*, Springer, 389–394 (2015).
- 4 Committee MS: IEEE Standard for Floating-Point Arithmetic. *IEEE Computer Society* (2008).
- 5 Higham, N. J.: The Accuracy of Floating Point Summation. *SIAM J Sci Comput.* 14(4), 783–799 (1993).

Projektleitung

Prof. Dr. Christoph Palm
Regensburg Medical Image Computing (ReMIC)
· Fakultät Informatik und Mathematik
· Regensburg Center of Biomedical Engineering
christoph.palm@oth-regensburg.de
www.re-mic.de

Projektmitarbeiter

Joachim Weber, B. Sc.

Hardware gefördert durch

NVIDIA

Kooperationspartner

- Dr. Christian Doenitz,
Klinik für Neurochirurgie der Universitätsklinik Regensburg
- Prof. Dr. Alexander Brawanski,
Klinik für Neurochirurgie der Universitätsklinik Regensburg

Weitere Informationen

<http://re-mic.de/index.php/parallele-bildverarbeitung>

TEXTURMERKMALE AUS KNOCHEN-RÖNTGENBILDERN ZUR DIAGNOSE VON OSTEOPOROSE

38

Martin Zobel,
Regensburg Medical Image Computing (ReMIC), OTH Regensburg
Christoph Palm,
Regensburg Medical Image Computing (ReMIC), OTH Regensburg

Neben der Knochendichtemessung kann die Analyse von 2D-Röntgenbildern von Knochen ergänzende Hinweise auf eine Osteoporose-Erkrankung liefern. Die dort sichtbare Mikroarchitektur kann mithilfe von Texturanalyseverfahren charakterisiert und die Merkmale im Rahmen einer Klassifikation in die Klassen gesund und pathologisch eingeteilt werden. Damit wird eine Diagnoseunterstützung mit einem nicht-invasiven Bildgebungsverfahren kombiniert mit Methoden der Medizinischen Bildverarbeitung möglich. Im Rahmen eines internationalen Vergleichs auf den gleichen Trainings- und Testdaten und unabhängiger Validierung erreichte das Verfahren des ReMIC unter 15 Einreichungen den zweiten Platz.

Osteoporose ist eine Knochenkrankung, die ein erhöhtes Risiko eines Knochenbruchs mit sich bringt.¹ Zur Diagnose wird üblicherweise die Knochendichte (bone mineral density: BMD) gemessen.² Allerdings ist die Knochendichte hauptsächlich für die Festigkeit der äußeren Knochenstruktur ein guter Indikator. Die Stabilität des inneren spongiösen Knochenanteils wird damit nur unzureichend abgebildet.³ Deshalb liefert die Charakterisierung der Mikrostruktur des Knochens einen wichtigen Hinweis auf eine Erkrankung an Osteoporose, der die Knochendichtemessung ergänzt.

Die Röntgenbildgebung basiert auf einer Projektionstechnik, bei der die Materialdichten entlang des Strahlengangs aufsummiert und dargestellt werden. Durch die Überlagerungen erlaubt ein Röntgenbild deshalb nur einen indirekten Zugriff auf die 3D-Mikroarchitektur des Knochens. Trotzdem gibt es Ansätze, aus der Texturanalyse von Röntgenbildern auf die Knocheneigenschaften zu schließen. Ziel ist dabei, mithilfe von Algorithmen der Medizinischen Bildverarbeitung die Bilder so auszuwerten, dass in Verbindung mit dem BMD eine zuverlässigere Diagnose einer Osteoporose möglich wird.

TEXTURANALYSE

Die Texturanalyse gehört zu den klassischen Disziplinen der Medizinischen Bildverarbeitung.⁴ Dabei wird die Struktur einer Oberfläche durch Betrachtung der räumlichen Verteilung der Intensitäten in der Nachbarschaft eines Pixels beschrieben. Man unterscheidet statistische, signaltheoretische und strukturelle Texturmerkmale. Welches Verfahren für welche Problemstellung mit welcher Parametrierung angemessen ist, kann nicht analytisch, sondern nur experimentell bestimmt werden. Wegen der Vielzahl der Methoden ist aber ein objektiver Vergleich oft schwierig, weil entweder nicht alle Verfahren implementiert oder sie nicht hinreichend optimiert werden können. Publikationen helfen oft nur bedingt weiter, weil die dort beschriebene Methode für genau das Bildmaterial optimiert wurde, was den Autoren zur Verfügung stand. Die Praxis zeigt, dass ein Rückschluss auf die Qualität eines publizierten Verfahrens bei anderem Bildmaterial im Allgemeinen nicht möglich ist.

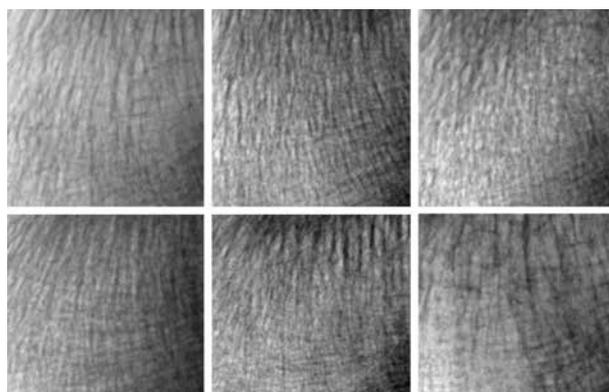


Abb. 1: Knochenröntgenbilder von Osteoporose-Patienten (unten) und gesunder Kontrollgruppe (oben)

Quelle: University Orléans

CHALLENGES DER MEDIZINISCHEN BILDVERARBEITUNG

Um einen objektiven Methodenvergleich zu ermöglichen, werden auf den internationalen Konferenzen ISBI (International Symposium on Biomedical Imaging) und MICCAI (Medical Image Computing and Computer Assisted Interventions) sogenannte Challenges ausgeschrieben. Sie sind in zwei Stufen unterteilt: die Optimierung (Trainingsstufe) und die Anwendung auf unbekannte Daten (Teststufe). In der Trainingsstufe optimieren die Teilnehmer jeweils ihr favorisiertes Verfahren selbst, sodass die Parameterwahl mit der notwendigen Sorgfalt geschieht. Gleichzeitig basiert die Optimierung für alle Teilnehmer auf den gleichen Bilddaten und einem mitgelieferten Goldstandard. Der sagt aus, welches Ergebnis ein korrekter Algorithmus erreichen muss. In der Teststufe werden dann die optimierten Verfahren auf bis dahin unbekannte Bilder angewendet. Den Goldstandard für diese Testdaten und damit das korrekte Ergebnis kennt nur der Veranstalter, der die Ergebnisse auswertet.

Auf der ISBI 2014 wurde erstmals eine Challenge zur Texturanalyse aus Knochenröntgenbildern zur Osteoporoseerkennung (Bone Texture Characterization) von der Universität Orléans veranstaltet. Dabei wurden Röntgenbilder analysiert und automatisch mithilfe eines für alle einheitlichen Klassifikators einer von zwei Klassen (Osteoporose vs. gesund)

Rang	Labor/Institut	Hochschule	Ort	Land
1	Sugiyama Lab.	University of Tokyo	Tokyo	Japan
2	ReMIC	OTH Regensburg	Regensburg	Germany
3	I3MTO Lab.	University Orléans	Orléans	France
3	LITIS EA 4108	University of Rouen	Saint Étienne du Rouvray	France
5	Sugiyama Lab.	University of Tokyo	Tokyo	Japan
5	Dept. Mech. Eng.	National University Singapore	Singapore	Singapore
5	Med. IT Conv. Center	Korea Electronics Techn. Inst.	Gyeonggi	Korea
8	Sugiyama Lab.	University of Tokyo	Tokyo	Japan
9	Sig. Proc. Biomed. Eng.	University of Thessaloniki	Thessaloniki	Greece
10	ETIS – ENSEA	University of Cergy-Pontoise	Cergy	France
11	Dept. Electr. Com. Eng.	NSS College of Engineering	Palakkad	India
12	LRIT URAC 29	University Mohammed V-Agdal	Rabat	Morocco
13	VrVis	Forschungs-GmbH	Vienna	Austria
14	Ind.I Maint. Dept.	University M'Hamed Bougara	Boumerdes	Algeria
15	Comp. Sc. Eng.	Inst. Information Techn. Delhi	New Delhi	India

Tab. 1: Rangliste der Teilnehmer der ISBI Challenge Bone Texture Characterization

zugeordnet. Die Schwierigkeit der Unterscheidung wird in Abbildung 1 mit Beispielen beider Klassen deutlich.

CO-OCCURRENCE MATRIZEN

Das Verfahren des ReMIC basiert auf einem Nachbarschaftshistogramm (Co-Occurrence Matrix), bei dem eine Statistik über die Häufigkeit des Auftretens von Intensitäten in bestimmten Nachbarschaftsrelationen erstellt wird. Dabei werden nicht die Co-Occurrence Matrizen selbst, sondern 8 beschreibende Haralick-Maße⁵ zur Klassifikation herangezogen. Der ReMIC-Ansatz unterscheidet sich von herkömmlichen Verfahren darin, dass nicht nur direkte Nachbarschaften, sondern Nachbarschaftsrelationen über größere Entfernungen hinweg statistisch valide betrachtet werden.⁶

Korrekte Ergebnisse der Klassifikation sind TP (true positive: krank und als krank klassifiziert) und TN (true negative: gesund und als gesund klassifiziert), Fehler analog FP (false positive) und FN (false negative). Die Sensitivität $TP/(TP+FN)$ beschreibt das Verhältnis der entdeckten Kranken zu den tatsächlich Kranken, die Spezifität $TN/(FP+TN)$ das Verhältnis der als gesund Klassifizierten zu den tatsächlich Gesunden. Die unabhängige Auswertung der Challenge ergab für das ReMIC-Verfahren eine Sensitivität von 83 % (Spezifität: 24 %). Damit wurde der zweite Platz unter 15 Einreichungen erreicht (Tabelle 1). Eine Weiterentwicklung könnte helfen, die Erkennung von Osteoporoseerkrankungen zu verbessern.

Der Artikel beschreibt Ansatz und Ergebnisse des ReMIC bei einem internationalen Vergleich von Methoden der Medizinischen Bildverarbeitung mit dem Ziel der Diagnoseunterstützung bei Osteoporoseerkrankungen.

Literatur

- 1 Bartl, R., Frisch, B.: Osteoporosis: Diagnosis, Prevention, Therapy. Springer (2009).
- 2 Hough, S.: Fast and Slow Bone Losers: Relevance to the Management of Osteoporosis, Drug Aging 12, 1–7 (1998).
- 3 Stenström, M., et al.: Bone Mineral Density and Bone Structure Parameters as Predictors of Bone Strength [...]. J Biomech, 33, 289–297 (2000).
- 4 Materka, A., Strzelecki, M.: Texture Analysis Methods – A Review. Techn. Univ. Lodz, Inst. Elec., COST B11 report, 9–11 (1998).
- 5 Haralick, R. et al.: Texture Features for Image Classification, IEEE Trans. Syst. Man Cybernet. 3, 610–621 (1973).
- 6 Palm, C.: Color Texture Classification by Integrative Co-Occurrence Matrices. Pat. Recog. 37, 965–976 (2004).

Projektleitung

Prof. Dr. Christoph Palm
 Regensburg Medical Image Computing (ReMIC)
 • Fakultät Informatik und Mathematik
 • Regensburg Center of Biomedical Engineering
 christoph.palm@oth-regensburg.de
 www.re-mic.de

Projektmitarbeiter

Martin Zobel, B. Sc.

Weitere Informationen:

www.univ-orleans.fr/i3mto/challenge-ieee-isbi-bone-texture-characterization

RAUM FÜR DEINE ZUKUNFT!



F.EE bietet in den Bereichen **Elektrotechnik, Maschinenbau und Informatik** die Möglichkeit, in Form von **Praktika, Bachelor-/Masterarbeiten** oder auch einer **Festanstellung** Ideen Wirklichkeit werden zu lassen.

Weitere Infos und aktuelle Jobangebote unter

www.fee.de/jobs

BAYERN'S
BEST 50

PREISTRÄGER 2014

2011 | 2008 | 2003



F.EE GmbH | Udo Starck | Personalabteilung
In der Seugn 10 | 92431 Neunburg v. W. | Tel.: 09672 506-0
contact@fee.de | bewerbung@fee.de | www.fee.de

Semsotec Group
Displays | Infotainment | Innovation



HUMAN MACHINE INTERFACE-LÖSUNGEN
MODERNSTE DISPLAY- UND TOUCH-TECHNOLOGIE
PROBLEMLÖSUNGEN FÜR DISPLAYS
EFFIZIENTE ENTWICKLUNG VON STEUERGERÄTEN
INTEGRATION VON SOFTWARE, ELEKTRONIK UND MECHANIK

www.semsotec.de



PIONIERGEIST

MUT

FAIRNESS

NÄHE

4 Werte, ein Konzern

Spüren Sie ein Kribbeln, wenn Sie Neues anpacken?

Sie sind fasziniert von schwierigen Aufgaben. Sie wittern die Lösung, wo andere noch das Problem diskutieren. Das ist genau das, was Sie als Mitarbeiter und uns als innovatives Technologieunternehmen weiterbringt.

Wir suchen laufend Praktikanten und Diplomanden sowie Absolventen und Young Professionals in den Bereichen:

- Versuch
- Qualitätsmanagement
- Entwicklung
- Technischer Vertrieb
- Konstruktion
- Technischer Einkauf
- Fertigungsplanung
- Controlling

und in anderen spannenden Aufgabenfeldern.

Machen Sie den ersten Schritt! Wir freuen uns auf Ihre Online-Bewerbung unter careers@hoerbiger.com



Der HOERBIGER Konzern ist weltweit in führender Position in den Geschäftsfeldern der Kompressortechnik, Automatisierungstechnik und Antriebstechnik tätig. 6.700 Mitarbeiter erzielten 2012 einen Umsatz von 1,06 Milliarden Euro.
www.hoerbiger.com



G. Al-Falouji, OTH Regensburg, Universität Kassel
 D. Prestel, HS Kempten, FernUniversitätHagen
 G. Scharfenberg, OTH Regensburg
 R. Mandl, OTH Regensburg
 A. Deinzer, HS Kempten
 W. Halang, FernUniversitätHagen
 J. Margraf-Stiksrud, Universität Marburg
 B. Sick, Universität Kassel
 R. Deinzer, Universität Gießen

SMART-iBRUSH

Individuelle Zahnreinigung mit einer intelligenten Zahnbürste

41

Der Forschungsansatz der intelligenten Zahnbürste (SMART-iBrush) verfolgt das Ziel, dass Menschen die für sie effektivste Zahnputzmethode unter individueller Anleitung der Zahnbürste interaktiv trainieren können. Hierzu wurde eine Zahnbürste entwickelt, die Bewegung und Druckverlauf erfasst. Daten werden an ein Smart Device übertragen und können dort in Echtzeit visualisiert werden, z. B. in eher spielerischer Form für Jugendliche oder sachlich-nüchterner Form für Erwachsene. In einem Feldversuch wurden Daten von 100 Probanden erfasst. Zukünftig soll mit der SMART-iBrush-Technologie, bei deren Entwicklung Wissenschaftler in den Bereichen Psychologie, Zahnmedizin, Embedded Systems und Machine Learning kooperieren, auch die Güte des Putzvorgangs bewertet werden, um die Putzenden aktiv anzuleiten.

Zähneputzen gilt als die wirksamste Methode, Zähne von Plaque zu befreien und damit kariösen und parodontalen Erkrankungen vorzubeugen.¹ Daher zielen sowohl Gruppenprophylaxe-Programme als auch die Individualprophylaxe im Wesentlichen auf Unterweisungen zu angemessenem Bürstverhalten ab. Zugleich weisen sowohl epidemiologische Daten² als auch Beobachtungsstudien³ darauf hin, dass die überwiegende Mehrheit der Bevölkerung trotz der oben angesprochenen Prophylaxeprogramme nicht zu ausreichender Plaquekontrolle in der Lage ist. Damit besteht dringender Bedarf, die Mundhygienefertigkeit im Sinne der Fähigkeit zu erfolgreicher Plaquekontrolle zu verbessern. Mithilfe des SMART-iBrush muss zunächst ein besseres Verständnis des Zahnbürstvorgangs möglich sein. Folgende Aspekte sind dabei von Bedeutung:

Analyse des spontanen Bürstverhaltens: Wie systematisch wird geputzt? Welche Bewegungen werden in welchen Bereichen ausgeführt? Welche Bewegungsformen kommen am häufigsten vor?

Umsetzbarkeit und Qualität der Umsetzung unterschiedlicher Zahnbürstetechniken: Wird die Technik an allen Flächen mit ausreichender Präzision und Intensität ausgeführt? Wie lange dauert es, bis die Technik adaptiert ist? Wie verändert sich die Ausführung der Technik über die Zeit?

Analyse typischer globaler und auch lokal begrenzter Problemfelder: Kommt es bei bestimmten Techniken oder in bestimmten Bereichen zu Fehlverhalten wie zu hohem Bürstdruck? Werden bestimmte Bereiche schlechter erreicht als andere?

In einem letzten Schritt sollen dann Techniken zur Optimierung des individuellen Zahnbürstverhaltens entwickelt werden.

AKTUELLER ENTWICKLUNGSSTAND DES SMART-IBRUSH

Das SMART-iBrush besteht aktuell aus den Komponenten Sensorik, Controller und Visualisierung. Zur Erfassung der Bewegung der Zahnbürste bzw. des Drucks sind folgende Sensoren eingesetzt: Ein 3D-Beschleunigungssensor und ein 3-achsiges Gyroskop (MPU6000) erfasst die lineare und

rotatorische Bewegung im Mundraum. Ein Kraftsensor ist mittels Dehnmessstreifen (N5K-13-S5030K VISHAY) realisiert. Er soll später beispielsweise der Vorbeugung gegen Verletzungen des Zahnfleisches dienen. Außerdem wird erwartet, dass sich die einzelnen Putzphasen durch Auswertung der Kraftinformation leichter segmentieren lassen. In Tabelle 1 sind die Daten der elektronischen Elemente angegeben.

FELDSTUDIE

Zum präzisen Monitoring wurde ein Feldversuch an der Universität Gießen mit 100 jungen Erwachsenen (18-19 Jahre) begonnen. Es wird die gewohnte Form der Zahnreinigung erfasst, die so gründlich wie möglich angewendet werden soll. Parallel werden klinische Parameter der Plaquekontrolle und der Mundgesundheit erfasst, die mit den Messdaten des SMART-iBrush in Beziehung gebracht werden. Parallel dazu wird eine Videoanalyse zur optischen Untersuchung der Putzmethode vorgenommen, die als Referenz für den Putzort und die Putztechnik genutzt wird.

DATENANALYSE

Die Position und die Orientierung der Zahnbürste werden mit zwei unterschiedlichen Ansätzen aus den Beschleunigungs- und Gyroskopwerten gewonnen. Zum einen erfolgt die Berechnung des Bewegungsverlaufs der Bürste (Regression) und zum anderen die Bestimmung des Putzortes gemäß einem Sextantenmodell, das den Putzort in Regionen innerhalb des Gebisses einteilt (Klassifikation). Beide Ansätze erfordern ein gründliches Verständnis der Sensorik und der auftretenden Störungen durch Rauschen, Drift und statische Verzerrung (Bias).

Das Gyroskop liefert die Drehrate der Zahnbürste in Bezug zu den lokalen 3D-Achsen X, Y und Z. Über eine Integration wird der Drehwinkel errechnet. Aufgrund von Bias und Signalstörungen entsteht zunehmende Drift, sodass ein zweites Messkriterium benötigt wird.

Der Beschleunigungssensor liefert die lineare Beschleunigung der Zahnbürste, überlagert mit der Erdbeschleunigung, deren Einfluss auf die lokalen drei Achsen in Bezug auf die Neigung zu berücksichtigen ist.

Um die Bewegung ohne den Einfluss der Erdbeschleunigung zu bestimmen, muss deren Wirkung rechnerisch eliminiert werden. Anschließend wird der Ort durch zweifache Integration der korrigierten Beschleunigung berechnet. Jede Integration wandelt auch hier das Rauschen in Drift. Trotz der erkennbaren Drift nach der Integration der Sensordaten kann gezeigt werden, dass durch Fusion der Ergebnisse eine korrekte Bestimmung der Bewegung möglich ist. Eine Sensor-Fusion erlaubt die Kombination von linearen Beschleunigungswerten und Drehraten zu einer angenäherten Bewegungsbestimmung. Die Bestimmung des Anstellwinkels (Pitch, zur lokalen Y-Achse) und des seitlichen Drehwinkels (Roll, zur lokalen X-Achse) erfolgt aus den dreidimensionalen Erdbeschleunigungs-Vektoren nach folgenden Gleichungen:

$$Pitch = \arctan \left(\frac{Grav_x}{\sqrt{(Grav_x)^2 + (Grav_z)^2}} \right)$$

$$Roll = \arctan \left(\frac{Grav_y}{\sqrt{(Grav_y)^2 + (Grav_z)^2}} \right)$$

Das getestete Konzept einer Sensor-Fusion zur Bestimmung der Rotation um alle drei Achsen zur Ebene erfolgt beginnend mit der Kalibrierung. Es werden die Offsets (ABias und GBias) des Beschleunigungssensors und des Gyroskops bestimmt. Die Bewegung der Zahnbürste wird nur bewertet, wenn eine bestimmte Signalschwelle (THX, Y, Z) überschritten wurde. Der Erdbeschleunigungs-Vektor \hat{g} wird mittels Filter (KF bzw. CF) *1 aus beiden Sensordaten geschätzt. In einem letzten Schritt erfolgt die Schätzung der Drehwinkel α , β , γ .

Die nachfolgend angewendete Klassifikations-Methode nutzt die Sensorinformationen in Verbindung mit den detaillierten Informationen aus der Videoanalyse zur Bestimmung des Putzvorgangs.

ZUSAMMENFASSUNG UND AUSBLICK

Der Forschungsansatz der intelligenten Zahnbürste (SMART-iBrush) verfolgt das Ziel, den Zahnbürstvorgang besser zu verstehen, das (meist chaotische) Zahnbürstverhalten mit der erreichten Plaquefreiheit in Beziehung zu setzen und auf der Basis dieser Erkenntnisse die Zahnbürste letztlich dafür zu nutzen, die individuell effektivste Zahnputzmethode unter Anleitung der Zahnbürste interaktiv zu trainieren. Nach Abschluss der Forschungs- und Entwicklungsarbeiten soll das SMART-iBrush ein verlässliches System zur langfristigen Überwachung des Putzvorgangs und zum Training einer individuellen Putztechnik dienen.

*1 KF - Kalman Filter, CF - Complementary Filter

Literatur

- 1 Axelsson, P., Nystrom, B. und Lindhe, J. (2004). The Long-Term Effect of a Plaque Control Program on Tooth Mortality, Caries and Periodontal Disease in Adults. Results after 30 Years of Maintenance. *Journal of Clinical Periodontology*, 31, 749-757.
- 2 Dörfer, C.E., Schiffner, U. und Staehle, H.J. (2007). Häusliche mechanische Zahn- und Mundpflege. *Deutsche Zahnärztliche Zeitschrift*, 62, 616-620.
- 3 Harnacke, D., Winterfeld, T., Erhardt, I., Schlüter, N., Ganss, C., Margraf-Stiksrud, J. Deinzer, R. (im Druck). Which is the Best Predictor for Oral Cleanliness after Brushing? Results from an Observational Cohort Study. *Journal of Periodontology*.

Projektleitung

Prof. Georg Scharfenberg
georg.scharfenberg@oth-regensburg.de

		Typ	Auflösung	Spezifikation
Sensoren	Beschleunigungsmesser	MPU6000	16-bit	3-achsig ±8 g
	Gyroskop		16-bit	3-achsig ±1000 °/s
	Dehnmessstreifen (DMS)	N5K-13-S5030K VISHAY	10-bit	Halbbrücke ±8 N
Microcontroller		CC2511F32		8051 (Core) 32KB Flash
Sample Rate				750 Hz
Baud Rate für die Datenübertragung				21 Kb/s
Datenprotokoll				Full speed USB-2
Dateiform		Textdatei		
Leiterplatte				50x12 mm ²

Tab. 1: Spezifikation des SMART-iBrush

SCHEMA-EXTRAKTION AUS BIGDATA JSON-KOLLEKTIONEN

Stefanie Scherzinger, OTH Regensburg
 Meike Klettke, Universität Rostock
 Uta Störl, Hochschule Darmstadt
 Katharina Wiech, OTH Regensburg

43

Mit der zunehmenden Beliebtheit von NoSQL-Systemen zur Datenhaltung steigen auch die Ansprüche an diese meist schema-flexiblen Datenbanksysteme. So werden Werkzeuge zum systematischen Schema-Management in naher Zukunft ebenso zum Ökosystem um NoSQL-Datenbanksysteme gehören, wie es heute für relationale Datenbanksysteme selbstverständlich ist. Im Folgenden stellen wir ein Verfahren vor, um aus großen Kollektionen von JSON-Dokumenten eine Schemabeschreibung zu extrahieren. Dabei gehen wir nach den BigData-Prinzipien Velocity, Variety und Volume davon aus, dass die Daten heterogen strukturiert sein können (Variety) und in großem Umfang vorliegen (Volume). Wir evaluieren unser Verfahren experimentell auf Kollektionen von JSON-Dokumenten mit echten Daten.

Anders als bei relationalen Datenbanksystemen verwalten die meisten NoSQL-Datenbanken so gut wie keine strukturellen Integritätsbedingungen für die persistierten Daten.² An die Stelle einer Schemaverwaltung tritt bei Dokumenten-Datenbanken und Key-Value Stores das Prinzip der Schema-Flexibilität: Das Schema der Daten ist meist nur implizit gegeben, etwa indem Kollektionen von JSON-Dokumenten verwaltet werden, wobei die Dokumente eine heterogene Struktur haben können. In der Anwendungsentwicklung im BigData-Bereich, wo neben dem bloßen Datenvolumen die Daten auch strukturell vielgestaltig sein können, wird diese Flexibilität mitunter sehr geschätzt.

Wir betrachten ein konkretes Beispiel. Die linke Hälfte von Abbildung 1 zeigt zwei JSON-Dokumente mit Informationen zu den Ostbayerischen Technischen Hochschulen. In beiden Fällen sind der Name der Hochschule sowie die Anzahl der Studierenden und der Stand dieser Zahlen bekannt. Die beiden Dokumente unterscheiden sich jedoch in ihrer Struktur: Zur OTH Regensburg ist das Jahr der Gründung angegeben, während bei der OTH Amberg-Weiden die Anzahl der Mitarbeiter vorliegt. Die strukturellen Unterschiede zwischen den Dokumenten sind in der Abbildung in Fettschrift hervorgehoben.

NoSQL-Datenbanken wie MongoDB oder Google Cloud Datastore persistieren diese heterogenen Dokumente, ohne die Deklaration eines global gültigen Schemas vorauszusetzen. Allerdings ist es in der Entwicklung von datenbankgestützten Anwendungen letztlich doch erforderlich, die Struktur der Daten zu erfassen: Ohne Kenntnis der Datenstrukturen sowie der möglichen strukturellen Ausreißer ist eine Anwendungsentwicklung schlichtweg nicht praktikabel. Insbesondere wenn Object Mapper-Bibliotheken eingesetzt werden sollen, um auf die persistierten Dokumente aus dem Anwendungscode heraus zuzugreifen, muss deren Struktur bekannt sein. Eine Strukturbeschreibung ist in solchen Szenarien also oft im Nachhinein, im Sinne eines Reverse Engineering Ansatzes, aus den persistierten Daten abzuleiten.

In einem neuen Verfahren extrahieren wir Schemabeschreibungen aus Kollektionen von JSON-Dokumenten.^{1,3} Wir verwenden dabei die Schema-Beschreibungssprache JSON-Schema.⁴ In Abbildung 1 zeigen wir rechts eine JSON-Schema-Strukturbeschreibung der exemplarischen JSON-Dokumente mit Daten zu den Ostbayerischen Technischen Hochschulen. Das JSON-Schema nennt die Namen und Typen der Komponenten (sogenannte Properties) der Dokumente

und stellt den hierarchischen Aufbau aus geschachtelten Objekten dar. Die Schemabeschreibung erfasst, welche Komponenten in allen JSON-Dokumenten vorkommen. An dieser Stelle gibt es in der Schema-Extraktion Freiheitsgrade, die anwendungsspezifisch sind. So wäre es auch denkbar, Komponenten, die in sämtlichen Dokumenten vorkommen, im JSON-Schema als verpflichtend zu deklarieren.

Unser Ansatz¹ erweitert dabei Ideen aus dem Kontext der Schema-Extraktion für XML-Dokumente.⁵ Unsere Erweiterung geht über eine bloße Anpassung hinaus

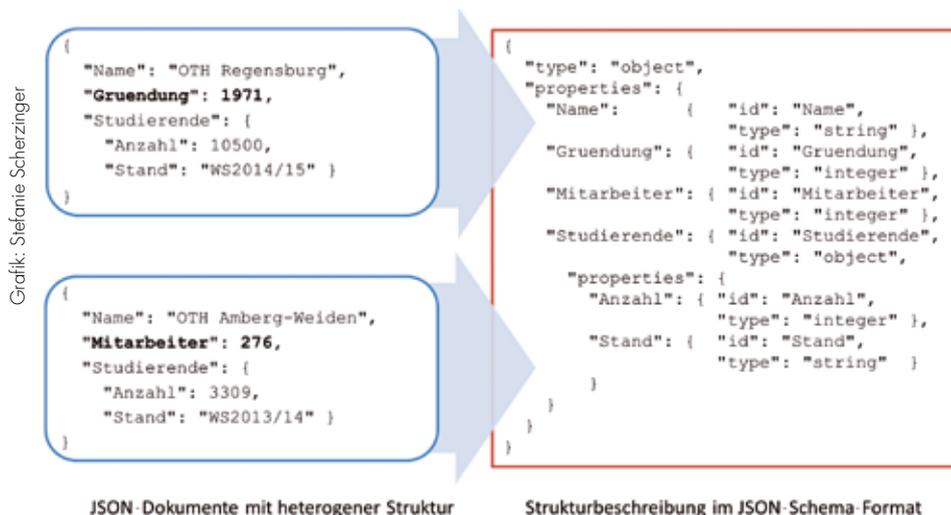


Abb. 1: Extraktion einer JSON-Schema-Strukturbeschreibung aus einer Kollektion von JSON-Dokumenten

und nutzt spezifische Eigenschaften des JSON-Formats aus. So besitzen JSON-Dokumente eine einfachere Struktur als XML-Dokumente, wobei insbesondere die Ordnung der Komponenten untereinander keine entscheidende Rolle spielt. Die jeweiligen strukturellen Eigenschaften der JSON-Dokumente werden in einer eigenen Datenstruktur, dem Reduced Structure Identification Graph, zentral erfasst und anschließend in ein JSON-Schema übersetzt.

Neben der Schema-Extraktion ist unser Verfahren darauf ausgelegt, strukturelle Ausreißer zu identifizieren. Ausreißer sind aus der Perspektive der Datenqualität und der Entwicklung robuster Anwendungen von besonderem Interesse. Mit dem Wissen um Ausreißer können die Daten vorab gezielt aufbereitet werden.

Abbildung 2 zeigt ein Experiment mit unserer Python-Implementierung auf einem 2,70 GHz-Rechner mit 8 GB RAM. Wir extrahieren dabei das Schema aus einer Kollektion von JSON-Dokumenten im Umfang von 150 Gigabyte, die in der NoSQL-Datenbank MongoDB gehalten werden. Die analysierten Dokumente entstammen dem Pagebeat-Projekt der Universität Rostock und enthalten Leistungskennzahlen aus der Überwachung von Webseiten. Die Abbildung zeigt die Laufzeit im Verhältnis zu der Größe der Eingabe. Solange die zentrale Datenstruktur, der Reduced Structure Identification Graph, im Hauptspeicher gehalten werden kann, weist das Verfahren ein lineares Laufzeitverhalten auf. In diesem Experiment gelang es, strukturelle Ausreißer zu identifizieren, die den Urhebern der Daten bis dato unbekannt gewesen waren.

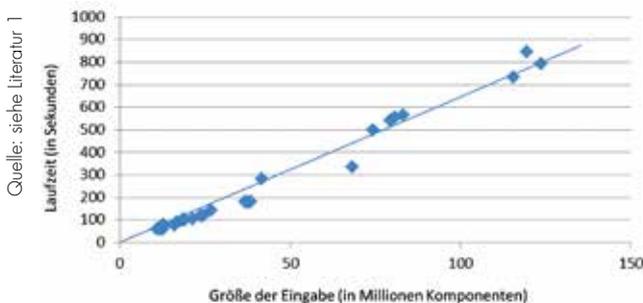


Abb. 2: Laufzeit von Schema-Extraktion auf Daten aus dem Pagebeat-Projekt

Zudem erarbeiten wir ein paralleles Verfahren zur Schema-Extraktion, das darauf angelegt ist, weitaus größere Dokumentensammlungen effizient zu verarbeiten.³ Somit adressieren wir in dieser Arbeit verstärkt den BigData-Aspekt

des Datenvolumens, um JSON-Kollektionen im Terrabyte-Bereich verarbeiten zu können.

Die Schema-Extraktion kann ein wichtiger Schritt in der Anwendungsentwicklung gegen NoSQL-Datenbanken sein. Bei der Entwicklung solcher dedizierter Werkzeuge für das NoSQL-Schema-Management ist es aber nicht das erklärte Ziel, einem schemalosen System ein starres globales Schema aufzuzwingen. Vielmehr sind die Vorzüge der Schema-Flexibilität dieser Systeme für die Anwendungsentwicklung möglichst zu bewahren: In der Konzeption einer Schema-Managementkomponente eigens für NoSQL-Datenbanksysteme, wie wir sie vorgeschlagen haben,² ist die Evolutionsfähigkeit des Schemas ein wesentliches Kriterium.

ERGEBNISSE

In unserer Forschung widmen wir uns der Entwicklung innovativer Werkzeuge für das systematische Schema-Management bei der Anwendungsentwicklung gegen NoSQL-Datenbanken.

Wir stellen ein Verfahren vor, das es ermöglicht, eine Schemabeschreibung aus einer Kollektion von JSON-Dokumenten zu extrahieren.^{1,2} Dabei setzen wir insbesondere auf das Erkennen struktureller Ausreißer. In der Evaluierung des Verfahrens auf verschiedenen Kollektionen von JSON-Dokumenten zeigen wir seine Einsetzbarkeit in der Praxis. Außerdem stellen wir eine Weiterentwicklung unseres Verfahrens vor, die den MapReduce-Ansatz nutzt, um JSON-Schemata auf BigData JSON-Kollektionen mithilfe von massiver Parallelität zu extrahieren.³

Literatur

- 1 Klettke, M., Störl, U., Scherzinger, S.: Schema Extraction and Structural Outlier Detection for NoSQL Data Stores. In: Proc. BTW (2015).
- 2 Klettke, M., Scherzinger, S., Störl, U.: Datenbanken ohne Schema? Herausforderungen und Lösungs-Strategien in der agilen Anwendungsentwicklung mit schema-flexiblen NoSQL-Datenbanksystemen. Datenbankspektrum Volume 14, 2 (Juli 2014).
- 3 Wiech, K.: Ein MapReduce-Verfahren zur Schema-Extraktion aus JSON-Dokumenten in NoSQL-Datenbanken. Bachelorarbeit an der OTH Regensburg, Fakultät IM, WS 2014/15.
- 4 JSON Schema Community. JSON Schema, Januar 2015. <http://json-schema.org>.
- 5 Chuang-Hue Moh, Ee-Peng Lim, and Wee-Keon Ng. DTD-Miner, A Tool for Mining DTD from XML Documents. In Proc. WECWIS (2000).

Projektleitung

Prof. Dr. Stefanie Scherzinger +49 941 943-1303
Fakultät Informatik und Mathematik
stefanie.scherzinger@oth-regensburg.de

HYDROPHONE ZUR 3D-ULTRASCHALLFELDVERMESSUNG AN DER OTH REGENSBURG

Christoph Kubata
Dirk Sindensberger
Gareth Monkman

45

Die Beschaffung eines kalibrierten Ultraschallmesssystems zur Nutzung in der Lehre ermöglicht nun auch die Messung der akustischen Leistung und des Drucks für verschiedene Forschungsprojekte. Im Rahmen einer Bachelorarbeit in der Mechatronics Research Unit (MRU) wurde im SS 2014 ein Hydrophon-Messsystem der Firma Precision Acoustics LTD in Betrieb genommen. Dieses System ermöglicht es, an der OTH Regensburg hochpräzise Messungen im Ultraschallfeld durchzuführen, um Aussagen über das Strahlprofil und die Leistung zu treffen. Im Zuge der Arbeit wurden die Positionierung und Kalibrierung durch einen Stäubli Roboterarm realisiert sowie die benötigte Software erstellt und im Rahmen des LIPUS-Projekts getestet.

GRUNDLAGEN

Ultraschalltherapie ist eine bewährte Behandlungsmethode in der therapeutischen Medizin. Low-Intensity Pulsed Ultrasound (LIPUS) konzentriert sich hierbei auf die mechanische Stimulation der Zellen. Die Klinik für Unfallchirurgie Regensburg konzentriert sich hierbei auf das Wachstum von Humangeewebe.¹ Die MRU entwickelt die dafür nötigen Geräte, unter anderem auch für die Ultraschallfeldvermessung. Diese Technologie verbindet hierbei, mit der Sensorik, der Messtechnik und der Akustik, mehrere Fachbereiche der Mechatronik.

HYDROPHONE

Ein Hydrophon ist ein spezielles Mikrofon für den Einsatz in Flüssigkeiten. Die im LIPUS-Projekt verwendeten Hydrophone der Firma Precision Acoustics wurden speziell für den Einsatz in Ultraschallfeldern konzipiert und bestehen aus einem Vorverstärker und einem austauschbaren Nadelkopf mit Sensor. In den Laboren der MRU gibt es vier verschiedene Nadeldurchmesser, um ein weites Gebiet an Ultraschallmessungen zu ermöglichen.

FERN- & NAHFELD

Im Vergleich zu ihrer Wellenlänge sind Ultraschallsender groß, weshalb sie nicht als punktförmige Quelle angenommen werden können. Das Verhalten des Schalls wird in zwei Bereiche, dem Nahfeld und Fernfeld, eingeteilt. Im Fernfeld wird die Signalquelle als Punkt betrachtet und die Intensität fällt indirekt proportional zum Abstand ab. Innerhalb des Nahfeldes müssen wir Effekte wie das Superpositionsprinzip berücksichtigen.

Die Länge des Nahfeldes N kann durch eine einfache Näherung mit folgender Formel bestimmt werden:

$$N = \frac{a^2}{\lambda}; [m]$$

Mit a , dem effektiven Radius des Emitters, und λ , der Wellenlänge des abgestrahlten Ultraschalls.²

INTENSITÄT IM FERNFELD

Im Allgemeinen lässt sich die momentane Intensität I des abgestrahlten Ultraschalls folgendermaßen beschreiben:

$$I = p \cdot v; \left[\frac{mW}{cm^2} \right]$$

Mit p , dem akustischen Druck, und v , der Schallschnelle, der Wechselgeschwindigkeit der Teilchen um ihre Ruhelage.

Da die Schallschnelle im Versuch nicht zu bestimmen ist, kann Formel 2 nicht direkt angewendet werden. Stattdessen gilt für das Fernfeld folgende Annahme:

$$I = \frac{p^2}{\rho \cdot c}; \left[\frac{mW}{cm^2} \right]$$

Mit p , dem akustischen Druck, ρ , der Massendichte des Mediums in dem sich der Ultraschall ausbreitet (Wasser unter Laborbedingungen: $\rho = 998,2 \frac{kg}{m^3}$) und c , der Schallgeschwindigkeit im Medium (Schallgeschwindigkeit in VE-Wasser unter Laborbedingungen: $c = 1484 \frac{m}{s}$).

Für alle Messungen mit den Hydrophonen wurde Formel 3 benutzt. Somit erhält man sehr gute Messungen im Fernfeld und eine sehr gute Näherung im Nahfeld. Diese Näherung muss bei der Interpretation der Daten berücksichtigt werden.

VERSUCHSAUFBAU & MESSUNG

Für die dreidimensionale Feldvermessung werden zusätzlich zum Precision Acoustics Messsystem weitere Geräte benötigt.

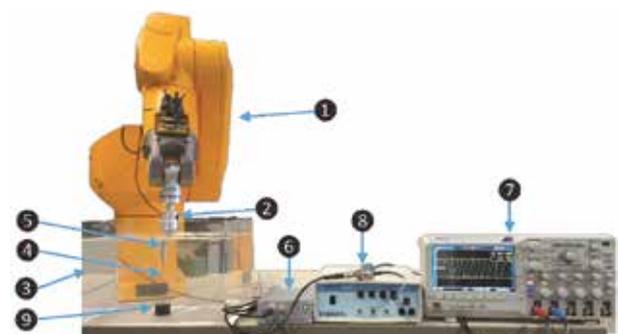


Abb. 1: Messaufbau zur 3D-Feldvermessung

Das Set-up enthält:

- ❶ Stäubli RX 60 – 6-Achs-Roboterarm
- ❷ Halterung für Hydrophone
- ❸ Wassergefäß (gefüllt mit VE-Wasser)
- ❹ Hydrophonnadel
- ❺ Hydrophonvorverstärker
- ❻ DC-Coupler
- ❼ Tektronix DPO 2014 Digital Phosphor Oszilloskop
- ❽ EXOgen SAFHS Ultraschallgenerator und -verstärker
- ❾ EXOgen Ultraschallwandler

Verstärker, Wandler und das I/O-Interface (❽, ❾ und ❷) können, je nach Anwendung, beliebig getauscht werden.

MESSUNG

Bei den Messungen fährt der Roboter definierte Flächen in bestimmten Abständen zum Wandler ab. In der Abschlussarbeit wurde eine Fläche mit 35 x 35 mm, bei einem Rastermaß von 1 mm, festgelegt. Es wurden drei Ebenen im Abstand von 0 mm, 5 mm und 50 mm aufgenommen.

Das Hydrophon misst den Druck und gibt diesen als Spannungswert aus. Der Vorverstärker und der DC-Coupler bereiten das Signal für das Oszilloskop auf, welches die Daten an LabVIEW weiterleitet.

Das Kalibrationszertifikat gibt den Umrechnungsfaktor von Spannung zu Druck wieder, wodurch direkt auf den akustischen Druck geschlossen werden kann.

ERGEBNISSE

Die Vermessung der zur Verfügung stehenden Wandler ergab neue Erkenntnisse für das LIPUS-Projekt. So konnte direkt am Emitter die effektive Fläche des Piezoelements bewertet und die Nahfeldgrenze besser bestimmt werden. Weiterhin konnten auch Aussagen zum Profil des Ultraschallsignals getroffen werden, die vorher so nicht möglich waren.

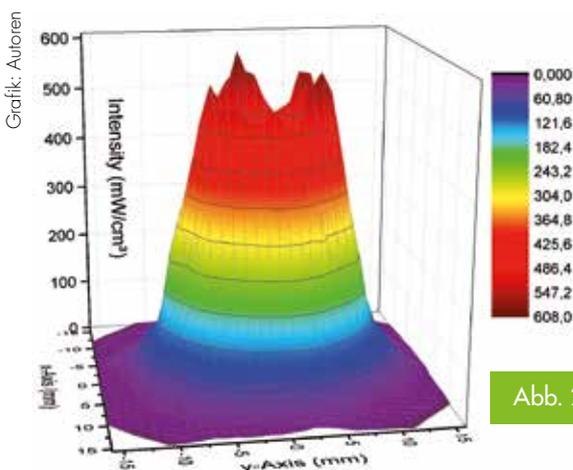


Abb. 2: Ultraschallprofil in 50 mm Abstand zur Ultraschallquelle

FAZIT & AUSBLICK

Das Hydrophon Messsystem brachte einige Erkenntnisse im LIPUS-Projekt, die vorher so nicht bekannt waren, und ermöglicht bisher an der OTH nicht durchführbare Messungen.

Die Hydrophone sollen weiter in das LIPUS-Projekt und die MRU integriert werden und bieten jederzeit die Möglichkeit für Abschluss- oder Projektarbeiten. Als Folgeprojekte würden sich die Verbesserung der Software (LabVIEW, MatLab, etc.) oder eine hardwareseitige Kalibrierungseinrichtung beim aktuellen Entwicklungsstand anbieten. Dank der bestehenden Kooperation mit der Unfallchirurgie ergibt sich die Möglichkeit zu interdisziplinären Arbeiten im Bereich der Humangewebeforschung.

Literatur

- 1 Nuß, A., Kujat, R. und Monkman, G.: Low-Intensity Pulsed Ultrasound (LIPUS) – Controllable LIPUS-Device – Laboratory Equipment for In Vitro Research Work on Chondral Tissue, Regensburg, 2011.
- 2 Kohlrausch, F.: Praktische Physik, Bd. 1, Stuttgart: Teubner-Verlag, 1996.

Kompetenzzentrum

Mechatronics Research Unit (MRU)

Projektleitung

Gareth Monkman, Prof. PhD M. Sc. +49 941 943-1108
gareth.monkman@oth-regensburg.de

Projektmitarbeiter

- Christoph Kubata, B. Eng.
- Dirk Sindensberger, Dipl.-Phys.
- Armin Kolmer, B. Eng.

Geldgeber

15 %-Topf für besondere Projekte der OTH Regensburg
OTH Regensburg

Kooperationspartner

Zentrum für medizinische Biotechnologie, Biopark I

Abbildung 2 zeigt das Profil des abgestrahlten Ultraschalls des Wandlers im Abstand von 50 mm. Das Maximum der gemessenen Intensitäten liegt bei $I_{max} = 607,9 \frac{mW}{cm^2}$ und der Durchschnitt bei $I_{max} = 607,9 \frac{mW}{cm^2}$. Diese Ungleichmäßigkeit im Profil ließ sich bisher nicht messen, da das Waagensystem nur den Durchschnittswert wiedergeben konnte. Es lässt sich eine deutliche Symmetrie erkennen mit einem lokalen Maximum in der Mitte. Weiterhin zeigt sich, dass die Intensität innerhalb weniger mm nahezu komplett abfällt.

FLIEßBÄNDER UND MOBILTELEFONE

Informationstechnologie trifft Industrie

Wolfgang Mauerer, OTH Regensburg
 Markus Dollinger, OTH Regensburg
 Sven Dembianny, OTH Regensburg
 Andreas Kölbl, OTH Regensburg
 Franz Welker, OTH Regensburg
 Matthias Meier, OTH Regensburg

47

Was haben Kraftwerke und Mobiltelefone gemeinsam? Auf den ersten Blick nichts: Riesige industrielle Systeme mit jahrzehntelangen Lebensdauern, extremen Stabilitätsanforderungen und hohen Sicherheitskriterien passen nicht zu schnelllebigem, buntem und erweiterbarem Consumer-Produkten. Die Software beider Welten konvergiert aber stetig: Die störungsfreie Wiedergabe von Musikstücken auf Mobiltelefonen profitiert beispielsweise von den gleichen Mechanismen, die das reibungslose Zusammenspiel von Robotern garantieren.

In einem Kooperationsprojekt mit einem marktführenden Automatisierungshersteller wird untersucht, wie Standardmechanismen der Informationstechnologie (IT) für den industriellen Einsatz angepasst werden können – von Hardware über Betriebssysteme bis hin zu Programmiersprachen. Wer nicht alles von Grund auf neu entwickeln muss, sondern geeignet erweiterte Grundlagen wie Linux und Android verwendet, spart Entwicklungskosten, bringt Produkte schneller auf den Markt und macht diese leichter bedien- und erweiterbar – selbstverständlich ohne die bestehenden hohen industriellen Standards abzuschwächen. Der Bericht erläutert einige Aspekte zukünftiger industrieller Systeme, die an der OTH Regensburg erforscht und entwickelt werden.

Industrielle Anlagen sind Computer, die sich durch Robustheit und Schnittstellen in die Außenwelt von normalen Desktop-Systemen abheben. Die Grundstruktur des Software-Stacks unterscheidet sich allerdings nicht wesentlich: Ein Betriebssystem verwaltet die Hardwareressourcen und verteilt die Rechenzeit zwischen verschiedenen Aufgaben. Anwendungsprogramme werden mithilfe spezieller Bibliotheken, Frameworks und Programmiersprachen entwickelt. Hauptentwurfskriterium bei Desktop-Systemen oder Mobiltelefonen ist es allerdings, Aufgaben möglichst schnell zu erledigen (Durchsatz). Ein industrielles System hingegen muss mit möglichst hoher zeitlicher Genauigkeit arbeiten (Determinismus).

Linux-Systeme aus der Durchsatz-Kategorie werden im Projekt mit Erweiterungen versehen, die hohen Determinismus ermöglichen, aber weiterhin auf Standard-Hardware wie beispielsweise dem bekannten Kleincomputer Raspberry Pi laufen. Werden die Systeme noch mit Schnittstellen nach außen erweitert, stehen sie industriellen Steuerungen in nichts nach – außer im Preis und der Flexibilität (Abbildung 1 zeigt entsprechende Prototypen von Steuerungssystemen). Die

hohe Flexibilität entsteht, indem allgemeine Linux-Software neben den steuerungsrelevanten Aufgaben ausgeführt wird, beispielsweise Codes in modernen, dynamischen Programmiersprachen wie Python, Lua und JavaScript, die über im Projekt entworfene Kopplungsmechanismen mit den Steuerungsprogrammen zusammenarbeiten, ohne deren Determinismus zu verringern. Studierende sind mit diesen Sprachen bestens vertraut und müssen dadurch nicht mehr an industriespezifische Spezialsprachen herangeführt werden. Und: Viele Techniken der IT, die von Konzernen wie Google für die Webentwicklung konzipiert wurden, werden damit automatisch der industriellen Welt zugänglich.

Apps für Smartphones entwickelt man beispielsweise nicht direkt am Zielgerät, sie werden in Simulatoren konzipiert. Im Projekt werden diese Simulatoren verwendet, um nicht nur einzelne Steuerungsgeräte, sondern ganze Fabriken zu simulieren. Durch Anpassung entsprechender Techniken ist es gelungen, bis zu 50 unserer neuartigen Industriesysteme auf handelsüblichen Laptops präzise nachzubilden. Server werden damit komplette Produktionsanlagen vorab testen und

Foto: Autoren



Abb. 1: Cyber-Physikalische Steuerung auf Basis handelsüblicher Kleincomputer

optimieren können, bevor diese in der Realität aufgebaut werden. Aber auch klassische numerische Simulationstechniken kommen im Projekt zum Einsatz: Abbildung 2 zeigt Resultate, mit deren Hilfe die Struktur der Softwarearchitektur optimiert wurde, um zu Produktionsnetzwerken mit gewünschten Robustheitseigenschaften zu gelangen.

Ebenso wird der Trend zu heterogenen Systemarchitekturen genutzt, die neben dem Prozessor noch weitere Recheneinheiten wie FPGAs (programmierbare Schaltungen) oder Grafikkarten mit hoher Rechenleistung in Systeme integrieren werden: Es wurden und werden Softwarearchitekturen entworfen, die diese Recheneinheiten nicht nur in der klassischen Durchsatzrolle (beispielsweise zur immer besseren grafischen Darstellung in 3D-Egoshootern) nutzen, sondern zur Leistungssteigerung industrieller deterministischer Systeme beitragen – z. B. durch schnelle, aber zugleich zeitgenaue Signalverarbeitung.

Der Umbau von Betriebssystemen auf industrielle Eigenschaften erfordert substantielle und tiefgreifende Modifikationen. Gleichzeitig ist ein Betriebssystem aber keine differenzierende wirtschaftliche Eigenschaft einer Steuerungs- oder Automatisierungslösung: Kein Betrieb kauft eine Steuerung, weil sie ein Betriebssystem hat. Daher müssen die umfangreichen Geld- und Personenaufwände, die für industrielle Software-Infrastrukturen notwendig sind, minimiert werden. Wie? Mit Open Source-Software! Im IT-Bereich ist es seit Langem etablierte Praxis, dass traditionelle Konkurrenten in großem

Umfang bei Infrastruktur-Aufgaben kollaborieren, aber dennoch differenzierende Produkte in höheren Schichten anbieten. Dieses Modell wird im Projekt in die industrielle Welt übertragen, um Erfahrungen zur technischen Umsetzbarkeit zu sammeln. Schließlich sind viele industriell notwendige Änderungen nicht für IT-Zwecke interessant und müssen so gepflegt werden, dass sie mit minimalem Aufwand in zukünftige Versionen der Basiskomponenten eingebaut werden können.

Um die entwickelten Konzepte zu demonstrieren, wurde eine intelligente Produktionsstrecke aufgebaut, in der Roboter und Förderbänder sich und ihre Fähigkeiten automatisch erkennen und mit minimaler zentraler Koordination zusammenarbeiten. Werkstücke besitzen ebenfalls aktiven Charakter und stellen ihre Produktionsschritte an die Anlagen bereit. Dies ist wichtig, wenn ein Hersteller keine Prozessdetails an Auftragsfertiger verraten, aber dennoch extern produzieren möchte. Durch gezielte Anpassung offener Systeme kommt die Anlage mit weniger als 5 DIN A4-Seiten Programmcode aus – und auch die Hardwarekosten bewegen sich in Regionen, die in einer klassischen Industrieanlage eher zur schnellen Ersatzteilbeschaffung als für zentrale Funktionen anfallen.

Grafik: Autoren

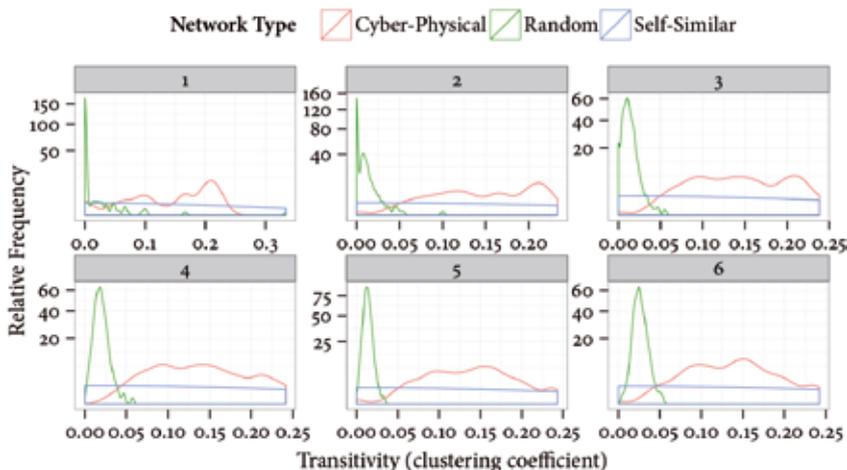


Abb. 2: Resultate numerischer Simulationen zu Eigenschaften von Automatisierungnetzwerken

Projektleitung

Prof. Dr. Wolfgang Mauerer
Telefon +49 941 943-9753
wolfgang.mauerer@oth-regensburg.de

Projektmitarbeiter

Markus Dollinger, B. Sc.,
Sven Dembianny, B. Eng.,
Andreas Kölbl, Franz Welker,
Matthias Meier, Valentina Afanasev

Geldgeber

Internationaler Großkonzern

Kooperationspartner

- OTH Regensburg
- Internationaler Großkonzern
- weitere nicht-öffentliche akademische Partner

Projektlaufzeit

12 Monate

Fördersumme

100.000 €

EXPERIMENTELLE ERMITTLUNG VON MATERIALKENNWERTE UND NUMERISCHE UNTERSUCHUNGEN AN EINEM GEFÜLLTEN ELASTOMER

Philipp Thumann, OTH Regensburg, Labor FEM und Labor Maschinendynamik und Strukturanalyse
Krzysztof Swidergal, OTH Regensburg, Labor FEM und Labor Maschinendynamik und Strukturanalyse
Marcus Wagner, OTH Regensburg, Labor FEM und Labor Maschinendynamik und Strukturanalyse

49

Im Rahmen dieses Projekts werden die Durchführung und die Versuchsergebnisse einachsiger Druck- und Zugversuche vorgestellt. Diese Materialversuche wurden an einer laboreigenen Hydropulsanlage sowie auf einer Zugprüfmaschine des Labors für Werkstoffprüfung und Metallographie durchgeführt. Durch Implementierung der Materialkennwerten in das FEM-Programm LS-DYNA¹ und eine folgende Berechnung eines Zugversuchs werden Werkstoffdaten aus den Versuchen und Simulationsergebnisse gegenübergestellt.

In Werkzeugen für die Herstellung von Blechbauteilen werden große Massen bewegt. Um Schwingungen durch stoßartige Anregungen zu vermindern, werden rußgefüllte Elastomerdämpfer eingesetzt. Das Materialverhalten dieser Dämpfer zeigt sehr komplexe Eigenschaften, die von unterschiedlichen Parametern abhängen. Für die numerische Untersuchung der Dämpfer sind experimentelle Daten notwendig, die den Werkstoff ausreichend beschreiben. Da die Werkstoffhersteller in der Regel keine Materialdaten zur Verfügung stellen, müssen diese durch Druck- und Zugversuche ermittelt werden. Diese Versuche sowie eine numerische Validierung werden hier beschrieben.

WERKSTOFFVERHALTEN VON ELASTOMEREN

Elastomere weisen ein sehr komplexes Werkstoffverhalten auf, das in folgende Untergruppen aufgeteilt werden kann:

- Hyperelastizität: nichtlineares elastisches Verhalten²
- Viskoelastizität: zeitabhängiges Materialverhalten^{2, 3}
- Mullins-Effekt: Entfestigungsmechanismus bei zyklischer Belastung von gefüllten Elastomeren³

WERKSTOFFVERSUCHE ALLGEMEIN

Die zu verwendende Software LS-DYNA bietet eine Vielzahl an Materialmodellen an. In diesem Projekt wird das Modell mit der Bezeichnung *MAT_SIMPLIFIED_RUBBER_WITH_DAMAGE verwendet. Dieses verlangt die Angabe von Spannungs-Dehnungs-Beziehungen.⁴ Die Werte müssen durch Druck- und Zugversuche ermittelt werden. Die allgemeine Vorgehensweise zur Ermittlung der Werkstoffkennwerten kann wie folgt beschrieben werden:

- Einspannen einer Probe in einer Prüfmaschine
- die Probe mit definiertem Zyklus mechanisch belasten
- rechnergestützte Speicherung der aufgetragenen Kraft in Abhängigkeit der Verformung
- die ermittelte Kraft-Weg-Beziehung umrechnen in eine Spannungs-Dehnungs-Beziehung

Die Berechnung der Dehnung erfolgt mit der Ingenieurdehnung

$$\varepsilon = (H_0 - H(t)) / H_0 = (\Delta H(t)) / H_0$$

die sich auf die Ausgangsmaße der Proben bezieht. Das Maß $\Delta H(t)$ beschreibt den Verfahrenweg der Prüfmaschine. Die

Bezugshöhe H_0 steht für das Ausgangsmaß der entsprechenden Probe. Beim Druckversuch wird die Probe vor dem Einlegen in die Hydropulsanlage gemessen. Im Fall der Zugprobe entspricht die Bezugshöhe H_0 dem Abstand der Spannbacken, zwischen denen die Probe fixiert ist. Mit der Formel

$$\sigma = (F(t)) / A_0$$

wird die zur Dehnung arbeitskonjugierte Ingenieurspannung berechnet. Die Kraft $F(t)$ wird von der Prüfmaschine gemessen und gespeichert. Die Bezugsfläche A_0 beschreibt die Querschnittsfläche zu Beginn in Belastungsrichtung und ergibt sich aus der Geometrie der entsprechenden Probe.

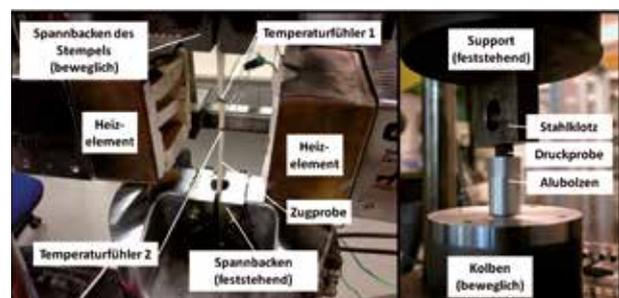


Abb. 1: Prüfstände. Links: Zug-Druckprüfmaschine für Zugversuche. Rechts: Laboreigene Hydropulsanlage für Druckversuche

Foto/Grafik: Autoren

ZUGVERSUCHE

Neben Werkstoffkennwerten bei Zugbeanspruchung wird der Einfluss der Temperatur auf das Materialverhalten untersucht. Die Versuche werden in einer Zug-Druck-Prüfmaschine im Labor für Werkstoffprüfung und Metallographie durchgeführt, siehe Abbildung 1 links. Durch Heizelemente ist es möglich, beliebige Temperaturen im Bereich der Zugprobe einzustellen. Die Temperierung wird mit zwei unabhängigen Temperaturfühlern, die direkt an der Oberfläche des Prüfkörpers angebracht sind, geregelt. Als Prüfkörper dienen Normzugstäbe, die vom Dämpfer-Hersteller zur Verfügung gestellt wurden. Die Anfangslänge zur Berechnung der Dehnung beträgt $l_0 = H_0 \approx 113$ mm. Die Querschnittsfläche zur Berechnung der Spannung ergibt sich aus der Breite $B_0 = 10$ mm und der Tiefe $T_0 = 4$ mm. Das Material von Probe und Dämpferelement ist identisch.

DRUCKVERSUCHE

Mit den Druckversuchen werden Werkstoffkennwerte bei kompressiver Belastung ermittelt. Die Zugversuche liefern Erkenntnisse über das Verhalten des Dämpferwerkstoffs bei unterschiedlichen Temperaturen. Es kann jedoch mit der Zug-Prüfmaschine keine ausreichende Aussage bezüglich der Abhängigkeit der Belastungsgeschwindigkeit getroffen werden, da an dieser Anlage die notwendigen Dehnraten nicht erreicht werden können. Daher wird anhand von Druckversuchen das Verhalten des Dämpfer-Materials bei unterschiedlichen Belastungsgeschwindigkeiten in der laboreigenen Hydropulsanlage untersucht, siehe Abbildung 1 rechts. Als Prüfkörper dienen zylindrische Proben.

WERKSTOFFKENNDATEN FÜR DIE SIMULATION

In LS-DYNA müssen für die Beschreibung von Elastomeren eine Be- und eine Entlastungskurve im Bereich von Zug- und Druckbeanspruchung eingelesen werden. Für unterschiedliche Temperaturen müssen auch unterschiedliche Werkstoffkenndaten verwendet werden. Es ist anzumerken, dass sich bei Temperaturänderung nur geringe Eigenschaftsänderungen bemerkbar machen, siehe Abbildung 2 oben. Um das Werkstoffverhalten bei unterschiedlichen Belastungsgeschwindigkeiten zu berücksichtigen, erlaubt es das Materialmodell *MAT_SIMPLIFIED_RUBBER_WITH_DAMAGE, mehrere Spannungs-Dehnungs-Kurven für unterschiedliche Geschwindigkeiten anzugeben.

Zur Implementierung der Werkstoffdaten müssen bestimmte Bereiche noch korrigiert werden. So muss beim Umkehrpunkt der Belastungsbewegung die sich ändernde Belastungsgeschwindigkeit berücksichtigt werden. Auch zu Beginn der Belastung wird der wahre Verlauf der Spannungs-Dehnungs-Beziehungen durch die imperfekte Probenform und anlagenspezifische Einflüsse verfälscht. Zur Datenreduktion werden die Kennlinien durch Polynome höherer Ordnung approximiert. Zuletzt werden dann noch die Kurven der Zug- und Druckversuche zu jeweils einem Datensatz für die Be- und die Entlastungskurven zusammengefügt. Abbildung 2 oben zeigt beispielhaft einen Datensatz.

SIMULATION EINES ZUGVERSUCHS MIT LS-DYNA ZUR VALIDIERUNG

Zur Validierung des Materialmodells wird eine Zugprobe nach den realen Geometriedaten modelliert. Als Randbedingungen werden die Knotenpunkte der Probe an der einen Seite fixiert und an der anderen Seite mit einer definierten

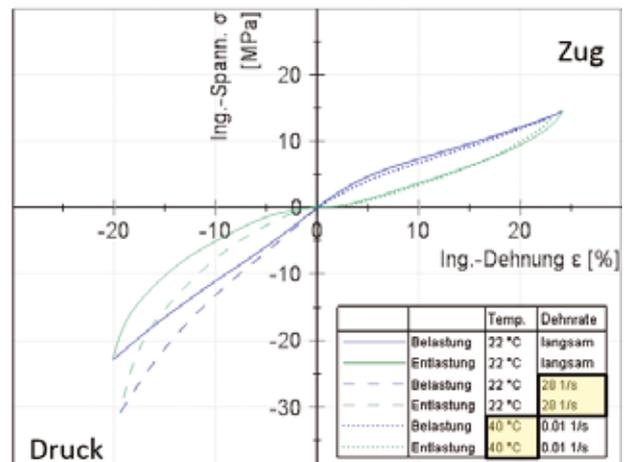


Abb. 2: Aufbereitete Datensätze aus den Zug- und Druckversuchen in Abhängigkeit der Temperatur und der Belastungsgeschwindigkeit (Dehnrates).

Grafik: Autoren

Bewegung beaufschlagt. Die simulativ ermittelten Spannungs-Dehnungs-Werte sind in Abbildung 2 den Messwerten gegenübergestellt. Es ergeben sich nur sehr geringe Differenzen. Demnach ist es möglich, die ermittelten Werkstoffkenndaten für die Berücksichtigung der Dämpferelemente in Simulationen von Tiefziehwerkzeugen zu verwenden.

Literatur

- 1 LSTC Inc.: LS-DYNA (A General-Purpose Finite Element Program), <http://lstc.com>
- 2 Stommel, M., Korte, W. und Stojek, M. 2011. FEM zur Berechnung von Kunststoff- und Elastomerbauteilen. Erste Auflage. München, Carl Hanser Verlag, (2011). ISBN: 3446429093.
- 3 Grambow, A., 2003. Bestimmung der Materialparameter gefüllter Elastomere in Abhängigkeit von Zeit, Temperatur und Beanspruchungszustand. Aachen: s.n., veröffentlichte Dissertation, Technische Hochschule Aachen (2003).
- 4 LSTC Inc.: LS-DYNA KEYWORD USER'S MANUAL, VOLUME II, Material Models. Livermore, California: s.n. (2014).

Projektleitung

Prof. Dr.-Ing. Marcus Wagner
Labor Finite-Elemente, Labor Maschinendynamik
marcus.wagner@oth-regensburg.de

Projektmitarbeiter

Philipp Thumann, B. Eng., Krzysztof Swidergal, M. Sc.

Kooperationspartner

- Labor Werkstoffprüfung und Metallographie, OTH Regensburg, Prof. Dr.-Ing. Joachim Hammer
- Universität der Bundeswehr München, Univ.-Prof. Dr.-Ing. habil. Steffen Marburg
- BMW Group

Projektlaufzeit

6 Monate

DER EINFLUSS SOZIALER NETZWERKE AUF DEN WISSENSTRANSFER AM BEISPIEL DER REPRODUKTIONSMEDIZIN (NEWIRE)

Sonja Haug, OTH Regensburg
 Karsten Weber, OTH Regensburg
 Matthias Vernim, OTH Regensburg

51

Der Förderbereich „Wissenstransfer“ im Rahmen des BMBF-Schwerpunkts „ethische, rechtliche und soziale Aspekte der Lebenswissenschaften“ zielt auf die Fragen ab, wie neue biomedizinische Erkenntnisse und Technologien genutzt werden können und welche Chancen und Risiken sich dabei für die Gesellschaft ergeben. Das Projekt verknüpft demographische, sozial-, medien- und technikwissenschaftliche sowie gesundheitliche und medizinische Aspekte und zielt auf folgende Fragestellungen: Welche Methoden der Reproduktionsmedizin sind in der Bevölkerung bekannt? Wie informieren sich Frauen, die auf reproduktionsmedizinische Unterstützung zurückgreifen wollen? Welchen Einfluss haben Internet und soziale Netzwerke auf die Verbreitung von Wissen über reproduktionsmedizinische Verfahren? Welchen Einfluss haben soziale oder religiöse Fragen auf die Akzeptanz von Verfahren? Inwieweit haben Frauen mit Migrationshintergrund einen gleichwertigen Zugang zu Informationen und medizinischer Behandlung?

Ausgangslage des Projekts ist der demographische Wandel, der sich unter anderem in einer sinkenden Geburtenzahl (2013 betrug die zusammengefasste Geburtenziffer 1,4 Kinder pro Frau) und einem steigenden Anteil von Frauen mit Migrationshintergrund (19 Prozent aller Frauen in Deutschland) zeigt. Mit einem immer höheren Erstgeburtsalter (Mütter sind bei der Geburt des ersten Kindes durchschnittlich 29 Jahre alt) ist auch ein Anstieg der ungewollten Kinderlosigkeit verbunden. Dementsprechend wächst die Nachfrage nach Reproduktionsmedizin. 2013 wurden 51.242 Frauen in einem der Mitgliedszentren des Deutschen In-Vitro-Fertilisations-Registers behandelt. Im Mittelpunkt des Projekts steht die Frage, wie Frauen (insbesondere Frauen mit Migrationshintergrund) Zugang zu Informationen über reproduktionsmedizinische Verfahren gewinnen und Behandlungen in Anspruch nehmen.

Hierbei werden folgende Hypothesen untersucht:

1. Bei Personen mit Migrationshintergrund lassen sich Barrieren im Zugang zu reproduktionsmedizinischen Verfahren feststellen.
2. Je nach Migrantengruppe spielen hier unterschiedliche sprachliche, bildungsbezogene oder ethno-religiöse Aspekte eine Rolle.
3. Diese Aspekte wirken sich bereits bei der Informationsgewinnung aus. Gerade bei der Nutzung digitaler Medien könnte es unterschiedliche Zugangschancen geben (Stichwort „digital divide“).
4. Frauen mit Migrationshintergrund nutzen persönliche Netzwerke oder auch soziale Netzwerke im Internet häufiger als Publikationen oder ärztliche Auskünfte zur Informationsgewinnung.
5. Zudem liegen unterschiedliche Einstellungen zur Inanspruchnahme von reproduktionsmedizinischen Behandlungen vor.
6. In medizinischen Behandlungszentren ist die Zielgruppe der Frauen mit Migrationshintergrund bisher nicht ihrem Bevölkerungsanteil entsprechend repräsentiert.

Die empirischen Analysen stützen sich auf unterschiedliche Quellen und Daten:

1. Auswertung von Literaturquellen und Internetinhalten zum Thema Reproduktionsmedizin

Eine Auswertung der Einträge von Suchmaschinen und der wichtigsten Internet-Informationsseiten in deutscher Sprache wie auch der häufigsten Sprachen von Migrantinnen und Migranten soll Aufschluss über die Verfügbarkeit und Art von Informationen geben. Eine weitere Aktivität besteht in der Inhaltsanalyse von Einträgen im Kinderwunsch-Forum der Seite www.wunschkind.net. Das Themenspektrum ist hier sehr vielschichtig und erste Analysen deuten an, dass peer-to-peer-Auskünfte über Onlinemedien beim Themenbereich Reproduktionsmedizin eine wichtige Informationsquelle sind.

2. Telefonbefragung von Frauen zum Thema „Familie, Kinder und Gesundheit“

Die Telefonbefragung wurde von Oktober 2014 bis Januar 2015 durchgeführt. Es wurden insgesamt 1.000 Frauen befragt, wobei diese über ein Namensverfahren nach dem Migrationshintergrund der häufigsten Herkunftsregionen in Deutschland ausgewählt wurden (Türkei, Polen, russischsprachiger Raum, Nachfolgestaaten des ehemaligen Jugoslawien). Ein Themenschwerpunkt liegt auf der Untersuchung der Kanäle, über die sich Frauen über Gesundheitsthemen informieren (z. B. Informationsbroschüren, Zeitungen, Fernsehen, soziale Medien im Internet, persönliche Beziehungen). Ein zweiter Themenschwerpunkt ist das Wissen über reproduktionsmedizinische Verfahren sowie deren Akzeptanz.

3. Befragung von Expertinnen und Experten zum Thema Reproduktionsmedizin

Neben qualitativen Interviews mit u. a. Hebammen und Beraterinnen konzentriert sich eine internetgestützte Befragung auf medizinische Fachkräfte in deutschen reproduktionsmedizinischen Zentren. Die Online-Befragung richtet sich an alle 129 Zentren, die im Deutschen IVF-Register enthalten sind. Der Fragenkatalog umfasst einerseits die von den Zen-



Foto: Juan Gärtner/Fotolia

Abb. 1: In-Vitro-Fertilisation

tren für den Wissenstransfer genutzten Informationskanäle und Netzwerke und andererseits die Zusammensetzung der Behandelten bezüglich des Migrationshintergrunds sowie die migrationssensible Ausrichtung der Einrichtungen.

4. Befragung von Frauen in reproduktionsmedizinischer Behandlung

Es werden einzelne leitfadengestützte Interviews mit Frauen geführt, die eine Behandlung in Anspruch genommen haben. Die Fragen konzentrieren sich dabei vor allem auf die eigene Behandlungssituation sowie die persönlich genutzten Informationskanäle.

Am Ende der Projektlaufzeit soll eine Broschüre als Ratgeber für Multiplikatoren und Behandlungszentren zur zielgruppen-gerechten Informationsaufbereitung und Verbreitung erstellt werden. Die Empfehlungen sollen somit ein Baustein zu einer kultur- und migrationssensiblen Medizin sein.

Literatur

Haug, S.: Familie, soziales Kapital und soziale Integration. Zur Erklärung ethnischer Unterschiede in Partnerwahl und generativem Verhalten bei jungen Erwachsenen deutscher, italienischer und türkischer Abstammung. Zeitschrift für Bevölkerungswissenschaft 27 (4), 393–425 (2002).

Haug, S., Müssig, S., Stichs, A.: Muslimisches Leben in Deutschland. Forschungsbericht Nr. 6. Bundesamt für Migration und Flüchtlinge (2009).

Haug, S., Vernim, M.: Kinderwunsch, Kinderwunschbehandlung und Fertilität bei Frauen mit Migrationshintergrund, Jahrestagung der Deutschen Gesellschaft für Demographie, Berlin (2015).

Weber, K. (2011): Search Engine Bias. In: Lewandowski, D. (ed.): Handbuch Internet-Suchmaschinen, Band II., Heidelberg, Akademische Verlagsanstalt AKA (2011).

Projektleitung

Prof. Dr. Sonja Haug, OTH Regensburg, Institut für Sozialforschung und Technikfolgenabschätzung (IST)
sonja.haug@oth-regensburg.de

Prof. Dr. Karsten Weber, OTH Regensburg, Institut für Sozialforschung und Technikfolgenabschätzung (IST)
karsten.weber@oth-regensburg.de

Projektmitarbeiter

Matthias Vernim, M. A.
matthias.vernim@oth-regensburg.de

Geldgeber

Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF)

Kooperationspartner

Prof. Dr. Rainer Schnell, Universität Duisburg-Essen, infas Institut für angewandte Sozialwissenschaft GmbH

Projektlaufzeit

36 Monate

Fördersumme

303.313 €

Weitere Informationen

- www.oth-regensburg.de/ist
- Journal für Reproduktionsmedizin und Endokrinologie, 11. Jahrgang, Sonderheft 1, 2014. Deutsches IVF-Register, Jahrbuch 2013, www.deutsches-ivf-register.de
- Statistisches Bundesamt: Pressemitteilung Nr. 434 vom 08.12.2014, www.destatis.de

EVALUATIONSSTUDIE ZUR VERBESSERUNG DER KOORDINIERUNG VON INTEGRATIONSKURSEN

Sonja Haug, OTH Regensburg
Barbara Seidenstücker, OTH Regensburg
Christian Arsan, Universität Regensburg

53

In dieser wissenschaftlichen Begleitung und Evaluationsstudie wurden „Koordinations- und Unterstützungsstellen zur Sicherung des Integrationskursangebotes sowie zur Verbesserung des Kurszugangs von Teilnahmeberechtigten“ im Auftrag des Bundesamtes für Migration und Flüchtlinge untersucht. Die Ergebnisse dienen der Weiterentwicklung und Verbesserung des bundesweiten Angebots an Integrationskursen. Zur Erprobung wurden an drei Standorten Koordinierungsstellen eingerichtet, die durch das Team der OTH Regensburg mithilfe von Befragungen evaluiert wurden.

An der Fakultät Angewandte Sozialwissenschaften führten Prof. Dr. Sonja Haug und Prof. Dr. Barbara Seidenstücker unter Mitarbeit von Christian Arsan, Julia Reinhardt und den studentischen Hilfskräften Johannes Ziegler sowie Markus Weymann vom 1. November 2012 bis 30. April 2014 die wissenschaftliche Begleitung und Evaluationsstudie zum Thema „Einsatz von Koordinations- und Unterstützungsstellen zur Sicherung des Integrationskursangebotes sowie zur Verbesserung des Kurszugangs von Teilnahmeberechtigten“ im Auftrag des Bundesamtes für Migration und Flüchtlinge durch.

Integrationskurse sind Maßnahmen zum Erwerb der deutschen Sprache und zur Einführung in die Rechtsordnung, Kultur und Geschichte in Deutschland, welche 2005 im Rahmen des Zuwanderungsgesetzes eingeführt wurden. Personen können zur Teilnahme berechtigt sein (§ 44 Aufenthaltsgesetz), sie können aber auch zur Teilnahme an einem Integrationskurs verpflichtet werden. Jeder Integrationskurs besteht aus einem Sprachkurs und einem Orientierungskurs und umfasst in allgemeinen Kursen 660 Stunden, kann aber in Kursen für besondere Zielgruppen auch bis zu 960 Stunden dauern. 2005 bis 2012 haben 879.880 Personen mit einem Integrationskurs begonnen. Im Jahr 2013 wurden 117.354 neue Kursteilnehmer/-innen registriert, im ersten Halbjahr 2014 bereits 71.997.

Da der Erwerb der deutschen Sprache ein bedeutsamer Schlüssel zur Integration ist, ist es das Ziel, möglichst zahlreiche, qualitativ hochwertige, gut erreichbare und passgenaue Kursangebote zur Verfügung zu stellen und damit die Teilnahmebereitschaft zu fördern, vor allem aber die individuellen Lernerfolge der Migranten/-innen zu erhöhen.

Im Rahmen des „Nationalen Aktionsplans Integration“ wurde als ein zentrales Ziel festgelegt, dass bundesweit (weiterhin) ein flächendeckendes und bedarfsorientiertes Integrationskursangebot vorgehalten und dieses – was die Qualität der Kurse wie auch die Zugangsmöglichkeiten für Migranten angeht – weiterentwickelt werden muss. Auf regionaler Ebene soll insbesondere die Kooperation der einzelnen Kursträger untereinander verbessert werden. Dies soll modellhaft mittels drei unterschiedlicher Koordinations- und Unterstützungsstellen erprobt werden. Diesbezüglich wurden vom Bundesamt für Migration und Flüchtlinge Modellstandorte ausgewählt, die sich in ihren Voraussetzungen deutlich voneinander unterscheiden:

- Die Standorte sollten über Deutschland verteilt sein, mit städtischen und ländlich strukturierten Gebieten.
- Es sollten sowohl Integrationskursträger, die während des Projekts auch Integrationskurse anbieten, als auch neutrale Stellen, die keinen Integrationskurs anbieten, beteiligt werden.

Bei den ausgewählten Standorten handelt es sich um die Stadt Pforzheim, Stadt und Landkreis Rostock mit Kreis Vorpommern-Rügen sowie Stadt und Landkreis Osnabrück.

Grafik: Autoren

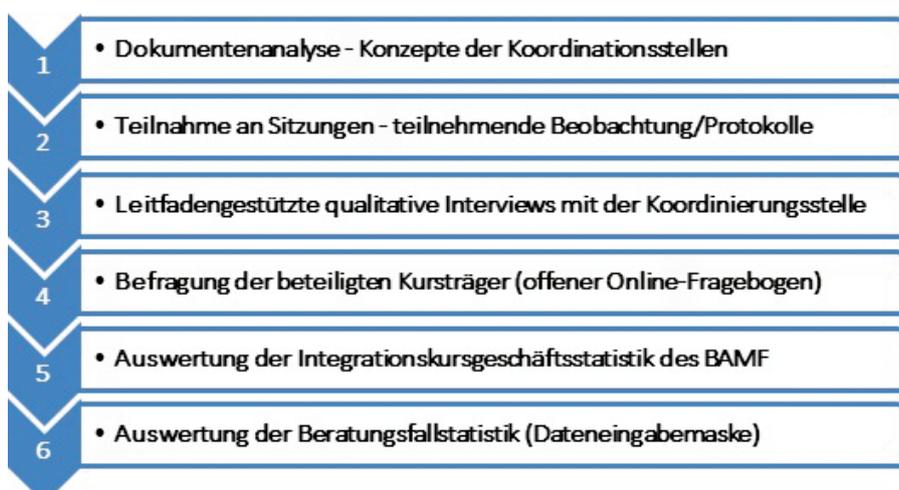


Abb. 1: Empirische Grundlagen der Evaluation

Ziel ist dabei, dass die Modellprojekte in folgenden Punkten zur Weiterentwicklung beitragen:

- Durchführung passgenauer Integrationskurse für alle Teilnehmergruppen,
- Verkürzung der Wartezeiten bis zum Beginn des Integrationskurses,
- Erhöhung der Transparenz über das vorhandene lokale/regionale Integrationskursangebot (Kursorte, Kursplätze, Kurstyp, Kursrhythmus),
- Verringerung der Planungsrisiken für Kursträger,
- Qualitätsentwicklung und Qualitätssicherung der Integrationskurse.

Mittels der Evaluation soll festgestellt werden, ob die Zielsetzungen der Modellprojekte erreicht wurden. Die Begleitstudie dient dazu, die Umsetzbarkeit zu prüfen, auf dieser Basis geeignete Lösungsansätze zu finden und Handlungsempfehlungen für die Weiterentwicklung und Umsetzung an anderen Orten zu geben.

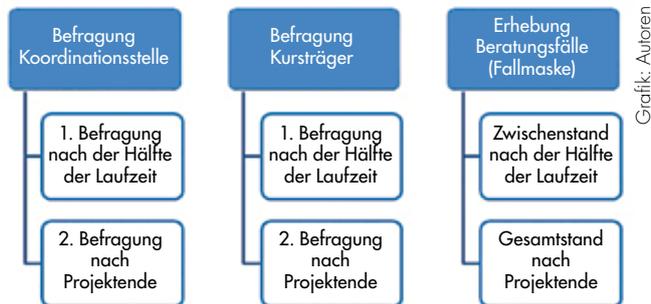


Abb. 2: Forschungsdesign der Evaluation

Literatur

Haug, S., Seebaß, K., Koca, Ö.: Integrationslotsen – Die neuen Brückenbauer? Neue und bessere Wege der Integration. In: Sozialmagazin. Die Zeitschrift für Soziale Arbeit, 36, 5: 10–21 (2011).

Haug, S., Seidenstücker, B., Arsan, C., unter Mitarbeit von Reinhardt, J., Ziegler, J., Weymann, M.: Abschlussbericht. Evaluation zum Thema: „Einsatz von Koordinations- und Unterstützungsstellen zur Sicherung des Integrationskursangebotes sowie zur Verbesserung des Kurszugangs von Teilnahmeberechtigten“, OTH Regensburg, unveröffentlichtes Manuskript (2014).

Haug, S., Zerger, F.: Integrationskurse – Erste Erfahrungen und Erkenntnisse einer Teilnehmerbefragung. Nürnberg, Bundesamt für Migration und Flüchtlinge, Working Paper Nr. 5 (2006).

Ramboll Management: Evaluation der Integrationskurse nach dem Zuwanderungsgesetz. Abschlussbericht und Gutachten über Verbesserungspotenziale bei der Umsetzung der Integrationskurse. Berlin, Bundesministerium des Innern (2006).

Schuller, K., Lochner, S., Rother, N.: Das Integrationspanel. Ergebnisse einer Längsschnittstudie zur Wirksamkeit und Nachhaltigkeit von Integrationskursen. Nürnberg: Bundesamt für Migration und Flüchtlinge, Forschungsbericht Nr. 11 (2011).

Um den verschiedenen Dimensionen der Qualität fachlichen Handelns gerecht werden zu können, wurde forschungsmethodisch eine Verknüpfung unterschiedlicher qualitativer und quantitativer Evaluationsmethoden gewählt. Das hier gewählte Evaluationsdesign setzt sich aus mehreren methodischen Schritten zusammen (siehe Abbildung 1 und 2).

Ergebnis der Studie sind acht Empfehlungen zur Struktur, Aufgaben und Finanzierung von Koordinierungsstellen sowie, unabhängig von einer Koordinierungsstelle, Empfehlungen zur Verbesserung des Kursangebots im ländlichen Raum. Derzeit wird die Umsetzung der Ergebnisse im Bundesamt für Migration und Flüchtlinge geprüft.

Projektleitung

Prof. Dr. Sonja Haug, OTH Regensburg
sonja.haug@oth-regensburg.de

Prof. Dr. Barbara Seidenstücker, OTH Regensburg
barbara.seidenstuecker@oth-regensburg.de

Projektmitarbeiter

Christian Arsan, M. A.
Julia Reinhardt, B. A.

Geldgeber

Bundesamt für Migration und Flüchtlinge, Nürnberg

Projektlaufzeit

18 Monate

Fördersumme

41.000 €

Weitere Informationen:

- www.oth-regensburg.de/ist
Institut für Sozialforschung und Technikfolgenabschätzung (IST)
- www.bamf.de/DE/Willkommen/DeutschLernen/Integrationskurse/integrationskursenode.html
Angebot an Integrationskursen des Bundesamtes für Migration und Flüchtlinge
- www.bamf.de/SharedDocs/Anlagen/DE/Downloads/Infothek/Integrationskurse/Kurstraeger/Statistiken/2014-halbjahr-1-integrationskursgeschaeftsstatistik-bund.pdf
Bundesamt für Migration und Flüchtlinge: Bericht zur Integrationskursgeschäftsstatistik für das erste Halbjahr 2014. Referat 124/Referat 320.

KINDESWOHL ZWISCHEN JUGENDHILFE UND JUSTIZ

Barbara Seidenstücker, OTH Regensburg
 Reinhold Schone, FH Münster
 Johannes Münder, Technische Universität Berlin

55

In diesem sozialwissenschaftlichen Forschungsprojekt, welches die OTH Regensburg in Kooperation mit der TU Berlin und der FH Münster durchführt, wird im Auftrag des Bundesministeriums für Familie, Senioren, Frauen und Jugend das Zusammenwirken von Jugendämtern und Familiengerichten bei Gefährdungen von Kindern und Jugendlichen untersucht. Nach zahlreichen Gesetzesänderungen im Bereich des Kinderschutzes der letzten 15 Jahre soll eruiert werden, inwiefern die veränderten gesetzlichen Voraussetzungen dazu beitragen, den Kinderschutz zwischen Jugendhilfe und Familiengerichten zu qualifizieren. Dazu werden im gesamten Bundesgebiet statistische Erhebungen und qualitative Interviews an Jugendämtern und Familiengerichten durchgeführt.

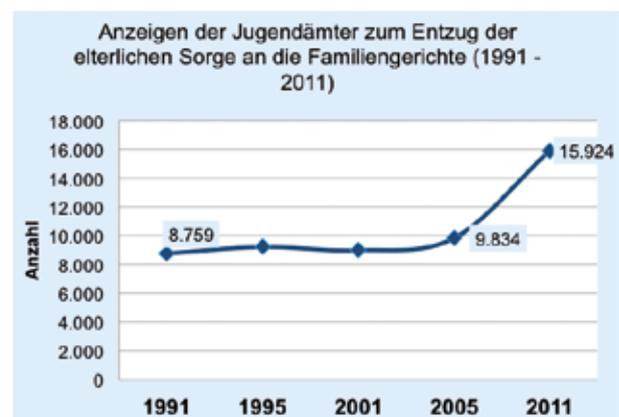
In den vergangenen Jahren informierten die deutschen Jugendämter jährlich in rund 16.000 Fällen Familiengerichte, weil sie wegen Gefährdungen von Kindern oder Jugendlichen eine sorgerechtliche Entscheidung benötigten, um zu verhindern, dass Kinder weiter Gefahrensituationen für ihre Entwicklung ausgesetzt sind. Im Regelfall bieten die Fachkräfte des Jugendamts den betroffenen Familien im Vorfeld einer Information des Gerichts eine Vielzahl von (erzieherischen) Hilfen an, die aber in diesen Fällen entweder von den betroffenen Eltern nicht angenommen wurden oder nicht ausreichten, um den Schutz der Minderjährigen sicherzustellen.

An der Ostbayerischen Technischen Hochschule Regensburg, Fakultät Angewandte Sozial- und Gesundheitswissenschaften, wird seit 1. November 2014 unter der Leitung von Prof. Dr. Barbara Seidenstücker in Kooperation mit der TU Berlin (Prof. Dr. Johannes Münder) und der FH Münster (Prof. Dr. Reinhold Schone) das Forschungsprojekt „Kindeswohl zwischen Jugendhilfe und Justiz“ durchgeführt. Das Projekt wird gefördert vom Bundesministerium für Familie, Senioren, Frauen und Jugend und soll im Zeitraum November 2014 bis Oktober 2016 einen Beitrag zur Evaluation des zum 1.1.2012 neu eingeführten Kinderschutzgesetzes leisten.

Der Fokus des Forschungsprojekts liegt auf den gerichtlichen Verfahren, die sich inhaltlich auf das Kindeswohl – und hier speziell auf die Abwehr von Gefährdungen – beziehen. Jugendhilfe und Justiz sind dabei gesetzlich zur Zusammenarbeit verpflichtet. Gemeinsam haben sie die anspruchsvolle Aufgabe, den unbestimmten Rechtsbegriff der „Kindeswohlgefährdung“ zu füllen, bei dem es darum geht, Aussagen über Schädigungen von Kindern und Jugendlichen zu treffen, die zukünftig drohen (können).

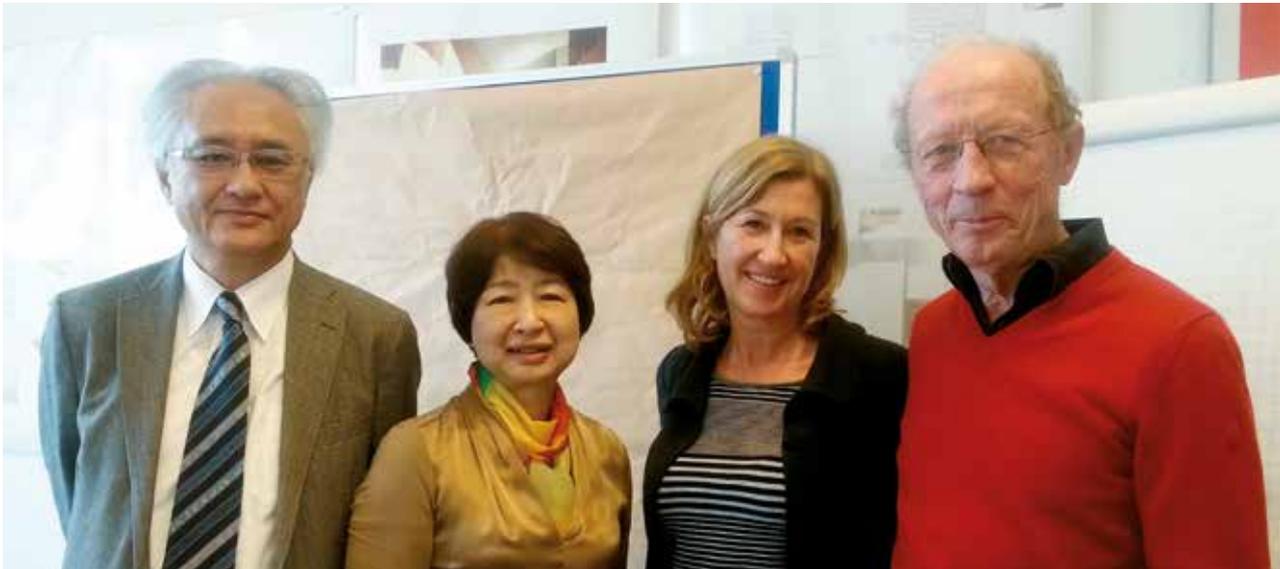
Das Forscherteam beschäftigt sich bereits seit vielen Jahren mit dieser Thematik und hat schon im Jahr 2000 Forschungsergebnisse zu diesem Themenfeld vorgelegt. In der Zwischenzeit gab es eine Vielzahl von Gesetzesänderungen (von der Einfügung des § 8 a ins SGB VIII über das FamFG bis hin zur Reform der Regelungen des § 1666 BGB und der Einführung des Kinderschutzgesetzes), welche unter anderem auch durch das oben benannte Forschungsprojekt angestoßen

wurden. Anzunehmen ist, dass sich dadurch auch Art, Inhalt und Intensität der Zusammenarbeit von Jugendämtern und Gerichten verändert haben. Von Interesse ist hier insbesondere, wie sich das jeweilige fachliche Handeln der Institutionen Jugendamt und Familiengericht unter diesen neuen gesetzlichen Voraussetzungen heute darstellt, wie deren Zusammenarbeit aussieht und durch welches Selbstverständnis auf beiden Seiten die Zusammenarbeit geprägt ist. Weiterhin soll eruiert werden, inwiefern die veränderten gesetzlichen Voraussetzungen zu einer Qualifizierung des Kinderschutzes beitragen.



Quelle: Statistisches Bundesamt (2014): Statistiken der Kinder- und Jugendhilfe. Pflegschaften, Vormundschaften, Beistandschaften, Pflegeerberlaubnis, Sorgerechtsentzug, Sorgeerklärungen, S. 14, eigene Darstellung

Dazu werden bundesweit ausgewählte Kommunen in Deutschland untersucht. Das Untersuchungsdesign lehnt sich bewusst und in gleicher personeller Besetzung der Forschungsgruppe eng an das Untersuchungsdesign der Untersuchung der Jahre 1996-1999 an. Hierdurch ergeben sich Möglichkeiten, Vergleiche zu ziehen und Veränderungen im Laufe des letzten Jahrzehnts fokussierter in den Blick zu nehmen. Dies bedeutet, dass zur Beantwortung der Fragestellungen quantitative und qualitative Untersuchungsmethoden zum Einsatz kommen. Durch die Methodentriangulation soll sichergestellt werden, dass valide und praxisrelevante Ergebnisse erzielt werden.



Projektpartner

Foto: Autoren

Konkret bedeutet dies, dass

1. zunächst im Rahmen sekundärstatistischer Analysen (insbesondere der Jugendhilfestatistik) dokumentierte Entwicklungslinien im Untersuchungsfeld in den Blick genommen werden,
2. in einem zweiten Schritt in ausgewählten Jugendämtern quantitative Erhebungen zur Praxis der Mitwirkung in Kindeswohlverfahren vor den Familiengerichten durchgeführt werden,
3. anschließend qualitative Interviews mit den beteiligten professionellen Akteuren in den Jugendämtern (ASD), den Familienrichtern/-innen in den Amtsgerichten und den Verfahrensbeiständen der Untersuchungsregionen folgen und
4. abschließend qualitative Interviews mit betroffenen Eltern, Kindern und/oder Jugendlichen/jungen Erwachsenen durchgeführt werden.

Auf großes Interesse stieß dieses Forschungsprojekt überdies an zwei renommierten Universitäten in Tokio, bei Prof. W. Iwashi (Waseda University Tokyo, Lehrstuhl für Recht) und Frau Prof. Dr. Y. Takahashi (Teikyo University Tokyo, Lehrstuhl für Recht), welche derzeit ebenfalls ein Forschungsprojekt in Anlehnung an das deutsche Projekt durchführen. Insofern erhoffen die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler durch den Vergleich der nationalen Forschungsergebnisse beider Industriestaaten weiterführende Erkenntnisse zum Kinderschutz.

Literatur

Karle, M., Gathmann, S., Klosinski, G.: Zur Praxis der Kindesanhörung in Deutschland. In: ZKJ (12/2010), S. 432–434.

Münder, J., Mutke, B., Schone, R.: Kindeswohl zwischen Jugendhilfe und Justiz – Professionelles Handeln in Kindeswohlverfahren. Münster (2000).

Schone, R.: Kindeswohlgefährdung – Was ist das? In: Schone, R., Tenhaken, W. (Hrsg.): Kinderschutz in Einrichtungen und Diensten der Jugendhilfe. Weinheim und Basel (2012), S. 13–52.

Simitis, S., Rosenkötter, L., Vogel, R., Boost-Muss, B., Frommann, M., Hopp, J., Koch, H., Zenz, G.: Kindeswohl. Eine interdisziplinäre Untersuchung über seine Verwirklichung in der vormundschaftsgerichtlichen Praxis. Frankfurt/M. (1979). Statistisches Bundesamt: Statistik der Kinder- und Jugendhilfe. Pflegschaften, Vormundschaften, Beistandschaften, Pflegeerlaubnis, Sorgerechtsentzug, Sorgereklärungen. 2011. Wiesbaden (2012), ZR1.

Projektleitung

Prof. Dr. Barbara Seidenstücker +49 941 943-1085
 Fakultät Angewandte Sozial- und Gesundheitswissenschaften
 barbara.seidenstuecker@oth-regensburg.de

Kooperationspartner

- Technische Universität Berlin (Prof. Dr. Johannes Münder)
- FH Münster (Prof. Dr. Reinhold Schone)

Projektlaufzeit

24 Monate (1.11.2014 bis 31.10.2016)

Geldgeber

Bundesministerium für Familie, Senioren, Frauen, Jugend und Sport

Fördersumme

- Gesamtfördersumme: 256.264 €
- anteilig OTH: 128.132 €

BESONDERE ZIELGRUPPEN INNERHALB DER GRUPPE ÄLTERER MENSCHEN IN DER STADT REGENSBURG

Irmgard Schroll-Decker, OTH Regensburg

57

Zu den Analyseaufgaben eines seniorenpolitischen Gesamtkonzepts einer Kommune (vgl. BSMASFF 2009) gehört es, besondere Zielgruppen innerhalb der Gruppe älterer Menschen zu identifizieren und deren Hilfe- und Betreuungsbedarf zu berücksichtigen. Zwei Erhebungen haben die Lebenssituation und Angebotslage für Menschen mit psychischen Erkrankungen, Suchterkrankungen und mit geistigen Behinderungen (Sam 2013) sowie für Menschen mit Migrationshintergrund (Lomp 2014) fokussiert und geben Einblick in die Versorgungslage.

ZIELSETZUNG DER STUDIEN

Die Studien verfolgten zunächst das Ziel, basierend auf bevölkerungsstatistischen Zahlen der Stadt Regensburg zu eruieren, wie und wo Einwohner und Einwohnerinnen der Stadt Regensburg, die 60 Jahre und älter sind und einer der oben genannten Zielgruppen angehören, in Erscheinung treten. War die Zielgruppe identifiziert, so ging es im Anschluss darum, ihre spezifischen Bedürfnisse zu erfassen und besondere Kennzeichen ihrer Lebenssituationen ausfindig zu machen. In einem dritten Schritt können daraus Hinweise für die Ausdifferenzierung bestehender Angebote oder auf Lücken in der Versorgung gezogen werden.

METHODISCHES VORGEHEN

Aufgrund des komplexen Sachverhalts erfolgte zu Beginn eine umfassende Recherche von Organisationen, Einrichtungen, Trägern, Initiativen und gesellschaftlichen Akteuren, die mit den identifizierten besonderen Zielgruppen zu tun haben, bevor eine Auswahl erster Ansprechpartner vorgenommen wurde. Alle priorisierten Organisationen wurden kontaktiert und interviewt. Verweise auf weitere professionelle Dienste oder zivilgesellschaftliche Akteure wurden während der Erhebungsphase aufgegriffen und in die explorative Studie integriert. Bei der Annäherung an die Zielgruppen war das Alter zwar eine Richtschnur, jedoch kein differenzierendes Kriterium, denn die besonderen Zielgruppenmerkmale sind entwicklungsabhängig. Entsprechend halten auch soziale Dienste oder Einrichtungen altersübergreifend Kontakte zum Klientel, unabhängig davon, ob eine „Altersgrenze“ über- oder unterschritten ist. Demgemäß wurden auch Institutionen befragt, bei denen unter anderem auch ältere Menschen versorgt werden. Die Resultate beziehen sich auf 78 (von 108) ausgemachte Akteure im Bereich der Senioren/-innen mit Migrationshintergrund und auf 25 Interviews für die übrigen besonderen Zielgruppen.

ERGEBNISSE

Schätzungen (vgl. Pohlmann, 2011, S. 148) gehen davon aus, dass ca. 25 % der über 65-Jährigen in Deutschland an psychischen Erkrankungen im weitesten Sinn leiden, wovon Depressionen, Demenzen, suizidales Verhalten, Substanzabhängigkeiten, Angststörungen, Schizophrenie und paranoide

Syndrome zu den häufigsten gehören. In Regensburg existieren seit 2008 zwei gerontopsychiatrische Dienste, welche die Belange alter Menschen mit seelischen Problemen und psychischen Erkrankungen sowie von Psychiatrieerfahrenen und deren Angehörigen aufgreifen und beratend, vermittelnd, soziotherapeutisch und nachsorgend mit dem Ziel tätig werden, eine selbstständige Lebensführung so lange wie möglich aufrecht zu erhalten.

Für die in den stationären Altenhilfeeinrichtungen lebenden psychisch kranken Bewohner/-innen (im Schnitt ca. 6 pro Einrichtung, sofern eine Diagnose vorliegt) gibt es keine spezifischen Angebote. Allenfalls werden sie zusammen mit den dementiell Erkrankten betreut. Eine Ausnahme bildet das psychiatrische Pflegeheim des Bezirksklinikums. Da etwa die Hälfte aller Bewohner/-innen in Regensburger Altenheimen an Demenz leidet, profitieren sie – soweit entsprechend diagnostiziert – von den Betreuungskräften, die eine Tagesstrukturierung ermöglichen. Versorgungslücken bestehen in der ambulanten und aufsuchenden psychotherapeutischen Behandlung von älteren Menschen sowie in adäquaten Wohn- und Betreuungsformen für psychisch kranke Menschen.

Für ältere Menschen mit Suchtproblemen existiert seit 2011 eine ehrenamtliche und seit 2014 eine professionell organisierte Suchtberatung, die sich vorwiegend an Multiplikatoren, professionelle Dienste und andere Akteure richten, aber auch Klienten direkt beraten. Bei zahlreichen Suchtselbsthilfegruppen sind ca. 50 % der Mitglieder 60 Jahre und älter, davon ist eine geschlossene Gruppe nur für ältere Suchterkrankte. In rund der Hälfte der stationären Altenhilfeeinrichtungen sind bis zu 8 Personen suchterkrank, wobei diese Zielgruppe nicht gern aufgenommen und ihr kein spezifisches Angebot unterbreitet wird. Mit einer festen Tagesstruktur kann jedoch eine Stabilisierung erzielt werden.

Ein einziges Angebot spricht Senioren/-innen mit geistiger Behinderung besonders an, das in seiner Zielsetzung jedoch nicht spezifisch auf Ältere ausgerichtet ist, sondern zufällig ausschließlich von diesen besucht wird. Für geistig behinderte Senioren/-innen existiert in Regensburg keine spezielle Wohneinrichtung. In den Seniorenheimen sind sie zu einem geringen Anteil ohne zusätzliche spezifische Betreuung vertreten. Zumeist siedeln sie von Heimen der Behindertenhilfe in die Altenhilfeeinrichtungen über.

Laut Integrationsbericht der Stadt Regensburg 2014 (vgl. Stadt Regensburg / OTH Regensburg 2014) haben 22 % der Re-

gensburger Bevölkerung über 60 Jahre einen Migrationshintergrund. Die Gruppe der über 60-jährigen Männer und Frauen impliziert dabei ausländische Regensburger/-innen, sogenannte Eingebürgerte (in einem anderen Staat aufgewachsen) und sogenannte (Spät)Aussiedler/-innen, ohne Rücksicht auf den Erwerbsstatus. Dieser als „Senioren/-innen mit Migrationshintergrund“ bezeichnete Personenkreis ist in den Lebenslagen, Bedürfnissen und Anforderungen sehr heterogen. Der Migrationshintergrund ist ähnlich wie das Alter nicht bei allen ein Grund für eine „Sonderstellung“. Die befragten Akteurstypen „Begegnungs- und Bildungsstätten“, „Sozial-, Gesundheits- und Migrationsdienste“, „religiöse Gemeinden“, „Kultur- und Ländervereine sowie Landsmannschaften“, „städtische Ämter und zentrale Stellen“, „politische Vertretungen und Gremien“, „Selbsthilfegruppen“, „Institute und Anbieter von Integrations-, Deutsch- und Alphabetisierungskursen“, „Seniorenheime und ambulante Pflegedienste“ sowie „sonstige bürgerliche Initiativen“ stellten ein wachsendes Bewusstsein für die besondere Zielgruppe der Senioren/-innen mit Migrationshintergrund fest und konnten vereinzelt erste Initiativen benennen, die zum Teil mit dem Aufbau der Integrationsstelle in Verbindung gebracht wurden.

Bezogen auf verschiedene Aktionsebenen wurde insbesondere ein Bedarf an Strukturen (z. B. stationäre und ambulante Betreuung, Beratung, psychosoziale Unterstützung) angezeigt, um die verschiedenen Migrantengruppen überhaupt zu erreichen und Informationen transportieren zu können. Eine Sprachförderung sei gerade für Ältere nötig, jedoch ein sehr schwieriges Thema. Tendenziell sei das bestehende Angebot auch für ältere Migranten/-innen passend, es müsse jedoch auf die Besonderheiten der Zielgruppe ausgerichtet werden und dafür müsse es ein Organisationsbewusstsein geben. Allenthalben wurde das fehlende aktive Aufeinanderzugehen von Migrantenorganisationen und bestehenden Einrichtungen moniert. Das Themenfeld Wohnformen von älteren Migranten/-innen sei besonders unterbelichtet. Senioren/-innen mit Migrationshintergrund sind überall da gut versorgt, wo binnenorganisatorisch (ehrenamtlich) beraten, begleitet, vermittelt und versorgt wird (z. B. bei der jüdischen Gemeinde, bei den Landsmannschaften).

Neben vielen Hindernissen, die ein Erreichen der Zielgruppe bisher erschwert haben, konnten auch wesentliche Voraussetzungen identifiziert werden, die für eine differenzierte Versorgung notwendig sind. Da in Regensburg bis zum Zeitpunkt der Untersuchung genau drei besondere Angebote für ältere Migranten/-innen ausfindig gemacht werden konnten, insgesamt jedoch eine Kultur bzw. Migrationssensibilität bei herkömmlichen Einrichtungen bzw. bei engagierten Fachkräften festgestellt werden konnte, wird ein erster Schritt darin gesehen, ein systematisches Konzept zum Thema „Alter und Migration“ zu erstellen, das Leitgedanken vorgibt, welche einzelnen migra-

tions-sensiblen Schritte die unterschiedlichen Einrichtungen zur Versorgung konkret in Angriff nehmen wollen. Da die Handlungsfelder rund um das Älterwerden von sehr verschiedenen Diensten und Organisationen bestellt werden, scheint es ein wichtiges Anliegen zu sein, eine Art „Runden Tisch“ ins Leben zu rufen, um Bestehendes zu identifizieren, aber auch Neues (Strukturen, Vernetzungen, Dienste, Informationen, Schulungen) unter Beteiligung von Betroffenenvertretungen und Migrantenorganisationen zielgerichtet zu entwickeln.

Beide Studien zu den anvisierten besonderen Zielgruppen älterer Menschen legen einen Entwicklungsbedarf in der Stadt offen, der bereits bewusst artikuliert ist und erste strukturelle Konsequenzen ausgelöst hat (z. B. Einrichtung einer Beratungsstelle für Senioren mit Suchterkrankungen, z. B. Beratungsbedarf von Senioren mit Migrationshintergrund). Im nächsten Schritt gilt es, weitere zentrale Informationseinheiten zu schaffen und bestehende Dienste hinsichtlich von Spezifizierungsmöglichkeiten für besondere Lebens- und Problemlagen zu sensibilisieren. Möglicherweise ergeben sich daraus Anregungen für besondere Angebote, wie z. B. eine ambulant betreute Wohngruppe für Senioren mit Migrationshintergrund.

Literatur

Bayerisches Staatsministerium für Arbeit und Sozialordnung, Familie und Frauen (BSMASFF) (Hrsg.): Kommunale Seniorenpolitik. Teil 1. Teil 2, München (2010).

Lomp, R.: Aspekte sozialer Teilhabe und Teilnahme von Seniorinnen und Senioren mit Migrationshintergrund. Eine qualitative Studie über öffentlich zugängliche Strukturen in der Stadt Regensburg. Unveröffentlichte Bachelorarbeit, Regensburg (2014).

Pohlmann, S.: Sozialgerontologie, München (2011).

Sam, M.: Aspekte der Hospiz- und Palliativversorgung sowie der Versorgung von besonderen Zielgruppen älterer Menschen in der Stadt Regensburg – eine qualitative Erhebung. Unveröffentlichte Bachelorarbeit, Regensburg (2013).

Stadt Regensburg / OTH Regensburg (Hrsg.): Integrationsbericht und Integrationskonzept Regensburg. Projekt März 2012-Februar 2014, Regensburg (2014).

Projektleitung

Irmgard Schroll-Decker +49 941 943-1091
Fakultät Angewandte Sozial- und Gesundheitswissenschaften
irmgard.schroll-decker@oth-regensburg.de

Projektmitarbeiterinnen

Mirjam Sam, B. A.
Rahel Lomp, B. A.

Geldgeber

Seniorenamt Regensburg

Kooperationspartner

Seniorenamt Regensburg

Projektlaufzeit

7 Monate

Fördersumme

2.200 €

ERHÖHUNG DER EXTRAZELLULÄREN MATRIX-RIGIDITÄT VERÄNDERT DIE BIOLOGISCHEN EIGENSCHAFTEN VON SEHNERNENASTROZYTEN

Andrea E. Dillinger
Rudolf Fuchshofer
Gareth J. Monkman
Mikhail Chamonine

59

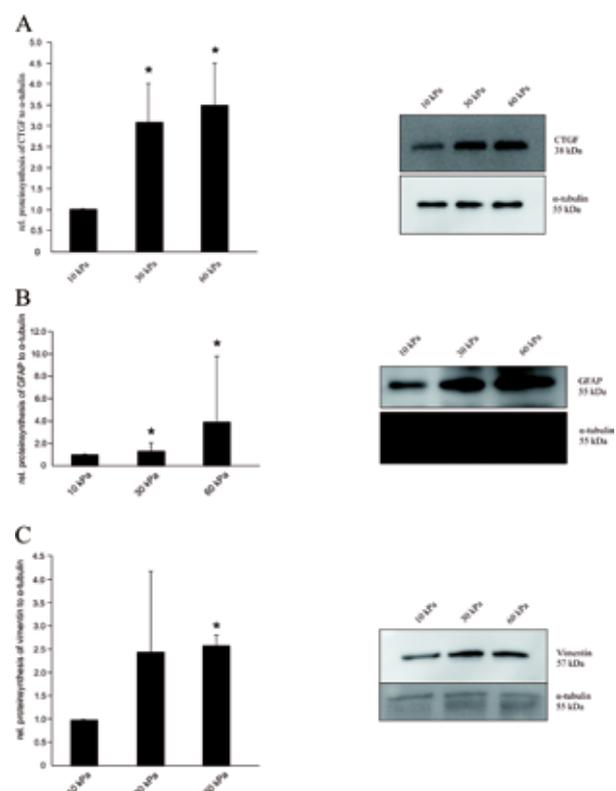
Patienten mit einem primären Offenwinkelglaukom zeigen eine erhöhte Rigidität der Sklera, eine Reaktivierung von Astrozyten und eine starke Umgestaltung der Lamina cribrosa. Diese deutlichen strukturellen Veränderungen führen schlussendlich zu einer dauerhaften Deformation und Degeneration der Sehnervenaxone. Es konnte gezeigt werden, dass der intraoculäre Druck in diesem Prozess einen wichtigen Faktor darstellt, jedoch ist der ursächliche Mechanismus noch nicht vollständig verstanden. Das Ziel dieser Studie war es, zu untersuchen, welche Rolle mechanische Reize auf die Umgebung der Lamina cribrosa haben und inwieweit diese einen reaktiven Phenotyp durch Induktion des transforming growth factor (TGF) 2/Connective tissue growth factor (CTGF) Signalweges, in den dort vorhandenen Astrozyten hervorrufen können. Es konnte gezeigt werden, dass die Erhöhung der Rigidität von Zellsubstraten in Astrozyten zu einer vermehrten Synthese von glial fibrillary acidic protein (GFAP), Vimentin, Actin und CTGF führt. Daraus lässt sich folgern, dass die Reaktion von Astrozyten auf die Veränderung der Rigidität ihrer Umgebung einen kritischen Faktor in der Deformation des Sehnervenkopfes und der Lamina cribrosa in der Pathogenese des Primären Offenwinkelglaukoms darstellt.

Das Primäre Offenwinkelglaukom (POWG), eine neurodegenerative Erkrankung des Sehnervs, ist eine der häufigsten Ursachen für Erblindung weltweit. Im Verlauf dieser Erkrankung kommt es zu einer Zerstörung der Axone im Sehnervenkopf, in der sogenannten Lamina cribrosa (LC). Während der Pathogenese des POWG kommt es im Bereich des Sehnervenkopfes zu einer erhöhten Rigidität der Sklera, zu einer Reaktivierung von Astrozyten und zu einer starken Umgestaltung der LC. Es konnte gezeigt werden, dass der erhöhte intraokuläre Druck (IOD) einen Risikofaktor für die Entwicklung eines POWG darstellt. Im POWG organisiert sich die Extrazelluläre Matrix (EZM) in der LC um und verdickt sich um die Axone herum. Dieser Prozess korreliert mit signifikant höheren Mengen an transforming growth factor (TGF) 2 in Patienten mit einem POWG. Die Veränderungen in der LC könnten auf Astrozyten und LC Zellen zurückgeführt werden, welche wie es scheint einen Beitrag zu beidem – der erhöhten EZM und TGF 2-Produktion – leisten. Wir konnten bereits zeigen, dass TGF 2 die Fähigkeit besitzt, die Expression der EZM in human Sehnervenkopf Astrozyten zu erhöhen, dieser Prozess ist abhängig von connective tissue growth factor (CTGF). Wir vermuten, dass TGF 2 und CTGF, welche von Zellen der LC synthetisiert werden, molekulare Faktoren darstellen, die den Prozess, welcher zu Veränderungen in der EZM im POWG führt, lenken. Der Mechanismus, der dazu führt, dass die Zellen die Produktion an TGF 2/CTGF erhöhen, ist jedoch bis jetzt noch nicht geklärt.

Das Ziel dieser Studie war es, zu untersuchen, welche Rolle mechanische Reize auf die Umgebung der LC haben und inwieweit diese einen reaktiven Phenotyp durch die Induktion des TGF 2/CTGF-Signalweges in den dort vorhandenen Astrozyten hervorrufen können. Wir vermuten, dass der erhöhte IOD Belastung und Druck auf die EZM in der LC und der Peripapillären Sklera bewirkt. Um unsere Hypothese zu beweisen, wurden in folgender Studie primäre Astrozyten aus dem Sehnerv von Mäusen isoliert und kultiviert. Diese wurden anschließend auf Substraten mit verschiedener Rigi-

dität ausgesät und schließlich auf ihre Veränderung in ihren biologischen Eigenschaften hin untersucht.

Zur Herstellung der PDMS-Zellsubstrate wurden das Basicpolymer VS100 000, der Kettenverlängerer Modifier 700, Reaktivverdünner MV2000 und der Inhibitor DVS zusammen mit einem Silikonöl vermischt. In der weiteren Herstellung wurde diese Basismischung verwendet, um die PDMS-Zellsubstrate mit drei verschiedenen Elastizitätsmodulen (10, 30, 60 kPa) herzustellen. Die primären Astrozyten für die nachfolgenden Versuche wurden aus Sehnerven von CD1-wildtyp-Mäusen isoliert und kultiviert. Anschließend wurden die Zellen auf die drei verschiedenen PDMS Zellsubstrate aus-



Grafik: Autoren

Abb. 1: Western Blot-Analyse von Mausastrozyten

gesät (10, 30 und 60 kPa). Schließlich wurden die Proteinsynthese von glial fibrillary acidic protein (GFAP), Vimentin und CTGF mittels Western-Blot-Analysen und immunocytochemischen Färbungen untersucht. Des Weiteren wurde das Zytoskelett der Zellen durch Markierung von F-actin durch Phalloidin genauer betrachtet.

In den verschiedenen Untersuchungen konnte festgestellt werden, dass die Astrozyten auf die Erhöhung in der Rigidität ihrer Zellsubstrate mit einer gesteigerten GFAP, Vimentin und CTGF Proteinsynthese reagieren (Abbildung 1). Auch die immunocytochemischen Färbungen konnten zeigen, dass die Zellen, welche auf den Zellsubstraten mit höherer Rigidität (30 kPa und 60 kPa) wachsen, eine erhöhte Expression von GFAP und CTGF im Vergleich zu den Zellen zeigen, welche auf den Substraten mit 10 kPa Rigidität wachsen (Abbildung 2). Durch die Markierung der Astrozyten auf den drei unterschiedlichen Substraten mit Phalloidin wurde das Actin Zytoskelett dargestellt. Dabei konnte gezeigt werden, dass mit der Zunahme der Rigidität eine Zunahme der Stressfasern verzeichnet werden konnte (Abbildung 2).

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass in dieser Studie gezeigt werden konnte, dass primäre Mausastrozyten Unterschiede in der Rigidität der Zellsubstrate wahrnehmen können und darauf mit einer gesteigerten Proteinsynthese von GFAP, Vimentin und CTGF reagieren.

Es gibt erhebliche Anzeichen, dass der erhöhte IOD zu Veränderungen in den biomechanischen Eigenschaften der Sklera führt. Diese Vermutung ist begründet auf der Beobachtung, dass chronisch erhöhter IOD bei Mäusen und Affen zu einer höheren Rigidität der Sklera führt, dies ist vergleichbar mit Beobachtungen, die man in glaukomatösen Menschen-

augen gemacht hat. Die Rigidität der Sklera ist im Sehnervenkopf von besonderer Bedeutung, da Mäuse keine LC aus Bindegewebe besitzen. Anstelle dessen wird in diesem Bereich eine gliale Lamina von Astrozyten ausgebildet, welche mit ihren Fortsätzen in direktem Kontakt mit der perpapillären Sklera stehen. Folglich könnte es Sehnerven-Astrozyten möglich sein, die Wandspannung der Sklera auf die Axone, die den Sehnerv durchziehen, zu übertragen.

Wie unsere Studie zeigen konnte, können Astrozyten die Veränderung in der Rigidität ihrer Umgebung wahrnehmen und darauf mit einer Veränderung ihrer biologischen Eigenschaften reagieren. Diese Reaktion der Sehnervenastrozyten auf die Erhöhung der Rigidität ihrer Umgebung ist ein kritischer Faktor in der Sehnerven- und LC-Deformation während der Pathogenese des POWG.

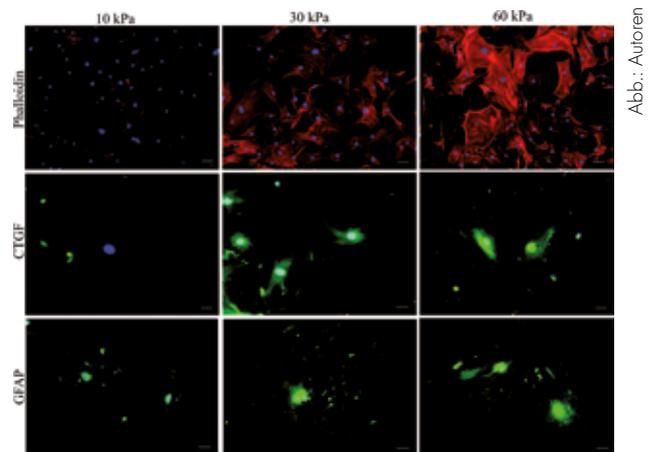


Abb. 2: Immunocytochemische Färbung von Mausastrozyten

Abb.: Autoren

Projektleitung

Prof. Dr. Mikhail Chamonine +49 941 943-1105
East Bavarian Centre for Intelligent Materials (EBACIM)
mikhail.chamonine@oth-regensburg.de

Prof. Dr. Gareth J. Monkman +49 941 943-1108
East Bavarian Centre for Intelligent Materials (EBACIM)
gareth.monkman@oth-regensburg.de

Projektmitarbeiter

Andrea Dillinger, M. Sc.
Matthias Mayer, M. Eng.

Geldgeber

TWO – Technologie- und Wissenschaftsnetzwerk Oberpfalz

Kooperationspartner

PD Dr. rer. nat. Rudolf Fuchshofer
Institute of Human Anatomy & Embryology, Universität Regensburg

Projektlaufzeit

15 Monate

Fördersumme

10.000 €

FINITE-ELEMENTE-ANALYSE DES CRIMPPROZESSES EINES KORONARSTENTS

Markus Geith, Labor für Medizinprodukte, RCBE, OTH Regensburg
 Fabian Koch, Labor für Medizinprodukte, RCBE, OTH Regensburg
 Christian Ühlin, Labor für Medizinprodukte, RCBE, OTH Regensburg
 Thomas Schratzenstaller, Labor für Medizinprodukte, RCBE, OTH Regensburg
 Krzysztof Swidergal, Labor FEM, OTH Regensburg
 Marcus Wagner, Labor FEM, OTH Regensburg

61

Koronarstents werden in der modernen Medizin verwendet, um krankheitsbedingte Gefäßverengungen am Herz zu beheben, indem sie den ursprünglichen Blutstrom wiederherstellen. Damit das kleine Metallröhrchen jedoch nicht während der Implantation im Körper verlorengeht, muss es zuvor fest auf einen Ballonkatheter auf gecrimpt werden. Das Ziel dieses Projektes ist die numerische Simulation des gesamten Lebenszyklus eines Stents und dessen Ballonkatheter, in welchem das Crimpen ein wichtiges Segment darstellt. Mit der Finiten-Elemente-Methode (FEM) können rechnerunterstützt Kräfte sowie Verformung am Stent und Katheter detektiert werden. Ein Vergleich mit realen Aufnahmen eines gecrimpten Stents zeigte bereits eine gute Korrelation mit der FEM-Simulation.

In Industriestaaten stellen koronare Herzkrankheiten die häufigste Todesursache dar.¹ Durch eine ungesunde Lebensweise und die erblich bedingte Vorbelastung können sich in den Herzkranzgefäßen Verengungen, sogenannte Stenosen, bilden. Diese behindern den Blutfluss, was zu einer Unterversorgung des Herzmuskels führen kann. Gelangt nun zusätzlich ein Blutgerinnsel (Thrombus) in die Verengung, wird das Gefäß verschlossen und es droht der Herzinfarkt, der oft zum Tode führt. Um dieser lebensbedrohenden Situation entgegenzuwirken, kann ein Stent im Patienten implantiert werden. Dabei wird ein Zugang an der Leiste oder an der Ellenbeuge gelegt, über den der Stent mithilfe eines Ballonkatheters (englisch Stent-Delivery-System, SDS) in die Engstelle der Koronararterien des Herzens gelangt. Dort angekommen, wird der Stent durch den Ballon des Katheters aufgedehnt, welcher so die geweitete Engstelle abstützt. Der Blutstrom wird dadurch wiederhergestellt. Während einer Stentimplantation kann es jedoch zu einer Verletzung des Gefäßes kommen, was die Gefahr einer erneuten Gefäßverengung, der Restenose, erhöht. Die Schwere dieser Verletzung ist vor allem abhängig vom Expansionsverhalten des Stents. Die Optimierung eines Stents bzw. des SDS kann aber nur gewährleistet werden, wenn der gesamte Herstellungsprozess des Medizinproduktes kritisch betrachtet wird.

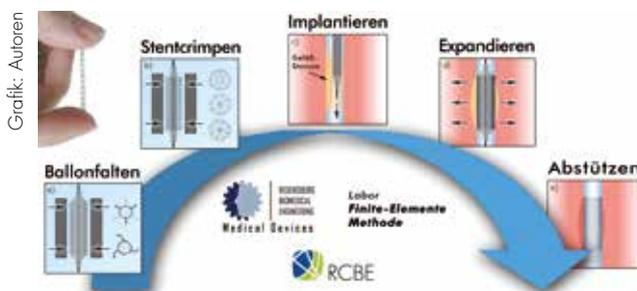


Abb. 1: Lebenszyklus eines Stents: a) Falten des Ballonkatheters, b) Crimpen des Stents auf den Ballonkatheter, c) Implantieren mithilfe des SDS, d) Expandieren des Stents durch den Ballonkatheter, e) Abstützen des Gefäßes

Ziel des Projekts ist die Schaffung einer digitalen, biomechanischen Modellumgebung zur besseren Entwicklung, Testung und Optimierung von Gefäßimplantaten, in welcher der gesamte

Lebenszyklus eines Stents (siehe Abbildung 1) abbildbar ist. In einem Teilprojekt konnte nun ein erstes Segment des Zyklus, das Crimpen des Stents, simuliert und das Ergebnis validiert werden.^{2,3} Beim Crimpen wird der Stent radial verformt und so auf den Ballonkatheter gedrückt, um ihn später durch die engen Gefäße schieben zu können. Die Verringerung des Stentquerschnitts erfolgt durch die rotatorische Bewegung mehrerer kreisförmig angeordneter Crimpbacken.

EXPLIZITE FEM-SIMULATION MIT LS-DYNA

Die numerische Simulation des Crimpprozesses wurde mit LS-DYNA durchgeführt, einem universellen FEM-Programm mit Kernkompetenz in expliziter, stark nichtlinearer Strukturdynamik. Die Vorgehensweise entspricht der üblichen CAE-Prozesskette: Sie beginnt mit einem CAD-Modell, es folgt das Aufbauen des FEM-Modells im Pre-Prozessor mit anschließendem Lösungsverfahren und endet mit der Auswertung der Ergebnisse im Post-Prozessor.

Das CAD-Modell beinhaltet den Katheter, zwölf Crimpbacken und den Stent. Um eine optimale Vernetzung für die FEM-Analyse zu ermöglichen, wurde die komplexe Geometrie in einem externen Pre-Prozessor aufbereitet. Der Stent wurde mit fast 120.000 Hexa- und Pentaedern diskretisiert. Für die Vernetzung der Crimpbacken stellten sich Schalenelemente als optimal heraus, während der Katheter als netzfreier, starrer Regelkörper (RIGIDWALL_CYLINDER4) definiert werden konnte. Der weitere FEM-Modellaufbau erfolgte in LS-PREPOST, dem Pre- und Post-Prozessor von LS-DYNA.

Da während des Crimpens plastische Verformungen zu erwarten sind, musste für den Stent ein elasto-plastisches Materialmodell, MAT_244, genutzt werden. Die Crimpbacken und der Katheter wurden dagegen als starr angenommen. Weil das untersuchte Stentmodell in sich nicht symmetrisch ist, war eine Rechenzeit reduzierende Analyse mit Halb- oder Viertelschnitten des Modells nicht möglich. Während alle Crimpbacken um jeweils eine Achse drehbar gelagert waren, wurde der Katheter fixiert. Die Bewegung der Backen ließ sich mithilfe einer Winkel-/Zeit-Funktion vorgeben.

Beim Crimpprozess treten unterschiedliche Kontaktsituationen auf. Zum einen berühren sich die Backen und der Stent sowie der Stent und der Katheter. Diese beiden Kontaktpaarungen

können mit einseitig wirkenden Flächenkontakten modelliert werden. Zum anderen berühren sich auch die einzelnen Maschen des Stents untereinander, sodass ein Selbstkontakt notwendig ist. In allen Kontakten wurde ein Reibkoeffizient von 0,1 angenommen.

Der Crimpprozess, der in der Realität etwa eine Sekunde dauert, wurde nach der expliziten Methode berechnet, welche sich für die Lösung der starken, im Stentmodell auftretenden, Nichtlinearitäten als besonders geeignet herausstellte. So lassen sich das elasto-plastische Materialverhalten, große Verformungen und die diversen Kontakte sehr gut berücksichtigen. Um die Rechenzeit zu optimieren, wurde u. a. die Technik der Massenskalierung angewandt. Das Modell wurde an den LS-DYNA-Solver übergeben, welcher für die Berechnung ca. 10 Stunden auf einem hauseigenen Rechner mit 32 Prozessorkernen benötigte.

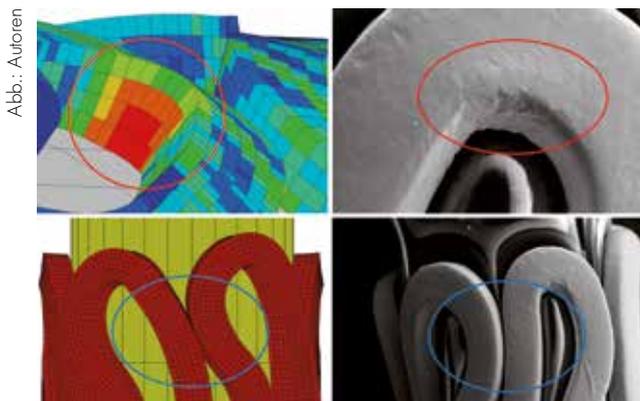


Abb. 2: Betrachtung des Stents nach einem Crimpprozess: links die FEM-Simulation; rechts die REM-Aufnahmen. Der obere Teil zeigt deutlich, wie sich an den Biegestellen des Stents Materialaufwerfungen bilden. Die Aufnahmen unten zeigen ein deckungsgleiches Kontaktverhalten der einzelnen Streben zueinander.

ERGEBNISSE

Die Simulation mithilfe der FEM zeigt die kritisch zu betrachtenden Stellen in der Struktur des untersuchten Stents auf. Spannungsspitzen finden sich vor allem in den Radien der gebogenen Segmente. Bei der Betrachtung desselben Stents durch ein Rasterelektronenmikroskop konnten an den gebogenen Elementen, wie schon zuvor in der Simulation, ungleichmäßige Materialaufwerfungen lokalisiert werden (siehe Abbildung 2, oben). Bei der fortlaufenden Untersuchung mittels REM ließen sich weitere Ähnlichkeiten der Simulation mit der Realität feststellen. Die Stentstreben im numerischen Modell schmiegt sich wie bei einem gecrimpten Stent eng aneinander (siehe Abbildung 2, unten).

FAZIT UND AUSBLICK

Die Ergebnisse zeigen, dass bei der Optimierung eines Stents und dessen Ballonkatheter auch der Crimpprozess betrachtet werden muss, da hier bereits Belastungen und Verformungen die Struktur des Stents bzw. des Ballons und somit deren Expansionsverhalten beeinflussen können.

Durch dieses Projekt wird aber vor allem deutlich, dass die FEM ein äußerst effizientes und günstiges Mittel zur Beschleunigung des Optimierungsprozesses eines Stents darstellt, verglichen mit dem „Trial-and-Error-Prinzip“, das bisher in der Stententwicklung vorherrscht. In der Forschung ist es zwar gängig, einfache Stentmodelle zur Bestimmung der Radialfestigkeit zu nutzen. Um eine realistische Aussage über die Eignung eines Stents zu erhalten, erscheint es dennoch als essentiell, alle auftretenden Belastungen und Verformungen innerhalb des Lebenszyklus eines Stents zu betrachten.

Daher wird nun im nächsten Schritt das bestehende Modell zunächst verfeinert, dann die übrigen Segmente des Lebenszyklus eines Stents simuliert und zuletzt die jeweiligen Modelle untereinander verknüpft.

Literatur

- 1 World Health Organisation: Global Status Report: Global Status Report on Noncommunicable Diseases 2010–2013 Edition, Genf.
- 2 Koch, F.: Entwicklung einer FEM-Berechnungsmethodik für das Crimpen koronarer Stents. Bachelorarbeit, Regensburg (2014).
- 3 Uehlin, C.: Finite Element Analysis of the Expansion Behaviour of a Coronary Stent. Masterarbeit, Regensburg (2014).
- 4 LS-DYNA User Manual and Theoretical Manual, Livermore Software Technology Corporation.

Projektleitung

Prof. Dr.-Ing. Thomas Schratzenstaller
Labor für Medizinprodukte – Medical Devices
thomas.schratzenstaller@oth-regensburg.de

Prof. Dr.-Ing. Marcus Wagner
Labor FEM
marcus.wagner@oth-regensburg.de

Projektmitarbeiter

Krzysztof Swidergal, M. Sc.
Markus Geith, M. Sc.
Fabian Koch, B. Sc.
Christian Uehlin, M. Sc.

Projektlaufzeit

12 Monate

Weitere Informationen

www.md.rcbe.de

DIE WORK-LIFE-BALANCE VON GRÜNDERN UND UNTERNEHMERN

Prof. Dr. Sean Patrick Saßmannshausen, OTH Regensburg

63

Die Work-Life-Balance (WLB) von Entrepreneuren wurde trotz hoher praktischer Relevanz für die Überlebenschance von Unternehmen bislang kaum untersucht. Im hier vorgestellten Forschungsprojekt wurde versucht, diese Lücke zu schließen, um ein besseres Verständnis der Einflussfaktoren zu erlangen und ein wissenschaftliches Modell der WLB zu erarbeiten, aber auch um praxistaugliche Strategien für eine gute WLB trotz unternehmerischer Belastung aufzuzeigen.

EINFÜHRUNG UND PRAKTISCHE RELEVANZ DES THEMAS

Die Frage der Work-Life-Balance (WLB) besitzt für die Praxis eine oft geradezu existenzielle Relevanz. Denn bei Gründungsprojekten sind die wirtschaftlichen Überlebens- und Erfolgchancen meist untrennbar mit der Gesundheit des Gründers verknüpft. Während bei großen Unternehmen in der Regel organisationale Strukturen etabliert sind, die das Unternehmen unabhängig von der Anfälligkeit einzelner Individuen macht, fehlen solche Schutzmechanismen bei nahezu allen Neugründungen und bei vielen kleineren und mittleren Unternehmen (KMU). Dabei sind gerade Gründer und mittelständische Unternehmer hohen zeitlichen Belastungen und Stressfaktoren ausgesetzt.

LITERATUR: VORAUSGEGANGENE STUDIEN UND FORSCHUNGSLÜCKE

Trotz dieser augenscheinlichen Bedeutung für die Praxis ist der Gegenstand bislang kaum untersucht. Eine Literaturrecherche ergab, dass es zwar tausende Studien zur WLB von Angestellten und Managern gibt, aber nur wenige Arbeiten, die sich mit selbstständigen Unternehmern, Freiberuflern und Gründern befassen. Die meisten dieser Studien sind sehr spezifischen Gruppen von Gründern in bestimmten kulturellen oder nationalen Kontexten gewidmet, z. B. selbstständigen Näherinnen im Iran (Gholipour et al. 2010). Eine der Studien kam sogar zu dem wissenschaftlich wenig zufriedenstellenden Ergebnis, die WLB von Selbstständigen sei nicht theoriefähig (Süß und Sayah 2013).

FORSCHUNGSFRAGEN

Es soll ein besseres Verständnis der WLB von Unternehmern erzielt werden. Im Mittelpunkt stehen dabei drei Forschungsfragen:

- 1. Deskriptiv:** Wie ist es um die Work-Life-Balance von Gründern und Unternehmern bestellt? Welche Faktoren beeinflussen diese?
- 2. Normativ:** Welche Strategien verwenden Gründer und Unternehmer, um eine WLB zu erzielen, die ihre Gesundheit unterstützt und ihre unternehmerische Schaffenskraft erhält?

- 3. Theoriebildend:** Kann ein generelles Modell der WLB von Entrepreneuren entwickelt werden?

METHODIK

Entsprechend diesen Zielsetzungen wurde ein qualitatives Forschungsdesign im Sinne der Grounded Theory gewählt. Mittels narrativer Interviews wurden Informationen zusammengetragen und analysiert. Die leitfadengestützten Interviews wurden dabei so lange fortgesetzt, bis der Punkt der theoretischen Sättigung erreicht war, weitere Interviews also keine zusätzlichen Informationen mehr beitrugen. Im Forschungsprozess war es aufgrund gewonnener Erkenntnisse nötig, den Leitfaden zu überarbeiten. Der Prozess der Datenbeschaffung verlief somit iterativ zur Datenanalyse. Bis zum Zeitpunkt dieses Berichts wurden 32 Interviews mit Case Observations und vier Leitfaden-Iterationen durchgeführt (2+6+11+7+6).

ERSTE RESULTATE UND MÖGLICHE IMPLIKATIONEN

Deskriptive Befunde – Zustandsbeschreibung

Die Gründer in unserer Stichprobe hatten fast durchweg eine unausgeglichene WLB. Sie investieren sehr viel Arbeitszeit in den Aufbau ihrer Unternehmen, zu Lasten ihrer sozialen Beziehungen und teilweise auch ihrer Gesundheit. Ein Gründungsvorhaben scheiterte sogar am völligen physischen und psychischen Zusammenbruch des Gründers.

Viele Gründer wurden stark belastet durch die völlige Gefährdung ihrer wirtschaftlichen Existenz, da im Falle eines Scheiterns nicht nur ihr Einkommen, sondern auch ihr Vermögen betroffen sein würde, ein wesentlicher Unterschied zur Situation von angestellten Managern. In die Angst vorm Scheitern aufgrund von externen Umständen mischten sich eine selbstbezogene Versagensangst und ein Druck aus der empfundenen Verantwortung für die eigene Familie und für die Mitarbeiter und deren Familien.

Sind Unternehmen einmal am Markt etabliert, so bessert sich die WLB. Die meisten etablierten Unternehmer unserer Stichprobe achteten stärker auf mehr Zeit für Sport, für Erholung und Ausgleich (z. B. Spaziergänge, Urlaub), die Familie und die Pflege privater sozialer Kontakte.

Strategien zur Erreichung einer angemessenen Work-Life-Balance

Aus den Interviews kann man Strategien ableiten, mit denen Entrepreneure eine bessere WLB erreichen können:

1. Leidenschaft (Dedication & Passion) ist ein moderierender Faktor für nahezu alle anderen Einflussvariablen, vor allem für negative Einflüsse, wie hohe zeitliche Arbeitsbelastung, Anstrengung, Unsicherheit und Stress, deren Wirkung durch Leidenschaft abgemildert wird.
2. Genügend Zeit zur physischen und psychischen Erholung einräumen: In der englischsprachigen Publikation zu diesem Forschungsprojekt wird entsprechend von den „vier R“ gesprochen: (1) „rest and recreate“, (2) „regain energy“ und (3) „reduce aggression and stress“. Die Methoden, wie die „vier R“ erreicht werden können, sind individuell verschieden. Dazu zählen Schlaf und Sport, ferner beispielsweise Zeit für den Partner, Spielen mit den Kindern und ausgedehnte Spaziergänge. Die Strategie wirkt sich auch auf den Erfolg aus, oder wie es einer der Gründer formulierte: *„Wenn ich an scheinbar unlösbaren Problemen kaue, kommen mir die besten Ideen oft beim Duschen nach dem Sport.“*
3. Räumliche Trennung von Arbeit und Privatleben hilft im privaten Bereich, besser abschalten und sich erholen zu können, katalysiert also die „vier R“. Die Frage der ständigen Erreichbarkeit über Smart Phones kann nicht eindeutig beantwortet werden, oder wie es ein Unternehmer formulierte: *„Es würde mich wahnsinnig machen zu wissen, dass ich zu Hause sitze und für den Betrieb nicht erreichbar wäre; dann könnte ich mich nicht entspannen.“*
4. Unternehmerische Persönlichkeitseigenschaften, namentlich Leistungswille, internale Kontrollüberzeugung, Ambiguitätstoleranz, Beharrlichkeit und Ausdauer, aber auch Kreativität und Humor, helfen Belastungen standzuhalten.
5. Delegation: Gründer müssen lernen, Aufgaben an Mitarbeiter zu delegieren. Dies scheitert oft an der Meinung, dass Mitarbeiter Aufgaben nie so erledigen, wie man es selber machen würde. Gründer müssen sich daher die Zeit nehmen, Mitarbeiter intensiv einzuarbeiten und anzulernen, Qualitätsstandards zu setzen und zu überwachen und schließlich auch, den Mitarbeitern mehr und mehr zu vertrauen und zuzutrauen. Dies ist eine Investition an Zeit, die sich nicht nur auf die eigene WLB, sondern auch auf den Unternehmenserfolg insgesamt positiv auswirkt.
6. Phasen schaffen: Nach besonderen Belastungsphasen sollten Unternehmer den Umfang ihrer Tätigkeit wieder reduzieren. Insbesondere Neugründer zeigen eine Tendenz, auf einem einmal erreichten hohen Belastungsniveau zu verharren.

7. Wissen, wann es vorbei ist, also auch mit höchster Anstrengung ein Erfolg nicht mehr erzwungen werden kann. Einige der gescheiterten Gründer verausgabten sich noch zu einem Zeitpunkt, als die Geschicke des Unternehmens bereits besiegelt waren. Gerade wenn der Cash Flow zunächst nicht völlig zum Erliegen kommt, behalten Gründer zu lange die Hoffnung, den Turnaround doch noch schaffen zu können.

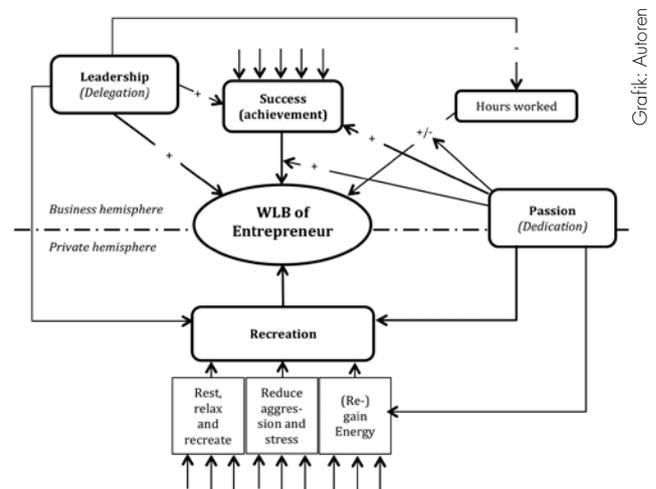


Abb. 1: Allgemeines Modell zur Work-Life-Balance von Entrepreneuren (eigene Abbildung)

Ein allgemeines Modell der Work-Life-Balance von Entrepreneuren

Aufgrund der narrativen Interviews und des gewählten Grounded Theory-Ansatzes scheint es möglich, ein allgemeines Modell der WLB von Entrepreneuren zu entwerfen, wenn auch zum gegenwärtigen Stand der Forschung noch von einem vorläufigen Modell gesprochen werden muss. Abbildung 1 fasst das Modell zusammen.

Literatur

Gholipour, A.; Bod, M.; Zehtabi, M.; Pirannejad, A.; Kozekanan, S.F.: The Feasibility of Job Sharing as a Mechanism to Balance Work and Life of Female Entrepreneurs. *International Business Research*, 3 (3), 133–140 (2010).

Süß, S.; Sayah, S.: Work-Life-Balance von Freelancern zwischen Realität und Idealvorstellung – Eine explorative Studie. *Zeitschrift für Personalforschung*, 25 (3), 247–268 (2011).

Projektleitung

Prof. Dr. Sean Patrick Saßmannshausen +49 941 943-1099
start-up center der OTH Regensburg
sean.sassmannshausen@oth-regensburg.de

DER EINFLUSS VON UNTERNEHMENSPLANSPIELEN ALS LEHRMETHODE AUF DIE UNTERNEHMERISCHEN KOMPETENZEN UND DIE GRÜNDUNGSMOTIVATION VON STUDIERENDEN

Ein Review über 10 Jahre Evaluationsforschung im Bereich Entrepreneurship Education

Eberhard Auchter, OTH Regensburg
Willy Kriz, FH Dornbirn (Österreich)

Ein Teil der fünf umfassenden Studien im Bereich der Entrepreneurship Education hat die Evaluation der Lerneffekte von Gründungsplanspielen auf Studierende (N=907) im Rahmen von regulären Veranstaltungen (48 Kurse) an sechs Hochschulen zum Gegenstand. Ein weiterer Teil evaluierte den bundesweiten Entrepreneurship-Wettbewerb „exist-priME-cup“ zur Entrepreneurship-Qualifizierung für Studierende auf der Grundlage von Unternehmensplanspielen (246 Seminare / 5.360 evaluierte Teilnehmer). Das Forschungsziel beider Studienbereiche war es, die Effekte dieser planspielbasierten Veranstaltungskonzepte auf die Förderung der unternehmerischen Kompetenzen und die Gründungsmotivation zu untersuchen. Die methodologische Basis ist ein dafür entwickeltes theoriebasiertes Evaluationsmodell. Alle Studien zeigen einen Anstieg der unternehmerischen Kompetenzen durch den Besuch der Seminare, allerdings wurden – neben anderen Ergebnissen – signifikante Genderunterschiede festgestellt. Diese beziehen sich in erster Linie auf unternehmerische Einstellungen und Motivationen. Dieser Aspekt war der Fokus von weiteren Studien zur Überprüfung und Entwicklung von Planspiel- und Seminarkonzepten, um diesen Gendereffekten Rechnung zu tragen.

METHODISCHE BASIS DER STUDIEN

Alle hier eingesetzten Evaluationsstudien basieren auf einem theoretischen Evaluationsmodell, das einen Interpretationsrahmen bietet für das, was im Rahmen eines Planspielseminars passiert (Kriz & Hense, 2006). Das Modell hilft, die Faktoren zu identifizieren, welche die Lernprozesse in Planspielseminaren beeinflussen. Es besteht aus einer Reihe von Variablen, die unter drei Aspekten klassifiziert werden: Voraussetzungen/Inputs (Soziodemographische Daten, Fähigkeiten, unternehmerische Kompetenzen, Persönlichkeitsdispositionen etc.) sowie Prozesse (Planspielvariante, individuelles und soziales Lernverhalten etc.) und schließlich Output (u. a. Fach- und Sozialkompetenz, unternehmerische Motivation).

DESIGN UND ERGEBNISSE DER ERSTEN STUDIEN ZUM EINFLUSS VON PLANSPIELSEMINAREN AUF DIE UNTERNEHMERISCHEN KOMPETENZEN UND DIE GRÜNDUNGSMOTIVATION

In den Studien 1 und 2 (2006/07) mit N=808 Teilnehmern wurden Studierende aus fünf Hochschulen in 44 Seminaren vor, während und am Ende der Seminare befragt, um die Veränderungen der Maßnahmen zu erfassen.

Im Rahmen der Studie 3 (2008-2012) wurden Teilnehmer des „exist-priME-cups“ – eines landesweiten Entrepreneurship-Wettbewerbs der Hochschulen – evaluiert. Ein Kernelement des „exist-priME-cups“ sind planspielbasierte Veranstaltungen auf vier Ebenen. Wegen Zeitrestriktionen im Primecup-Konzept kam nur ein Fragebogen zum Einsatz. (N=5360 Teilnehmer in 246 Cup-Veranstaltungen bei einer durchschnittlichen Rücklaufquote von 97 %)

Die Evaluationsergebnisse zeigten, dass die Gründungsplanspiele zu

- einem Anstieg der Fach- und Methodenkompetenz,
- einer Verbesserung der sozialen und persönlichen Kompetenzen,
- einem Anstieg des Vertrauens in die eigenen Kompetenzen, ein Gründungsvorhaben zu bewältigen, führten.

Allerdings zeigten die Untersuchungsergebnisse bei den Teilnehmern auch eine signifikante Abnahme des Interesses, ein Unternehmen zu gründen. Eine Analyse der Subsamples ergab, dass insbesondere die weiblichen Teilnehmer für den Rückgang der Gründungsmotivation verantwortlich waren. Frauen hatten zwar im Vergleich zu Männern ein signifikant besseres gründungsrelevantes Fachwissen vor und nach dem Planspiel, zeigten aber auch u. a. neben einer geringeren Gründungsneigung eine geringere Risikoneigung und eine geringere Bereitschaft zur Übernahme einer Führungsrolle im Planspiel. (Alle Ergebnisse sind signifikant, T-Tests.) Diese Resultate führten zu Überlegungen, wie die Planspiel- und Veranstaltungskonzepte verändert werden könnten, um diese genderspezifischen Effekte zu reduzieren.

STUDIEN ZU GENDERSPEZIFISCH ADAPTIERTEN VERANSTALTUNGSDESIGNS

Um Gendereffekte zu analysieren, wurden in sieben semesterbegleitenden Veranstaltungen einer Hochschule die Teilnehmer in gleichgeschlechtliche Teams eingeteilt. (Studie 4, 2009/2010; Studierende der Wirtschaftswissenschaften; N=99) Diese Idee basiert auf Untersuchungen, die zeigen, dass das Lernverhalten von weiblichen Schülern in technischen Fächern signifikant besser ist, wenn sie in Klassen mit nur weiblichen Teilnehmern unterrichtet werden (z. B. Kessels, 2002).

Allerdings zeigte die Bildung gleichgeschlechtlicher Teams keine veränderten signifikanten genderspezifischen Effekte im Vergleich zu den Ergebnissen der Studien 1 bis 3.

In Studie 5 (2010/2011) wurde der „Nur Frauen“-Ansatz um zwei Dimensionen erweitert:

1. Alle Seminarteilnehmer (auch die Dozenten) sind weiblich.
2. Die computergestützte Simulation wurde ersetzt durch ein haptisches, Brettbasiertes Planspiel: Die Teilnehmerinnen sehen physisch, wie ihre Entscheidungen die wichtigsten Aspekte des Unternehmens beeinflussen. Prozesse sind somit – im Gegensatz zu der eher „black-box“-Situation der computergestützten Planspiele – transparenter. Darüber hinaus wurde im Vergleich zu den computergestützten Seminaren ein erweitertes Debriefing durchgeführt, d. h. eine Reflexion und ein Abgleich der Planspielsituation zur Realität. Das Sample basiert auf Daten des „exist-pri/ME-cups“ der ersten Wettbewerbsebene. Die Seminardauer betrug zwei Tage.

Stichproben

- a) Computerbasiertes Planspiel, „Gendermix“
143 Cups (Seminare), N=919, weiblich (f)=344, männlich (m)=575
- b) Computerbasiertes Planspiel, „Nur Frauen“
2 Cups, N=32f
- c) Haptisches Planspiel, „Gendermix“
4 Cups, N=51, f=18, m=33
- d) Haptisches Planspiel, „Nur Frauen“
3 Cups, N=64f

Aufgrund zeitlicher Restriktionen konnte nur ein Fragebogen pro Cup verwendet werden. Im ersten Schritt wurde eine Gesamtskala „Globalbewertung“ über alle 35 Items erstellt. Diese Wertung enthält u. a. die Gesamtzufriedenheit mit der Veranstaltung, Gründungsmotivation und Förderung von gründungsrelevanten Fach- und sozialen Kompetenzen. Die Evaluationen zeigen signifikant bessere Ergebnisse für „Nur-Frauen“-Cups im Vergleich zu den „Gendermix“-Cups und signifikant bessere Durchschnittswerte für die Seminare auf der Basis haptischer Planspiele. Um nachhaltigere Resultate verifizieren zu können, werden größere Stichproben von „Gendermix“-Veranstaltungen mit haptischen Planspielen benötigt.

Analysiert man in diesem Zusammenhang die individuellen Faktoren, zeigen sich die deutlichsten Unterschiede zugunsten der Seminarkonzepte „Nur-Frauen“, in Kombination mit der haptischen Planspielmethode:

- Zufriedenheit mit dem Wettbewerb und der Teamarbeit,
- Förderung sozialer Kompetenz,
- das Planspiel ist realitäts- und praxisnah.

Diese Ergebnisse entsprechen den Erkenntnissen der früheren Studien: In der unternehmerischen Planspielsituation sind Frauen prinzipiell mehr „inhaltsorientiert“ im Gegensatz zu der „Wettbewerbsorientierung“ der männlichen Teilnehmer. Und: Haptische Planspiele scheinen der „Inhaltsorientierung“ von Frauen mehr zu entsprechen als computerbasierte Planspielseminare.

Darüber hinaus scheinen die Debriefingprozesse eine wichtige Rolle bei dem Zustandekommen der besseren Evaluationsergebnisse einzunehmen.

Die Ergebnisse der Studien zeigen, dass Gründungsplanspielseminare die unternehmerischen Kompetenzen der Teilnehmer fördern. Genderspezifische Unterschiede hinsichtlich der unternehmerischen Motivation und Rollenübernahme können durch entsprechende Anpassung der Seminarkonzepte aufgefangen und verbessert werden.

Literatur

Auchter, E., Kriz, W. (2014): The Impact of Business Simulations as a Teaching Method on Entrepreneurial Competencies and Motivation – A Review of 10 Years of Evaluation Research in Entrepreneurship Education. In: Kriz, W. (Hrsg.): The Shift from Teaching to Learning – Individual, Collective and Organizational Learning through Gaming and Simulation, Bielefeld (2014), S. 187–197.

Auchter, E., Kriz, W.C. (2013): Gender Aspects by using Start-Up Simulations for Entrepreneurship Education – Results of Theory-Based Evaluation Studies. In: Journal of Asia Entrepreneurship and Sustainability, Vol. 9; 1, S. 39–56.

Kriz, W.C., Hense, J. (2006): Theory-Oriented Evaluation for the Design of and Research in Gaming and Simulation. In: Journal of Simulation & Gaming, 37, 2, S. 268–283.

Projektleitung

Prof. Dr. Eberhard Auchter, OTH Regensburg,
Fakultät Betriebswirtschaft
eberhard.auchter@oth-regensburg.de

Kooperationspartner

Prof. Dr. Willy Kriz, Department of Management and Business Administration, FH Dornbirn (Österreich)

ENERGIETRANSPORT

Entwicklung innovativer Rollenlager für gasisolierte Leiter-Rohre

Othmar Springer, OTH Regensburg

67

Die technische Umsetzung der Energiewende rückt den Energietransport über große Distanzen in besonderem Maße in den Fokus. Indirekt verstärkt werden die Bemühungen um technologisch innovative Lösungen durch die öffentliche Diskussion, insbesondere auch zu den Stromtrassen. Eine grundsätzlich alternative Ausführung zu konventionellen Überlandleitungen besteht in der Verwendung sogenannter Gas-Isolierter-Leiter (kurz GIL), die im Inneren von Aluminiumrohren verlegt werden. Da diese Rohre sowohl unterirdisch, als auch oberirdisch verlegt werden, sind entsprechende Längenänderungen infolge Temperaturschwankungen nicht vermeidbar. Um diese Längsbewegungen der Rohre schadlos zulassen zu können, ist eine längsbewegliche Lagerung erforderlich, die in dem untersuchten Fall durch Rollenlager gewährleistet werden soll.

Zielsetzung dieses Forschungsvorhabens war es einerseits, die Beanspruchungen der Rohrwandung im unmittelbaren Bereich des Rollenaufagers zu ermitteln und andererseits den Verschleiß der Rollenlager zu untersuchen. Die Versuche werden an einem eigens hierfür konzipierten Versuchsstand durchgeführt. Da die GIL-Rohre weltweit eingesetzt werden, muss im Rahmen der durchgeführten Versuche den verschiedensten Lastsituationen, wie z. B. extremen Tag-Nacht-Temperaturschwankungen sowie extremen Windbelastungen oder Erdbeben, Rechnung getragen werden. Insbesondere beim Einsatz in wüstenähnlichen Gebieten ist hierbei auch das Verschleißverhalten der Rollen unter Sandeinwirkung von Interesse.

VERSUCHSDURCHFÜHRUNG

Zur Simulation der temperaturbedingten Längenänderungen wird ein Versuchsrohr ($\varnothing 512 \times 6$ mm, Werkstoff Aluminium EN AW 5754, Länge $L = 7$ m) beidseitig auf den zu untersuchenden Rollen gelagert und per Elektromotor und Gestänge zyklisch längs verschoben.

Das Versuchsprogramm beinhaltet zwei verschiedene Belastungsarten, welche die in der Praxis relevanten Beanspruchungssituationen möglichst realitätsnah simulieren. Die Rohrverformungen wurden mithilfe von innenliegenden, über den Umfang verteilten Wegaufnehmern, gemessen, die eine integrale Aussage über den Beanspruchungszustand des Rohres erlauben.

REGELLASTFALL

Bei dem Lastfall „Regellast“ werden die durch die Leitereinbauten und das Rohreigengewicht hervorgerufenen Beanspruchungen für die in der Praxis relevanten Lagerabstände durch die Aufbringung von Zusatzgewichten simuliert. Das Rohr lagert in diesem Belastungszustand auf 4 Rollenlagern auf. Im Lastfall „Regellast“ umfasst das Versuchsprogramm 10.000 Zyklen.

AUSSERGEWÖHNLICHE LAST

Der Lastfall „außergewöhnliche Last“ bildet Lastsituationen ab, bei denen zusätzlich zu den Vertikalbelastungen erhebliche Horizontalkräfte auf die Rohre einwirken. Dies ist in der Praxis beispielsweise bei Sturm oder Erdbeben der Fall. Die Überlagerung der Vertikal- und Horizontalkräfte führt im Extremfall dazu, dass eine Seite der Rollenlager nahezu völlig entlastet wird und die resultierende Belastung allein über zwei Auflagerrollen aufgenommen werden muss. Durch eine drehbare Auflagerkonstruktion ist es möglich, auch diese Lastsituation im Versuch adäquat abzubilden. Um ein vorzeitiges Versagen des Rohres oder der Auflagerrollen auszuschließen, wird im „außergewöhnlichen Lastfall“ die zusätzliche Belastung in drei Laststufen schrittweise erhöht.

BEGLEITENDE RECHNERISCHE UNTERSUCHUNGEN

Ziel der begleitenden rechnerischen Untersuchungen ist es einerseits, die gemessenen Rohrverformungen rechnerisch zu verifizieren. Da andererseits die Messung der Rohrverformungen keine unmittelbare Aussage über die örtlichen Spannungen des Rohrprofils ermöglicht, wird mithilfe einer Finite-Element-Analyse die Versuchsbeanspruchung rechnerisch simuliert. Bei hinreichender Übereinstimmung der gemessenen und rechnerisch ermittelten Rohrverformungen können aus dieser Analyse Rückschlüsse auf die Spannungen im Material gezogen werden. Hierbei handelt es sich aber ausschließlich um die Spannungen aus Lasten. Die Eigenspannungen, die durch den Wickelprozess bei der Herstellung des Rohres auftreten, können auf diese Weise rechnerisch nicht erfasst werden.



Abb. 1: Versuchsstand mit belastetem Aluminiumrohr

Gewerbebau mit System: wirtschaftlich, schnell und nachhaltig

konzipieren bauen betreuen. www.goldbeck.de



GOLDBECK Ost GmbH, Geschäftsstelle Regensburg
93059 Regensburg, Frankenstraße 9
Tel. 0941/46469-0

deteringdesign.de



Forschen heißt, Neuland zu betreten ...



DÖMGES ARCHITEKTEN AG
Architektur und Stadtplanung



.Justiz



.Verwaltung



.Schulen, Hochschulen & Labors

.Industrie

DÖMGES ARCHITEKTEN AG
Boelckestraße 38 D-93051 Regensburg www.doemges.ag

Innovation im Hochbau



Schwarzdeckeneinbau, B299 Amberg - Neumarkt



Fortschritt baut man aus Ideen.

Zur Verstärkung unseres Teams suchen wir

Werkstudenten (m/w)

Praktikanten (m/w)

Absolventen (m/w)

Studienrichtungen

- Bauingenieurwesen
- Elektroingenieurwesen
- Maschinenbau
- Wirtschaftsingenieurwesen



MAX BÖGL

Fortschritt baut man aus Ideen.



Bewerbungen bitte über unser Karriereportal:
<http://karriere.max-boegl.de>

Aktuelle Jobangebote finden Sie unter:
<http://www.max-boegl.de>

MODELLBILDUNG

Die Eingabe des Modells erfolgt parametrisiert, sodass sehr einfach Änderungen, z. B. bezüglich der Geometrie, vorgenommen werden können. Erheblicher Modellierungsaufwand ist für die korrekte Erfassung der Spiralschweißnaht erforderlich. Es zeigt sich, dass bei einer derart komplexen Struktur mit unterschiedlichen Krümmungen und Größenverhältnissen der automatische Netzgenerator des Finite-Elemente-Programmes an seine Grenzen stößt.

Betrachtet man die Spannungen an einem Punktlager, so sind diese nicht aussagekräftig, da es sich hier um eine rechnerische Singularität handelt. In der Realität ist ein Auflager jedoch nicht unendlich steif und es hat finite Dimensionen. Als alternative Lagerung werden daher die Rollen über Bettungselemente abgebildet. Die Rollen werden in ihrer tatsächlichen Länge und mit genäherter Kontaktbreite modelliert. Eine Gegenüberstellung von Berechnungs- und Messergebnissen zeigt schließlich gute Übereinstimmung.

WEITERFÜHRENDE UNTERSUCHUNGEN

Zunächst wird untersucht, welche Spannungen sich im Rohr unter Gesamtlast bei elastischer Bettung ergeben, wenn die Material-Nichtlinearität berücksichtigt wird. Hierzu wird die Arbeitslinie entsprechend den Zugprüfungen im Berechnungsprogramm abgebildet. Durch Variation der Eingangsparameter ergeben sich rechnerische Plastizierungstiefen zwischen 1,6 und 2,2 mm. Dieses Ergebnis deckt sich qualitativ mit der Beobachtung, dass sich im Verlauf der Versuche bleibende, also plastische Verformungen des Rohrmaterials im Bereich der Rollenlager einstellen.

Grafik: Autoren

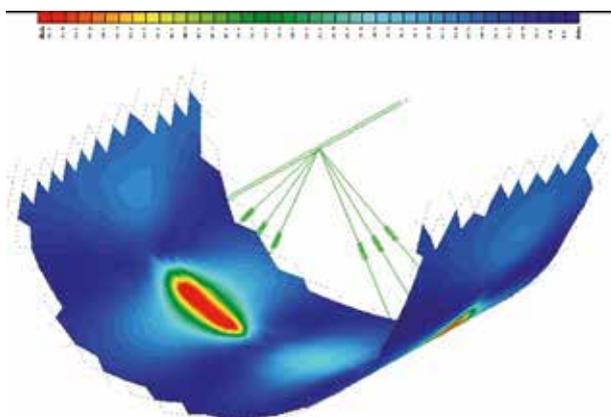


Abb. 2: Beanspruchungen der Rohrwandung im Kontaktbereich der Rollen

BEURTEILUNG DER ERGEBNISSE

Der Regellastfall simuliert die ständige Rohrbelastung infolge des Eigengewichts des Rohres und der Einbauten, das Versuchsprogramm umfasst hierfür 10.000 Zyklen, dies entspricht einer planmäßigen Nutzungsdauer von rund 27 Jahren. Die Belastung verteilt sich hierbei gleichmäßig auf alle 4 Rollenaullager.

Die Messergebnisse zeigen mit wachsender Zyklenzahl eine Zunahme der Verformungen des Rohres im Bereich der Rollenlager. Es handelt sich hierbei um plastische Verformungen, die nach Entlastung nicht vollständig reversibel sind. Die Ergebnisse werden durch die rechnerischen Untersuchungen bestätigt. Rein elastische Verformungen ergeben sich nur bis zu einem Belastungsniveau von 60 % der Versuchslast. Oberhalb dieses Niveaus plastiziert das Rohrmaterial im Bereich der Rollenlager.

Der außergewöhnliche Lastfall simuliert die gleichzeitige Wirkung von ständiger Rohrbelastung (infolge des Eigengewichts des Rohres und der Einbauten) und Horizontalbelastungen, z. B. infolge von Wind oder Erdbeben. Das Versuchsprogramm umfasst hierfür insgesamt 5.000 Zyklen. Durch die Überlagerung vertikaler und horizontaler Belastung ergibt sich eine unsymmetrische Verteilung der Rollenaullagerkräfte, im Extremfall verteilt sich die resultierende Belastung nur mehr auf zwei Rollenaullager. Diese Situation wird im Versuch simuliert.

Die Messergebnisse zeigen auch hier mit wachsender Zyklenzahl eine Zunahme der Verformungen des Rohres im Bereich der Rollenlager. Es handelt sich hierbei um plastische Verformungen, die nach Entlastung nicht vollständig reversibel sind. Die Ergebnisse werden durch die rechnerischen Untersuchungen bestätigt. Der plastizierte Bereich des Rohrmaterials im Bereich des Rollenlagers ist hier gegenüber dem Regellastfall erheblich vergrößert.

Projektleitung

Professor Dr.-Ing. Othmar Springer
Labor für konstruktiven Ingenieurbau
othmar.springer@oth-regensburg.de

+49 941 943-1343

Projektmitarbeiter

Susanne Hüttner, M. Sc.
Matthias Lagleder, M. Eng.
Tobias Preischl, M. Eng.

Auftraggeber

Siemens AG, Energy Sector (Erlangen)

Projektlaufzeit

6 Monate



Klebl GmbH · Gößweinstraße 2 · 92318 Neumarkt i. d.OPf. · Telefon (09181) 900-0 · klebl@klebl.de



Wir geben Kommunen ein Gesicht

Nette Kollegen suchen nette Kollegen

Wir sind:

Ein erfolgreicher Verlag im Bereich der kommunalen Printmedien mit eingeführten Produkten – ein Beispiel halten Sie in Ihren Händen.

Wir suchen:

Selbstständige AußendienstmitarbeiterInnen mit Spaß am Verkauf, gern auch branchenfremd, für die Region Bayern.

Wir bieten:

Sorgfältige Einarbeitung, regelmäßiges leistungsgerechtes Einkommen, eine interessante und lukrative Tätigkeit im Außendienst.



BROSCHÜREN
& PLÄNE



CORPORATE
DESIGN



NEUE MEDIEN

inixmedia Bayern GmbH
Marketing & Medienberatung
Kronacher Straße 41
96052 Bamberg

fon 0951 700 869 0
fax 0951 700 869 20
mail jobs@inixmedia.de
web www.inixmedia.de

REDUZIERUNG DES VERSINTERUNGSPOTENTIALS VON SPRITZBETON

Maria Thumann, OTH Regensburg
Wolfgang Kusterle, OTH Regensburg

71

In nicht druckwasserhaltenden Tunneln wird das Bergwasser über Entwässerungssysteme gesammelt und abgeführt. Häufig treten Kalkablagerungen (Versinterungen) in den Drainagerohren des sekundären Entwässerungssystems auf, die zu Querschnittsverminderungen oder -verschlüssen der Rohre führen und den ungestörten Abfluss des Wassers behindern. Um schwerwiegende Schäden am Tunnelbauwerk zu vermeiden, sind regelmäßige, kostenintensive Reinigungsarbeiten notwendig, die meist mit Verkehrsbehinderungen in den hoch ausgelasteten Tunnelbauwerken einhergehen. Die Gründe für die Entstehung von Versinterungen sind vielfältig. Es spielen sowohl die chemisch-physikalische Zusammensetzung des Bergwassers im Bereich des Tunnels als auch der Kontakt des Bergwassers mit zementgebundenen Materialien eine Rolle. Im Rahmen des Forschungsprojektes „REDUV – Reduzierung des Versinterungspotentials von Spritzbeton durch innovative Bindemittel und Zusatzstoffe“ werden Spritzbetonrezepturen mit einem reduzierten Versinterungspotential entwickelt.

Bei Versinterungen handelt es sich um Kalkablagerungen, wie sie auch im Haushalt in Wasserkochern, Kaffeemaschinen etc. auftreten können und die Leistungsfähigkeit der Geräte und Rohrleitungen beeinträchtigen. In den Drainageleitungen der Entwässerungssysteme von Tunnelbauwerken können Kalkablagerungen die Ableitung des Bergwassers be- bzw. verhindern.

Im Allgemeinen gibt es zwei mögliche Entwässerungs- und Abdichtungssysteme, um Tunnelbauwerke gegen den Eintritt von Bergwasser zu bemessen und zu schützen. Entweder eine druckwasserhaltende Abdichtung, das heißt, das Bauwerk wird auf den vollen Bergwasserdruck bemessen und rundum abgedichtet, oder eine nicht druckwasserhaltende, eine sogenannte „Regenschirmabdichtung“. Aus wirtschaftlichen und baupraktischen Überlegungen wird oft die zweite Methode gewählt. Das Bergwasser muss dabei planmäßig über Entwässerungssysteme drucklos abgeführt werden, damit am Bauwerk keine Schäden durch zu hohe Wasserdrücke entstehen. Bei der zweischaligen Tunnelbauweise wird zwischen der Außenschale und der Innenschale eine Abdichtung angebracht. Die Außenschale kann zum Beispiel mit Spritzbeton (pneumatisch an die Tunnellaubung als Sicherung aufgetragener Beton) und die Innenschale mit Ortbeton (später in eine Schalung gegossener Beton) hergestellt werden. Bei der Abdichtung zwischen den beiden Schalen handelt es sich in der Regel um Kunststoffdichtbahnen, die auf Geotextilien verlegt werden. An dieser wird das Bergwasser entlang abgeleitet, schließlich in Drainageleitungen an der Ulme gesammelt und abgeführt. Die Leitungen liegen etwas tiefer, seitlich der Fahrbahn in der Konstruktion und sind in der Regel für den Nutzer nicht sichtbar. Versinterungen in den teilperforierten Drainagekunststoffrohren können zu einem Teil- oder Vollverschluss der Leitungen führen (Abbildung 1). Deshalb sind regelmäßige, kostenintensive Reinigungsarbeiten notwendig, die meist mit Verkehrsbehinderungen in den hoch ausgelasteten Tunnelbauwerken einhergehen.



Foto: Testor, BEG

Abb. 1: Versinterungen in Drainageleitungen

Die Gründe für die Entstehung von Versinterungen sind vielfältig. Es spielen zum einen nicht beeinflussbare Faktoren, wie die Umgebungsbedingungen und die Zusammensetzung des Bergwassers, eine Rolle. Zum anderen gibt es auch beeinflussbare Faktoren, wie den Kontakt vom Bergwasser mit zementgebundenen Materialien. Das Bergwasser gelangt auf dem Weg in die Ulmendrainage zunächst über Risse und Fehlstellen im Spritzbeton, Ankerlöcher etc. zur Abdichtungsbahn (Abbildung 2). Dabei können aus dem Spritzbeton versinterungsrelevante Stoffe herausgelaut werden. Bei der Hydratation von Portlandzement entsteht neben den CSH-Phasen als festigkeitsbildende Reaktionsprodukte auch Calciumhydroxid, das für den Korrosionsschutz der Bewehrung erforderlich ist, aber bei Kontakt mit Bergwasser herausgelöst werden kann und die Versinterungsneigung erhöht. Beim Eintritt des Wassers in das Entwässerungssystem ändern sich zudem die Druck- und Temperaturverhältnisse und das Wasser steht im direkten Austausch mit der Atmosphäre. Diese Einflüsse können dazu führen, dass das Kalk-Kohlensäure-Gleichgewicht des Wassers gestört wird und Versinterungen entstehen.¹

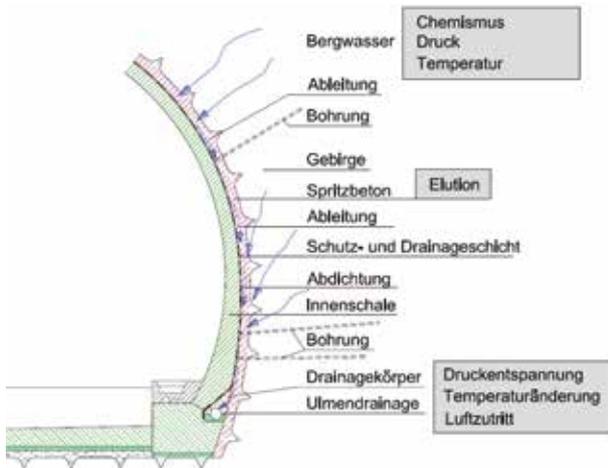


Abb. 2: Der Weg des Bergwassers in die Ulmendrainage¹

Im Forschungsprojekt „REDUV – Reduzierung des Versinterungspotentials von Spritzbeton durch innovative Bindemittel und Zusatzstoffe“ der Bayerischen Forschungsförderung werden Spritzbetonrezepturen entwickelt, die eine möglichst geringe Versinterungsneigung haben. Dabei gilt es vor allem auch die beim Spritzbeton wichtigen Aspekte der Frühfestigkeitsentwicklung, die Dauerhaftigkeit und die Wirtschaftlichkeit zu berücksichtigen.

Das Projekt wird in drei Schritten umgesetzt. Zunächst sollen anhand von Laborversuchen Mischungen mit unterschiedlichen Bindemitteln und Zusatzstoffen, Wasser/Zement-Werten, Gesteinskörnungen etc. auf ihr Auslaugverhalten untersucht werden. In einem nächsten Schritt werden ausgewählte Mischungen in Mörtelspritzversuchen umgesetzt, um den Einfluss des Spritzverfahrens und des Erstarrungsbeschleunigers berücksichtigen zu können. Als Letztes sind Baustellenspritzversuche angedacht.

Das Auslaugverhalten der Mischungen wird nach dem ÖBV-Merkblatt „Festlegung des Reduzierten Versinterungspotentials“² bestimmt. Das Prüfverfahren liefert zwar keine Aussage zur realen Beurteilung der Versinterung in den Tunnelbauwerken, aber es kann zu Mischungsoptimierungen, Vergleichen und zur Qualitätssicherung auf Baustellen herangezogen werden. Für den Versuch werden Bohrkern im Alter von 56 d in getrennte, geschlossene Behälter mit entionisiertem Wasser eingelagert. Dabei diffundiert Calcium aus den Proben in das umgebende Wasser. Das Beurteilungskriterium ist der sogenannte RV-Wert. Er setzt sich aus der Summe der Calciumfreisetzung aus drei Zyklen (24 h, 48 h, 120 h) zusammen. Für die Bewertung der unterschied-

lichen Mischungen werden außerdem noch weitere Parameter wie Druckfestigkeit und Porosität miteinbezogen.

Erste Ergebnisse zeigen, dass durch eine Optimierung der Mischungen eine deutliche Reduzierung des Versinterungspotentials möglich ist.³ Eine Optimierung kann unter anderem durch die teilweise Substitution des Zements durch Zusatzstoffe erreicht werden. Zum Beispiel bilden puzzolanische Stoffe das bei der Hydratation entstehende Calciumhydroxid zu festigkeitsbildenden Bestandteilen um. Das heißt, der Anteil an leicht löslichem Calciumhydroxid wird sowohl durch eine Reduzierung des Zementgehalts als auch durch neue chemische Bindungen verringert. Außerdem konnte eine gute Reproduzierbarkeit der Laborversuche mit den Mörtelspritzversuchen festgestellt werden. Es ist allerdings noch zu überprüfen, inwiefern die Ergebnisse auf Großspritzversuche zu übertragen sind. Bei diesen Versuchen wird nicht nur der Einfluss des Beschleunigers, sondern auch der Einfluss des Spritzvorgangs und der Baustellenbedingungen mitberücksichtigt. Des Weiteren werden im Forschungsprojekt noch die Ursachen von Schwankungen in Baustellenergebnissen und Parameterstudien zu den Einflüssen auf das Prüfverfahren durchgeführt.³

Literatur

- 1 Österreichische Vereinigung für Beton- und Bautechnik: Richtlinie Tunnelentwässerung, Wien (2010).
- 2 Österreichische Bautechnik Vereinigung: Festlegung des Reduzierten Versinterungspotentials. Merkblatt, Wien (2012).
- 3 Thumann, M., Saxer, A., Hartmaier, M., Kusterle, W.: Versinterungspotential von Spritzbeton – Laboruntersuchungen und Kleinspritzversuche zur Reduzierung der Calciumfreisetzung. In: Kusterle, W. (Hrsg.): Spritzbeton-Technologie 2015. Spritzbeton – Tagung, Alpbach, Tirol, 29. + 30.01.2015. Eigenverlag (2015).

Projektleitung

Prof. Dipl.-Ing. Dr. techn. habil.
Wolfgang Kusterle +49 941 943-1349
Leiter Labor für Baustoffe und Betontechnologie
wolfgang.kusterle@oth-regensburg.de

Projektmitarbeiterin

Maria Thumann, M. Eng. +49 941 943-9774
maria.t.thumann@oth-regensburg.de

Geldgeber

Bayerische Forschungsförderung

Kooperationspartner

Rohrdorfer Gruppe, Südbayerisches Portland-Zementwerk
Gebr. Wiesböck & Co. GmbH

Projektlaufzeit

28 Monate

Fördersumme

- Gesamt: 356.200 €
- OTH Regensburg: 171.200 €

OPTIMIERUNG DER GEORDNETEN ANORDNUNGEN VON PIEZOELEKTRISCHEN BIEGEWANDLERN ZUR BREITBANDIGEN ENERGIEGEGWINNUNG AUS MECHANISCHEN SCHWINGUNGEN

Andreas Obermeier, OTH Regensburg

Anton Udalzow, OTH Regensburg

Mikhail Chamonine, OTH Regensburg

73

Das sogenannte Energy Harvesting (Energiegewinnung aus Umwelteinflüssen) hat mit der Verbesserung der Effizienz von integrierten Schaltungen stark an Bedeutung gewonnen. Insbesondere für drahtlose Sensorknoten, bei denen eine Versorgung mit Batterien aus technischen oder wirtschaftlichen Gründen nicht möglich ist, erweitert die Energiegewinnung aus der Umwelt den Anwendungsbereich erheblich und sorgt entweder für einen autarken Betrieb oder für Verlängerung der Zeitintervalle zwischen dem Akkuaustausch. Dabei bietet das Ernten der Energie aus Vibrationen ein großes Potential, da diese Quelle in der Umwelt häufig vorkommt und im Gegensatz zur Energiewandlung aus Licht oder einer Temperaturdifferenz beständig ist. Als Energiewandler wurden dafür piezoelektrische Biege wandler, welche im Englischen als Cantilever Beam bezeichnet werden, untersucht. Bei dieser Art von Wandlern besteht wegen des ausgeprägten Resonanzverhaltens das Problem, dass die Energieerzeugung auf eine kleine Bandbreite beschränkt ist. Zur Lösung des Problems wurde eine Methode untersucht, um die nutzbare Bandbreite solcher Wandler deutlich zu verbessern und über eine Simulation des elektromechanischen Ersatzschaltbildes in LTSpice auf die vorkommenden Vibrationen abzustimmen. Durch die Ausweitung der Simulation auf Schaltungen zur Ankopplung des Wandlers an einen Verbraucher ist es möglich, mit der Kenntnis über die auftretenden Vibrationen (Frequenz und Beschleunigung) die für den Verbraucher nutzbare Leistung zu simulieren.

Im Rahmen des Forschungsprojektes „Effizienzerhöhung der Vibrationsenergie wandlung bei niederfrequenten und breitbandigen Schwingungen“ wurde eine Methode zur Erhöhung der Bandbreite und Abstimmung von piezoelektrischen Biege wandlern auf vorkommenden Vibrationen untersucht. Die Bandbreite der nutzbaren Leistungserzeugung ist bei diesem Wandler-Typ aufgrund des Resonanzverhaltens begrenzt, typische Bandbreiten sind $\sim 1\text{Hz}$. Da die vorkommenden Vibrationen selten ein diskretes Spektrum aufweisen und die Resonanzfrequenz des Wandlers durch Alterung oder Temperaturdifferenz variiert, ist es notwendig, dessen Bandbreite auf einen nutzbaren Frequenzbereich abzustimmen. Dazu gibt es die Möglichkeit, anstatt eines Wandlers mehrere, auf verschiedene Resonanzfrequenzen abgestimmte Wandler einzusetzen. Die im englischen auch als Cantilever Beam Array bezeichnete Anordnung erhöht je nach Anzahl der Biege wandler die Bandbreite des gesamten Systems (siehe Abbildung 1).

Besonderes Interesse gilt dabei dem Abstand der Resonanzfrequenzen der einzelnen Wandler. Wenn dieser Abstand günstig gewählt wird, erreicht man die optimale Bandbreite des gesamten Systems. Die Einstellung der Resonanzfrequenz kann entweder über die Balkensteifigkeit (Voraussetzung ist eine konstante Masse) erfolgen oder durch Veränderung der effektiven Balkenmasse, welche durch ein zusätzliches Gewicht an der Spitze des Wandlers angebracht wird. Erstere Methode bietet den Vorteil, dass die mechanischen Amplituden der einzelnen Resonanzkurven identisch sind. Als erheblicher Nachteil dieser Methode ist zu nennen, dass für jede Resonanzfrequenz eine definierte Balkensteifigkeit, also verschiedene Geometrien oder Werkstoffe des Wandlers zur Verfügung stehen müssen. Für eine praktische Anwendung, bei der eine Abstimmung auf beliebige Frequenzen

notwendig ist, ist dies wenig praktikabel. Es ist besser, die Abstimmung über die effektive Masse vorzunehmen, welche kontinuierlich erfolgen kann. Dafür müssen lediglich Wandler zur Verfügung stehen, deren Balkensteifigkeit äquivalent zu gewissen Frequenzschritten ist. Jedoch muss dabei berücksichtigt werden, dass die Amplitude eines Biege wandlers an dessen effektive Masse gekoppelt ist: Je größer die Masse, desto größer ist die Amplitude. Für ein mit Masse abgestimmtes Array aus Biege wandlern bedeutet dies, dass der Wandler mit der geringsten Resonanzfrequenz die größte Amplitude und der Wandler mit der höchsten Resonanzfrequenz die kleinste Amplitude aufweist.

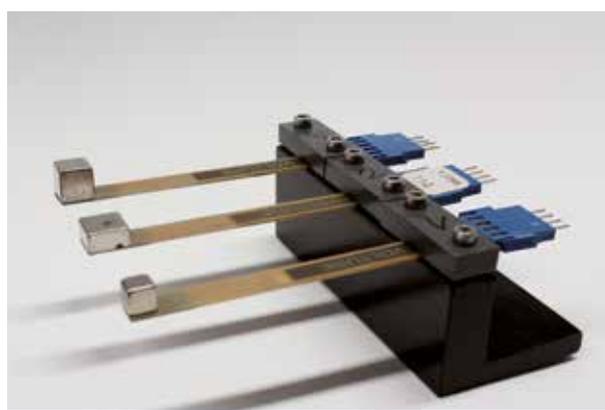


Foto: Autoren

Abb. 1: Array aus Biege wandlern abgestimmt mit verschiedenen Massen

Um dieses Verhalten zu simulieren, wurde aus dem elektromechanischen Ersatzschaltbild eines Biege wandlers bestehend aus Feder, Masse und Dämpfer das elektrisch äquivalente Ersatzschaltbild, bestehend aus Widerstand, Kapazität und Induktivität aufgestellt (siehe Abbildung 2 a und b). Bei der dabei verwendeten F-/U-Analogie entsprechen diese

Elemente der Dämpfung, Balkensteifigkeit und effektiven Masse des Wandlers. Mit diesem Ersatzschaltbild ist es möglich, z. B. in LTSpice das mechanische Resonanzverhalten eines Arrays zu simulieren sowie die erzeugte Spannung bzw. Leistung in Abhängigkeit der anregenden Vibrationen anzugeben. Mit dieser Methode kann ein Array aus Biegewandlern optimal auf die auftretenden Vibrationen abgestimmt werden, ohne dieses physikalisch aufzubauen. Außerdem können durch Veränderung der Parameter Verbesserungen und Fertigungstoleranzen simuliert werden. Als Basis der Simulation wurden die Parameter eines kommerziell erhältlichen Harvesters Mide 22VBI (siehe Abbildung 1) verwendet, der durch seinen breitbandigen Abstimmbereich gut für solche Anwendungen geeignet ist. Als Ergebnis der Simulation ist festzuhalten, dass die Anzahl der Wandler in einem über die Masse abgestimmten Array begrenzt ist. Diese Zahl hängt von der Bandbreite eines einzelnen Biegewandlers ab, da mit steigender Anzahl die Verbesserung der Bandbreite durch das Hinzufügen zusätzlicher Wandler abnimmt. Um eine möglichst große Bandbreite des Arrays in Abhängigkeit der Zahl der Wandler zu erreichen, ist es besser, eine Kombination aus Abstimmung über Masse und Balkensteifigkeit zu verwenden (siehe Abbildung 2 c).

Neben der Simulation des Resonanzverhaltens ist es auch möglich, das elektromechanische Ersatzschaltbild in Verbindung mit Schaltungen zur Lastankopplung zu simulieren. Solche häufig als DC-DC-Wandler ausgeführten Schaltungen wandeln die hohen Spannungen und niedrigen Ströme, welche durch die piezoelektrischen Biege wandler erzeugt werden, in typische für Mikrocontroller nutzbare Spannungen von 3.3 V. Abhängig von der Last und der Amplitude des Biege wandlers wird die Schaltung mit einem Tastverhältnis oder in einem Dauerbetrieb betrieben. Dabei spiegelt sich die Resonanzfrequenz des Biege wandlers nicht in der Spannung, welche konstant gehalten wird, sondern im Tastverhältnis d (t_{on} : Last angekoppelt, t_{load} : Ladezeit) wieder.

$$d = t_{on} / (t_{on} + t_{load})$$

Dabei dient ein Kondensator am Eingang der Lastankopplungsschaltung als Energiespeicher. Mit der Kenntnis über das Tastverhältnis kann simuliert werden, ob die erzeugte Energie für den Betrieb einer angeschlossenen Schaltung ausreicht. Im Rückschluss dazu kann die gesamte Schaltung auf den Einsatz hin optimiert werden.

Grafik: Autoren

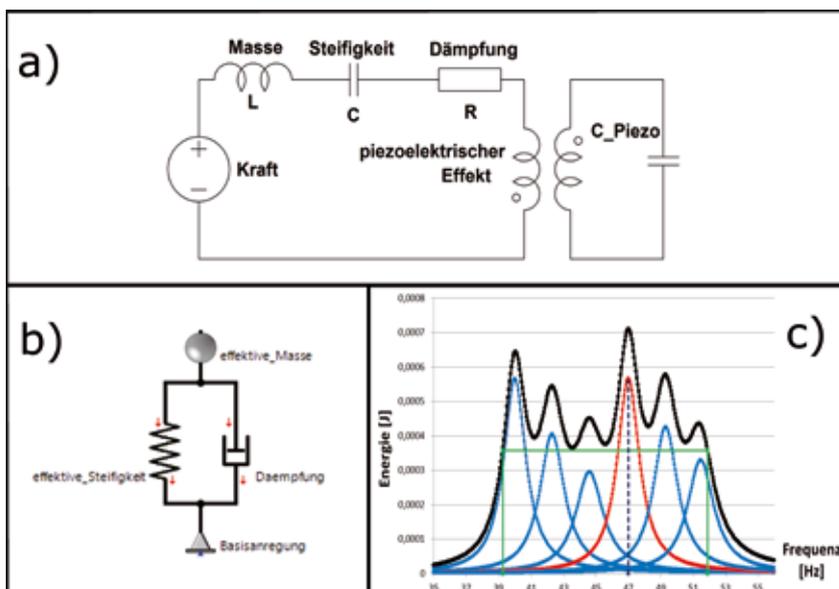


Abb. 2 a: Elektromechanisches Ersatzschaltbild, 2 b: Mechanisches Ersatzschaltbild eines Biege wandlers, 2 c: Optimum für Abstimmung eines Arrays

Projektleitung

Prof. Dr. Mikhail Chamonine
Tel. +49 941 943-1105
East Bavarian Centre for Intelligent
Materials (EBACIM)
mikhail.chamonine@oth-regensburg.de

Projektmitarbeiter

Andreas Obermeier, B. Eng.
Anton Udalzew, B. Eng.

Geldgeber

TWO – Technologie- und Wissen-
schaftsnetzwerk Oberpfalz

Literatur

- Gilbert, J.M., Balouchi, F.: Comparison of Energy Harvesting Systems for Wireless Sensor Networks. International Journal of Automation and Computing, Hull (2008).
- Romani, A., Paganelli, R.P., Sangiaorgi, E.: Joint Modeling of Piezoelectric Transducers and Power Conversion Circuits for Energy Harvesting Applications. IEEE Sensors Journal (2011).
- Al-Ashtari, W., Hunstig, M., Hemsel, T., Sextro, W.: Enhanced Energy Harvesting Using Multiple Piezoelectric Elements: Theory and Experiments. Sensors and Actuators (2013).
- Chamanian, S., Baghaee, S., Ulsan, H., Zorlu, Ö., Külah, H., Uysal-Biyikoglu, E.: Powering-up Wireless Sensor Nodes Utilizing Rechargeable Batteries and an Electromagnetic Vibration Energy Harvesting System, Energies (2014).
- Mide Technologies: www.mide.com

RECHENZEITOPTIMIERTE TEMPERATURFELDBERECHNUNG ZUR VIRTUELLEN PROZESSAUSLEGUNG DES QUASISIMULTANEN LASER-DURCHSTRAHLSCHWEISSENS

Anton Schmailzl, OTH Regensburg
Stefan Hierl, OTH Regensburg

75

Beim quasisimultanen Laser-Durchstrahlschweißen wird die FEM-Simulation wegen der Vielzahl der Umläufe des Laserstrahls und der damit verbundenen hohen Rechenzeit bisher kaum eingesetzt. Um die Temperaturfeldberechnung praktikabel für die virtuelle Prozessentwicklung einsetzen zu können, ist eine Reduktion der Rechenzeit zwingend erforderlich. Im Gegensatz zum bisher praktizierten Vorgehen, bei dem bei jedem Lastschritt die APDL-Routine die volumetrische thermische Last als Wertematrix übergibt, wird nun die Wärmequelle durch Funktionen beschrieben, die in FORTRAN-Codierung mit erheblicher Zeitersparnis berechnet werden können.

Das quasisimultane Laser-Durchstrahlschweißen ist ein Kunststoff-Fügeverfahren, das vorzugsweise in der Medizintechnik, der Automobilindustrie oder der Mikrotechnik angewandt wird.^{1, 2} Die zu fügenden Bauteile sind im Überlappstoß angeordnet und werden mit einer Spannvorrichtung fixiert. Der Laserstrahl mit einer Wellenlänge im nahen Infrarot ($\lambda \approx 1 \mu\text{m}$) wird in mehreren Umläufen entlang der Schweißkontur geführt, durchtritt den oberen, transparenten Fügepartner nahezu verlustfrei und erwärmt den unteren, absorbierend gefüllten Kunststoff oberflächennah. Durch Wärmeleitung wird auch der obere Fügepartner erwärmt. Mit Erreichen der Schmelztemperatur in beiden Fügepartnern entsteht im Fügestoß eine Schweißung. Die erzielbare Schweißnahtqualität steht in enger Korrelation mit dem sich ausbildenden Temperaturfeld. Eine Temperaturfeldberechnung ermöglicht daher Rückschlüsse auf die späteren Eigenschaften der Schweißnaht und kann so gezielt zur Optimierung des Prozesses eingesetzt werden.

Zur Berechnung des Temperaturfelds bei Schweißvorgängen können in ANSYS-CLASSIC kommerziell verfügbare APDL-Routinen genutzt werden. Die thermischen Lasten werden dabei in Form einer Wertematrix auf die finiten Elemente aufgetragen und die Temperaturen der finiten Elemente werden berechnet. Dabei ergibt sich bei einer typischen Quasisimultanschweißung eine Rechendauer von mehreren Wochen. Denn aufgrund der kleinen Wechselwirkungszone der Laserstrahlung, der hohen Vorschubgeschwindigkeit und der Vielzahl von Umläufen sind eine sehr hohe zeitliche und räumliche Diskretisierung und viele Rechenschritte erforderlich.

Ein Großteil der gesamten Rechenzeit eines Simulationslaufs wird für das Aufbringen der thermischen Last benötigt. Um die Rechenzeit zu verkürzen, erscheint es zielführend, die Berechnungsroutinen für das Auftragen der thermischen Lasten zu optimieren. Neben der Nutzung von APDL-Routinen zur Lasteingabe bietet sich in ANSYS-CLASSIC die Möglichkeit, die Lastauftragung mithilfe von analytischen, zeitabhängigen Funktionen zu realisieren. Eine derartige Funktion weist den finiten Elementen entsprechend ihrer räumlichen Lage zu einem festgelegten Zeitpunkt eine volumetrische, thermische Last zu.

BESCHREIBUNG DER MEHRDIMENSIONALEN LASTFUNKTION

Die Strahlungsintensität des Laserstrahls lässt sich mathematisch durch eine Gauß'sche Normalverteilung annähern. Der Durchmesser d des Laserstrahls wird dabei so definiert, dass im Abstand $d/2$ von der Strahlachse die Intensität auf $1/e^2$ abgefallen ist. Somit lässt sich die Strahlungsintensität in der x - y -Ebene wie folgt beschreiben:

$$I(x,y) = \frac{8 \cdot P}{\pi \cdot d^2} \cdot e^{-8 \cdot \frac{x^2+y^2}{d^2}} \quad \text{Gl. 1}$$

P: Laserleistung

d: Strahldurchmesser

x,y: Koordinaten senkrecht zur Strahlausbreitungsrichtung

Beim Durchstrahlen eines teiltransparenten, thermoplastischen Kunststoffes findet eine exponentielle Abschwächung der Strahlungsintensität statt, welche durch das Lambert-Beer'sche Gesetz beschrieben wird:

$$I(z) = I_0 \cdot e^{-\alpha z} \quad \text{Gl. 2}$$

α : Absorptionskoeffizient

z: Koordinate in Strahlausbreitungsrichtung

I_0 : Ausgangsstrahlungsintensität

Die auf das Volumen bezogene absorbierte Laserleistung Q ergibt sich durch Differentiation des Lambert-Beer'schen Gesetzes in Strahlausbreitungsrichtung z und berechnet sich wie folgt:

$$Q = \frac{dI(z)}{dz} = \alpha \cdot I_0 \cdot e^{-\alpha z} \quad \text{Gl. 3}$$

Q: Absorbierte Laserleistung

I_0 : Ausgangsstrahlungsintensität

α : Absorptionskoeffizient

Berücksichtigt man in Gl. 3 die Verteilung der Strahlungsintensität quer zur Ausbreitungsrichtung gemäß Gl. 1, so lässt sich ein mathematischer Ausdruck zur Berechnung der volumetrischen Strahlungsabsorption bzw. Wärmeeinbringung für einen ortsfesten Laserstrahl ermitteln:

$$Q(x,y,z) = \alpha \cdot \frac{8 \cdot P}{\pi \cdot d^2} \cdot e^{(-\alpha z) - 8 \cdot \frac{x^2+y^2}{d^2}} \quad \text{Gl. 4}$$

Q: Absorbierte Strahlungsleistung



ARGES

ZUKUNFT LASERTECHNIK:
www.ARGES.de/career



pc_o.

on the cutting edge

Lust auf Hightech - Kameraentwicklung?
Wir bieten Jobs für kluge Köpfe

Bewerbungen an
application@pco.de



www.pco.de

Abbildung 1 zeigt die Eindringtiefen der Laserstrahlung am Beispiel eines nicht gefüllten Kunststoffes mit einem Absorptionskoeffizienten von $\alpha = 1 \text{ mm}^{-1}$ im Vergleich zu einem absorbierend gefüllten Kunststoff mit $\alpha = 9 \text{ mm}^{-1}$. Die in das gesamte Volumen eingebrachte Wärmeenergie, berechnet mit der vorliegenden Funktion, bleibt bei Variation des Absorptionskoeffizienten konstant, lediglich die Eindringtiefe verändert sich.

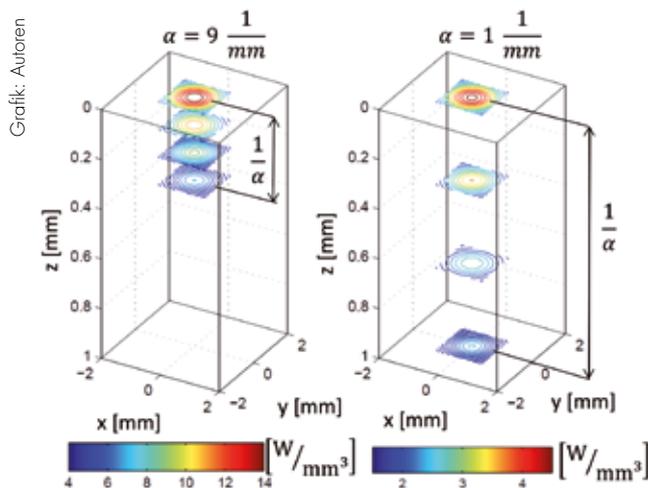


Abb. 1: Strahlungsabsorption eines Laserstrahls, dargestellt als Konturdiagramm für einen nicht gefüllten Kunststoff ($\alpha = 1 \text{ 1/mm}$ rechts) im Vergleich zu einem absorbierend gefüllten Kunststoff ($\alpha = 9 \text{ 1/mm}$ links)

Um eine Bewegung des Laserstrahls in der Simulation realisieren zu können, wird die räumliche Lage des Strahlmittelpunktes mithilfe zeitabhängiger Bewegungsgleichungen beschrieben:

$$Q(x,y,z,t) = \frac{8 \cdot P}{\alpha \cdot \pi \cdot d^2} \cdot e^{-\alpha \cdot (z_0(t)+z) - 8 \cdot \frac{(x_0(t)+x)^2 + (y_0(t)+y)^2}{d^2}} \quad \text{Gl. 5}$$

$x_0(t)$, $y_0(t)$, $z_0(t)$: Bewegungsgleichungen des Strahlmittelpunktes in x-, y- und z-Richtung

Durch die Implementierung der Gl. 5 in ANSYS-CLASSIC lässt sich die thermische Last im Volumen eines Kunststoffes für einen bewegten Laserstrahl beschreiben.

VERGLEICH DER RECHENZEITEN

Stellt man die Rechenzeit eines Simulationslaufs, berechnet mit einer mehrdimensionalen Lastfunktion, der Rechenzeit bei Verwendung von APDL-Routinen gegenüber, so kann eine deutliche Reduktion der Rechenzeit festgestellt werden (siehe Abbildung 2).

Die Erhöhung der Rechengeschwindigkeit lässt sich auf die vorwiegende Nutzung interner Programmroutinen zurückführen, welche in FORTRAN codiert sind und im Gegensatz zu APDL-Routinen deutlich schneller ablaufen.

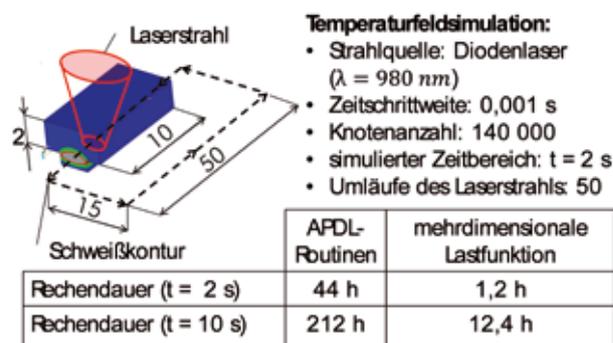


Abb. 2: Vergleich der Rechenzeiten bei einer typischen Quasisimultanschweißung

ZUSAMMENFASSUNG

Die Temperaturfeldberechnung des quasisimultanen Laser-Durchstrahlschweißens wird im Hinblick auf die Weiterentwicklung des Prozesses immer wichtiger. Um sie zukünftig effizient einsetzen zu können, wurde ein Simulationsmodell auf Basis mehrdimensionaler Lastfunktionen erstellt. Im Vergleich zu kommerziell verfügbaren Wärmequellen auf Basis von APDL-Routinen konnte dadurch eine Reduktion der Rechenzeit in etwa um den Faktor 30 erreicht werden.

Literatur

- 1 Hierl, S.: Innovative Systemlösungen für das Laserstrahl-Kunststoffschweißen. In: Geiger, M. und Fleckenstein, M. (Hrsg.): Laser in der Elektronikproduktion & Feinwerktechnik – LEF 2002. Bamberg, Meisenbach, S. 167–178.
- 2 Schmailzl, A., Hierl, S., Sieben, M. und Brunnecker, F.: Optimierung der Spanndruckverteilung beim Laserdurchstrahlschweißen komplexer Bauteile mittels FE-Berechnung. JOINING PLASTICS, 2013, 7, 30–34.

Projektleitung

Prof. Dr. Stefan Hierl
Labor für Laser-Materialbearbeitung
stefan.hierl@oth-regensburg.de

Kooperationspartner

- ARGES GmbH, Wackersdorf
- Bayerisches Laserzentrum GmbH, Erlangen
- INOTECH Kunststofftechnik GmbH, Nabburg

FELDEMISSIONSKATHODEN ALS ELEKTRONENQUELLEN IN MINIATURISIERTEN RÖNTGENQUELLEN

78

 Christoph Langer, OTH Regensburg
 Rupert Schreiner, OTH Regensburg

Ziel dieses Forschungsvorhabens ist es zu zeigen, dass Feldemissionskathoden aus Silizium als Elektronenquellen in einer miniaturisierten Röntgenquelle tauglich sind. Hauptkriterien hierfür sind die zeitliche Stabilität des Emissionsstroms und der maximal zulässige Betriebsdruck. Durch eine Weiterentwicklung des an der OTH Regensburg entwickelten Herstellungsprozesses, bei dem ein zusätzliches stromstabilisierendes Element monolithisch integriert wurde, konnte die Fluktuation des Emissionsstroms auf unter $\pm 2\%$ gesenkt werden. Der maximale Betriebsdruck, bei welchem keine signifikanten Alterungserscheinungen auftraten, lag im Hochvakuumbereich bei etwa 10^{-6} mbar. Es konnte somit gezeigt werden, dass derartige Feldemitter für die geplante Anwendung verwendet werden können.

Systeme für die Röntgenfluoreszenzanalyse (XRF) bestehen aus einer Röntgenquelle und einem Röntgendetektor mit Auswertelektronik. Der klassische Aufbau einer Röntgenquelle gliedert sich in folgende Hauptkomponenten: die Elektronenquelle zur Erzeugung freier Elektronen, die Beschleunigungszone, um die Elektronen mit der Röhrenspannung (einige kV) in Richtung Anode zu beschleunigen, und ein Röntgentarget zur Erzeugung der Röntgenstrahlung. Beim Auftreffen der Elektronen auf dem Röntgentarget dringen sie in dieses ein und werden dabei abgebremst, wodurch die charakteristische Röntgenstrahlung des Targetmaterials und Bremsstrahlung entsteht.

Nach derzeitigem Stand der Technik werden die in einer Röntgenröhre benötigten freien Elektronen durch thermische Emission aus Glühkathoden erzeugt. Durch die Verwendung von Feldemissionselektronenquellen sollen die Nachteile konventioneller Glühemissionskathoden, wie die geringe zeitliche Stabilität, der hohe Energiebedarf und die fehlende monolithische Integrierbarkeit, eliminiert werden. Bei der Feldemission werden bei Raumtemperatur Elektronen aus leitfähigen Oberflächen unter dem Einfluss hoher elektrischer Felder (einige GV/m) emittiert. An Spitzen mit kleinen Krümmungsradien tritt eine starke Überhöhung des elektrischen Feldes gegenüber dem von außen angelegten Feld auf, sodass Feldemission bereits bei deutlich niedrigeren Feldstärken (einige 10 MV/m) zu beobachten ist. Da die Feldüberhöhung näherungsweise proportional zum Aspektverhältnis der Spitze ist, sind für niedrige Betriebsspannungen hohe Strukturen mit Verrundungsradien im nm-Bereich erforderlich.

Mit Feldemissionsarrays aus Silizium ist es möglich, durch die Emission aus sehr vielen, über eine Fläche von wenigen Quadratmillimetern verteilten Spitzen, Ströme im mA-Bereich zu erreichen.¹⁻⁴ Zudem zeichnen sich Mikrospitzen aus Silizium durch ihre gute Homogenität und eine hohe Strombelastbarkeit (>100 nA) aus. Jedoch weisen herkömmliche, auf Silizium basierende Elektronenquellen Probleme hinsichtlich Stromstabilisierung und Lebensdauer auf.⁵ Zur Lösung dieses Problems wird eine von Velasquez-Garcia et al.^{6,7} vorgeschlagene Möglichkeit zur Stabilisierung des Emissionsstroms von Si-Emittern untersucht. Hierbei befinden

sich unter den Spitzen hohe Säulen mit einem Durchmesser von ca. $1\ \mu\text{m}$, welche im Betrieb als strombegrenzendes Element wirken. Das elektrische Feld dringt seitlich in die Säulen ein, wodurch die Ladungsträgerzufuhr stark begrenzt wird.

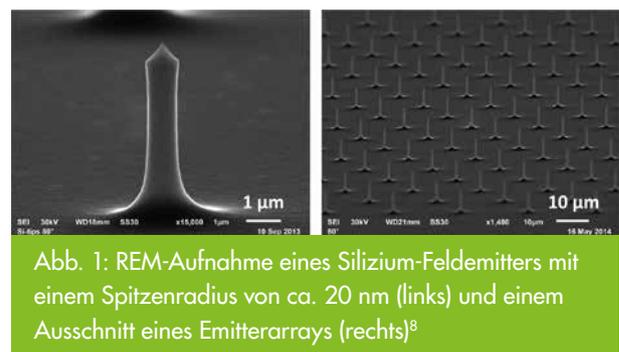


Abb. 1: REM-Aufnahme eines Silizium-Feldemitters mit einem Spitzenradius von ca. 20 nm (links) und einem Ausschnitt eines Emitterarrays (rechts)⁸

HERSTELLUNG DER FELDEMISSIONSKATHODEN

Der an der OTH Regensburg vorhandene Herstellungsprozess für Feldemitter⁹ wurde zur Realisierung dieser Säulen um einen Ätzschritt mit induktiv gekoppeltem Plasma (ICP) erweitert. Mithilfe optimierter Prozessparameter werden einerseits die bereits vorstrukturierten Emitterspitzen in ihrer Form nicht verändert und andererseits senkrechte Ätzflanken an der Säule erreicht. Durch eine anschließende thermische Oxidation des Siliziums werden die Emitter angeschärft. Basierend auf diesem Prozess wurde eine Reihe an Proben aus p- und n-dotiertem Silizium mit Säulenhöhen von etwa $5\ \mu\text{m}$ und Spitzenradien von ca. 20 nm realisiert (siehe Abbildung 1).^{8, 10}

CHARAKTERISIERUNG DER STROMSTABILITÄT

Integrale Messungen an einem hexagonalen Array mit 271 Emittern im Ultrahochvakuum zeigen bei p-Silizium im Vergleich zu früheren Messungen an herkömmlichen p-Si-Emittern ohne Säule^{9, 11} einen deutlicheren Sättigungsbereich, bei dem der Emissionsstrom nur noch gering mit der Anodenspannung ansteigt. Bei n-dotierten Emittern mit jeweils gleicher Geometrie ist hingegen dieser Sättigungseffekt nicht zu be-

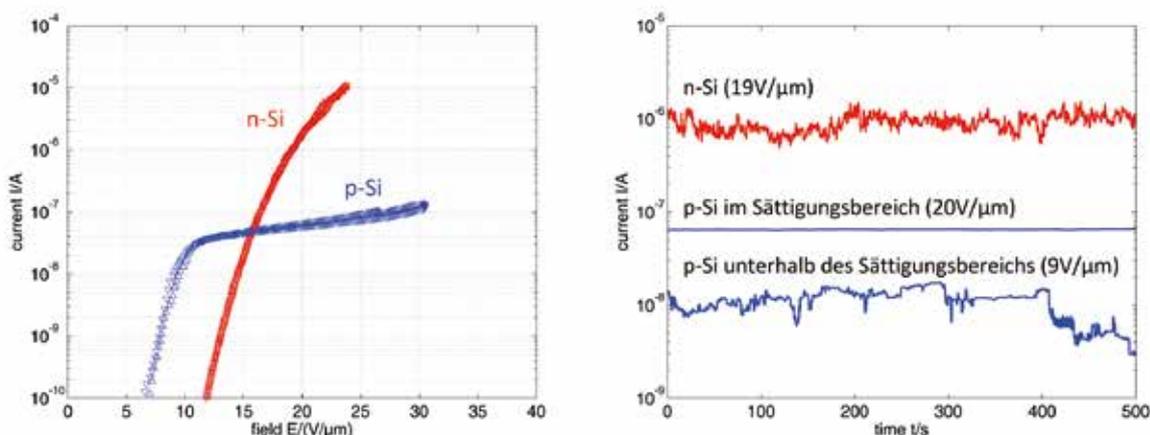


Abb. 2: $I(E)$ -Kennlinien von Feldemissionskathoden aus p-Si und n-Si mit jeweils 271 Emittlern (links) und zugehörigen Stromschwankungen während 500 Sekunden (rechts)⁹

obachten (siehe Abbildung 2 links). An den Emittterarrays wurden unter UHV-Bedingungen Kurzzeitstabilitätsmessungen durchgeführt (siehe Abbildung 2 rechts). Im Vergleich zu den n-dotierten Emitttern und zu einem Arbeitspunkt außerhalb des Sättigungsbereichs waren die Stromschwankungen bei p-dotierten Emitttern im Sättigungsbereich mit $\pm 2\%$ sehr gering.⁸

ERMITTLUNG DES MAXIMALEN BETRIEBSDRUCKS

Zur Ermittlung des maximal zulässigen Betriebsdrucks der Feldemissionskathoden wurden an einer Probe mit 1024 Emitttern $I(U)$ -Kennlinien bei Druckwerten im Bereich von 10^{-9} mbar bis 10^{-4} mbar aufgenommen. Diese Messungen sowie REM-Aufnahmen zeigen, dass ab einem Druck von etwa 10^{-5} mbar irreversible Veränderungen der Emitttergeometrie durch Ionenbeschuss auftreten. Der Betriebsdruck der Feldemissionskathoden sollte somit in der Röntgenquelle im Hinblick auf die Lebensdauer bei 10^{-6} mbar oder darunter liegen.

Literatur

- Chen, L. et al.: Field Emission Studies of Tungsten-Coated Silicon-Based Field Emitters. *Ultramicroscopy* 79, 135–140 (1999).
- Chubun, N. N. et al.: Fabrication and Characterization of Singly Addressable Arrays of Polysilicon Field-Emission Cathodes. *Solid-State Electronics* 45, 1003–1007 (2001).
- Huq, S.E. et al.: Field Emitters for Space Application. *Journal of Vacuum Science & Technology B: Microelectronics and Nanometer Structures* 19, 988 (2001).
- Wang, L. et al.: Optimization of Silicon Field-Emission Arrays Fabrication for Space Applications. *Journal of Vacuum Science & Technology B: Microelectronics and Nanometer Structures* 22, 1407 (2004).
- Li, Q. et al.: Instability and Reliability of Silicon Field Emission Array. *Journal of Vacuum Science & Technology B: Microelectronics and Nanometer Structures* 14, 1889 (1996).
- Velasquez-Garcia, L.F. et al.: Uniform High-Current Cathodes Using Massive Arrays of Si Field Emitters Individually Controlled by Vertical Si Ungated FETs – Part 1: Device Design and Simulation. *IEEE Transactions on Electron Devices* 58, 1775–1782 (2011).

Projektleitung

Prof. Dr. Rupert Schreiner

+49 941 943-1277

Labor Mikrosensorik

rupert.schreiner@oth-regensburg.de

Projektmitarbeiter

Christoph Langer, Florian Dams, Robert Ławrowski,
Christian Prommesberger

Kooperationspartner

- Bergische Universität Wuppertal (Prof. Dr. Günter Müller, Dr. Pavel Serbun)
- KETEK GmbH, München (Dr. Michael Bachmann, Dr. Martin Hofmann)

Geldgeber

- Bayerische Forschungsförderung (BFS)
- ZIM-Kooperationsprojekt (BMWi)

Projektlaufzeit

9 Monate (BFS), 30 Monate (ZIM)

Fördersumme

50.000 € (BFS), 175.000 € (ZIM)

- Velasquez-Garcia, L.F. et al.: Uniform High-Current Cathodes Using Massive Arrays of Si Field Emitters Individually Controlled by Vertical Si Ungated FETs – Part 2: Device Fabrication and Characterization. *IEEE Transactions on Electron Devices* 58, 1783–1791 (2011).
- Langer, C. et al.: High Aspect Ratio Silicon Tip Cathodes for Application in Field Emission Electron Sources. In: *Technical Digest of 27th International Vacuum Nanoelectronics Conference (IVNC)*, IEEE, 222–223 (2014).
- Dams, F. et al.: Homogeneous Field Emission Cathodes With Precisely Adjustable Geometry Fabricated by Silicon Technology. *IEEE Transactions on Electron Devices* 59, 2832–2837 (2012).
- Ławrowski, R. et al.: Fabrication and Simulation of Silicon Structures with High Aspect Ratio for Field Emission Devices. In: *Technical Digest of 27th International Vacuum Nanoelectronics Conference (IVNC)*, IEEE, 193–194 (2014).
- Serbun, P. et al.: Stable Field Emission of Single B-Doped Si Tips and Linear Current Scaling of Uniform Tip Arrays for Integrated Vacuum Microelectronic Devices. *Journal of Vacuum Science & Technology B: Microelectronics and Nanometer Structures* 31, 02B101 (2013).

Branchen

Die folgenden Inserenten haben mit ihrer Anzeige die kostenlose Verteilung des Forschungsberichts ermöglicht.

Architekten und Ingenieure DÖMGES ARCHITEKTEN 68	Maschinenbau ARGES 76
Bauunternehmen / Bauträger GOLDBECK Ost 68 KLEBL 70 MAX BÖGL 68	Möbel RaumConcept Büro- und Büro- und ObjektEinrichtungs-GmbH 2
Elektrotechnik SemsoTec Group, ENECA 40	Rechtsanwälte / Rechtsanwältinnen LangPatent Anwaltskanzlei 8 v. Düsterlho, Rothammer & Partner 2
Energieversorgung REWAG Regensburger Energie- und Wasserversorgung 2	Steuerberatung v. Düsterlho, Rothammer & Partner 2
Gründungsförderung TechCampus Regensburg, Regensburg Business Development 8	Verkehrsbetriebe RVV Regensburger Verkehrsverbund 8
Industriebetriebe ARGES 76 Audi U2 BMW 6 Continental Automotive U4 F.EE Industrieautomation 40 HOERBIGER Micro Fluid 40 MR Maschinenfabrik Reinhausen U3 PCO 76	Wirtschaftsförderung Bayerische Patentallianz 2 TechCampus Regensburg, Regensburg Business Development 8

U = Umschlagseite



IMPRESSUM

Konzept und Betreuung

inixmedia Bayern GmbH

Geschäftsführer: Maurizio Tassillo

Redaktionsleitung: Dr. Anja Wenn

Kronacher Straße 41

96052 Bamberg

Telefon 09 51/700 869-0

Fax 09 51/700 869-20

Mail bayern@inixmedia.de

Redaktion OTH Regensburg:

Maximilian Rappl

Redaktion Verlag: Dr. Anja Wenn

Lektorat Verlag: Lea Gutscher

Anzeigenberatung: Thomas Deindörfer

Layout/Satz: Sabrina Kahl

Druck: Wünsch Druck GmbH,

Neumarkt i.d.OPf. PN 1209

Herausgeber

inixmedia GmbH

Marketing & Medienberatung

HRB 5629, Kiel

Geschäftsführer:

Thorsten Drewitz, Maurizio Tassillo

Liesenhörnweg 13

24222 Schwentinental

Telefon 04 31/66 848-60

Fax 04 31/66 848-70

Mail info@inixmedia.de

Web www.inixmedia.de

Im Auftrag der OTH Regensburg

Ausgabe 2015

Text, Umschlaggestaltung, Art und Anordnung des Inhalts sind urheberrechtlich geschützt. Nachdruck – auch auszugsweise – nicht gestattet.



Entdecken Sie MR
hinter den Kulissen.

*"Meine Geschichte: Ich setze die
Energiewende schon heute um und mache
bald Stromverbraucher zu Erzeugern.
Und welche Geschichte schreiben Sie?"*

Seit über 140 Jahren schreiben wir bei MR unsere Erfolgsgeschichte. Wir machen Transformatoren intelligent regelbar, entwickeln Hightech-Isoliermaterialien für den Hochspannungs-Einsatz und Steuerungsanlagen für eine optimale Netzspannungs- und Stromqualität. Wir gewährleisten, dass sich Menschen und Unternehmen nicht um ihre Stromversorgung sorgen müssen. Und wir bieten unseren über 2.800 Mitarbeitern weltweit gleichzeitig Heimat und Rückhalt. Wo ehrliche Meinung geschätzt wird und gute Ideen Platz haben, echte Innovationen zu werden. Schreiben auch Sie ein Stück MR-Geschichte mit.

Weitere Infos: www.reinhausen.com/karriere



THE POWER BEHIND POWER.



Kluge Köpfe gesucht...

... für Praktika, Werkstudenten, Abschlussarbeiten und Festanstellungen.

Are you auto-motivated?

Welcome to Regensburg!

