

FORSCHUNGSBERICHT 2013





Jetzt, da mit Audi connect Automobil und Internet zusammenwachsen, erlebe ich meinen Traum.

Audi connect vernetzt Fahrer, Internet und Infrastruktur auf faszinierende Weise. Es zeigt Verkehrsinformationen in Echtzeit an, gibt beispielsweise Reise- und Wetterinfos – präzise und im richtigen Moment. Audi connect funktioniert, weil meine Kollegen und ich für einen ständigen, reibungslosen Datenstrom sorgen. Es ist ein tolles Gefühl, wenn das perfekt gelingt – und ich dazu beitrage, unsere Kunden jeden Tag neu zu begeistern.

Edson William Fangwa Nzeya
Prozess- und Systemintegrator IT im Fahrzeug

Mehr erfahren und selbst magische Momente erleben: www.audi.de/karriere oder www.facebook.com/audikarriere

Kraftstoffverbrauch in l/100 km: kombiniert 8,2–4,6
CO₂-Emission in g/km: kombiniert 190–119

LIEBE LESERIN, LIEBER LESER,

seit 1. Oktober 2013 trägt unsere Hochschule den neuen Titel „Ostbayerische Technische Hochschule Regensburg“. Der Titel, der in einem wettbewerblichen Verfahren verliehen wurde, ist nicht nur eine hohe Auszeichnung für die bisherigen Leistungen. Dem neuen Titel sind auch unser Anspruch und unser Auftrag abzulesen: Wir wollen eine Hochschule für ganz Ostbayern sein!

„Von der Region für die Region“ lautete daher das Motto im Wettbewerbsantrag, dem wir hochschulübergreifend mit unserem Verbundpartner in Amberg und Weiden gerecht werden wollen.

Unser gemeinsames Ziel ist es, in Lehre, Weiterbildung, Forschung und Entwicklung Antworten auf die Zukunftsherausforderungen zu entwickeln, die unser künftiges Leben nachhaltig bestimmen werden. Für unseren OTH-Verbund haben wir daher – neben dem Schwerpunkt Sensorik – fünf Leitthemen definiert, auf die wir unsere Kompetenzen in den Bereichen Technik, Wirtschaft, Gestaltung, Soziales und Gesundheit künftig fokussieren werden:

- Energie und Mobilität
- Information und Kommunikation
- Lebenswissenschaften und Ethik
- Produktion und Systeme
- Gebäude und Infrastruktur

„Vernetzt forschen und kooperativ lehren“ – so lautet nun die Herausforderung, die es im Verbund mit Amberg-Weiden zu meistern gilt. Insbesondere im Forschungsbereich fällt nun unserem Institut für Angewandte Forschung und Wirtschaftskooperationen (IAFW) eine zusätzliche koordinierende Rolle im Verbund zu. Daher haben wir das IAFW im Jahr 2013 neu aufgestellt:

- mit einer neu geschaffenen Sekretariatsstelle, die mit Frau Julia Kügel besetzt wurde,
- mit Herrn Christian Broser, der zum 15.09.2013 die Geschäftsführung übernahm,
- und mit Prof. Dr. Thomas Falter von der Fakultät Betriebswirtschaft, der zum 01.10.2013 die wissenschaftliche Leitung übernommen hat.

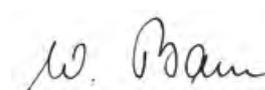
Damit sind wir gut aufgestellt, um entlang der Leitthemen nun gemeinsame Forschungscluster einzurichten. Das IAFW kann dabei zum einen auf seine Erfahrungen zurückgreifen, die

es im „Technologie- und Wissenschaftsnetzwerk Ostbayern (TWO)“ bei der Koordinierung der Themen Energie und Mobilität sowie Lebenswissenschaften und Ethik gesammelt hat. Zum anderen trägt es mit seiner Expertise als zentrale Anlaufstelle rund um alle Fragen zur Forschung und zum Technologietransfer an unserer Hochschule auch wesentlich zur Verbundarbeit bei.

An der OTH Regensburg schlägt sich diese Arbeit erfolgreich in den Zahlen und Kenndaten des Jahres 2013 nieder: 15 neue, öffentlich geförderte Projekte mit Beteiligung der OTH Regensburg im Gesamtwert von 6,4 Mio. Euro aus Bund- und Länderprogrammen sind im Jahr 2013 gestartet. Mit den bereits in den Vorjahren angelaufenen Projekten waren somit im Berichtsjahr 45 öffentlich geförderte Projekte an der OTH Regensburg in Bearbeitung. Außerdem konnten 2013 über 100 Auftragsforschungsprojekte mit einem Projektvolumen von knapp 1,8 Mio. Euro abgerechnet werden. Insgesamt hat die OTH Regensburg damit die Drittmitteleinnahmen im Jahr 2013 auf 7,9 Mio. Euro gesteigert. Im Fünfjahres-Vergleich entspricht dies nahezu einer Verdreifachung der Drittmitteleinnahmen (2008: 2,8 Mio. Euro).

Der vorliegende Bericht ist erstmals nicht mehr nach Fakultäten, sondern nach den oben genannten Leitthemen gegliedert. Er zeigt sehr eindrücklich, welche Forschungsaktivitäten im Jahr 2013 an der OTH Regensburg im Fokus standen. Ich freue mich, dass so viele Kolleginnen und Kollegen in den vergangenen Jahren die Idee einer OTH für die Region Ostbayern mitgetragen haben und dies durch ihre fakultäts- und hochschulübergreifende Forschungsaktivitäten auch nachdrücklich unterstreichen. Für dieses Engagement danke ich Ihnen allen sehr herzlich!

Den Leserinnen und Lesern wünsche ich eine interessante Lektüre!



Prof. Dr. Wolfgang Baier
Präsident der
OTH Regensburg



von Düsterlho • Rothammer & Partner mbB
 – Wirtschaftsprüfer • Steuerberater • Rechtsanwälte –

Unser Team – bestehend aus 6 Steuerberatern, 3 Rechtsanwälten, 2 Wirtschaftsprüfern und ca. 45 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 Schlosstraße 2 a, 93051 Regensburg, Telefon: 0941 / 92001-0, Telefax: 0941 / 92001-17
 Internet: www.drpa.de, E-Mail: kanzlei@drpa.de

 **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



**Technische
 Fachübersetzungen**



- + EN 15038 zertifiziert
- + transparente und nachvollziehbare Fixpreise
- + akademisch geprüfte Fachübersetzer mit technischem Wissen
- + schnelle und professionelle Abwicklung



- + Übersetzungen in etwa 100 Sprachen
- + Konsekutivdolmetscher für etwa 40 Sprachen

Connect-Sprachenservice
 Königsstraße 4 | 93047 Regensburg
 T +49 941 567 12034 | office@connect-translations.de

www.connect-sprachenservice.de Wir leben Sprachen.®

**Mit Energie
 in die Zukunft**



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



Vorwort	1
Leitthemen	5
Forschungscluster	6
Wissen schafft Innovation – Die OTH Regensburg als Partner der Wirtschaft	8
Doktoranden- und Doktorandinnenseminar	10
Kooperative Promotionen 2013	11
ENERGIE UND MOBILITÄT	
Numerische Untersuchungen der Strömungs- und Wärmetransportvorgänge in Schütttschichtwärmeübertragern	12
Numerische und analytische Simulation der Staubabscheidung partikelbehafteter Abgase in Schütttschichten	14
Entwicklung eines Simulators für die digitale Regelung von Schaltnetzteilen	16
Optimierte Bewässerung in Gartenbau und Landwirtschaft	18
Segelenergie & Windkraftstoffe vom Meer – Ungenutzte Windpotenziale für die Mobilität erschließen	20
INFORMATION UND KOMMUNIKATION	
Synchronisationsverfahren in Embedded Multicoresystemen – Effizientes Ressourcen-Management	22
CARo5X: Assistenzroboter mit intelligenter Mensch-Maschine-Interaktion	24
Identifikation der Modellparameter eines Kfz-Antriebsstrangs	26
Erstellung von Simulationsprogrammen zur Bestimmung der Flugweite von Wellpappebögen in einer WPA-Bremstation	28
Dynamische FEM-Simulation von Baugruppen unter Einbeziehung des Antriebsregelkreises	30
iRescYou – Telemedizin in der Prähospitaldiagnostik	32
Intelligente Spannungshaltung eines Mittelspannungsnetzes (ISM) – Netzanalysen und Netzberechnungen	34
Ein Weg ins intelligente Stromnetz – Effiziente Kommunikation für Mittelspannungsnetze	36
Herausforderungen und Lösungs-Strategien in der agilen Anwendungsentwicklung mit schemalosen NoSQL-Datenbanksystemen	38
PRODUKTION UND SYSTEME	
Ultraschall-Messsystem für das LIPUS-Projekt	40
Lebensdauer laufender Seile, die durch Biegewechsel und gleichzeitige Zugkraftänderung belastet werden	42
Thermische FEM-Simulation des Laser-Durchstrahlschweißens von Kunststoffen	45
Feldemissionselektronenquellen basierend auf Siliziumemittern mit hohem Aspektverhältnis	47
Mechanische Charakterisierung von basaltfaserverstärkten Kunststoffen mit Gewebeverstärkung – Numerische und experimentelle Untersuchungen	49
Herstellung von unidirektional verstärkten Prepregs im Labormaßstab – Einfluss von Fertigungsparametern auf die Materialqualität	51
Picolzyzer – Echtzeit-Online-Analysegerät zur Detektion von Kleinstkontaminationen im sub-ppb-Bereich	53
Die Messung der Servicequalität in der Logistik	56
LEBENSWISSENSCHAFTEN UND ETHIK	
Software Engineering aktiviert lernen – Erfahrungen mit „Shift from Teaching to Learning“	58
Muskuloskeletale Simulation zur Untersuchung des Einflusses geometrischer Parameter der Wirbelkörper auf die Belastung der Lendenwirbelsäule	60
Modellierung der frühen postoperativen Hüftbiomechanik nach Implantierung einer Hüftendoprothese unter Berücksichtigung von verschiedenen Operationszugängen – Minimal-Invasive vs. konventionelle Operationszugänge	62
Befragung in Beruflichen Oberschulen in Ostbayern	64
Gesellschaftliche Teilhabe älterer Menschen in Regensburg	66
... Spuren hinterlassen ... Frauenbewegung und Sozialer Wandel	68
GEBÄUDE UND INFRASTRUKTUR	
Renarhis – Nachhaltige Restaurierung und regenerative Energieversorgung historischer Stadtquartiere der Zwischenkriegszeit	71
Die Beurteilung und Steuerung der Konsistenz von selbstverdichtenden Betonen in Transportbetonwerken	73
Kleinteilige Architekturinterventionen als Impuls für Tourismus-Entwicklung der Jura.3 Region	76
Forschungsvorhaben EnEff: Wärme – Innovative Fernwärmeverteilung – Einsatz fließfähiger Verfüllbaustoffe zur Kunststoffverbundmantelrohrverlegung, Arbeitspaket Bodenmechanik	78
Branchenverzeichnis	80
Impressum	80



BMW
Werk Regensburg

www.bmw-werk-regensburg.de



Freude am Fahren

LASSEN SIE SICH BEEINDRUCKEN.

Tonnenschwere Großpressen, tausende Roboter im Karosseriebau, filigrane Lackiermaschinen und die perfekten Handgriffe unserer 9.000 Mitarbeiter – lassen Sie sich beeindrucken. Erleben Sie live, wie Fahrzeuge der BMW 1er, 3er und 4er Reihe, sowie BMW Z4 und M Modelle hergestellt werden – seit 1986 weit über fünf Millionen Automobile.

Das BMW Werk Regensburg ist mit Investitionen von rund vier Milliarden Euro maßgeblich am Erfolg des Wirtschaftsstandorts Oberpfalz beteiligt. Wir engagieren uns in der Region und für die Region in den Bereichen Kunst und Kultur, Sport, Bildung, Umwelt und Soziales.

Erfahren Sie mehr über unsere Automobilproduktion unter www.bmw-werk-regensburg.de.

Besuchen Sie uns im Werk – wir bieten Ihnen von Montag bis Samstag mehrmals täglich Führungen an.

**INFOS UND ANMELDUNG AUF
WWW.BMW-BESUCHEN.COM**



Die Ostbayerischen Technischen Hochschulen Regensburg und Amberg-Weiden haben gemeinsam fünf Leitthemen definiert, in denen sie ihre Kompetenzen und Ressourcen in Forschung, Lehre und Weiterbildung bündeln. Der OTH-Verbund wird damit von der inhaltlichen Seite aufgebaut, was sich auch durch die positiven Erfahrungen im Kooperationsprojekt Technologie- und Wissenschaftsnetzwerk Ostbayern (TWO) begründet. Neben Forschung bezieht der Verbund auch Lehre und Weiterbildung ein. Dazu werden Studienangebote miteinander abgeglichen und Module gegenseitig geöffnet. Vernetzt Forschen und kooperativ Lehren wird als Leitidee gelebt. Dabei werden alle Fachdisziplinen einbezogen und die Sensorik wirkt als Querschnittstechnologie.



Energie und Mobilität – betrachtet an beiden Hochschulen die Themenfelder Energieerzeugung / Kraft-Wärme-Kopplung (KWK), Rohstoffe und Ressourcen, Energieeffizienz, Energiespeicher, Energietransport, Energiewirtschaft, Energieanwendung und -nutzung der verschiedenen Energieformen, Energiemanagement, Technologiesoziologie, neue Mobilitätskonzepte, intelligente Fahrerassistenzsysteme sowie emissionsarme und energieschonende Antriebssysteme. Mobilität wird in der ganzen Breite behandelt: Verbrennungsmotoren, Abgasbehandlung, Antriebsstrang, Fahrdynamik, Fahrzeugelektrik, Sensorik und funktionale Sicherheit. Zudem wird in der Betriebswirtschaft der Bereich des Energiemanagements thematisiert.

Information und Kommunikation – untersucht die gesamte Breite der Kommunikation von Mensch zu Mensch, innerhalb rein technischer Systeme oder auch zwischen Mensch und Maschine. IKT ist heute in der gesamten Technik essenzieller Bestandteil und auch im OTH-Verbund in großer Breite und Tiefe vertreten: Elektro- und Informationstechnik, Technische Informatik, Wirtschaftsinformatik, Medizinische Informatik und Medieninformatik. Die zunehmende Vernetzung und Verbreitung von Embedded Systems machen Sicherheit und Kommunikation in softwareintensiven, informatorischen und mechatronischen Systemen dabei zu einer zentralen Fragestellung. In diesem Zusammenhang spielen auch die Themen Safety und Security eine entscheidende Rolle. Dies betrifft Anwendungen in der Sensorik, in den Bereichen Automotive und Life Sciences ebenso wie die Übertragung elektrischer Energie (smart grid, smart meter). Genau in diesen Bereichen bietet der OTH-Verbund perspektivisch einen erheblichen Mehrwert bei gemeinsamen Forschungsaktivitäten.

Lebenswissenschaften und Ethik – umfasst die Forschung an technischen und sozialwissenschaftlichen Themen. Mit Partnern aus Kliniken, Gesellschaft und Industrie werden Prozesse und Produkte entwickelt, die den zukünftigen Herausforderungen unserer Gesellschaft Rechnung tragen. Durch das hochschulübergreifende Zentrum RCBE (Regensburg Center of Biomedical Engineering) ist die medizinische Expertise der Universität und des Universitätsklinikums Regensburg institutionell in die OTH Regensburg eingebunden. Die Institute für „Sozial- und Technikfolgenforschung“ und „Nachhaltigkeit in Technik und Wirtschaft“ sowie der Schwerpunkt Pflegewissenschaften tragen den Trends im Gesundheitswesen Rechnung.

Produktion und Systeme – behandelt die methodische Gestaltung, simulationsgestützte Verbesserung und effiziente Realisierung komplexer Produktionssysteme durch quantitative Methoden, Informationssysteme, Automatisierung, Regelungstechnik und (teil-)automatisierte Anlagen. Neue Werkstoffe und Fragen der Material- und Verfahrenstechnik sind die Herausforderungen im Design und der Herstellung neuer Produkte.

Gebäude und Infrastruktur – umfasst die Themenkomplexe Nachhaltiges Bauen, Historische Bauforschung, Bauen im Bestand, Gebäudeenergie, Energieautarke Gebäude, Umweltgerechte Energietechnik, Ver- und Entsorgung (z. B. Abwassertechnologie) und LandRaum mit der wissenschaftlichen Betrachtung von Siedlungsstrukturen und Gebäuden im baulichen, sozialen und gesellschaftlichen Kontext im Hinblick auf deren (infra-)strukturelle Zukunftsfähigkeit und baukulturelle Relevanz. Die behandelten Themenblöcke werden teilweise institutionell über eigene Kompetenzzentren abgebildet.

Der Aufbau des OTH-Verbunds erfolgt inhaltlich über die Einrichtung von hochschulübergreifenden Forschungsclustern. Dazu wurden insgesamt elf Forschungscluster festgelegt, in denen zukünftig Professorinnen und Professoren aus Regensburg und Amberg-Weiden entlang der OTH-Leithemen kooperieren.

LaS³ – Laboratory for Safe and Secure Systems – wird zum Kompetenzzentrum für das strategische Kernthema IT- und Funktionale Sicherheit an der Ostbayerischen Technischen Hochschule weiterentwickelt. Das LaS³ ist Mediator zwischen Wissenschaft und Anwendung: Aktionsfelder sind die anwendungsorientierte Forschung im Bereich der Softwareentwicklung, der Funktionalen Sicherheit, der Informationssicherheit und der Erwachsenenbildung. www.las3.de

Sprecher:

Prof. Dr. Andreas Aßmuth (OTH Amberg-Weiden)

Stellvertreter:

Prof. Dr. Jürgen Mottok (OTH Regensburg)

FuE – IT Anwenderzentrum: IKT – fokussiert gemeinsame Forschungsanträge in den Bereichen: Zukünftige innovative Kommunikationstechnologien im Automobil- und Industriesektor, IT-Sicherheit, Mobile Anwendungen und Automatisierungstechnik. Dafür werden die Aktivitäten des IT Anwenderzentrums (OTH Regensburg) und des Labors Anlagen und Simulationstechnik sowie des EIT ICT Labs (OTH Amberg-Weiden) inhaltlich zusammengeführt.

Sprecher:

Prof. Dr. Hans-Peter Schmidt (OTH Amberg-Weiden)

Stellvertreter:

Prof. Dr. Thomas Waas (OTH Regensburg)

RAKS – Robotik, Algorithmen, Kommunikationsnetze und Smart Grid – zielt auf den Kompetenzaufbau bzw. die Kompetenzerweiterung bei der Programmierung von Industrierobotern ab, beispielsweise im Rahmen der Analyse typischer Anwendungen und Anforderungsspezifikation oder der Entwicklung von energieeffizienten Algorithmen für Sensornetze.

Sprecher:

Prof. Dr. Martin Weiß (OTH Regensburg)

Stellvertreter:

Prof. Dr. Hans-Peter Schmidt (OTH Amberg-Weiden)

Ethik, Technologiefolgenforschung, Nachhaltige Unternehmensführung – thematisiert den Ausbau des Instituts für Sozialforschung und Technikfolgenabschätzung und des Instituts für Nachhaltigkeit in Technik und Wirtschaft. Dabei werden auch die Kompetenzen in den Bereichen Nachhaltige Unternehmensführung und Unternehmensverantwortung erweitert.

Sprecher:

Prof. Dr. Reiner Anselstetter (OTH Amberg-Weiden)

Stellvertreter:

Prof. Dr. Sonja Haug (OTH Regensburg)

Optoelektronik und Lasertechnik – strebt die Realisierung des Applikationszentrums „Optoelektronik“ an und basiert auch auf einer engen Partnerschaft mit der Universität Regensburg. Neue Materialien können in diesem Rahmen in einer effizienten Bauteilumgebung getestet und in industrielevanten anwendungsorientierten Forschungsvorhaben erforscht werden. Eine derzeit zwischen der Grundlagenforschung und der industriellen Vorentwicklung vorhandene Lücke wird dadurch geschlossen.

Sprecher:

Prof. Dr. Rupert Schreiner (OTH Regensburg)

Stellvertreter:

Prof. Dr. Jürgen Koch (OTH Amberg-Weiden)

Nanochem – behandelt vielfältige Forschungsfelder von der Herstellung und dem Vertrieb des eigens entwickelten Sprühbeschichters bis hin zur Durchführung chemischer Analysen und Schichtcharakterisierungen. Im Rahmen dieses Forschungsclusters werden diese Anwendungsfelder erweitert, um die Entwicklung neuartiger mikrofluidischer Analysensensoren für die Umwelt- und Biosensorik sicherzustellen. Außerdem werden neuartige Energiespeicher auf Basis nanoporöser Materialien erforscht.

Sprecher:

Prof. Dr. Peter Kurzweil (OTH Amberg-Weiden)

Stellvertreter:

Prof. Dr. Alfred Lechner (OTH Regensburg)

Konstruktion mit Kunststoffen, Schwerpunkt Füge-technik, Leichtbau – will die Kompetenzen in den Bereichen Leichtbau, Lasermaterialbearbeitung und CAD/CAM-Kopplung bündeln, um im Umfeld der Industrie- und Forschungslandschaft einen signifikanten Beitrag mit Alleinstellungsmerkmal zu leisten. Dabei zielt der Cluster auf die Einrichtung eines Applikations- und Kompetenzzentrums, das sich als Klammer zwischen der angewandten Forschung und der industriellen Entwicklung sieht.

Sprecher:

Prof. Dr. Stefan Hierl (OTH Regensburg)

Stellvertreter:

Prof. Dr. Tim Jüntgen (OTH Amberg-Weiden)

EBACIM – East Bavarian Centre for Intelligent Materials – zielt auf den Aufbau und die Etablierung eines Kompetenz- und Anwendungszentrums mit den Forschungsschwerpunkten Kunststofftechnik, neuartige Sensoren und Aktuatoren mit konventionellen (z. B. Piezoelektrika) und innovativen Materialien (z. B. magneto- und elektrorheologische Werkstoffe, sensitive Nanoteilchen usw.).

Sprecher:

Prof. Dr. Mikhail Chamonine (OTH Regensburg)

Stellvertreter:

Prof. Dr. Peter Kurzweil (OTH Amberg-Weiden)

ATS – Automatisierung technischer Systeme – konzentriert sich unter anderem auf die Weiterentwicklung bestehender Kompetenzen in den Bereichen: Verfahren zur Regelung, Steuerung und Überwachung technischer Prozesse, der Entwicklung von Mikrorechentech-nik und Feldbussystemen und der Entwicklung innovativer Aktorik und Sensorik.

Sprecher:

Prof. Dr. Thomas Schlegl (OTH Regensburg)

Stellvertreter:

Prof. Dr. Matthias Wenk (OTH Amberg-Weiden)

Nachhaltiges Bauen und Historische Bauforschung – verknüpft die Historische Bauforschung mit interdisziplinären Forschungsansätzen für nachhaltige Gebäudemodernisierungen mit regenerativer Energieversorgung in historischen Quartieren. Im Rahmen des Clusters werden unter anderem



Foto: OTH Regensburg

Kompetenzen im Bereich denkmalgeschützter mittelalterlicher Architektur aufgebaut und weiterentwickelt, welche auch auf moderne Gebäude aus dem 20. Jahrhundert oder später übertragen und genutzt werden können.

Sprecher:

Prof. Dr. Oliver Steffens (OTH Regensburg)

Stellvertreter:

Prof. Dr. Magnus Jaeger (OTH Amberg-Weiden)

Energieeffiziente und ressourcenschonende Baustoffe und Bauverfahren – fokussiert die Forschungsschwerpunkte Baustoffe und Baugrund sowie Bauen im Bestand. Für ersteres werden Kompetenzen in den Bereichen Mineralische Bindemittel, Betontechnologie und Faserverbundstoffe weiterentwickelt. Der Schwerpunkt Bauen im Bestand beschäftigt sich unter anderem mit der digitalen Bestandsaufnahme und Geländemodellen, dem Bauwerksmonitoring und dem webbasierten System-Monitoring geotechnischer Großprojekte.

Sprecher:

Prof. Dr. Thomas Neidhart (OTH Regensburg)

Stellvertreter:

Prof. Dr. Magnus Jaeger (OTH Amberg-Weiden)

WISSEN SCHAFFT INNOVATION DIE OTH REGENSBURG ALS PARTNER DER WIRTSCHAFT

Der Wirtschaftsraum Oberpfalz-Kelheim zählt heute zu den bedeutendsten bayerischen Technologiestandorten mit internationaler Reichweite.

Die Wahrnehmung als Technologiestandort, nach außen wie auch nach innen, ist entscheidend, um Magnetwirkung auf Unternehmen bei der Standortwahl, auf hochqualifizierte Forscher, Studierende sowie Fach- und Führungskräfte zu erzielen. Will heißen: Wo Wirtschaft und Wissenschaft mit und durch Innovationen erfolgreich sind, wird sich weitere Innovation ansiedeln. Damit das gelingt, sind Wirtschaft, Wissenschaft und Politik gleichermaßen gefordert. Das Zusammenspiel von Hochschulen mit bedarfsgerechten Studien- und Kooperationsangeboten, Forschungsinstituten zur Unterstützung wissenschaftlicher Forschung vor Ort, Unternehmen mit ihren Produkt- und Verfahrensentwicklungen sowie Technologiezentren, Clustern oder sonstigen Netzwerken sind von entscheidender Bedeutung. Notwendig sind weiterhin bedarfsgerechte Bildungs- und Qualifikationsstrukturen zur Erhaltung des Arbeitskräftepotenzials. Und schließlich braucht es vorausschauende Standortentwicklungspolitik, die neueste gesellschaftliche Trends in zukunftsorientierte Maßnahmen umsetzt.

ERNENNUNG ZUR TECHNISCHEN HOCHSCHULE ALS WICHTIGER BAUSTEIN FÜR DEN WISSENSCHAFTSSTANDORT

Hochschulen haben einen wesentlichen Einfluss auf das Innovationsgeschehen einer Region. Sie forschen und entwickeln anwendungsnah, bilden die Fachkräfte von morgen aus und stehen den Unternehmen als kompetente Kooperationspartner zur Seite.

Die Ernennung der Hochschulen für angewandte Wissenschaften in Regensburg und Amberg-Weiden zur Ostbayerischen Technischen Hochschule (OTH) im Jahr 2013 ist aus wirtschaftlicher Sicht mehr als nur ein Etikettenwechsel: Sie ist ein Meilenstein beim Ausbau des Innovations- und Wissensstandortes Oberpfalz-Kelheim.

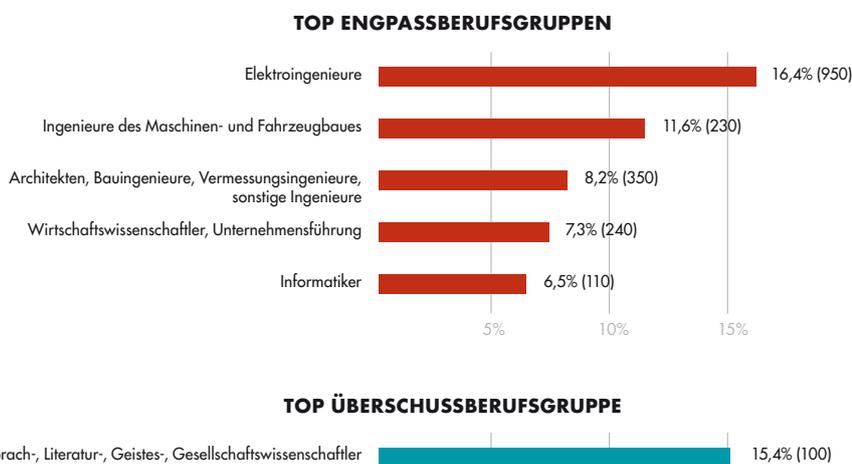


Abb. 1: Berufsgruppenranking für Akademisch Qualifizierte im Wirtschaftsraum Oberpfalz-Kelheim 2014

Quelle: IHK-Fachkräftemonitor Bayern

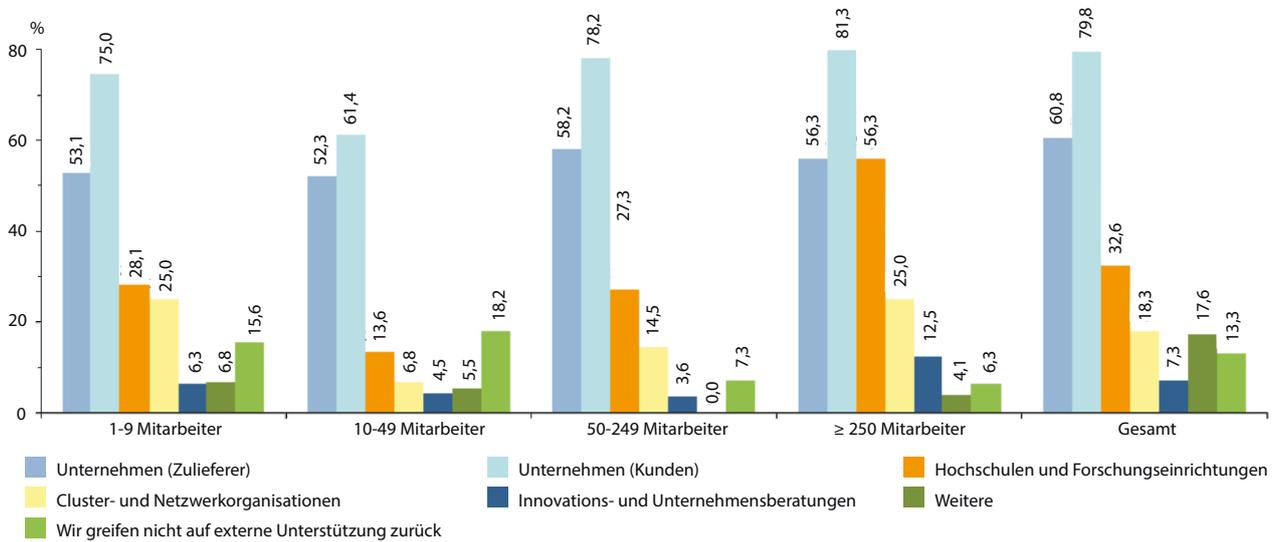
Die regionale wissenschaftliche Vernetzung fokussiert das Entwicklungs- und Ausbildungsangebot in fünf zentralen Zukunftsfeldern:

- Energie
- Mobilität
- Information
- Kommunikation
- Lebenswissenschaft
- Ethik
- Produktion
- Systeme
- Gebäude
- Infrastruktur

Somit ist Kompatibilität mit den Kernkompetenzen der regionalen Wirtschaft hergestellt und die Grundlage für erfolgreiche Innovationspartnerschaft gelegt. Ebenso wird in Kooperationen mit universitären Einrichtungen die Brücke zur Grundlagenforschung geschlagen. Davon profitieren Unternehmen etwa bei der Entwicklung und dem Einsatz von Querschnittstechnologien wie Sensorik oder Hersteller von medizintechnischen Produkten.

OTH REGENSBURG ALS POOL FÜR REGIONALE FACHKRÄFTE

Die OTH Regensburg zählt zu den wichtigsten Quellen regionaler Unternehmen, um ihren Bedarf an hochqualifiziertem Personal zu decken.



Quelle: IHK Regensburg für Oberpfalz / Kelheim, Umfrage zum Innovationsverhalten von Unternehmen im IHK-Bezirk, Januar 2014

Abb. 2: Kooperationspartner für Innovationsaktivitäten

Der IHK-Fachkräftemonitor Bayern (mehr Informationen unter: www.ihk-fachkraefte-monitor-bayern.de) analysiert Angebot und Nachfrage nach Fachkräften. Für den Wirtschaftsraum Oberpfalz-Kelheim prognostiziert er in diesem Jahr, dass nahezu zwölf Prozent der ausgeschriebenen Ingenieur-Stellen nicht besetzt werden können. Aufgrund der steigenden Absolventenzahlen wird sich der Engpass in den nächsten Jahren zwar zunächst verringern, bis 2017 ist jedoch mit einem deutlichen Mangel an Ingenieuren in der Region zu rechnen. Bei den TOP-Engpassberufen in der Region stehen bei den Akademikern die Elektroingenieure an oberster Stelle, gefolgt von den Ingenieuren des Maschinen- und Fahrzeugbaus sowie dem Bau (vgl. Abbildung 1). Mit einer Studierendenquote von nahezu 70 Prozent in den MINT-Fächern ist die OTH Regensburg heute gut aufgestellt. Die geplanten Baumaßnahmen sollten jetzt zügig durchgeführt werden, um auch die infrastrukturellen Voraussetzungen für den Ausbau des Lehr- und Forschungsbetriebes zu schaffen. Damit leistet die OTH einen wichtigen Beitrag zur Sicherung des regionalen Fachkräftebedarfs.

IHK UND IAFW ALS VERMITTLER VON WIRTSCHAFT UND WISSENSCHAFT

Die Zusammenarbeit von regionalen und überregionalen Unternehmen mit Hochschulen und Forschungseinrichtungen gewinnt laut einer IHK-Umfrage aus dem Jahr 2013 projektbezogen und strategisch zunehmend an Bedeutung (vgl. Abbildung 2). Die OTH Regensburg ist mit dem Institut für Angewandte Forschung und Wirtschaftskooperationen

(IAFW) bestens darauf vorbereitet. Als zentraler Ansprechpartner für Unternehmen bietet es für die Wirtschaft neben der Kontaktvermittlung zu Wissenschaftlern und Laboren auch Förderprogrammberatung, administrative Begleitung und Unterstützung bei Forschungs- und Entwicklungsvorhaben sowie von Verbundforschungsprojekten.

Die IHK und das IAFW informieren in regelmäßigen Abständen mit ihrer Veranstaltungsreihe „Treffpunkt Hochschule“ über wirtschaftsrelevante Themen der OTH Regensburg. In Vorträgen und Laborführungen bekommen Teilnehmer Einblicke in neuste Forschungsergebnisse und -projekte und können Möglichkeiten von Kooperationen in Erfahrung bringen.

FAZIT: MARKETING FÜR DIE TECHNOLOGIEREGION

Der Wirtschaftsraum Oberpfalz-Kelheim hat sich in den letzten Jahren in puncto Wissenschaft und Wirtschaft rasant positiv entwickelt. Im Standortwettbewerb muss das deutlich herausgestellt werden, um für Studenten, Arbeitnehmer, Forscher und öffentliche wie private Investoren attraktiv zu sein. Davon hängt letztendlich auch eine prosperierende Wirtschaft ab.

IHK Regensburg für Oberpfalz/Kelheim

D.-Martin-Luther-Straße 12
93047 Regensburg
beimler@regensburg.ihk.de

+49 941 56940

Promovierende der OTH Regensburg erhalten seit dem Wintersemester 2013/2014 verstärkt Unterstützung von Seiten ihrer Hochschule. Das Doktoranden- und Doktorandinnenseminar bietet zahlreiche Veranstaltungen für die derzeit rund 60 Promovierenden der OTH Regensburg. Als Bestandteil des OTH-Verbundes steht das Seminar auch den Promovierenden der OTH Amberg-Weiden offen und ist dabei auch in den gemeinsamen Entwicklungsplan eingebettet. Mit der Einrichtung des Seminars will die OTH die Attraktivität und die Qualität der Promotionsphase an den Hochschulen Regensburg und Amberg-Weiden für alle Doktoranden und Doktorandinnen weiter erhöhen.



Foto: istock.com/OneO2

Das Doktoranden- und Doktorandinnenseminar ist strukturiert in die Module Wissenschaftliches Handeln, Entwicklung und Management von Forschungsprojekten, Internationale Kompetenzen, Networking sowie Lehren und Leiten. In der folgenden Tabelle sind die Module mit den jeweiligen Inhalten hinterlegt.

Die Doktoranden können sich im Zuge des neuen Angebots an der OTH Regensburg auch einschreiben, was ihnen organisatorische Vorteile bringt, wie beispielsweise die Nutzung des Semestertickets. Für Prof. Dr. Wolfgang Baier, Präsident der OTH Regensburg, ist das Seminar ein wichtiger Baustein der neuen Ostbayerischen Technischen Hochschule. Den Studierenden soll ein durchgängiges Bildungsangebot vom Bachelor bis zur kooperativen Promotion angeboten werden.

Hochschulen für angewandte Wissenschaften, wie die OTH Regensburg, besitzen kein alleiniges Promotionsrecht. Die Promotion erfolgt daher in Kooperation mit einer Universität, als sogenannte kooperative Promotion.

MODUL I: WISSENSCHAFTLICHES HANDELN

- Gute wissenschaftliche Praxis
- Wissenschaftliches Schreiben
- Rechartetechniken
- Wissenschaftliche Vorträge und Präsentationen
- Vermittlung wissenschaftlicher Ergebnisse (u. a. Pressearbeit und Interviewkompetenz)

MODUL II: ENTWICKLUNG UND MANAGEMENT VON FORSCHUNGSPROJEKTEN

- Projektentwicklung
- Finanz- und Budgetplanung
- Antragstellung: Konzeption und Formulierung

MODUL III: INTERNATIONALE KOMPETENZEN

- Scientific Paper Writing
- Presentation Skills

MODUL IV: NETWORKING

- Interdisziplinäres Forschungskolloquium: aktuelle Forschungsthemen, Berichte aus der Unternehmenspraxis
- Austausch und Netzwerkveranstaltungen: Fachveranstaltungen, Präsentation vor Wirtschaftsvertretern/-vertreterinnen
- Fachtagungen
- Klausurtagungen: Plenum und evtl. Konferenzband
- Stammtische und Kaminabende

MODUL V: LEHREN UND LEITEN

- Grundlagen der Hochschuldidaktik
- Gesprächsführung und Diskussionsleitung
- Leiten von Arbeitsgruppen und Teams



Foto: OTH Regensburg

PROMOTIONSPROJEKTE IM ZEITRAUM 01.01.2013 – 31.12.2013

Laufende Promotionen	70
Abgeschlossene Promotionen	3

KOOPERIERENDE UNIVERSITÄTEN

Bayern: 35 Promovenden

- FAU Erlangen
- TU München
- Universität Augsburg
- Universität Bamberg
- Universität Bayreuth
- Universität der Bundeswehr München
- Universität Passau
- Universität Regensburg
- Universität Würzburg

Weiteres Bundesgebiet: 26 Promovenden

- CAU Kiel
- FU Berlin
- Ruhr-Universität Bochum
- TU Berlin
- TU Clausthal
- TU Dresden
- TU Freiberg
- TU Ilmenau
- Universität Freiburg
- Universität Siegen
- Universität Wuppertal

Ausland: 9 Promovenden

- École nationale supérieure d'architecture de Grenoble
- Norwegian University of Sciences and Technology
- Universiti Sains Malaysia
- Westböhmisches Universität Pilsen

Promotionen in den Fakultäten

• Allgemeinwissenschaften und Mikrosystemtechnik	10
• Angewandte Sozialwissenschaften	3
• Architektur	2
• Bauingenieurwesen	4
• Betriebswirtschaft	2
• Elektro- und Informationstechnik	15
• Informatik und Mathematik	12
• Maschinenbau	22

ABGESCHLOSSENE PROMOTIONEN IN 2013

Sarah-Elisa Krasnow

Thema: Migrants in National Elites
Kooperierende Universität: Universität Bremen
Betreuung: Prof. Dr. Philip Anderson

Michael Niekamp

Thema: Versuch einer nicht-klassischen Philosophie des Geldes – Eine (meta)ethische Rekonstruktion zweier fundamentaler geldtheoretischer Probleme
Kooperierende Universität: Universität Osnabrück
Betreuung: Prof. Dr. Gerhard Rösl

Michael Steindl

Thema: Evaluation and Determination of Integration Orders in Component Based Embedded Systems
Kooperierende Universität: Westböhmisches Universität Pilsen
Betreuung: Prof. Dr. Jürgen Mottok

NUMERISCHE UNTERSUCHUNGEN DER STRÖMUNGS- UND WÄRMETRANSPORTVORGÄNGE IN SCHÜTTSCHICHTWÄRMEÜBERTRAGERN

Mit dem Ausbau erneuerbarer Energien sowie einer erforderlichen Steigerung der Energieeffizienz hat die Bedeutung von Energiespeichern deutlich zugenommen. Eine Möglichkeit, thermische Energie auf hohem Temperaturniveau zu speichern, stellt ein Festbettspeicher dar, dessen Schüttgut aus Kugeln hoher Materialdichte und Wärmekapazität, beispielsweise Aluminiumoxid, besteht.

Die Strömungs- und Wärmetransportvorgänge bei der Speicherung von Wärme in einem derartigen Schütt-schichtwärmeübertrager werden in Zusammenarbeit mit Fraunhofer UMSICHT in Sulzbach-Rosenberg untersucht. Neben experimentellen Versuchen ist vor allem die Simulation eines Teils des Wärmespeichers von großem Interesse und wird im Folgenden vorgestellt.

Numerische Untersuchungen von Strömungs- und Wärmetransportvorgängen erfordern einfach aufgebaute Modelle, da bei der Simulation ein transienter, also zeitabhängiger Vorgang abzubilden ist, und somit viel Rechen- und Speicherleistung benötigt wird. Die Simulation von Wärmetransport- und Wärmespeicherprozessen in Festbetten ist auf zwei Wegen möglich: Zum einen erfolgt die Simulation mittels einer aufgeprägten Porosität, bei der die Schütt-schicht über die Porosität, den Druckverlustkoeffizienten und den Wärmeübergangskoeffizienten definiert wird. Der Vorteil dieser Variante ist, dass auch große Modelle in realer Größe simuliert werden können. Jedoch ist es nicht möglich, die exakte Umströmung der Schüttgüter und die Wärmeübertragung innerhalb der Schüttgüter zu untersuchen. Hierfür müssen die einzelnen Schüttgutkugeln modelliert werden, was zu einer sehr komplexen Geometrie führt. Damit ist nur noch die Betrachtung eines sehr kleinen Modells, also eines Ausschnitts aus einer großen Kugelpackung, möglich.

Zur Modellierung einer ungeordneten, realitätsgetreuen Kugelschüttung wurde eine Software entwickelt¹, welche mithilfe von Zufallszahlen zufällig angeordnete Kugelpackungen erzeugt. Diese Geometrie kann in der Simulationssoftware ANSYS CFX genutzt werden. In einem ersten Schritt muss das Negativ der Kugelpackung zur Darstellung des vom Fluid eingenommenen Volumens erstellt werden. Die Kugelgeometrie wird dabei als zweiter Körper erhalten, um den Wärmeübergang zwischen Fluid und Schüttgutkugel darstellen zu können.

In der vorgestellten Simulation wird ein Aufheizvorgang betrachtet, bei dem die Temperatur des einströmenden Fluids mit 600 °C und die Kugeltemperatur mit 20 °C vorgegeben sind. Dabei wird die Schüttung von unten nach oben durchströmt, wie es in der Realität bei bereits vorhandenen Versuchsständen der Fall ist. In den folgenden Abbildungen werden erste Simulationsergebnisse dargestellt.

Die Stromlinien, die sich um die Kugeln formen, sind im linken Teil von Abbildung 1 dargestellt. Es ist zu sehen, dass die Geschwindigkeit innerhalb der Engstellen zwischen den

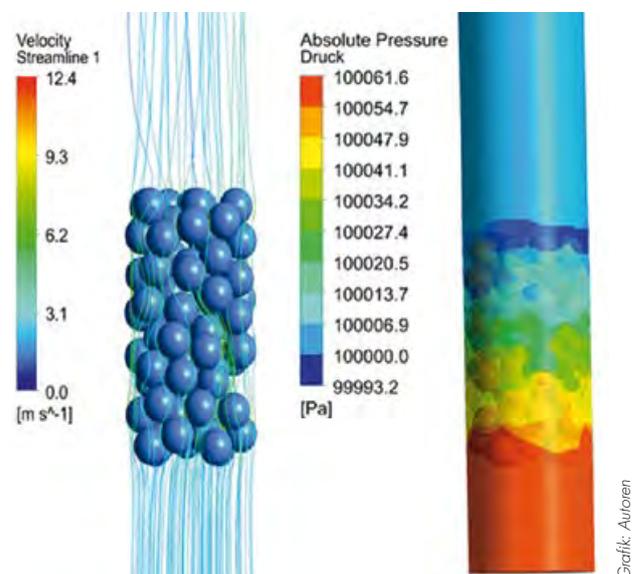


Abb. 1: Geschwindigkeit und Strömungsverlauf (links) und Druckverlust (rechts)

Kugeln deutlich ansteigt. Es entstehen so Maximalgeschwindigkeiten von rund 12,4 m/s.

Im rechten Teil von Abbildung 1 ist der Druckverlust innerhalb der Schüttung zu sehen. Dieser beträgt laut Simulation 68,4 Pa. In der Literatur sind viele Beziehungen für den Druckverlust in Festbetten zu finden. Als Standardgleichung gilt die Ergun-Gleichung²:

$$\frac{\Delta p}{\Delta L} = 150 \cdot \eta \cdot u_0 \cdot \frac{(1 - \varepsilon)^2}{d_p^2 \cdot \varepsilon^3} + 1,75 \cdot \rho \cdot u^2 \cdot \frac{1 - \varepsilon}{d_p \cdot \varepsilon^3}$$

Dabei ist Δp der Druckverlust, ΔL die Länge des Schüttgutes, η die dynamische Viskosität, u_0 die Leerrohrgeschwindigkeit, d_p der Sauterdurchmesser bei kantigem Schüttgut, ε die Porosität und ρ die Dichte des Fluids. Bei laminarer, also Zähigkeitsdominanter Strömung, wird der Druckverlust durch den ersten Term auf der rechten Seite und bei turbulenter, also Trägheitsdominanter Strömung, durch den zweiten Teil der rechten Seite bestimmt³.

Diese Gleichung trifft das hier vorliegende Modell nur unzureichend. Es handelt sich bei der vorliegenden Schüttung um eine Kugelpackung, also keine kantigen Schüttgüter, und auch der Wandeinfluss, beschrieben durch das Verhältnis von Schüttungsdurchmesser zum Durchmesser der Kugeln, ist hier ausgeprägt. Verschiedene Autoren haben zumindest eine dieser geometrischen Randbedingungen mitberücksichtigt und dafür Gleichungen für den Druckverlust aufgestellt. Ein Vergleich dieser analytischen Druckverlustberechnungen mit der Simulation zeigt im Allgemeinen eine gute Übereinstimmung.

Der Vorgang des Wärmeübergangs und der Wärmespeicherung im Schüttgut im Intervall von jeweils einer Minute im Rahmen einer transienten Berechnung wird in Abbildung 2 dargestellt. Die Kugeln erwärmen sich innerhalb dieser Zeit bis zu einer Maximaltemperatur von 600 °C und erreichen damit die Temperatur der einströmenden Luft. Die mittlere Temperatur der Kugeln beträgt nach 5 Minuten rund 550 °C. Die Kugeln haben sich somit fast vollständig erwärmt. Nach einer starken Erwärmungsphase in den ersten Minuten findet der Wärmeübergang nach kurzer Zeit nur noch langsam statt.



Abb. 2: Wärmeübergang und Wärmespeicherung innerhalb der Schüttung

Die dargestellten Ergebnisse zeigen, dass die Wärmeabgabe des Abgases an die Kugeln sowie Druckverlust und Strömungsverläufe numerisch berechnet werden können. Die numerisch und analytisch ermittelten Ergebnisse des Druckverlustes zeigen eine gute Übereinstimmung. In einem nächsten Schritt sollen Experimente an einem Versuchsmodell durchgeführt und die Messergebnisse mit den Simulationsergebnissen verglichen werden. Das Versuchsmodell wird hierfür die Maße und Randbedingungen des Simulationsmodells erhalten. Des Weiteren werden die Abhängigkeiten der Simulationsergebnisse von verschiedenen Parametern bestimmt und damit der Einfluss von unterschiedlichen Schüttgutgrößen, Strömungsgeschwindigkeiten, Materialien der Schüttgüter, Temperaturen, Strömungsrichtung (radial oder axial), Rohr-Schüttgutkugel-Durchmesserverhältnisse, Schichthöhen und Schichtbreiten auf den Druckverlust und die Wärmeübertragung in Abhängigkeit von der Zeit dargestellt. Zudem soll als weiterer wichtiger Punkt die Entstaubung von Abgasen innerhalb dieser Schüttungen simulationstechnisch erfasst werden und ebenfalls analytisch und mittels eines Experiments bestätigt werden wie in einem weiteren Artikel dieses Forschungsberichts beschrieben wird. (Siehe S. 14)

Literatur

- 1 M. Schmid, Entwicklung eines MATLAB-Programms zur Simulation von Zufallsschüttungen, Bachelorarbeit Hochschule Regensburg, 2013.
- 2 S. Ergun, "Fluid flow through packed columns", Chemical Engineering Progress, Bd. 48, Nr. 1, pp. 89-94, 1952.
- 3 VDI Wärmeatlas, Verschiedene Abschnitte bezüglich Wärmeleitung, Berlin Heidelberg: Springer-Verlag, 2002.

Projektleitung

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

Projektmitarbeiter

Lena Ebner, M. Sc. +49 941 943-5219
OTH Regensburg, Labor Wärmetechnik
lena2.ebner@oth-regensburg.de

Kooperationspartner

- Fraunhofer-Institut für Umwelt-, Sicherheits- und Energietechnik UMSICHT (Institutsteil Sulzbach-Rosenberg)

Geldgeber

- TWO – Technologie- und Wissenschaftsnetzwerk Oberpfalz
- Fraunhofer-Institut für Umwelt-, Sicherheits- und Energietechnik UMSICHT (Institutsteil Sulzbach-Rosenberg)

Projektlaufzeit

42 Monate

NUMERISCHE UND ANALYTISCHE SIMULATION DER STAUBABSCHEIDUNG PARTIKELBEHAFTETER ABGASE IN SCHÜTTSCHICHTEN

Gerhard Mühlbauer, OTH Regensburg
Lena Ebner, OTH Regensburg
Michael Elsner, OTH Regensburg

14

Die Staubabscheidung in Filtersystemen hat in den letzten Jahren an Bedeutung gewonnen, da immer schärfere Gesetzesvorlagen hinsichtlich der Emission von (klima-)schädlichen Abgasen (z. B. Feinstaub) verabschiedet werden. Im Rahmen einer Untersuchung der Strömungs- und Wärmetransportvorgänge in Schütttschichtwärmeübertragern wird die Entstaubung eines partikelbehafteten Abgases (Rohgas) in einer Schütttschicht simuliert. Dabei stehen die Theorie und die Abscheidemechanismen – wie gelangen die Staubpartikel an die Oberfläche der Schüttgutkugeln – des Filterprozesses im Vordergrund. Es wird neben einer Strömungssimulation mit ANSYS CFX ein MatLab-Programm entwickelt, das die zugrunde liegenden Mechanismen der Partikelabscheidung an einer einzelnen Schüttgutkugel in allen Facetten berechnen kann – diese Ergebnisse lassen sich auf eine Schütttschicht übertragen.

PARTIKELABSCHEIDUNG

Zuerst stellt sich die Frage, wie die Partikel an die Oberfläche einer einzelnen Schüttgutkugel kommen – es wird oft angenommen, dass Partikel als abgeschieden gelten, sobald sie nur das Abscheideelement treffen. Die Antwort lautet: über ein Kräftegleichgewicht. Zur Beschreibung einer Partikelbahn werden alle wirkenden Kräfte an einem Partikel betrachtet – daraus resultiert ein charakteristisches Bewegungsmuster. Typische Kräfte (Transportmechanismen) sind die Widerstandskraft („Luftwiderstand“), Schwer- und Auftriebskraft oder elektrische Kräfte. Diese unterscheiden sich in ihrem Verhalten (gewichteten Partikel hinsichtlich ihrer Masse bzw. Größe unterschiedlich stark) und müssen auf verschiedene Weise modelliert werden. Mithilfe des Kräftegleichgewichts kann ein sogenannter Einzelkornauftreffgrad infolge eines Transportmechanismus ermittelt werden.

AUFTREFFGRAD

Der Einzelkornauftreffgrad wird mit den geometrischen Abmessungen des Schüttgutkorns und der Partikelflugbahn gebildet. Befinden sich die Partikel in einem gedachten Zylinder mit dem Radius y_0 (Grenzpartikelbahn), treffen sie das Abscheideelement (Abbildung 1).¹ Die angreifenden Kräfte auf das Partikel allein reichen aber nicht aus, um die Partikelbewegung zu beschreiben. Es ist auch ein Strömungsfeld um die Kugel nötig, das die Partikel als Hauptmechanismus antreibt (vergleichbar mit Kieselsteinen, die durch die Strömung in einem Fluss mitgerissen werden). Da in den 1970er-Jahren, als die Erforschung der Staubabscheidung intensiviert wurde, die Rechenleistung noch gering war, musste für Kugelströmungen auf analytische Lösungen zurückgegriffen werden. Heutzutage werden sie ohne merklichen Mehraufwand numerisch berechnet. Diese vereinfachenden Ansätze spiegeln zwar die realen Strömungsverhältnisse nicht exakt wider, es können aber dennoch wertvolle Informationen gewonnen werden.²

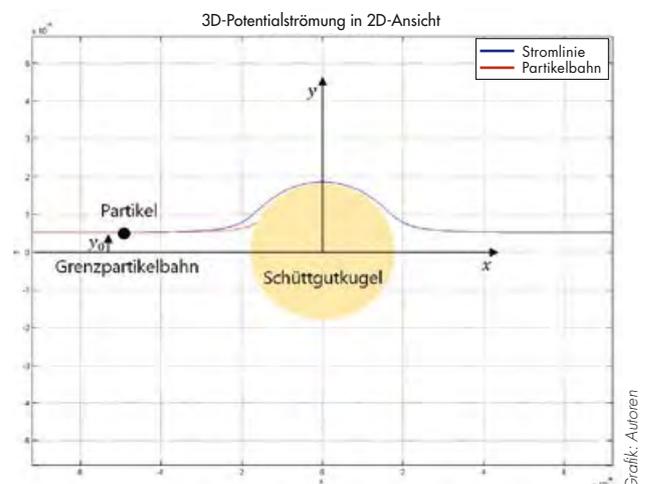
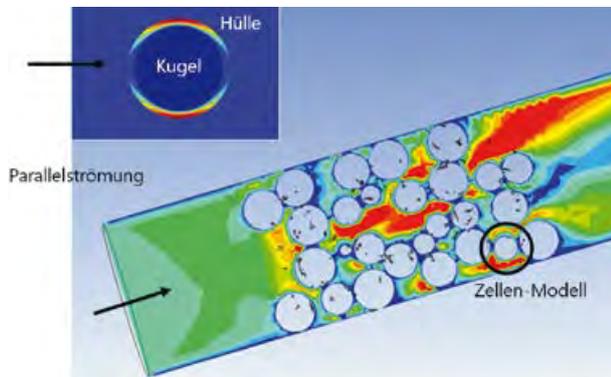


Abb. 1: Das Partikel fliegt wegen seiner Trägheit „länger geradeaus“ und trifft die Kugel. Die Stromlinie führt um sie herum. Alle Partikel, die sich innerhalb des gedachten Zylinders befinden, treffen das Abscheideelement.

Bisher wird eine Schütttschicht, bestehend aus unzähligen Kugeln, mit nur einer Einzelkugelumströmung angenähert. Neuere Forschungen schlagen sogenannte Zellen-Modelle vor, die die Porosität einer Schütttschicht im Strömungsfeld berücksichtigen. Porosität bedeutet, dass es Lücken zwischen den Abscheideelementen gibt, durch welche das partikelbehaftete Rohgas strömt – die Strömung beschleunigt sich. Dieser Beschleunigungsvorgang kann bei Einzelumströmungen nicht abgebildet werden.

ZELLEN-MODELL

Mit komplizierten analytischen Gleichungen wird die Porosität einer Schütttschicht lokal als Hülle um eine Schüttgutkugel modelliert – die Strömungsverhältnisse entsprechen örtlich denen in einer Schüttung, was der Realität besser entspricht (Abbildung 2).³ Mit dieser Betrachtungsweise ist es möglich, die komplexen Strömungsverhältnisse in einer Schütttschicht



Grafik: Autoren

Abb. 2: Vergleich zwischen numerisch berechneter Strömung in einer Schüttung (ANSYS CFX) und dem Zellen-Modell (MatLab). Die Strömungsverhältnisse aufgrund der Porosität werden in der Hülle lokal nachgebildet.

auf ein Zellen-Modell herunterzubrechen – der Berechnungsaufwand reduziert sich. Außerhalb der Hülle wird eine einfache Parallelströmung angenommen.

BERECHNUNG DES EINZELKORNAUFTREFFGRADS

Ausgehend vom Kräftegleichgewicht wird durch Integration die Partikelbahn berechnet. Mit dem Rechenprogramm Matlab können diese Differentialgleichungen numerisch gelöst und mit Bildern visualisiert werden. Abbildung 1 zeigt das Ergebnis einer Simulation (rote Linie) für ein einzelnes träges Partikel, das an die Oberfläche der Schüttgutkugel transportiert wird. Trägheit bedeutet in diesem Zusammenhang, dass das Partikel relativ schwer ist und der Stromlinie (blaue Linie), die das Partikel „trägt“, nicht mehr um die Kugel folgen kann, sodass es „länger geradeaus“ fliegt.

Die Partikelabscheidung ist von zahlreichen Kräften, den Strömungsverhältnissen und von den Partikeln selbst abhängig. Eine strömungstechnische Simulation ist erst seit ein paar Jahren möglich, da der Berechnungsaufwand außerordentlich hoch ist. Mithilfe der Zellen-Modelle kann aber mit wenigen Ressourcen eine hinreichend genaue Vorabschätzung der Filtereffizienz gemacht werden.

Zusammengefasst bedeutet dies, dass die komplexen Strömungsverhältnisse in einer Schüttung durch ein Zellen-Modell auf eine Kugel abstrahiert werden können. Die berechneten Einzelkorntreffgrade lassen sich dann auf eine Schüttung übertragen und erlauben näherungsweise eine Berechnung der Abscheiderate.

Literatur

- 1 Tardos, G. I., Abuaf, N. und Gutfinger, C. Dust Deposition in Granular Bed Filters: Theories and Experiments online. Journal of the Air Pollution Control Association. 1978, 28(4), 354-363.
- 2 Löffler, Friedrich. Staubabscheiden. Stuttgart: Georg Thieme Verlag, 1988. Lehrbuchreihe Chemieingenieurwesen/Verfahrenstechnik.
- 3 Kaulitzky, Jochen. Untersuchungen zur Regeneration herkömmlicher und neuartiger Filtermaterialien zur Tiefenfiltration trübstoffhaltiger Wässer. Dissertation. Duisburg, 1999.

Projektleitung

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

Projektmitarbeiter

Lena Ebner, M. Sc. +49 941 943-5219
OTH Regensburg, Labor Wärmetechnik
lena2.ebner@oth-regensburg.de

Gerhard Mühlbauer, B. Eng.
OTH Regensburg, Labor Wärmetechnik
gerhard.muehlbauer@st.oth-regensburg.de

Kooperationspartner

- Fraunhofer-Institut für Umwelt, Sicherheits- und Energietechnik UMSICHT (Institutsteil Sulzbach-Rosenberg)

Geldgeber

- TWO – Technologie- und Wissenschaftsnetzwerk Oberpfalz
- Fraunhofer-Institut für Umwelt, Sicherheits- und Energietechnik UMSICHT (Institutsteil Sulzbach-Rosenberg)

Projektlaufzeit

42 Monate

ENTWICKLUNG EINES SIMULATORS FÜR DIE DIGITALE REGELUNG VON SCHALTNETZTEILEN

Die hocheffiziente Spannungswandlung ist ein Kernthema im Bereich der Energieeffizienz. Netzteile, Solarumrichter, Ladegeräte usw. stellen Beispiele für Einsatzbereiche dar. Die Regelung derartiger Systeme wird immer häufiger anstelle klassischer analoger Lösungen digital mithilfe geeigneter Microcontroller realisiert. Für die Entwicklung solcher Regelungen wurde ein Simulationsprogramm erstellt, das die Wandlerschaltung simultan mit dem C-Code des Microcontrollers simuliert. Der so erstellte Regler-Code wurde in einem Hardwareaufbau mit dem ARM-basierten Microcontroller INFINEON XMC 4500 getestet.

EINFÜHRUNG

Die Microcontroller-basierte Regelung von Spannungswandlerschaltungen mit geschalteten Induktivitäten weist eine hohe Flexibilität und einen sehr guten Wirkungsgrad auf. Die Entwicklung derartiger Regelungen stellt eine Synthese aus analoger Schaltungstechnik, klassischer analoger Regelungstechnik, digitaler Regelungstechnik und Signalverarbeitung sowie Software-Entwicklung dar. Diese Komplexität erfordert Simulationswerkzeuge, die schon im Entwurfsstadium das Zusammenspiel der verschiedenen Komponenten verifizieren können.

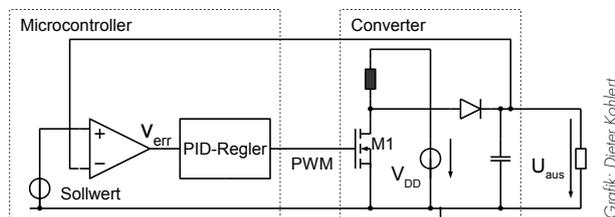


Abb. 1: Blockdiagramm Wandler/Regler

PROBLEMSTELLUNG

Wie in Abbildung 1 zu erkennen ist, setzt sich das Gesamtsystem aus der eigentlichen Wandlerschaltung (Converter) und der Regelschaltung, die im Microcontroller realisiert ist, zusammen. Die Regelung der Ausgangsspannung U_{aus} geschieht über die Pulsweitenmodulation (PWM) der Gate-Spannung des Schalttransistors M1. Über das Tastverhältnis D , also das Verhältnis von On- zu Off-Zeit von M1 lässt sich (unter bestimmten Voraussetzungen) die Ausgangsspannung näherungsweise ermitteln:

$$U_{\text{aus}} = V_{\text{DD}} * 1/(1-D)$$

Diese Gleichung gilt nur im eingeschwungenen Zustand. Das dynamische Verhalten lässt sich durch eine komplexe Übertragungsfunktion beschreiben (für die ausführliche Herleitung des Wandlerverhaltens siehe [1]).

Abbildung 1 zeigt letztlich die klassische Struktur eines Regelkreises, wobei der Block „Converter“ die Regelstrecke darstellt, die Funktionen der Erzeugung des Fehlersignals und des eigentlichen Reglers werden im Microcontroller realisiert. Zur Dimensionierung des Regelkreises wird zunächst die komplexe Übertragungsfunktion der Regelstrecke ermittelt und dann anhand des Frequenzgangkennlinienverfahrens der PID-Regler dimensioniert. Der analoge Regler muss durch die Bildung der Differenzgleichung in eine numerisch im Controller realisierbare Form umgesetzt werden, wobei mithilfe der z-Transformation zu überprüfen ist, ob sich durch die zeitdiskrete Realisierung des Reglers zu große Abweichungen von Verhalten des analogen PID-Reglers ergeben.

C-SIMULATOR

Reine Schaltungssimulatoren wie z. B. LTSPICE reichen nicht aus, um den Microcontroller-Code simultan mit dem analogen Verhalten des Wandlers zu simulieren, weshalb andere Tools erforderlich werden. Aus Performance-Gründen wurde eine C-Lösung favorisiert.

Um eine möglichst hohe Flexibilität zu erreichen, wurde das Modul für die Simulation des Wandlerverhaltens so ausgelegt, dass es für eine Vielzahl von Wandlertopologien einsetzbar ist. Dies wird dadurch erreicht, dass für die Beschreibung des Zeitverhaltens die Zustandsraumdarstellung verwendet wird. Unterschiedliche Wandlertopologien erfordern damit lediglich eine Anpassung der Zustandsmatrizen.

Die Tatsache, dass die Wandlerschaltung unterschiedliche Differentialgleichungen für On- und Off-Zeit besitzt, resultiert in jeweils unterschiedlichen Zustandsmatrizen für die beiden Zustände. Die Inhalte der Energiespeicher bleiben beim Umschalten des Schalttransistors erhalten. Dies lässt sich einfach dadurch realisieren, dass der Zustandsvektor jeweils ohne Änderung übergeben wird. Eine Taktperiode wird also berechnet, indem ausgehend von gegebenen Anfangswerten zunächst der neue Zustandsvektor ermittelt wird, der sich aus der Zustandsmatrix der On-Zeit und dem alten Zustandsvektor ergibt. Anschließend wird der Zustandsvektor berechnet, der sich mithilfe der Zustandsmatrix der Off-Zeit ergibt. Diese Schritte werden so oft wiederholt, bis der gewünschte Zeit-

raum simuliert ist. Das Zusammenspiel mit der Controller-Software wird dadurch erreicht, dass der Regler-Code jeweils das Ausgangssignal der Wandlersimulation erhält und darauf aufbauend das Tastverhältnis für die nächste Taktperiode berechnet. Bei einer Taktfrequenz von 100 kHz müssen demnach z. B. 100.000 Zustandsmatrizen und ebenso viele Regleroperationen berechnet werden, wenn ein Simulationszeitraum von 0,5 s benötigt wird. Die Rechenzeit bleibt aber dennoch im Bereich von einigen Zehntelsekunden.

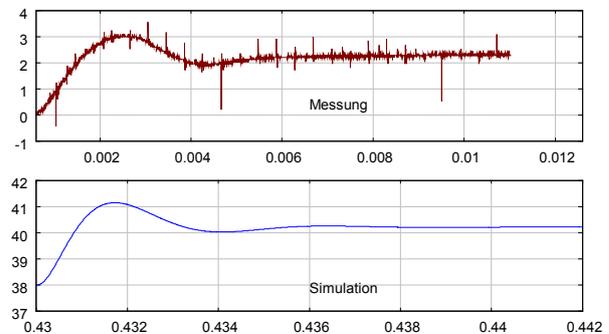
Es hat sich gezeigt, dass die gerechneten Zeitschritte klein genug sind, um Fehler aufgrund der Verwendung der Differenzgleichungen anstelle der Differentialgleichungen vernachlässigbar zu halten.

Das bisher skizzierte Verfahren erlaubt naturgemäß nur die Simulation des zeitlichen Verhaltens der Schaltung. Für die Dimensionierung des Reglers muss aber das frequenzabhängige Verhalten der Übertragungsfunktion der Regelstrecke bekannt sein. Dies wurde dadurch realisiert, dass in der Simulation der Regelstrecke das Tastverhältnis sinusförmig moduliert wird, und Phasenverschiebung und Amplitude der Ausgangsspannung mithilfe einer schnellen Fouriertransformation aus den Simulationsdaten errechnet werden. Offensichtlich muss dann die Zeitsimulation für jede benötigte Frequenz und über den benötigten Zeitraum wiederholt werden.

VERGLEICH SIMULATION – MESSUNG

Als Testhardware wurde eine Hochsetzstellerschaltung entsprechend Abbildung 1 verwendet. Für die Testschaltung wird eine Eingangsspannung von 20 V verwendet, die Reglerparameter wurden auf eine Ausgangsspannung von 40 V ausgelegt. Über eine elektronische Last können verschiedene Lastwiderstände realisiert werden, die Schaltung verkräftet thermisch Lastströme bis zu 2 A, die Lückgrenze liegt bei ca. 0,1 A.

Die Microcontroller-Regelung wurde auf einem Infineon Relax Lite Kit-Board realisiert, das einen Infineon XMC 4500 Microcontroller enthält. Er ist mit 120 MHz getaktet und basiert auf einem ARM-Cortex-M4-Core. Die Taktfrequenz für die PWM beträgt 100 kHz, entsprechend muss der Controller alle 10 μ s den PID-Regleralgorithmus berechnen und einen Wert für das Tastverhältnis an die entsprechende Peripherieeinheit ausgeben. Der C-Code wurde zunächst in der Simulation entwickelt und optimiert. Anschließend wurde er mithilfe der Entwicklungsumgebung „DAVE“ von Infineon Technologies² implementiert.



Grafik: Dieter Kohlert

Abb. 2: Vergleich Messung – Simulation

Zusätzlich wurde eine Kommunikationsschnittstelle mit einem Host-Rechner auf UART-Basis implementiert. Über ein speziell entwickeltes GUI können damit im laufenden Betrieb Reglerparameter, Sollwerte usw. geändert werden, ohne den Microcontroller neu laden zu müssen. Der Regler arbeitet stabil für Ausgangsspannungen von 25 V bis 40 V, sogar im lückenden Betrieb wird die PWM stabil geregelt, sodass sich auch hier keine unzulässigen Ausgangsspannungen ergeben.

Abbildung 2 stellt die Reaktion auf einen Sprung des Sollwertes für die Ausgangsspannung von 38 V auf 40,2 V dar. Der Vergleich von Simulation und Messung zeigt sehr gute Übereinstimmung.

Zur Entwicklung der digitalen Regelung von Schaltnetzteilen wurde eine Simulationsumgebung erstellt, die auf der Zustandsraumdarstellung der Wandlerschaltung basiert. Der Simulator ist in C geschrieben und erzielt daher eine hohe Performance. Verschiedene Wandler topologien können durch Änderungen der Zustandsmatrizen ohne weitere Änderung des Codes eingebunden werden. Der Vergleich mit einem Hardwareaufbau zeigt eine gute Übereinstimmung.

Literatur

- 1 Mohan, N., Undeland, T., Robbins, W.: Power Electronics: Converters, Applications, and Design, pp. 322-329. John Wiley & Sons Inc., (2003)
- 2 Copeland, M.: Embedded Component Based Programming with DAVE 3, INFINEON Technologies AG, <http://www.infineon.com>

Projektleitung

Prof. Dipl.-Ing. (TUM) Dieter Kohlert +49 941 943-1113
dieter.kohlert@oth.regensburg.de
Kompetenzzentrum Mikroelektronik-CAE

Projektlaufzeit

Januar – Dezember 2013

OPTIMIERTE BEWÄSSERUNG IN GARTENBAU UND LANDWIRTSCHAFT

In diesem Bericht wird ganz allgemein die grundlegende Richtung der wissenschaftlichen Arbeit von Prof. Schubert vorgestellt und speziell das Projekt mit der Bezeichnung „Wasserrohr“.

Den fundamentalen Impuls für seine Arbeiten erhielt Prof. Schubert, als er in einem Mineralbad auf Informationstafeln die Randbemerkung las, dass das hier aus 80 Metern Tiefe geförderte Mineralwasser bald nicht mehr angeboten werden könne, weil Nitratreinträge aus der umliegenden Landwirtschaft in wenigen Jahren bis in diese Tiefe vorgedrungen sein würden. Aus einem Gefühl der Entrüstung erwuchs die Intention, etwas zum Schutz des Wassers zu tun.

Laut Weltagrarbericht werden 70 % des weltweiten Süßwasserverbrauchs Landwirtschaft und Gartenbau zugeschrieben.^{1, 2} Zu wenig Wasser führt zu teilweise hohen Ertrags- und Qualitätseinbußen. Überbewässerung verschwendet nicht nur die wertvolle Ressource Wasser, sondern dadurch werden auch Mineralien, Düngemittel und Pestizide aus der oberen Bodenschicht in das Grundwasser gespült, welches dadurch ungenießbar werden kann. Gelangen Chemikalien und Düngemittel direkt oder indirekt in Oberflächengewässer, kann dadurch ein erhöhtes Algenwachstum hervorgerufen werden. Im Extremfall führt dies zum „Umkippen des Gewässers“. Ausgespülte Düngemittel müssen zudem ersetzt werden. Ein sinnvoller Umgang mit Wasser ist daher ein wesentlicher Beitrag zum Umweltschutz.

Einschlägige Forschungsarbeiten können nicht ohne ein Mindestmaß an finanzieller Unterstützung durchgeführt werden. Derzeit finanziert ein Projekt mit der Bezeichnung „Wasserrohr“ im Rahmen des Technologie- und Wissenschaftsnetzwerks Oberpfalz (TWO) die Forschungsarbeiten. Hier geht es um zwei Schwerpunkte: Einerseits soll der Bruch von Bewässerungsrohren detektiert werden, und andererseits wollen wir die für Sensoren und Aktoren benötigten geringen Energiemengen aus der Wasserströmung in diesen Rohren gewinnen. Die Erweiterbarkeit des Systems auf eine intelligente Regelung der Bodenfeuchte wird von vornherein berücksichtigt, ihre Ausführung würde aber den finanziellen und zeitlichen Rahmen des aktuellen Projekts sprengen.

Im TWO-Projekt „Wasserrohr“ kooperiert Prof. Dr. M. Schubert, Leiter des Elektroniklabors an der OTH Regensburg, mit Prof. Dr. A. P. Weiß, Leiter des Labors für Strömungsmaschinen an der OTH Amberg-Weiden. Ohne die Vorgaben von Agrarexperten wäre ein solches Projekt nicht denkbar, darum ist die enge Zusammenarbeit mit der Hochschule Weihenstephan-Triesdorf (HSWT) eine wichtige Voraussetzung zu dessen Gelingen. Allein die Problemstellung wäre von den Technikern ohne Hinweise der Praktiker aus Weihenstephan nicht erkannt worden.

In der bayerischen Landwirtschaft werden häufig Rohrleitungen von 5...7 cm Durchmesser verwendet, welche Wasser zu großen Kreisregnern führen. Diese Rohre sind aus Teilstücken von ca. 4...5 m Länge zusammengesetzt und brechen statistisch besonders häufig an den Kupplungen. Dort gehen bei solchen Brüchen erhebliche Wassermengen verloren, welche am Leitungsende fehlen. Im Rahmen des Projekts „Wasserrohr“ sollen solche Leitungsbrüche detektiert und eine Erweiterung der Technologie auf optimale Bewässerung des Bodens vorbereitet werden.

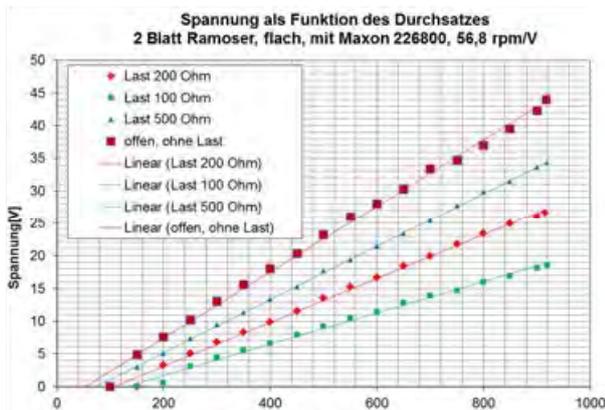
Beim Auf- und Abbau der Rohrleitungen ist das zusätzliche Verlegen paralleler elektrischer Leitungen unerwünscht. Noch unerwünschter ist in späteren Projekten ein „Kabelsalat“ zum Vernetzen von Sensoren und Aktoren auf einem Feld, auf welchem mit landwirtschaftlichen Maschinen gearbeitet wird. Die Folge ist, dass Informationen drahtlos, also per Funk, übertragen werden. Diese Funkübertragung ist das geringere Problem, wenn man bedenkt, dass ohne elektrische Leitungen auch eine lokale Energieversorgung für Sensoren und Aktoren bereitgestellt werden muss. Hier bieten sich beispielweise Solarpanel oder Windräder an. Die Kernidee des TWO-Projekts „Wasserrohr“ besteht darin, dass man die zum Betrieb der Funkknoten benötigte Energie den ohnehin vorhandenen Wasserleitungen entnimmt.

Das Team um Prof. Weiß entwickelt daher eine Wasserturbine, welche in die gegebenen Rohrleitungen von 5...9 cm Durchmesser eingebaut werden kann. Die Herausforderungen, die sich dabei ergeben, können hier nur stichpunktartig genannt werden:



Foto: Prof. Dr. Martin Weiß

Abb. 1: Teambesprechung am 30.09.2013 in Amberg, Prof. Weiß (grünes Hemd, neben Prof. Schubert) erläutert den Prüfstand im Labor für Strömungsmaschinen an der OTH Amberg.



Grafik: Prof. Dr. Martin Weiß

Abb. 2: Bestimmung der Spannungsdurchflusskennlinie am Generator mit Maxon-Motor bei unterschiedlichen Lasten

- Propeller dieser Größe sind auf dem Markt nur als Motorpropeller erhältlich, für den Turbinen- bzw. Generatorbetrieb sind sie nur bedingt geeignet. Deshalb werden im Verlauf des Projekts auch die Propeller selbst ausgelegt und gebaut.
- Für die Wasserdrücke von 6-10 Bar werden für die Drehachse Dichtringe benötigt. Hohe Dichtwirkung geht mit einem hohen Reibmoment einher. D. h. in der Dichtung dissipiert ein nicht unwesentlicher Teil der Energie, die wir für unsere Elektronik nutzbar machen wollen.
- Es muss einerseits der Wasserdurchfluss durch das Rohr möglichst genau gemessen und andererseits die maximale Energiemenge geerntet werden. Diese beiden Forderungen sind kontraproduktiv, sodass trickreiche Lösungen gefunden werden müssen.

ERGEBNISSE

Die Miniturbine aus dem Labor von Prof. Weiß in Amberg erreicht nun einen Reifegrad, der erste Prototypentests erlaubt. Auch die benötigte Elektronik aus dem Labor von Prof. Schubert erreicht mit dem Abschluss einiger Bachelorarbeiten zum Ende des Wintersemesters 2013/2014 einen Stand, der erste Tests des Gesamtsystems ermöglichen wird.

Eine Erweiterung des Systems von der Wasserdurchflussmessung auf eine Bewässerungssteuerung ist vorbereitet. Eine sinnvolle Kontrolle des Wassers in der Landwirtschaft ist aber letztlich nicht hinreichend, wenn weiterhin überdüngt wird. Wünschenswert wäre auch eine Messung und Kontrolle des Düngemiteleintrags. Hierzu wäre eine Feststellung des Nitratgehalts im Boden wichtig. Ein Projektantrag, in dem zusammen mit griechischen Hochschulen in Athen und Lamia eine auf Multicopter basierende Messung durchgeführt werden sollte, wurde trotz sehr guter Bewertung abgelehnt, da vom Projektträger nur 3 von 62 eingegangenen Projektanträgen berücksichtigt werden konnten.

Das Team um Prof. Schubert entwickelt die zugehörige Elektronik zum Durchführen von Messungen, zum Funken dieser und anderer Informationen an eine Zentralstelle sowie zum optimierten Ernten von Energie aus lokalen Quellen wie Solarpanel, Windrad und Wasserturbine.

Literatur

- 1 Weltagrarbericht, Wasser, verfügbar unter URL <http://www.weltagrarbericht.de/themen-des-weltagrarberichtes/wasser.html>
- 2 Weltagrarbericht, Bäuerliche und industrielle Landwirtschaft, verfügbar unter URL <http://www.weltagrarbericht.de/themen-des-weltagrarberichtes/baerliche-und-industrielle-landwirtschaft.html>

Projektleitung

Prof. Dr. Martin Schubert +49 941 943-1107
 Leiter des Elektroniklabors der OTH Regensburg
 martin.schubert@oth-regensburg.de

Projektmitarbeiter

- Prof. Dr. Martin Schubert, OTH Regensburg:
 Johannes Fröhler, Michael Greppmair, Albert Martinez,
 Nicolai Norseng, Michael Oberacher, Marco Romminger,
 Stefan Schiller, Franz Taffner, Matthias Wagner,
 Angel Zamorano
- OTH Amberg: Prof. Dr. A. P. Weiß, Stefan Schnabel,
 Markus Gailhofer, Thomas Bunzel
- HS Weihenstephan-Triesdorf: Dr. Michael Beck,
 Christoph Neumüller, Harald Hackl

Kooperationspartner

- OTH Regensburg
- OTH Amberg-Weiden
- Hochschule Weihenstephan-Triesdorf

Geldgeber

TWO – Technologie- und Wissenschaftsnetzwerk Oberpfalz

Fördersumme

- OTH Regensburg: 60.000 €
- OTH Amberg-Weiden: 49.000 €

Projektlaufzeit

24 Monate

Projekthomepage

<https://hps.hs-regensburg.de/scm39115/>

SEGELENERGIE & WINDKRAFTSTOFFE VOM MEER UNGENUTZTE WINDPOTENZIALE FÜR DIE MOBILITÄT ERSCHLIESSEN

20

Michael Sterner, FENES, OTH Regensburg
Thomas Raith, FENES, OTH Regensburg

Die Energiewende steht vor vielen Herausforderungen. Insbesondere sind große Anstrengungen notwendig, um neue Potenziale zu erschließen und den Anteil an der erneuerbaren Energieversorgung in der Mobilität zu erhöhen. Energieschiffe wären eine Lösung des Problems: Angetrieben von der Kraft des Windes könnten sie das große ungenutzte Potenzial der Windenergie auf hoher See zur Kraftstoffgewinnung erschließen. Die Forschungsstelle für Energienetze und Energiespeicher (FENES) prüft, inwieweit sich Windpotenziale auf hoher See nutzen lassen und wie chancenreich die Nutzung im Vergleich zu anderen nutzbaren Potenzialen ist. Ferner werden verschiedene Verfahren zur Herstellung strombasierender Kraftstoffe (Wasserstoff, Methan, Methanol usw.) auf technische Reife, Effizienz und Integrationsfähigkeit in die bestehende Infrastruktur untersucht.

ERNEUERBARE ENERGIEPOTENZIALE UND NACHHALTIGE KRAFTSTOFFE

Der Fokus der Energiewende liegt derzeit bei der Erhöhung des Anteils der erneuerbaren Energien im Stromsektor. Hierzu nutzen wir vor allem die örtlichen Energiepotenziale von Wind und Sonne. Das technisch-wirtschaftlich erschließbare Potenzial ist aber begrenzt. Hinzukommen vermehrt Akzeptanzprobleme für regenerative Energieerzeuger (z. B. Windkraftanlagen). Dennoch ist die Energiewende im Stromsektor auf einem guten Weg.

Viel schwieriger gestaltet sich die Mobilitätswende. Der aktuelle erneuerbare Anteil in der Mobilität beträgt 5 %, welcher fast ausschließlich aus Biomasse gewonnen wird. Das Potenzial der Biomasse in Deutschland ist weitgehend ausgereizt und die Einführung der Elektromobilität kann die Mobilitätswende nicht alleine tragen. Vermehrt wird deshalb an Verfahren zur Gewinnung von Stromkraftstoffen über Power-

to-Liquid und Power-to-Gas geforscht, welche aus Strom hochwertige chemische Energieträger erzeugen. Die hierzu notwendige Energie kann aus Quellen gewonnen werden, die bisher nicht erschlossen wurden.

Die größten bisher ungenutzten Potenziale liegen auf dem Meer. Ein Ansatz, dieses Potenzial zur Erzeugung von Stromkraftstoffen zu nutzen, ist das Segelenergie-Konzept.

FUNKTIONSWEISE DES SEGELENERGIE-KONZEPTS

Segel werden seit Langem in der Schifffahrt als Antriebstechnik verwendet. Neben konventionellen Segeln kann Wind über Zugdrachen (Abb. 1) und Flettner-Rotoren zur Erzeugung von Vortrieb eingesetzt werden. Die translative Kraft des Segels setzt das Energieschiff in Bewegung. Ein Teil der Bewegungsenergie wird benötigt, um den Rumpfwiderstand des Schiffs im Wasser zu überwinden. Der andere entschei-

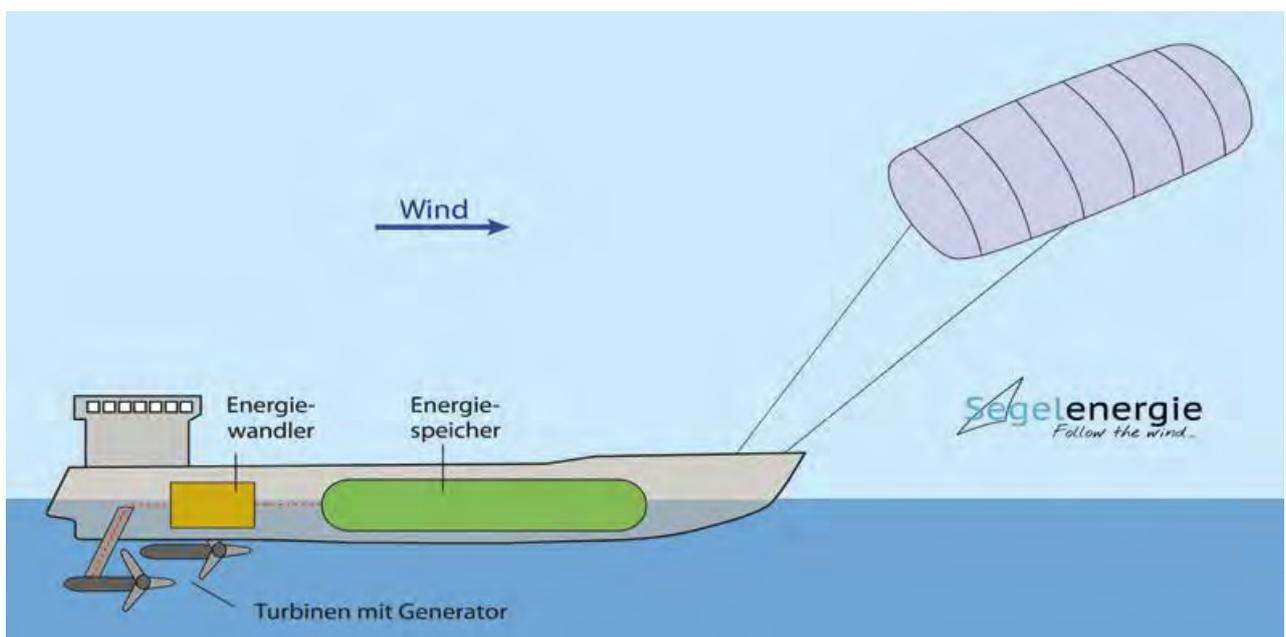


Abb. 1: Schematische Darstellung des Segelenergie-Konzepts mit einem Lenkdrachen zur Windenergiegewinnung
Oder: Lenkdrachen treiben das Schiff an, damit die Wasserturbinen Strom generieren können.

dende Teil wird über eine Turbine unter Wasser in Rotation und Drehmoment umgesetzt. Die Turbine besteht aus einer Strömungsmaschine und einem Generator. Die Strömungsmaschine nutzt dabei die Geschwindigkeitsdifferenz zwischen Schiff und Meer. Der Generator stellt die gewandelte Windenergie als Strom zur Verfügung.

Dieser konstante erneuerbare Strom aus Wind-Wasserkraft ist auf dem Schiff jedoch nutzlos, solange er nicht gewandelt und gespeichert wird. Hierfür eignen sich besonders elektrochemische Prozesse wie Power-to-Gas und Power-to-Liquid. In diesen Verfahren wird elektrische Energie in gasförmige chemische Energieträger (Power-to-Gas) oder flüssige chemische Energieträger (Power-to-Liquid) meist durch zweistufige Verfahren gewandelt. Im ersten Schritt wird mithilfe elektrischer Energie in einem Elektrolyseur Wasser in Wasserstoff und Sauerstoff gespalten. Anschließend wird in einem chemischen oder biologischen Verfahrensschritt der gewonnene Wasserstoff unter Zugabe von Kohlenstoffdioxid oder Kohlenstoffmonoxid in Kohlenwasserstoff gewandelt. Als Endprodukt entstehen hochwertige CO₂-neutrale Kraftstoffe mit hoher Energiedichte wie Methan, Methanol, Diesel, Kerosin oder Wasserstoff. Viele lassen sich gut in die bestehende Mobilitätsinfrastruktur integrieren und erfordern keinen Wechsel in der Antriebstechnologie der Fahrzeuge.

AKTUELLER STAND

Es konnte gezeigt werden, dass sich der Auslastungsgrad eines Energieschiffs durch die Analyse von Wetterdaten und den Einsatz einer Routenoptimierung weiter steigern lässt. Berechnungen lassen 7.000 Volllaststunden pro Jahr realistisch erscheinen. Dies bedeutet, dass ein Energieschiff nahezu immer im optimalen Betriebsbereich operieren kann. Konventionelle Windräder hingegen erreichen lediglich

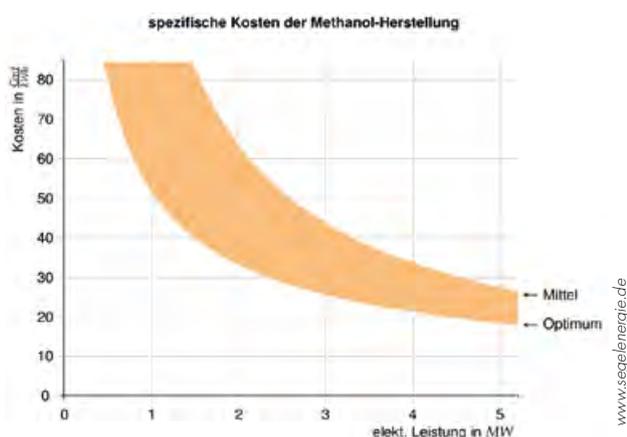


Abb. 2: Benzinäquivalent ohne Steuern

GUTE AUSGANGSSITUATION FÜR ZUKÜNFTIGE ENTWICKLUNGEN

Durch die Arbeiten am Segelenergie-Konzept konnte der bereits bestehende Erfahrungsschatz hinsichtlich Power-to-Gas und der Kopplung von Strom- und Gasnetz um Know-How bezüglich Power-to-Liquid, Power-to-Chemicals und zur Integration von nachhaltigen Kraftstoffen erweitert werden. Ferner konnte Know-How bezüglich der Energiepotenziale und Routenoptimierung gewonnen werden, welches in zukünftige Entwicklungen einfließt.

Außerdem wurde ein Konsortium mit Partnern aus der maritimen Forschung und Industrie gebildet, um ein Projekt zu Potenzial, Kosten und realer Demonstration von Windkraftstoffen vom Meer voranzutreiben.

2.000-4.000 Volllaststunden pro Jahr.

Ferner wurden Versuche und Recherchen zur Nutzung eines magneto-hydrodynamischen Generators durchgeführt. Der Vorteil ist eine kombinierte Wasserstoffherzeugung ohne rotierende Teile. Die Herausforderung liegt in der elektrischen Leitfähigkeit von Meerwasser und dem notwendigen großflächigen Aufbau des Generators.

Neben technischen und physikalischen Fragestellungen wird auch die Wirtschaftlichkeit des Konzepts durchleuchtet. Aktuelle Berechnungen zeigen, dass mit Erzeugungskosten ab 16 Cent/kWh Wasserstoff, 20 Cent/kWh Methanol (Abb. 2) und 23 Cent/kWh Methan zu rechnen ist, ohne Steuern und Vertrieb.^{1,2}

Literatur

- 1 Sterner, M., Raiith, T.: Das Energieschiff. Erneuerbare Energien, Seiten 38-41, 09/2013
- 2 Sterner, M.: Sail Energy (Power-to-Gas 2.0) Harvesting wind base load as fuels by energy ships), 8th International Renewable Energy Storage Conference, Berlin, 19.11.2013

Kompetenzzentrum

Forschungsstelle für Energienetze und Energiespeicher (FENES)

Projektleitung

Prof. Dr.-Ing. Michael Sterner
michael.sterner@oth-regensburg.de

+49 941 943-9888

Projektmitarbeiter

Thomas Raiith
Fabian Eckert
Nicole Muggenthaler
et al.

Kooperationspartner

Universität Regensburg, Fakultät Physik: Prof. Dr. Ingo Morgenstern, Themenbereich Routenoptimierung

Projektlaufzeit

10/2012 – mind. 09/2014

Projekthomepage

www.segelenergie.de

SYNCHRONISATIONSVORFAHREN IN EMBEDDED MULTICORESISTEMEN EFFIZIENTES RESSOURCEN-MANAGEMENT

In den vergangenen Jahren wurden von Forschern Scheduling-Algorithmen für Multicore-Echtzeitsysteme präsentiert, die die Ausnutzung von Parallelität verbessern sollen. Jedoch wurde dabei in den meisten Fällen von voneinander unabhängigen Tasks ausgegangen. In realen Systemen bestehen hier jedoch Abhängigkeiten, zum Beispiel über den Datenfluss. Gerade im Automotive-Bereich sind diese Abhängigkeiten sehr hoch, in Powertrain-Systemen beispielsweise können die Tasks auf etwa 20.000 Ressourcen zugreifen. Damit verbunden sind Anforderungen an die Datenkonsistenz, wodurch der Einsatz von Synchronisationsmechanismen wie etwa Semaphore unbedingt erforderlich wird. Zusätzlich dazu braucht es ein Ressourcen-Management. Wir präsentieren in diesem Paper ein neues, Overhead-armes Resource Access Protokoll, welches für lokales sowie globales Scheduling mit jeweils statischen als auch dynamischen Prioritäten einsetzbar ist.

RESSOURCEN-MANAGEMENT

Um Shared Memory vor Inkonsistenzen zu schützen, werden in der Regel Semaphore verwendet. Doch das alleine ist für eine funktionierende Synchronisation nicht ausreichend. Bekannte Probleme, die hier bestehen, sind beispielsweise das Auftreten von Deadlocks oder Prioritätsumkehr. Zur Vermeidung dieser Phänomene kommen sogenannte Resource Access Protokolle zum Einsatz. Diese sind auch bei Echtzeitsystemen mit Singlecore-Prozessoren nötig. Bekannte Vertreter sind hier das Priority Inheritance Protocol, das Priority Ceiling Protocol, oder die Stack Resource Policy.

DAS OSEK PRIORITY CEILING PROTOCOL

Im praktischen Einsatz in eingebetteten Echtzeitsystemen (auf Singlecores) hat sich das OSEK Priority Ceiling Protocol, auch bekannt als Immediate Priority Ceiling Protocol, als effizient erwiesen. Eine Unterscheidung zum Standard-Priority Ceiling Protocol (PCP) ist dadurch festzustellen, dass ein Task das Maximum der Prioritätsschranke bereits erhält, wenn er eine Ressource nutzt. Beim PCP bekommt der Task erst das Maximum der Prioritätsschranke, wenn die genutzte Ressource von einem anderen Task angefragt wird. Dadurch wird der Kontextwechsel (und somit Overhead) auf ein Minimum reduziert.

MULTICORE PROTOKOLLE

Bei den bisherigen Multicore Protokollen müssen bei jedem Scheduler-Aufruf alle Prioritäten des Systems neu berechnet werden. An diesem Punkt setzen wir an und beschreiben im Folgenden das von uns entwickelte Process Blocking Protocol.

DAS PROCESS BLOCKING PROTOCOL (PBP)

Mithilfe des Ressourcen-Modells haben wir bereits gezeigt, dass das OSEK PCP auch für Multicore-Systeme eingesetzt werden kann. Allerdings gilt dies nur für (lokale oder globale) Scheduling-Algorithmen, die mit Task-fixen Prioritäten arbeiten. Unser Ziel ist ein ebenso effizientes Protokoll, das jedoch auch für dynamische Scheduling-Algorithmen eingesetzt werden

kann. Des Weiteren soll der Berechnungs-Overhead der ständigen Prioritäten-Berechnung reduziert werden. Das Blockierverhalten unseres Protokolls soll für statische Scheduling-Algorithmen dem des OSEK PCP entsprechen. Zur Vermeidung von Deadlocks ist es aber trotzdem nötig, das bereits oben erwähnte Ressourcenmodell anzuwenden.

Das Protokoll basiert auf dem Gedanken, dass Prozesse, die Synchronisationsprobleme hervorrufen können, auf den entsprechenden Kern gar nicht erst zur Ausführung kommen. Dazu bekommt jeder Task im System einen Vektor von Integer Zahlen (= Core Locking Vector). Die Länge des Vektors entspricht der Anzahl der Kerne. Jede Stelle im Core Locking Vector entspricht dem jeweiligen Kern mit gleicher Nummer. Angenommen, ein Task greift über ein Semaphore auf eine geteilte Ressource zu. Dann wird für alle Tasks im System der entsprechende Integer-Wert im Core Locking Vektor für den Kern, auf dem der (auf das Semaphore zugreifende) Task läuft, inkrementiert.

Auch der Eintrag beim eigenen Task wird inkrementiert, damit künftige Instanzen dieses Tasks (Jobs) ebenfalls für diesen Kern blockiert werden. Wird die Ressource wieder freigegeben, wird der entsprechende Eintrag im Core Locking Vector wieder dekrementiert.

Wenn nun der Scheduler aufgerufen wird, startet dieser seine Nominierungsphase für die einzelnen Kerne. Dabei erfolgt zunächst eine Prüfung, ob der Eintrag für den entsprechenden Kern im Core Locking Vector gleich 0 ist. Ist dies der Fall, kann der Task nominiert und später auch zur Ausführung gebracht werden. Ist der Eintrag jedoch ungleich 0 (d. h. Task läuft, der gerade eine Ressource nutzt), wird der Task nicht nominiert.

Läuft auf einem anderen Kern ein Task, der keine Ressourcen nutzt, können andere Tasks für diesen Kern nominiert werden. Bei Multicore-Prozessoren können mehrere Tasks gleichzeitig geteilte Ressourcen anfordern (globaler Konflikt). In diesem Fall bekommt einer der konkurrierenden Tasks das Semaphore (First Come First Serve), der andere muss warten (busy-wait).

Abbildung 1 zeigt ein Sequenzdiagramm, bei dem zunächst Task A auf Kern 1 zur Ausführung kommt. Der Task benötigt

eine Ressource, die von Semaphor 1 geschützt wird, und da dieses noch frei ist, ist seine Anfrage auch erfolgreich. Beim Zugriff auf das Semaphor wird nun der erste Eintrag im Core Locking Vektor inkrementiert. Nach einer gewissen Zeit (Task A hat immer noch das Semaphor 1 und läuft auf Kern 1) wird der Scheduler gerufen. Dieser möchte nun Task B für Kern 1 nominieren. Da jedoch der Eintrag des Core Locking Vektor auf 1 steht, wird die Nominierung abgewiesen. Erst später, wenn Task A das Semaphor wieder freigegeben hat, wird Task B für den Kern 1 nominiert (der Vektor steht nun auf 0) und aufgrund seiner höheren Priorität auch ausgeführt (Task A wird unterbrochen).

VALIDIERUNG

Zur Validierung des Process Blocking Protocol kommt eine Trace-basierte Simulation zum Einsatz, mit deren Hilfe diverse Testfälle erzeugt wurden. Der hier gezeigte Testfall zeigt das Verhalten des Protokolls auf einem Dualcore-Prozessor. Zum Vergleich wurde das OSEK PCP sowie als Scheduling-Algorithmus das OSEK Scheduling eingesetzt. Das Verhalten ist identisch, was auch die Auswertung verschiedener Metriken bestätigt.

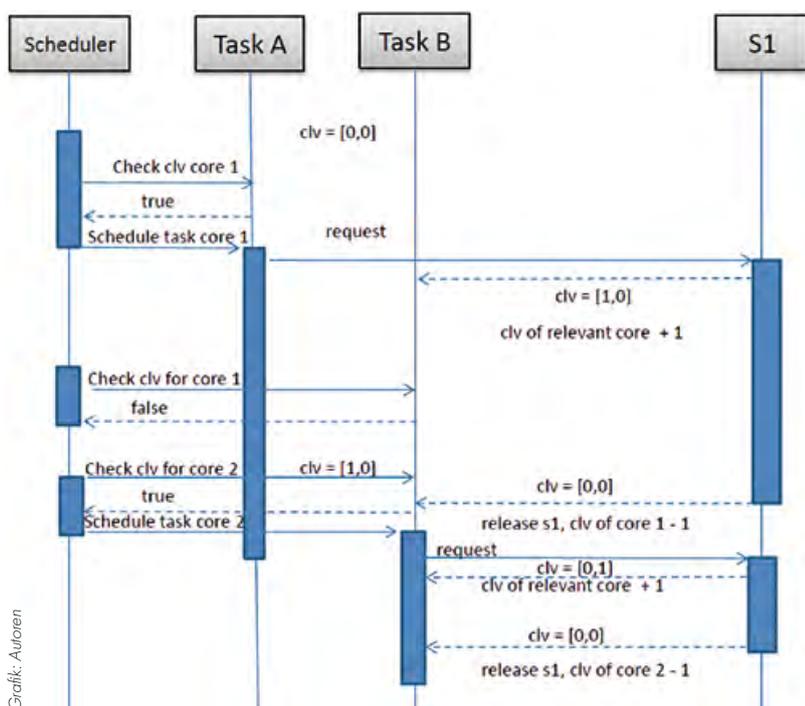
Das gleiche Taskset wurde auch in Verbindung mit dynamischem Scheduling angewendet. Hier wurde einer der meist bekannten dynamischen Scheduling-Algorithmen für Multi-core Systeme, der globale Earliest Deadline First (G-EDF), eingesetzt. Es geht hervor, dass das Protokoll auch mit dynamischen Prioritäten umgehen kann.

ERGEBNISSE

In dieser Arbeit haben wir ein neues Ressource Management Protokoll präsentiert, das für lokales und globales Scheduling sowie für statische und dynamische Prioritäten geeignet ist. Für globales OSEK sowie G-EDF wurde dies in der Fallstudie verifiziert. Dabei benötigt es weniger Berechnungs-Overhead, als die in diesem Paper genannten alternativen Protokolle.

Die Wirkungsweise und Funktionsfähigkeit des Process Blocking Protocols wurde in der Validierung gezeigt. In künftigen Scheduling-Simulationen können nun mithilfe des vorgestellten Protokolls anhand größerer Fallstudien verschiedene Scheduling-Algorithmen miteinander verglichen werden. Des Weiteren soll das Protokoll in ein Hardware-Multicore-Echtzeitsystem integriert werden, damit die Reduktion des Berechnungs-Overheads empirisch nachgewiesen werden kann.

Außerdem ist geplant, die Möglichkeit des Blockier-Verhaltens zu erweitern, sodass außer dem busy-wait-Ansatz bei globalen Ressourcenkonflikten auch noch die Alternative geschaffen wird, die wartenden Tasks vom Kern zu suspendieren. Dies hätte den Vorteil, dass während dieser Zeit andere Tasks, die keine Ressourcenkonflikte haben, auf diesem Kern bevorzugt zur Ausführung kommen könnten.



Graphik: Autoren

Abb. 1: Sequenzdiagramm für das Process Blocking Protocol, wenn Task A die Ressource auf Kern 1 hält und dadurch Task B, der eine höhere Priorität hat, vom Kern blockiert wird.

Projektleitung

Jürgen Mottok, OTH Regensburg LaS³

Projektmitarbeiter

Martin Alfranseder, OTH Regensburg LaS³

Tobias Krapf, OTH Regensburg LaS³

Geldgeber

Bayerische Forschungsstiftung

Fördersumme

1.086.000 € (OTH: 490.300 €)

Projektlaufzeit

36 Monate (April 2012 – März 2015)

www.las3.de

CARo5X: ASSISTENZROBOTER MIT INTELLIGENTER MENSCH-MASCHINE-INTERAKTION

Benjamin Großmann, Regensburg Robotics Research Unit, OTH Regensburg
 Johannes Höcherl, Regensburg Robotics Research Unit, OTH Regensburg
 Thomas Schlegl, Regensburg Robotics Research Unit, OTH Regensburg

24

Die Regensburg Robotics Research Unit (RRRU) hat im Rahmen des Projekts ManuCyte den Assistenzroboter CARo5X entwickelt. Dieser unterstützt einen menschlichen Bediener in einem gemeinsamen Arbeitsraum bei der Ausführung zellbiologischer Arbeiten. Um die Sicherheit des Arbeiters zu gewährleisten, ist eine redundante Systemstruktur mit Eingabe-, Auswerte- und Ausgabeeinheiten entwickelt worden. Durch Verwendung eines redundanten, perzeptiven Sensorsystems wird der Abstand zwischen Mensch und Roboter bestimmt und in der Robotersteuerung zur intelligenten Veränderung des Roboterhaltens eingesetzt. Mittels eines mehrachsigen Kraftsensors und entwickelten Regelalgorithmen kann zudem der Bediener mit dem Roboter in direkte haptische Interaktion treten und dessen Bewegungsablauf vorgeben.

Das Forschungsprojekt ManuCyte¹ wurde durch das 7. EU-Forschungsrahmenprogramm gefördert. Im Projekt wurde eine skalierbare automatisierte Anlage zur patientenspezifischen Kultivierung menschlicher Zellen entwickelt. Diese Aufgabe wurde an einem hybriden Arbeitsplatz, der die Kooperation zwischen einem Laboranten und einem Assistenzroboter ermöglicht, verwirklicht. Die RRRU war für die Entwicklung des Assistenzroboters und dessen Integration in den hybriden Arbeitsplatz zuständig. Das wesentliche Kennzeichen des hybriden Arbeitsplatzes ist die Zusammenarbeit zwischen Laborant und Roboter ohne räumliche und zeitliche Trennung. Der integrierte selbstentwickelte fünfachsiges Assistenzroboter, insbesondere dessen Funktionsumfang, werden im Folgenden im Detail betrachtet.

Der Assistenzroboter CARo5X ist in Abbildung 1 in direkter Interaktion mit einem menschlichen Bediener zu sehen. Die Ausstattung des Manipulators ist angepasst an das Mensch-Roboter-Szenario.

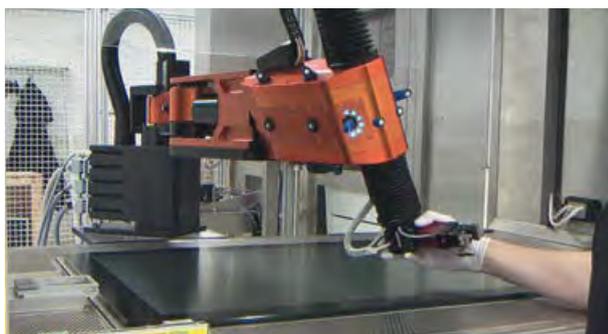


Abb. 1: Ein Mensch in direkter Interaktion mit dem Assistenzroboter CARo5X

HARDWARE- UND SOFTWAREAUFBAU DES ASSISTENZROBOTERS

Die in Abbildung 1 sichtbaren Leuchtelemente sind zur Statusanzeige für den menschlichen Bediener angebracht. Des Weiteren sind oberhalb des Roboters zwei Kameras mit einer Auflösung von 1312 x 1082 der Firma Photonfocus ange-

bracht. Dieses perzeptive Sensorsystem wird ergänzt durch 18 in den Roboter integrierte Ultraschallsensoren der Firma Microsonic mit einer eingestellten Tastweite von 0,35 m. Mit Hilfe von Motorencodern der Firma Maxon Motor und Hall-Gebern der Firma Austria Microsystems wird die Position des Roboters diversitär redundant bestimmt. Ein Kraft- und Momentensensor der Firma ATI kann Kräfte in drei kartesischen Achsen und drei Momente um diese Achsen am Endeffektor messen. Diese misst er mit einer Genauigkeit von 0,25 N bzw. 0,003 Nm und einem Messbereich von bis zu 580 N bzw. 10 Nm. Am Greifer der Firma AFAG ist damit ein ergonomisches, haptisches Führen des Roboters möglich (Abbildung 1).

Die Softwareentwicklung zur Ansteuerung der Aktorik und Auswertung der Sensorik wird mit Mathworks Matlab & Simulink in der Version 2011b verwirklicht. Nach automatischer C-Code-Generierung wird der C-Code auf Industrie-PC-Zielsysteme mit den Betriebssystemen Mathworks xPC und Cosateq SCALE-RT kompiliert. Nachfolgend werden die realisierten Betriebsarten und wichtigsten Leistungsdaten von CARo5X erläutert.

BETRIEBSARTEN UND LEISTUNGSDATEN FÜR EINE EFFIZIENTE KOOPERATION

Der Roboter kann mit einer maximalen Länge von 1,17 m, einer Hubhöhe von bis zu 0,4 m und der für die Mensch-Maschine-Kooperation entwickelten Kinematik innerhalb des gesamten Bereichs eines Tischarbeitsplatzes agieren. In der Robotersteuerung sind drei Betriebsarten implementiert. Die Betriebsart Automatik bietet nicht nur die von Industrierobotern bekannten Funktionen, die es ermöglichen, eine Bahn im Arbeitsraum oder Gelenkraum abzufahren. Es ist zudem eine hybride Bahn- und Kraftregelungsarchitektur implementiert,³ welche es ermöglicht, in gewählten kartesischen Achsrichtungen eine Bahn vorzugeben und in den übrigen Achsrichtungen eine definierte Kraft einzuregeln. Die Betriebsart Semi-Automatik ermöglicht einem Bediener, mit dem Roboter ohne räumliche oder zeitliche Trennung zu kooperieren (Abbildung 2). Während der Kooperation wird der gesamte Arbeitsraum

durch das perzeptive Sensorsystem überwacht² und die Fahrgeschwindigkeit des Roboters auf 0,25 m/s begrenzt. Eine Kollision des Roboters mit dem Menschen oder anderen Objekten im Arbeitsraum kann somit durch einen in der Robotersteuerung hinterlegten Ausweichalgorithmus verhindert werden. In der Betriebsart Teaching kann der menschliche Bediener den Roboter durch Aufbringen von Kräften am Effektor führen. Die angefahrenen Punkte werden abgespeichert und können dann vom Roboter in der Betriebsart Automatik und Semi-Automatik erneut angefahren werden. Die mit den gezeigten Fähigkeiten des Roboters realisierbaren Anwendungsfälle werden im Folgenden diskutiert.

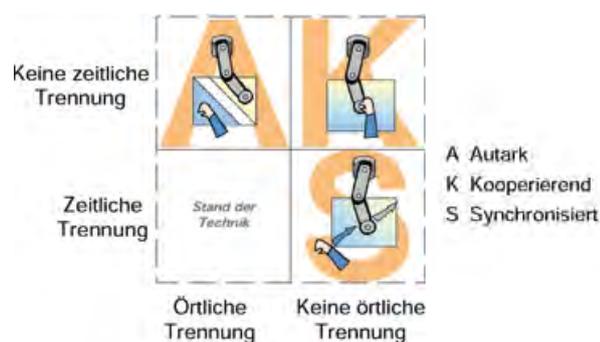


Abb. 2: Betriebsmodi der Mensch-Roboter-Kooperation

MÖGLICHE ANWENDUNGSFÄLLE DES MECHATRONISCHEN HELFERS

Die für das Projekt ManuCyte umgesetzten Anwendungsfälle spiegeln die Möglichkeiten der Mensch-Roboter-Kollaboration wieder. Durch einen schnellen *Materialtransport* können dem Bediener Werkzeug und Arbeitsmaterial zur Verfügung gestellt werden. Mithilfe der *kraftbasierten Materialvorbereitung* können Schneide- und Fügevorgänge durchgeführt werden. Im Anwendungsfall *intelligente Haltevorrichtung* bleibt der Roboter CARo5X in einer einprogrammierten, aber über kraftbasiertes Führen leicht zu verändernden Pose zur Bearbeitung des gegriffenen Materials durch den Bediener stehen. Durch Ankopplung von Zusatzgeräten an CARo5X können weitere Aufgaben erledigt werden. Solche weiterführenden Anwendungen können aufgrund der Eigenentwicklung der Robotersteuerung mit geringem Aufwand integriert werden. So wird der Roboter CARo5X als Teil eines Telepräsenzsystems für den Anwendungsfall *Ferninteraktion* eines weiterführenden Forschungsprojekts eingesetzt. Dieses System ermöglicht einem menschlichen Bediener

durch die Verwendung von bilateralen Kraft- und Positionsregelkreisen mit entfernten Objekten so zu interagieren, als stünde er im direkten Kontakt mit diesen Objekten. Das System kann dann beispielsweise an Orten eingesetzt werden, die für den Menschen schwer zugänglich sind oder bei Prozessen, die für den Menschen eine Gefahr darstellen.

Der Artikel beschreibt das selbstentwickelte Assistenzrobotersystem für eine intelligente und leistungsfähige Mensch-Roboter-Interaktion. Der Manipulator wird für die Anwendungsfälle Materialtransport, kraftbasierte Materialvorbereitung, intelligente Haltevorrichtung und Ferninteraktion als mechatronischer Helfer des Bedieners eingesetzt.

Projektleitung

Prof. Dr.-Ing. Thomas Schlegl
Kompetenzzentrum für Regelungs- und Steuerungssysteme,
Regensburg Robotics Research Unit
thomas.schlegl@oth-regensburg.de

Projektmitarbeiter

C. Botke, P. Nißl, M. Arbesmeier, A. Goß, C. Glowa, B. Großmann, J. Höcherl

Konsortiumsleitung

Fraunhofer Institute for Manufacturing Engineering and
Automation (IPA)

Kooperationspartner

ÅBO AKADEMI University, acp-IT AG, AFT GmbH, Chip-Man
Technologies, mta automation AG, MTA SZTAKI, PRIMACYT
GmbH

Geldgeber

Europäische Union, FP 7

Fördersumme

- Gesamt: 3.400.000 €
- Teilprojekt OTH Regensburg: 300.000 €

Projektlaufzeit

36 Monate

Projekthomepage

www.manucyte-project.eu

Literatur

- 1 'ManuCyte: Modular Manufacturing Platform for Flexible, Patient-Specific Cell Cultivation', URL: <http://www.manucyte-project.eu/> (Stand: 14.03.2012).
- 2 Höcherl, J. & Schlegl, T. (2012), An Image Based Algorithm to Safely Locate Human Extremities for Human-Robot Collaboration, in 'Intelligent Robotics and Applications (ICIRA)'.
- 3 Großmann, B. & Schlegl, T. (2013), Development of a Hybrid Path/Force Control Architecture for an Assisting Robot, in '22nd International Workshop on Robotics in Alpe-Adria-Danube Region'.

IDENTIFIKATION DER MODELLPARAMETER EINES KFZ-ANTRIEBSTRANGS

Thomas Schlegl, OTH Regensburg
 Ralph Schneider, OTH Regensburg
 Benjamin Großmann, OTH Regensburg
 Johannes Milaev, OTH Regensburg
 Christina Rampelt, OTH Regensburg
 Christian Roduner, AVL S&F GmbH Regensburg
 Christoph Glowka, AVL S&F GmbH Regensburg

Das Projekt ACES „Integrated Adaption of Linear Controllers in Embedded Systems“ erfolgt in Kooperation zwischen der AVL Software & Functions GmbH Regensburg und dem Kompetenzzentrum für Regelungs- und Steuerungssysteme der OTH Regensburg und wird durch das Programm „Informations- und Kommunikationstechnik Bayern“ der Bayerischen Staatsregierung gefördert.

Ziel des Projekts ist die Entwicklung und prototypische Implementierung eines Verfahrens zur fortwährenden, selbsttätigen Adaption von Reglerparametern in Steuergeräten von Kraftfahrzeugen.

ZIELSETZUNG

Alterungsprozesse, Bauteilvarianten und Serienstreuung führen über die gesamte Lebensdauer eines Kfz-Antriebsstrangs zu unerwünschten Änderungen des Systemverhaltens. Dabei sind Regelungsfunktionen für Automotive-Anwendungen so zu applizieren, dass sich ein bestmögliches Verhalten des geregelten Systems ergibt. Derzeit werden Reglerparameter in Kennfeldern hinterlegt, um diesen Änderungen entgegenzuwirken. Dies erfordert jedoch einen hohen Rechen- und Speicherbedarf. Zur Kompensation des geänderten Systemverhaltens ist es möglich, unterschiedliche Adaptionalgorithmen zu verwenden. Diese Algorithmen sind im Zuge des Projekts zu evaluieren. Die Aufgaben der OTH Regensburg liegen dabei vor allem in der Analyse und Auswahl von bestehenden Identifikations- und Adaptionalgorithmen, deren Anpassung sowie der Durchführung von Simulationen. Ergänzend soll der Aufbau eines flexiblen Prüfstands das Verhalten eines Kfz-Antriebsstrangs mit veränderlichen mechanischen Parametern aufzeigen und der Evaluation der entwickelten Regelungen im Hinblick auf eine aktive Schwingungsdämpfung dienen.

PARAMETERIDENTIFIKATION

Innerhalb des ausgewählten Adaptionalgorithmus wird das physikalische System des Kfz-Antriebsstrangs als kontinuierliche Übertragungsfunktion $G(s)$ beschrieben. Das untersuchte System kann dabei vereinfacht als ein physikalisches System 4. Ordnung

$$G(s) = \frac{d_2 \cdot s^2 + d_1 \cdot s + d_0}{s^4 + c_3 \cdot s^3 + c_2 \cdot s^2}$$

betrachtet werden. Als Grundlage des Adaptionalgorithmus dient die Identifikation der Modellparameter, c_i und d_i . Die wissenschaftliche Herausforderung liegt dabei in der genauen und robusten Identifikation der Modellparameter unter Verwendung von minimaler Rechenleistung und Sensorik. Zur Identifikation der Modellparameter wird die rekursive Methode der kleinsten Quadrate mit Vergessensfaktor verwendet.¹ Durch die Integration eines Vergessensfaktors werden in der Vergangenheit liegende Schätzungen exponentiell geringer gewichtet. Die rekursive Methode bietet den Vorteil, die Modellpa-

rameter in Echtzeit identifizieren zu können. Zudem lassen sich mit dieser Methode auch zeitvariante Modellparameter identifizieren.² Sie beschreibt ein Lösungsverfahren eines statischen Optimierungsproblems zur Minimierung der Differenz des gemessenen und simulierten Ausgangssignals des Systems. Unter der Verwendung des Identifikationsalgorithmus werden bei der Identifikation die Parameter, a_i und b_i , einer zeitdiskreten Übertragungsfunktion

$$G(z) = \frac{b_1 \cdot z^{-1} + b_2 \cdot z^{-2} + b_3 \cdot z^{-3} + b_4 \cdot z^{-4}}{1 + a_1 \cdot z^{-1} + a_2 \cdot z^{-2} + a_3 \cdot z^{-3} + a_4 \cdot z^{-4}}$$

berechnet. Die Modellparameter c_i und d_i der kontinuierlichen Übertragungsfunktion können aus nichtlinearen Funktionen der identifizierten Parameter a_i und b_i berechnet werden.

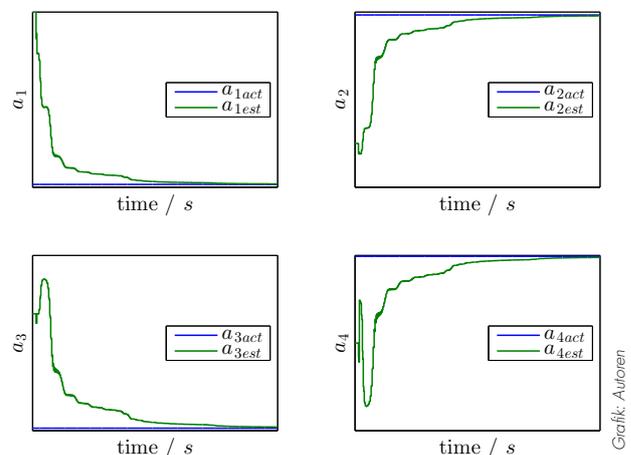


Abb. 1: Zeitlicher Verlauf der Parameteridentifikation

In der Simulation zur Identifikation der Modellparameter wird von einem reibungsfreien Modell des Antriebsstrangs ausgegangen. Es werden allerdings weitere Einflüsse, wie das Auflösungsvermögen der Sensorik, berücksichtigt. Abbildung 1 stellt exemplarisch den Verlauf der durch die Identifikation berechneten Modellparameter $a_{1est}, \dots, a_{4est}$ im Vergleich zu den tatsächlichen Werten a_{iact} dar. Hierbei ist zu erkennen, dass die Modellparameter trotz stark abweichender Startwerte des Algorithmus innerhalb sehr kurzer Zeit hinreichend genau identifiziert werden. Bei der Bewertung des identifizierten Ergebnisses ist zu beachten, dass

Grafik: Autoren

das identifizierte Modell nur für den untersuchten Prozess seine Gültigkeit besitzt. Einen besonders starken Einfluss auf die Ergebnisse üben dabei sowohl die physikalischen Störgrößen als auch die Wahl des Eingangssignals aus. Um verwertbare Ergebnisse im Hinblick auf die technische Realisierung zu erzielen, ist daher eine Algorithmus-Entwicklung zur Störgrößenkompensation unumgänglich.

PRÜFSTAND

Zur Erprobung und Evaluierung der entwickelten Algorithmen dient ein flexibler Prüfstand, der das Verhalten eines Kfz-Antriebsstrangs mit veränderlichen mechanischen Parametern darstellt. Dieser ist in Abbildung 2 dargestellt und stellt einen Zweimassenschwinger dar.³ Die Anregung des mechanischen Systems erfolgt durch permanenterregte Gleichstrommotoren, die mit Inkrementalgebern ausgestattet sind. Stelleingriffe werden durch den in Abbildung 2 links dargestellten Motor realisiert. Der rechte Motor dient der gezielten Einbringung von Störeffekten in Form von variabler Dämpfung und Reibung. Die Einspannungen sind auf einem Schlitten verschiebbar gelagert, sodass ein Wechsel der Torsionswelle erfolgen kann. Das Verhältnis der Massenträgheitsmomente kann mithilfe von Zusatzmassen variiert werden. Der Dämpfungsgrad und die Nachgiebigkeit der Torsionswelle sind durch Verwendung verschiedener Materialien für die Welle sowie Veränderung von deren Länge und Durchmesser anpassbar. Zusätzlich kann die Nachgiebigkeit durch einbringbare Federelemente in erhöhtem Maß verändert werden. Um mechanisches Systemverhalten unterschiedlicher Ordnung mit einem einzigen Prüfstand realisieren zu können, ist es zudem möglich, die Drehung der Abtriebsseite zu fixieren.

Die in Abbildung 2 zu entnehmende informationstechnische Architektur zeigt die Kommunikation zwischen Prüfstand, Echtzeitsteuerung und den Benutzerschnittstellen. Als Zielplattformen werden ein Industrie-PC mit einem Echtzeitbetriebssystem sowie ein Steuergerät unterstützt. Die Regelung des Prüfstands kann wahlweise komplett mit dem Industrie-PC oder in Abstufungen mit dem Steuergerät realisiert werden, indem Teile der Regelungsarchitektur auf das Steuergerät verlagert werden. Benötigte Mess- und Steuersignale werden hierbei über CAN und TCP/IP ausgetauscht. Die Kommunikation mit Sensoren

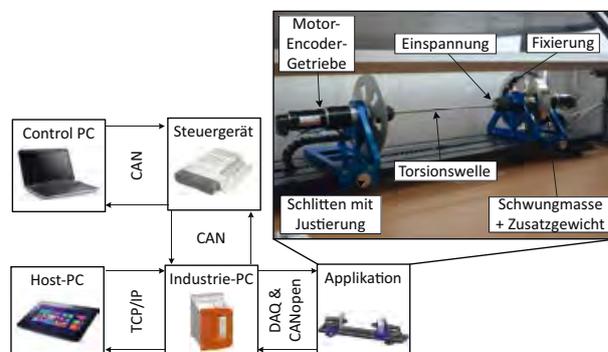


Abb. 2: Aufbau und informationstechnische Architektur des Prüfstands

und Aktoren des Prüfstands über CANopen und eine DAQ-Karte erfolgt in jedem Fall durch den Industrie-PC.

Die Steuerung des Prüfstands erfolgt über eine grafische Benutzeroberfläche auf dem Host-PC. Auf dem Steuergerät laufende Algorithmen können, wie in der Automobiltechnik üblich, über ein kommerzielles Bedienungswerkzeug auf einem Control-PC beeinflusst werden. Zu untersuchende Regelalgorithmen werden in einer durchgängigen CAE-Entwicklungskette beginnend als Simulationsmodell und über automatische Codegenerierung bis hin zum Echtzeitbetrieb realisiert.

ERGEBNISSE

Im Zuge des Forschungsprojektes ACES ist bisher ein Prüfstand entwickelt und aufgebaut worden, welcher durch ein flexibles mechanisches und informationstechnisches Design einerseits die Variation von Parametern der zu regelnden Applikation, andererseits aber auch eine Wahl der Zielplattform für die Regelungsarchitektur ermöglicht. Darüber hinaus wurde ein Algorithmus entworfen und implementiert, der die physikalischen Parameter der Applikation hinreichend genau identifiziert und somit als Basis für eine automatische Anpassung von Regelungen dient.

Literatur

- 1 Isermann, R., Münchhof, M.: Identification of Dynamic Systems. Springer-Verlag, Berlin (2011)
- 2 Glowka, C., Roduner, C., Schneider, R.: Online-Parameteridentifikation eines mechanischen Ein-Massen-Torsionsschwingers. Tagungsband AALE 2014, Deutscher Industrieverlag, München (2014)
- 3 Milaev, J., Ruider, M., Schlegl, T.: Entwicklung eines Experimentalsystems zur Validierung adaptiver Regelungen mit einem OEM-Steuergerät. Tagungsband AALE 2014, Deutscher Industrieverlag, München (2014)

Kompetenzzentrum für Regelungs- und Steuerungssysteme

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

Prof. Dr.-Ing. Ralph Schneider +49 941 943-5166
ralph.schneider@oth-regensburg.de

Kooperationspartner

AVL S&F GmbH Regensburg

Geldgeber

IuK Bayern

Projektlaufzeit

24 Monate

Fördersumme

240.883 €

ERSTELLUNG VON SIMULATIONSPROGRAMMEN ZUR BESTIMMUNG DER FLUGWEITE VON WELLPAPPEBÖGEN IN EINER WPA-BREMSSTATION

In der Bremsstation einer Wellpappenanlage (WPA) werden die produzierten Wellpappebögen geschuppt übereinander auf einem tiefer gelegenen Förderband abgelegt. Im Rahmen dieses Projekts werden verschiedene Simulationsmodelle zur Berechnung der Flugweite der Wellpappebögen in die Bremsstation aufgebaut. Die Flugweite gibt an, wie weit sich die Bögen in die Bremsstation bewegen, bis sie auf dem unteren Förderband in Ruhe zum Liegen kommen.

Für die Bestimmung der Flugweite wird, basierend auf den gegebenen Rahmenbedingungen, über die Energiebetrachtung des Bremsvorgangs ein analytisches Berechnungstool erstellt. Die Ergebnisse des Berechnungstools werden zur Verifizierung mit zwei verschiedenen Mehrkörpersimulationsmodellen (MKS-Modell) verglichen. Im vereinfachten MKS-Modell werden die Wellpappebögen als Starrkörper modelliert. Für eine realistischere Abbildung des Bremsvorgangs werden in einem weiteren MKS-Modell die Bögen als flexible Körper aufgebaut. Durch die unterschiedlichen Modelle können die verschiedenen Berechnungsmethoden miteinander verglichen werden, um zusätzliche Erkenntnisse zu gewinnen.

AUFBAU UND FUNKTIONSWEISE DER BREMSSTATION

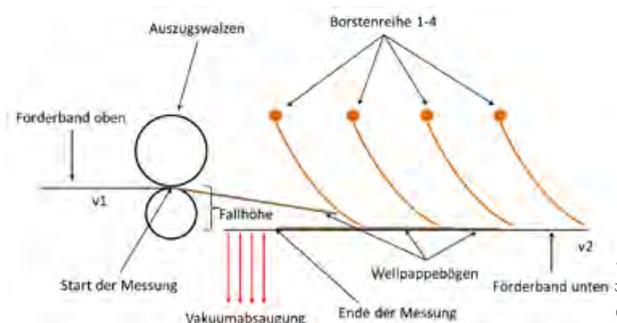
Für den Modellaufbau im MKS-Programm müssen im ersten Schritt der grundlegende Aufbau und die Funktionsweise der Bremsstation analysiert werden. Bei der Bremsstation handelt es sich um ein Teilmodul einer WPA. Die Wellpappebögen, die in der Station abgebremst werden, sind bereits fertig zugeschnittene Bögen, die für die Weiterverarbeitung gestapelt werden müssen. Diese werden in der Bremsstation von einem höher gelegenen, schnellen Förderband auf ein tiefer gelegenes, langsamerer Förderband befördert. Durch den Geschwindigkeitsunterschied zwischen den beiden Förderbändern werden die Wellpappebögen in einem geschuppten Zustand übereinander abgelegt. In diesem Ablagezustand verlassen die Bögen die Bremsstation und werden danach zu Stapeln aufgeschichtet.

im vorderen Bereich des unteren Förderbands angebracht. Diese bewirkt, dass die Wellpappebögen schneller auf das untere Förderband abgelegt werden und der Bremsvorgang verkürzt wird. Abbildung 1 zeigt den schematischen Aufbau und die Funktionsweise der Bremsstation.

MESSUNG DER FLUGWEITE

Die Flugweite eines Wellpappebogens gibt an, wie weit dieser sich in Produktionsrichtung in die Station hineinbewegt, bis er auf die gleiche Geschwindigkeit abgebremst ist, die das untere Förderband aufweist.

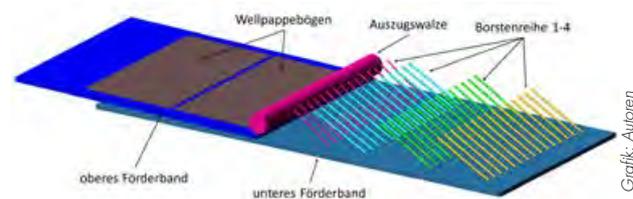
In der MKS-Simulation wird zur Bestimmung der Flugweite der Abstand der Hinterkante des Wellpappebogens bis zum Mittelpunkt der Auszugswalzen gemessen. Bevor der Bogen das obere Förderband verlässt, wird anstelle des negativen Abstandswerts in der Messung der Wert 0 ausgegeben. Hat der Bogen am Ende des Fallvorgangs die gleiche Geschwindigkeit wie das untere Förderband erreicht, wird wiederum anstelle des Messwerts der Wert 0 angezeigt. So ist sichergestellt, dass die Messung nur die Abstandswerte während der Flugphase des Bogens ausgibt und der maximal ausgegebene Wert der Flugweite des Wellpappebogens entspricht. Das abstrahierte MKS-Starrkörpermodell ist in Abbildung 2 dargestellt. Wenn aufgrund des Wellpappenformats nicht alle Borstenreihen im Eingriff sind, kann im MKS-Modell durch Deaktivieren der Borstenreihen darauf reagiert werden. Die Simulation wird dann ohne die deaktivierte Reihe durchgeführt.



Grafik: Autoren

Abb. 1: Schematische Darstellung des Aufbaus und der Funktion der Bremsstation

Der Bremsvorgang auf die niedrigere Geschwindigkeit (v2) wird in der Station durch vorgespannte Glasfaserborstenbündel und über eine Vakuumsaugung unterstützt. In der Station sind in vier Borstenreihen mehrere Borstenbündel nebeneinander quer zur Laufrichtung der Wellpappebögen angebracht. Je nach Bogenformat sind verschiedene Borstenreihen am Bremsvorgang beteiligt und die Borstenbündel unterschiedlich stark vorgespannt. Die Vakuumsaugung ist



Grafik: Autoren

Abb. 2: Darstellung des MKS-Starrkörpermodells für die Messung der Flugweite

BERECHNUNG DER FLUGWEITE

Die analytische Berechnung der Flugweite erfolgt anhand eines Energieansatzes nach folgender Gleichung:

$$E_{kin1} + E_{pot1} = E_{diss} + E_{kin2}$$

Im ersten Zustand (1) auf dem oberen Förderband hat der Wellpappebogen eine hohe Geschwindigkeit und eine bestimmte Höhe. Aus diesen beiden Parametern ergibt sich die Energie des Wellpappebogens im System vor dem Bremsvorgang. Nach der Bremsstation (Zustand 2) besitzt der Wellpappebogen nur noch eine geringere Geschwindigkeitskomponente. Die restliche Energie wird dem Bogen nach dem Prinzip der Energieerhaltung folglich über den Anteil E_{diss} in der Station entzogen. Dieser Verlustanteil setzt sich aus der Reibenergie und der Vakuumenergie zusammen. Aus der bekannten Vakuumenergie lässt sich die Reibenergie ermitteln und mit der Reibenergie über die bekannte Reibkraft der benötigte Reibweg. Die Reibkraft kann über die veränderlichen Randbedingungen der Station, die aus dem gegebenen Bogenformat resultieren, berechnet werden. Der ermittelte Reibweg gibt an, wie weit der Bogen unter den Borsten durchgleitet, bis ihm die nötige Energie entzogen worden ist. Hat der Bogen den kompletten Reibweg zurückgelegt, ist der Bremsvorgang abgeschlossen. Der Reibweg entspricht damit gleichzeitig der Flugweite des Bogens in die Bremsstation.

VERGLEICH DER BERECHNUNGSMETHODEN

Zum Vergleich der einzelnen Berechnungsverfahren werden mehrere Bogenformate mit den verschiedenen Methoden simuliert. Die nachfolgenden Ergebnisse werden anhand des Bogenformats $625 \times 1150 \times 2,65 \text{ mm}^3$, der Bogenmasse von 0,5 kg, der Anfangsgeschwindigkeit von 360 m/min und der Endgeschwindigkeit von 36 m/min berechnet. Aufgrund dieses relativ kurzen Bogenformats befindet sich nur eine von den vier Borstenreihen im Eingriff und ist damit aktiv am Bremsvorgang beteiligt.

Um die Ergebnisse vergleichen zu können, müssen alle Modelle die gleichen Eingangsparameter und Randbedingungen besitzen. Da eine exakte Modellierung der Vakuumkraft beim MKS-Modell mit flexibel gestalteten Wellpappebögen nicht möglich ist, wird zum Vergleich die Wirkung der Vakuumkraft in allen Modellen vernachlässigt.

Die analytische Berechnung liefert für die Flugweite ein Ergebnis von ca. 106 mm, das MKS-Modell mit starren Wellpappebögen ein Ergebnis von ca. 121 mm und im Modell mit flexibel gestalteten Bögen wird eine Flugweite von ca. 73 mm gemessen.

Der Unterschied zwischen den Ergebnissen der Berechnungsmethoden ist auf den unterschiedlichen Abstraktionsgrad der Modelle zurückzuführen. Der Unterschied von ca. 12 % zwischen analytischer Berechnung und MKS-Starrkörpermodell resultiert aus der unterschiedlichen Modellierung der Reibung in beiden Modellen. Der maßgebliche Grund für die große Abweichung von ca. 40 % zwischen flexiblem und starrem MKS-Modell ist hier die flexible Gestaltung der Bögen. Bei der flexiblen Gestaltung ist der Wellpappebogen nicht als homogenes Kontinuum, sondern über ein relativ grobes Netz aus Knotenpunkten definiert, das die Verformung des Bogens ermöglicht. Aus der flexiblen Gestaltung ergibt sich bei der Simulation kein stetiges Bremsverhalten durch die Borsten, sondern ein unrealistisches stoßartiges Bremsverhalten. Die Stöße im Reibverhalten resultieren aus der Kontaktfindung zwischen Borsten und Bogen an den Knotenpunkten. Zur Vermeidung des Problems besteht die Möglichkeit, das Netz weiter zu verfeinern, was eine erhebliche Erhöhung der Rechenzeit zur Folge hat, oder aber die Borsten als breite Blechstruktur auszuführen.

Der Vorteil der Simulation gegenüber der analytischen Berechnung liegt vor allem darin, dass viele Effekte mitberücksichtigt werden können, die sich analytisch nur schwer berechnen lassen. Zur Bewertung der Ergebnisse ist in Zukunft angedacht, diese mittels Messungen an der Anlage zu verifizieren.

Projektleitung

Prof. Dr.-Ing. Claus Schliekmann
Fakultät Maschinenbau,
FEM-Maschinendynamik-Strukturanalyse
claus.schliekmann@oth-regensburg.de

Kooperationspartner

BHS Corrugated GmbH

Bearbeitungszeitraum

Oktober 2013 – März 2014

DYNAMISCHE FEM-SIMULATION VON BAUGRUPPEN UNTER EINBEZIEHUNG DES ANTRIEBSREGELKREISES

Im Rahmen dieses Projekts wird die Zusammenführung von FEM-Simulation und Regelungstechniksimulation untersucht. Es wird geklärt, ob die Simulationstools ANSYS-WB und Simplorer aus den Bereichen FEM und Antriebsregelung sinnvoll und praxistauglich gekoppelt werden können. Ziel ist es, im Vorfeld der Produktentwicklung mit Simulationsergebnissen Einfluss auf die Maschinenkonstruktion und die Antriebsregelkreisauslegung zu nehmen.

Im konkreten Fall wird das FEM-Modell der Baugruppe „Vordosagestern“ so weit aufgebaut, dass ein Vergleich der simulierten Eigenfrequenzen mit den an der realen Maschine gemessenen Eigenfrequenzen plausible Ergebnisse liefert. Darauf aufbauend wird der Positionsregelkreis für diese Baugruppe modelliert und für verschiedene Parameter simuliert. Die Resultate zeigen, dass eine Simulation basierend auf realistischen Modellannahmen zu verwertbaren Ergebnissen führt.

AUFGABENSTELLUNG DER REGELUNGSTECHNIK IN DER ANTRIEBSREGELUNG

Die Regelungstechnik spielt eine immer größere Bedeutung beim Antrieb von Maschinen. Im Folgenden werden die vielfältigen Aufgaben erläutert.

Vor allem bei zeitgesteuerten Prozessen von Positions- oder Geschwindigkeitsregelungen wird eine hohe Genauigkeit in der Antriebsregelung vorausgesetzt. Weiterhin werden niedrige Drehmomentschwankungen vorausgesetzt. Die Regelung soll auch gegenüber äußeren Einflüssen, wie zum Beispiel periodische Kraftanregungen auf die Maschine, eine geringe Anfälligkeit besitzen. Dabei müssen die mechanischen und elektrischen Belastungsgrenzen des Gesamtsystems eingehalten werden. „Diese Anwendungsfälle erfordern insbesondere bei wechselnden Gegenmomenten jedoch eine kontinuierliche, gezielte Beeinflussung der Antriebsmaschine, um die gestellten Anforderungen an die Drehzahl des Antriebs oder die Position von mechanischen Komponenten sicherzustellen. Dies kann nur über die Regelung einer Antriebsmaschine sichergestellt werden.“¹

Eine häufige Problemstellung in der Antriebsregelung ist die mangelnde Steifigkeit im mechanischen Design des Antriebsstrangs. Zudem müssen der Regelkreis und die Regelparameter optimal auf das zu regelnde System abgestimmt sein. Die größte Herausforderung bei der Modellierung der Regelung ist die mathematische Beschreibung der Regelstrecke. Bei einfachen Systemen kann die Systembeschreibung der Maschine mithilfe geeigneter analytischer Methoden, z. B. Zwei-Masse-Schwinger, abgebildet werden. Bei komplexeren Maschinen ist dies jedoch nicht mit zufriedenstellenden Ergebnissen realisierbar. Mithilfe der Finite Elemente Methode (FEM) wird ein Simulationstool bereitgestellt, das eine dynamische Simulation komplexer Maschinen ermöglicht.

VEREINFACHTES BERECHNUNGSMODELL

Im Vorfeld der Untersuchungen stand eine Regelkreissimulation seitens der Firma KRONES AG zur Verfügung. Basierend auf dieser wurde ein Vergleichsmodell in ANSYS-WB auf-

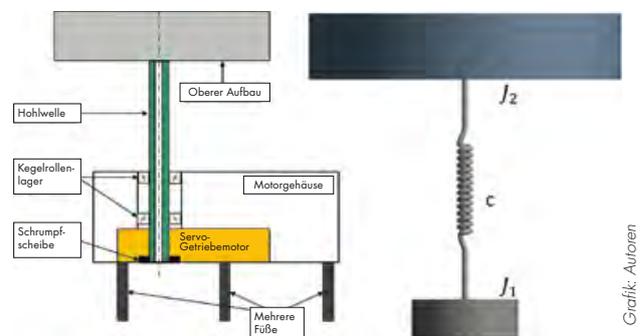


Abb. 1: Vordosagestern – Prinzipskizze und vereinfachtes Berechnungsmodell

gebaut. In der Arbeit wurde exemplarisch die Maschine Vordosagestern betrachtet, welche vereinfacht als Feder-Masse-Schwinger modelliert werden kann (siehe Abb. 1).

Zwischen einer Lastträgheit J_2 und einer Motortragheit J_1 sind eine Torsionsfeder mit der Federsteifigkeit c und ein Dämpfer mit Dämpfungskonstante d modelliert. Von diesem Feder-Masse-Schwinger wurde mit dem FE-Programm ANSYS Workbench eine Modalanalyse durchgeführt. Die Trägheitsmassen der Last und des Motors wurden über einfache Scheiben abgebildet. Eine Torsionsfeder verbindet diese beiden Scheiben. Die Federsteifigkeit bildet, stellvertretend für die Torsionssteifigkeit der Verbindungswelle, die Nachgiebigkeit ab. Für die nachfolgende Regelung des Systems muss in der Modalanalyse eine Schnittstelle definiert werden. An der Motortragheit wird deshalb eine Fläche als „externer Punkt“ festgelegt. Als Eingangsgröße wirkt somit in der anschließenden Regelung ein Drehmoment auf diese Fläche. Aufgrund der Beaufschlagung mit dem Drehmoment sind die Ausgangsgrößen in der Regelung die Winkelrotation und die Winkelgeschwindigkeit dieser Fläche. Als Ergebnis der Modalanalyse erhält man die Eigenfrequenzen und Eigenformen des Systems. Anschließend wird im Post-Processor von ANSYS eine *.spm-Datei erstellt, welche die Zustandsraummatrizen enthält. „Mit der Zustandsraumdarstellung verfolgt man das Ziel, ein dynamisches System nicht mit einer Differentialgleichung n -ter Ordnung, sondern mit einem System von n Dif-

ferentialgleichungen erster Ordnung zu beschreiben. Das heißt, dass man nach erfolgreicher Modellierung die erhaltene Differentialgleichung n -ter Ordnung durch Einführung von n Zustandsvariablen x_1, x_2, \dots, x_n in die Zustandsraumdarstellung transformiert.“²

Diese Matrizen dienen als Systembeschreibung der Maschine. Mit dem Regelungstechnik-Programm ANSYS Simplerer lässt sich anschließend die Datei als Block in die Regelung einbinden. Aufbauend darauf wird ein Antriebsregelkreis entworfen. Abschließend wurden die Ergebnisse der vorhandenen Regelungstechniksimulation mit der vorgestellten verglichen und verifiziert.



BERECHNUNGSMODELL FÜR DEN VORDOSAGESTERN

Der einfache Feder-Masse-Drehschwinger bestätigte die Simulationsmethode. Sie wird nun auf die Baugruppe Vordosagestern angewandt. Die allgemeine Vorgehensweise zur vorgestellten Simulationsmethodik ist in Abbildung 2 dargestellt.

Diese Maschine ist ein Füller der KRONES AG, welcher Fruchtstücke vor dem Abfüllen des Fruchtsaftes vordosiert. Die dynamische Beschreibung des mechanischen Aufbaus des Vordosagesterns ist essenziell für eine genaue Antriebsregelung. Dabei sind für die Simulationen vor allem die korrekten Steifigkeiten c und Massenträgheitsmomente J von Bedeutung. Über die Ausgabe der Eigenfrequenzen und Eigenformen in der Modalanalyse kann das Modell an die reale Baugruppe angepasst werden.

Der Einsatz von starren Körpern kann die Berechnungszeit gegebenenfalls reduzieren. Es gilt zu beachten: Starre Körper sind nur einsetzbar, wenn die Verformung dieser Bauteile als vernachlässigbar angesehen werden kann. Der Servo-Getriebemotor ist als Volumenmodell im CAD vorhanden. Von diesem Motor ist nur eine Torsionssteifigkeit bekannt. In der Realität ist jedoch ein Synchronmotor mit angeflanschem

Kegelradgetriebe verbaut. Deshalb wurden mehrere Simulationsvariationen berechnet.

Eine grobe Abschätzung der Torsionseigenfrequenz des Systems lässt sich mithilfe der Formel

$$f = \frac{1}{2 \cdot \pi} \sqrt{\frac{c}{J}}$$

ermitteln. Da das System als eine Reihenschaltung von Federn vereinfacht werden kann, berechnet sich die Ersatzfedersteifigkeit hauptsächlich aus den Federsteifigkeiten der Wellen, der Getriebesteifigkeit und der Drehmomentenstütze. Die einzelnen Trägheitsmassen der bewegten Teile lassen sich in ANSYS einfach auslesen und gegebenenfalls mithilfe des Steiner'schen Satzes in das globale Koordinatensystem transformieren.

Nach der Validierung der Methodik an einem einfachen Feder-Masse-Schwinger sind Simulationen von realen Baugruppen umsetzbar. Die Messung der Eigenfrequenzen an der Baugruppe Vordosagestern liefert die Grundlage für eine realitätsnahe Modellierung des dynamischen Verhaltens der Maschine. Anschließend konnte wiederum eine *.spm-Datei erstellt und in einer Antriebsregelung integriert werden.

Durch die gezielte Vereinfachung von komplexen Maschinen kann die Berechnungszeit verkürzt werden. Dadurch ist eine sinnvolle und praxistaugliche Kopplung der Bereiche FEM und Regelungstechnik möglich. Messungen der Eigenfrequenz liefern die Grundlage für eine realitätsnahe Modellierung der Maschine. Damit kann im Vorfeld der Produktentwicklung mit Simulationsergebnissen Einfluss auf die Maschinenkonstruktion und die Antriebsregelkreisauslegung genommen werden.

Literatur

- 1 Schlegl, Thomas: Vorlesungsskript Grundlagen der Antriebstechnik, OTH Regensburg (2013)
- 2 Schneider, Ralph: Vorlesungsmanuskript Regelungstechnik, Version 1.3, OTH Regensburg (2007)

Projektleitung

Prof. Dr.-Ing. Claus Schliekmann
Fakultät Maschinenbau, FEM-Maschinendynamik-Strukturanalyse
claus.schliekmann@oth-regensburg.de

Kooperationspartner

KRONES AG

Bearbeitungszeitraum

Oktober 2013 – Februar 2014

iRescYou – TELEMEDIZIN IN DER PRÄHOSPITALDIAGNOSTIK

32

Kenny Pflug, IT-Anwenderzentrum der OTH Regensburg
 Markus Kucera, IT-Anwenderzentrum der OTH Regensburg
 Thomas Waas, IT-Anwenderzentrum der OTH Regensburg
 Felix Schlachetzki, Klinik für Neurologie, Bezirksklinikum Regensburg
 Sandra Boy, Klinik für Neurologie, Bezirksklinikum Regensburg
 Josef Pemmerl, Malteser Rettungsdienst Regensburg
 Alexander Leis, Regensburg Center for Biomedical Engineering

„Time is brain ...“ – beim Schlaganfall kommt es auf jede Sekunde an. Ziel des Forschungsprojekts iRescYou ist die schnelle und treffsichere Diagnose bei Schlaganfallpatienten, noch bevor diese die Notaufnahme erreichen. Mittels eines mobilen Ultraschallgeräts, leicht bedienbarer Software auf Tablets zur computerunterstützten Informationsaufnahme und einem Bayes-Netz für Decision Support werden Notärzte und Rettungsassistenten in ihrem Alltag unterstützt. Anhand verschlüsselter Kommunikation werden die Daten direkt an Spezialisten in den Kliniken weitergeleitet – für eine zuverlässige Diagnose.

Seit September 2013 arbeiten das IT-Anwenderzentrum der OTH Regensburg (ITZ), das Regensburg Center for Biomedical Engineering (RCBE), die Klinik und Poliklinik für Neurologie der Universität Regensburg und der Malteser Rettungsdienst Regensburg am Forschungsprojekt iRescYou. In dem Kooperationsprojekt wird ein telemedizinisches Kommunikationssystem entwickelt, das Patientendaten am Notfallort computerunterstützt erfasst und an neurologische Experten im Bezirks- und Universitätsklinikum Regensburg zur genauen Differentialdiagnose weiterleitet. Ziel des Projekts ist eine schnelle, zuverlässige Schlaganfalldiagnose innerhalb von 30 Minuten nach Eintreffen der Rettungskräfte. Je nach vorliegender Situation können diese vor Ort spezielle Behandlungsmaßnahmen am Patienten durchführen oder weitergehende Maßnahmen in der Klinik veranlassen.

COMPUTERUNTERSTÜTZTE PATIENTENANAMNESE

Bereits seit mehreren Jahren ist die Klinik für Neurologie am Bezirksklinikum Regensburg mit dem „Schlaganfallmobil“ an vorderster Front gegen Schlaganfall im Einsatz (bis zu 40 km rund um Regensburg). Für eine sichere Diagnose musste bisher der Experte zum Patienten „bewegt“ werden. iRescYou ist die konsequente Weiterentwicklung dieses Gedankens: Alle relevanten Patientendaten werden einem Spezialisten in der Klinik direkt per Telemedizin übermittelt. Zugleich bringt iRescYou die Spezialdiagnostik direkt zum Patienten: Mit einem mobilen Ultraschallgerät kann dieser vor

Ort auf verschlossene Hirngefäße hin untersucht werden, die Diagnose übernimmt ein Neurologe in der Klinik. Die digital erfassten Anamnesedaten und ein Patientenvideo vervollständigen dabei das Bild für die Diagnose.

Ziel: Schnelle Diagnose – „Time is brain ...“

Das Forschungsteam hat bei der Entwicklung folgenden Fall vor Augen: Ein Notruf geht ein, in einer ländlichen Gegend rund um Regensburg ist eine Person halbseitig gelähmt. Das Rettungspersonal fährt sofort zum Ort des Geschehens, untersucht den Patienten und stellt die Verdachtsdiagnose Schlaganfall. Mit einem mobilen Ultraschallgerät scannt ein Sanitäter das Gehirn des Patienten auf Gefäßverschlüsse, während ein weiterer die Symptome protokolliert und – falls nötig – ein Video des Patienten mit einem Tablet-PC aufnimmt. Die Daten werden verschlüsselt an den neurologischen Experten im Schlaganfallzentrum übermittelt. Dieser kann mit seinem Fachwissen und seiner Erfahrung leichter die komplexen Symptome der verschiedenen Schlaganfalltypen interpretieren, ob z. B. ein Hirninfarkt oder eine Hirnblutung vorliegt. Weitere Behandlungsschritte können ohne großen Zeitverlust angewiesen werden. Bei einem Hirninfarkt kann das Rettungspersonal z. B. sofort mit einer lebensrettenden Lysebehandlung beginnen – noch vor Eintreffen in einer Klinik mit einer Spezialabteilung für Schlaganfall (Stroke Unit). Das Personal der Schlaganfallabteilung sieht über einen Monitor auf der Station, wann genau der Rettungswagen eintrifft, weiß durch die vorab übermittelten Informationen bereits über den Fall Bescheid und kann nahtlos die weitere Behandlung des Patienten übernehmen.

EINFACHE BEDIENBEREICH

Da im Notfall – speziell bei einem Schlaganfall – jede Minute zählt, muss die Bedienoberfläche einer technischen Lösung benutzerfreundlich sein. Es gilt, die Behandlung zu beschleunigen und zu verbessern. Um die Einführung des telemedizinischen Systems zu erleichtern, soll es zudem schnell und einfach auszufüllen sein. Auf Knopfdruck wird ein vollständiges Einsatz- und Reanimationsprotokoll des Rettungsdienstes Bayern ausgedruckt. Um dem rauen Arbeitsalltag des Rettungsdienstes Stand zu halten, muss das Tablet stoß-, fall- und spritzwassersicher (ruggedized) sein. Mit einfachen



Foto: Universitätsklinikum Regensburg

und schnell ausführbaren Wischgesten soll das Rettungspersonal die Patientendaten zeitsparender als mit der Tastatur aufnehmen. Anhand einer stilisierten menschlichen Figur auf dem Bildschirm wird die betroffene Körperregion per Fingerdruck ausgewählt. Kontextbasiert werden weitere medizinische Symptome dargestellt und können per Wischgeste aufgerufen werden.

INTELLIGENTES EXPERTENSYSTEM ZUR DIAGNOSEUNTERSTÜTZUNG

Für eine zuverlässige Diagnose wird die Expertise der Schlaganfall-Experten durch ein spezielles Decision-Support-System, basierend auf einem Bayes-Netz, unterstützt. Dieses Decision-Support-Verfahren vermag anhand der Anamnesedaten und seiner vorkalibrierten Struktur eine Wahrscheinlichkeit zu berechnen, welche Art von Schlaganfall vorliegt. Bereits mit einer Eingabe von acht Informationen kann das System feststellen, ob eine Tendenz zum Hirninfarkt oder zur Hirnblutung besteht. Eine schnelle und sichere Unterscheidung ist für den Patienten lebenswichtig.



Quelle: Universität Regensburg

VERNETZUNG MEDIZINISCHER GERÄTE PER MOBILFUNK

Alle Geräte vor Ort – mit dem Tablet im Zentrum – kommunizieren in einem lokalen, schnurlosen Netzwerk miteinander. Für das Rettungspersonal bedeutet dies mehr Zeit für den Patienten, da die einmal erfassten Stamm- und Vitaldaten sowie die Bilder des mobilen Ultraschallgeräts automatisch weitergeleitet werden. Für eine einfache und schnelle Bildübertragung sowie eine zuverlässige Vernetzung weiterer medizinischer Geräte soll der medizinische Standard DICOM (Digital Imaging and Communication in Medicine) eingesetzt werden.

AUSBLICK

Auch wenn bislang der Schlaganfall im Fokus des iRescYou-Projekts steht, haben die Forscher darüber hinausgehende Ziele: Es soll eine offene Plattform für prä-hospitale Diagnostik sein, die mehr Anwendungsfälle, wie beispielsweise Herzinfarkt berücksichtigt und weitere medizinische Geräte integriert. Nach einem erfolgreichen Projektverlauf soll die Plattform für Fachbereiche wie die Kardiologie oder die Kindermedizin geöffnet werden.

Weitere Informationen: www.it-anwenderzentrum.de

Projektleitung

Dr. med. Sandra Boy
Klinik und Poliklinik für Neurologie, Bezirksklinikum Regensburg,
Medizinische Einrichtungen des Bereichs Oberpfalz GmbH
sandra.boy@medbo.de

Prof. Dr. med. habil. Felix Schlachetzki
Klinik für Neurologie, Bezirksklinikum Regensburg
felix.schlachetzki@klinik.uni-regensburg.de

Projektmitarbeiter

Kenny Pflug
IT-Anwenderzentrum der OTH Regensburg
kenny1.pflug@oth-regensburg.de

Dr. med. Alexander Leis
Geschäftsführer Regensburg Center for Biomedical Engineering
alexander.leis@oth-regensburg.de

Prof. Dr. techn. Markus Kucera
Leiter IT-Anwenderzentrum der OTH Regensburg

Prof. Dr. rer. nat. Thomas Waas
Leiter IT-Anwenderzentrum der OTH Regensburg

Josef Pemmerl
Leiter Malteser Rettungsdienst Regensburg

Kooperationspartner

- Universität Regensburg
- Regensburg Center for Biomedical Engineering
- Malteser Rettungsdienst Regensburg

Geldgeber

Bayerisches Staatsministerium für Gesundheit und Pflege

Fördersumme

ca. 400.000 €

Projektlaufzeit

bis September 2015

INTELLIGENTE SPANNUNGSHALTUNG EINES MITTELSPANNUNGSNETZES (ISM) – NETZANALYSEN UND NETZBERECHNUNGEN

Im Forschungsprojekt ISM wird für ein Mittelspannungs-Verteilnetz mit hoher Fotovoltaik-Einspeisung eine sogenannte Weitbereichsregelung entwickelt und erprobt. Eine Weitbereichsregelung besteht aus abgesetzten Spannungssensoren an ausgewählten Netzknoten und einem Algorithmus, der das Spannungsniveau im Netz optimiert. In diesem Verbundprojekt wirken die Regensburger Unternehmen REWAG und Maschinenfabrik Reinhausen sowie die OTH Regensburg mit. Das gesamte Projekt wird von Herrn Prof. Dr. Andreas F.X. Welsch (OTH Regensburg) geleitet. Die beteiligten Teilprojektleiter sind im Kontaktkasten unten zu finden.

Mittlerweile hat sich die Erkenntnis durchgesetzt, dass die Lösung der Spannungsproblematik durch intelligente Konzepte der Spannungsregelung die Kosten der Netzintegration von dezentralen Einspeisungen ganz erheblich reduzieren können.¹ Das für das Projekt ausgewählte Netzgebiet lässt ungünstige Spannungsverhältnisse erwarten. Diese werden hervorgerufen durch die hohe installierte Leistung von Photovoltaik-Anlagen von insgesamt 8,6 MW (inkl. Biogasanlagen 9,3 MW) und auf einzelnen Strängen von bis zu 4,9 MW bzw. 1,5 MW. Ein Strang enthält eine 3-MW-Photovoltaik-Freiflächenanlage.² Dazu kommt der hohe Anteil an Freileitungen von etwa 33 % mit meist geringem Leitungsquerschnitt und die teilweise großen Trassenlängen zwischen einzelnen Ortsnetzstationen von bis zu vier Kilometern. Beides führt zu großen Spannungsfällen entlang der Leitungsabschnitte.

FELDMESSUNGEN UND NETZANALYSEN

Die tatsächlichen Netzverhältnisse wurden mithilfe einer Feldmessung aller 72 Ortsnetzstationen untersucht. Aus Kosten- und Platzgründen schied eine Messung der Spannungen in den Ortsnetzstationen direkt auf der Mittelspannungsebene mit Spannungswandlern aus. Eine Alternative stellte die Messung der Spannungen direkt und der Ströme mit Stromwandlern auf der Unterspannungsseite der Ortsnetztransformatoren (Niederspannung) und die Berechnung der Mittelspannungswerte unter Berücksichtigung des komplexen Spannungsfalls längs der Transformatorimpedanz dar. Eine Validierung dieses Verfahrens ergab Abweichungen von maximal 0,25 %. Damit ist dieses Verfahren der indirekten Messung für die Entwicklung des Regelalgorithmus ausreichend.

Das ursprüngliche Konzept für die Feldmessungen sah vor, dass in allen Ortsnetzstationen des Testnetzes (72 Stationen) autarke Netzanalysatoren zur Aufzeichnung der Messdaten aller Ortsnetztransformatoren installiert, die Daten gespeichert und manuell ausgelesen werden. Dieses Konzept war nach näherer Untersuchung jedoch so nicht realisierbar. Den Netzanalysatoren musste ein GSM-Router nachgeschaltet werden, welcher die Messdaten abrufen, zwischenspeichert, mit einem Zeitstempel versieht und zyklisch per Mail an eine eingerichtete Datenbank sendet.

In den 78 Messstationen werden momentan 16 Messwerte ($3 \cdot U$, $4 \cdot I$, $3 \cdot P$, $3 \cdot Q$, $3 \cdot S$) alle zehn Sekunden erfasst und gespeichert. Dies generiert in der Minute 6.912, pro Tag fast 10 Mio. Messwerte. Aufgrund der großen Datenmengen musste zur Auswertung und späteren Verarbeitung im Netzberechnungsprogramm eine Messwerte-Datenbank erstellt werden. Diese SQL-Datenbank wurde auf einem Datenbank-Server des Rechenzentrums der Technischen Hochschule Regensburg installiert. Eine entwickelte Routine ermöglicht es, kontinuierlich und automatisch die Daten abzuholen und die Datenbank zu füllen. Die Funktionstüchtigkeit der ISM-Projekt-Datenbank und der installierten Messtechnik konnte durch die Gesamtverfügbarkeit der Messdaten (Datendichte) nachgewiesen werden, welche mittlerweile in der Nähe der 100 %-Marke liegt.

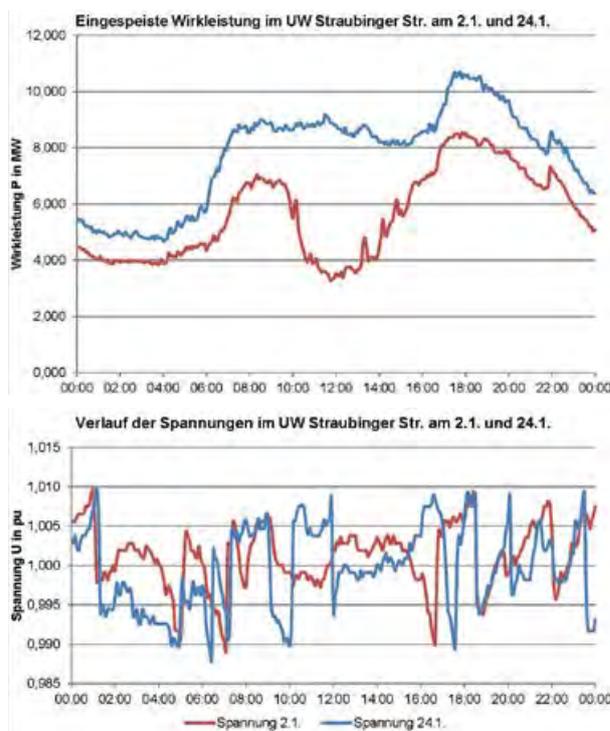


Abb. 1: Verlauf der Wirkleistung und Netzspannung im Umspannwerk an einem trübem (24.01.2013) und an einem sonnigen Tag (02.01.2013)
Oben: Wirkleistungsfluss am Netztransformator
Unten: Spannung an der 20-kV-Sammelschiene

Grafik: Autoren

Durch erste Analysen der Spannungswerte konnten Auffälligkeiten im Netz entdeckt und bereinigt werden, wie z. B. die falsche Einstellung des Spannungsreglers des Umspannwerks-transformators (21,2 kV statt 20,8 kV), die falsche Einstellung eines Ortsnetztransformators (4 % zu hohe Spannung) oder die falsche Verdrahtung eines Stromwandlers. Abbildung 1 zeigt die auch im Winter auftretenden Auswirkungen von hohen Photovoltaik-Einspeisungen auf den Wirkleistungsfluss und damit auf die Spannungen im Netz.

NETZBERECHNUNGEN UND REGELALGORITHMUS

Für die Untersuchungen wird das Netzberechnungsprogramm Power Factory verwendet. Das zu untersuchende Netzgebiet wurde als Netzplan erstellt und die Kenndaten aller Sammelschienen, Kabel und Freileitungen sowie aller Ortsnetztransformatoren wurden eingegeben. Die Wirk- und Blindleistungsmesswerte aus der ISM-Projekt-Datenbank wurden in Power Factory importiert und zur Modellierung der Lasten auf der Niederspannungsseite der Ortsnetztransformatoren verwendet. Dies ermöglicht es, mithilfe einer dynamischen Lastflussrechnung Tagesganglinien der Knotenspannungen zu berechnen. Diese Tagesganglinien wurden durch eine Rechnung per Hand validiert und sind plausibel.

Für erste orientierende Simulationen wurde zur Regelung nur die Spannung an einzelnen Sammelschienen im Netz verwendet.³

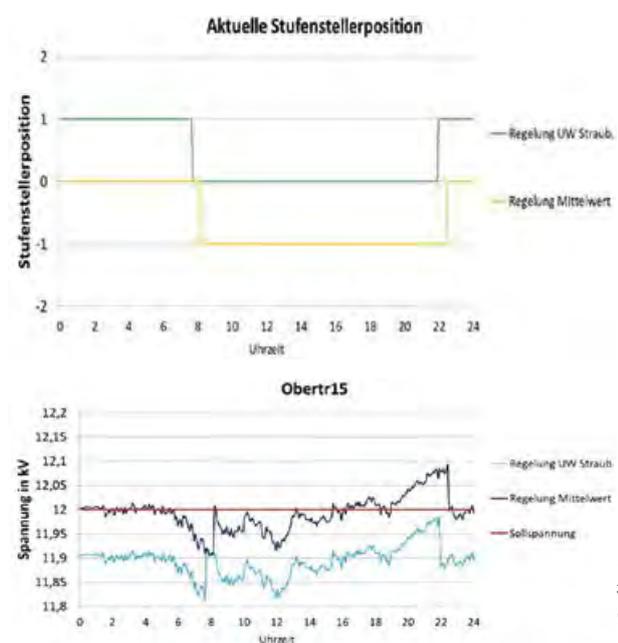


Abb. 2: Oben: Stufenhalterpositionen: konventionelle (grün) und ISM-Regelung (orange)
Unten: Spannungsverlauf Netzknott Obertr15: konventionelle (hellblau) und ISM-Regelung (dunkelblau)

Eine Regelung unter Berücksichtigung mehrerer Spannungen kann mit Power Factory durchgeführt werden, erfordert aber die Programmierung eines DPL-Skripts. Als kritische Netzpunkte wurden zehn Stationen ausgewählt. Dabei handelte es sich um die 20-kV-Sammelschiene im Umspannwerk, die 3-MW-PV-Freiflächenanlage, die Endpunkte der vier Leitungsstränge, drei Netzstationen mit überwiegend sehr hohen Spannungswerten sowie einer interessanten Station, die nur Lastflüsse steuert (reine Schaltstation). Für den Regelalgorithmus wird aus den drei Phasenspannungen für jede Station ein Mittelwert gebildet und aus den zehn Stationsspannungen wiederum ein einziger Mittelwert berechnet, der als Regelgröße dient. Bei Überschreitung der Spannungsbandgrenzen wird eine Stufenschaltung ausgelöst, siehe Abbildung 2 oben. Das Spannungsniveau kann damit beeinflusst werden, siehe Abbildung 2 unten. Diese ersten Simulationsergebnisse sind vielversprechend und zeigen, dass eine Simulation von Regelvorgängen in Power Factory möglich ist und weiter Regelalgorithmen untersucht werden können.

Literatur

- 1 Brunner, H. et al.: Technische und ökonomische Bewertung des Einsatzes von innovativen Spannungsregelungskonzepten in Verteilernetzen mit hoher Dichte an dezentralen Stromerzeugern, e&i (2008) 125/12, S. 419-425.
- 2 König, D.: „Die Zukunft der Energiewende vor Ort: Herausforderung Infrastruktur“, Erfahrungen eines regionalen Netzbetreibers, RWE Westfalen-Weser-Ems Netzservice GmbH, Beckum 30.10.2012.
- 3 Valov, B.: Intelligente Selbstregelung dezentraler Erzeugungsanlagen im Verteilungsnetz, VDE Kongress 2010 Elektromobilität, Leipzig, Beitrag IVN 4.4.2 B.

Gesamtprojektleitung

Prof. Dr. A.F.X. Welsch +49 941 943-1111
andreas.welsch@oth-regensburg.de

Teilprojektleitung

Prof. Dr. A.F.X. Welsch +49 941 943-1111
andreas.welsch@oth-regensburg.de

Prof. Dr. F. Graf +49 941 943-1106
Fakultät Elektro- und Informationstechnik, OTH Regensburg
franz.graf@oth-regensburg.de

C. Thomas
REWAG, Regensburg

A. Babizki
MR, Regensburg

Projektmitarbeiter

Thomas Duschner, Raul Martinez Royo, Simon Haslauer

Kooperationspartner

- REWAG Regensburger Energie- und Wasserversorgungs AG & Co. KG
- MR Maschinenfabrik Reinhausen GmbH

Projekträger

Bayerische Forschungstiftung

Fördersumme

240.000 €

Projektlaufzeit

30 Monate, März 2012 – August 2014

EIN WEG INS INTELLIGENTE STROMNETZ – EFFIZIENTE KOMMUNIKATION FÜR MITTELSPANNUNGSNETZE

Gerhard Zenger, OTH Regensburg
 Klaus Volbert, OTH Regensburg
 Thomas Waas, OTH Regensburg
 Markus Kucera, OTH Regensburg

Für die Stromversorgung kommen zunehmend smarte Technologien zum Einsatz. Denn mit einer intelligenten Informations- und Kommunikationstechnologie in Verteilnetzen können Kosten eingespart und ein umfangreicher Netzausbau eingeschränkt werden. Die dazu erforderlichen smarten Überwachungs-, Mess- und Steuerungstechniken sind elementare Bausteine und eine wichtige Voraussetzung für ein stabiles Stromnetz. Dem Umspannwerk als Bindeglied zwischen Mittel- und Niederspannungsnetz kommt dabei eine wichtige Rolle zu. Als Teil unseres Stromversorgungsnetzes dient es der Verbindung unterschiedlicher Spannungsebenen. Mithilfe von Weitbereichsregelung wird im Umspannwerk die Stromspannung reguliert. Vor diesem Hintergrund forschen die Projektpartner REWAG, Maschinenfabrik Reinhausen und die OTH Regensburg gemeinsam an dem Kooperationsprojekt „Intelligente Spannungshaltung Mittelspannungsnetz – (ISM)“, um einen möglichen smarten Lösungsweg für eine effiziente Energieregulierung aufzuzeigen.

KOOPERATION ZWISCHEN WISSENSCHAFT UND WIRTSCHAFT

Für das ISM-Gemeinschaftsprojekt stellte der Netzbetreiber REWAG den Forschern ein repräsentatives Mittelspannungsnetz zur Verfügung, um ein intelligentes Stromverteilernetz unter realen Bedingungen zu testen. Aufgabe der Informatiker innerhalb des Projektes ist es, einen Prototyp zu entwickeln, der an ausgewählten Netzpunkten verschiedene Messwerte im Mittelspannungsnetz erfasst und für eine Weitbereichsregelung innerhalb von 10 Sekunden zur Verfügung stellt.

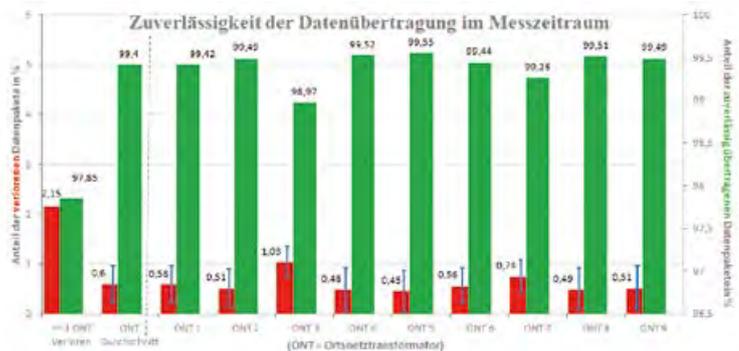


Abb. 1: Zuverlässigkeit der Datenübertragung im Messzeitraum
 rot = verlorene Daten, grün = übertragene Daten,
 blau = Standardabweichung

Grafik: Autoren

MOBILFUNK ALS MÖGLICHE TECHNOLOGIE

Für die Entwicklung des Prototyps musste zunächst geklärt werden, welche Technologie sich als Kommunikationsbasis in Mittel- und Niederspannungsnetzen eignet. Zur Auswahl standen leitungsgebundene (Ethernet, Breitband-Powerline, DSL) sowie drahtlose Technologien (Mobilfunk der zweiten, dritten und vierten Generation), die sich dem Anforderungsprofil hinsichtlich Zuverlässigkeit, Datendurchsatz und Wirtschaftlichkeit stellen mussten. Hierbei setzte sich der UMTS-Mobilfunkstandard ganz klar gegenüber den anderen Standards durch und ist für unterschiedliche Anwendungen in Smart Grids interessant.¹ Mobilfunk ist bereits großflächig – auch im ländlichen Raum – vorhanden und erlaubt eine einfache und kostengünstige Integration von Kommunikationsgeräten in bestehende Energienetze. Im Projektverlauf konnte anhand von Labor- und Feldtests nachgewiesen werden, dass die Kommunikationstechnologie eine Optimierung der Spannungsregelung erlaubt.²

AUFBAU UND FUNKTIONSWEISE DES PROTOTYP

Der entwickelte Prototyp setzt sich aus einer Client- und Serveranwendung zusammen und implementiert die Messda-

tenerfassung, -übertragung und -verarbeitung. Die Client-Anwendung ist auf einem programmierbaren Mobilfunkrouter installiert, der im „Traföhäuschen“ steht, während sich die Server-Applikation auf einem Industrie-PC direkt im Umspannwerk befindet.

Für die Datenbeschaffung (Erfassung und Übertragung der Messdaten) wurden zehn der insgesamt 72 Ortsnetztransformatoren der REWAG für die Optimierung der Spannungsregelung ausgewählt. Die Mittelspannungs- oder Niederspannungswerte der jeweiligen Transformatoren werden anhand digitaler Messgeräte, die an Spannungswandlern angeschlossen sind, erfasst. Diese Geräte verfügen über eine Ethernet-Schnittstelle zum Auslesen der Energiedaten. Über ein spezielles Kommunikationsprotokoll (Modbus/TCP) werden mithilfe einer Client-Anwendung die für die Spannungsregelung relevanten Indikatoren (Spannung, Wirk- und Scheinleistung der drei Stromphasen) ausgelesen. Als Plattform für diese Client-Applikation dient ein programmierbarer Mobilfunkrouter, der die gängigen 3G-Mobilfunkstandards unterstützt.

Die ausgelesenen Rohdaten werden über die Software verarbeitet und mit zusätzlichen Informationen wie z. B. Identifikationsnummern oder Zeitstempeln versehen und über TCP- oder UDP-Protokolle an eine Serverapplikation übertra-

gen. Beim aktuellen Prototyp sammelt die Server-Applikation übertragene Messdaten und führt Datenintegrationsprüfungen durch. Bei der finalen Version soll die Server-Applikation darüber hinaus noch die Messwerte in konfigurierbaren zyklischen Abständen an den Spannungsregler im Umspannwerk übertragen.

AKTUELLE ERGEBNISSE: MOBILFUNKTECHNOLOGIE

Die Funktionalitäten für die Datenbeschaffung und Datenübertragung wurden bereits prototypisch implementiert. Lediglich die Anbindung an den Spannungsregler ist derzeit noch umzusetzen. Dennoch konnten mit den bereits erfassten Daten Aussagen über Zuverlässigkeit und Performance des verwendeten Mobilfunknetzes getroffen werden.

Vier Wochen lang wurde das System anhand neun Transformatoren simuliert, um zu prüfen, ob eine kontinuierliche Übertragung innerhalb eines 10-Sekunden-Zeitfensters möglich ist. Denn für eine effektive Regelung muss das Messdatenpaket innerhalb von 10 Sekunden zuverlässig an einen Spannungsregler übertragen werden. Hierfür wurde das UDP-Transportprotokoll verwendet. Die Daten aus dem Messgerät wurden im 3-Sekunden-Intervall ausgelesen und an die Serverapplikation übertragen. Die Länge eines jeweiligen Datenpakets betrug für diesen Test 91 Byte. Für die Datenübertragung nutzte man das Mobilfunknetz der Telekom.

Die Abbildungen 1 und 2 geben Aufschluss über den Anteil verlorener Datenpakete der jeweiligen Ortsnetztransformatoren, die nicht innerhalb des geforderten Zeitfensters (10 Sek.) übertragen werden konnten. In der Summe ergibt

sich so für alle 9 Stationen eine durchschnittliche Zuverlässigkeitsrate von ca. 99,4 %. Betrachtet man nur die Messungen aller Stationen, die einen gültigen Wert innerhalb der geforderten 10 Sekunden liefern, so wäre es laut der aktuellen Auswertung zu 97,85 % möglich, dem Spannungsregler ein vollständiges Messdatenpaket zu übergeben, bei dem von jeder Station ein aktueller Wert vorliegt.

Die Dauer der Ausfallzeiten bewegt sich analog dazu von 10 Sekunden bis zu 5 Minuten, wobei ein gewisser Datenverlust bereits durch den täglichen Neustart des Systems verursacht wird.

AUSBLICK

Alle bisherigen Ergebnisse zeigen, dass Datenpakete selten einzeln verloren gehen. Häufiger werden dagegen Daten über einen Zeitraum von 1 bis 2 Minuten nicht übertragen. Dies bestätigt den Informatikern, dass eine Lösung, die nur auf Mobilfunk setzt, zwar nicht für die Regelung ausreichend ist, aber dennoch aufgrund der hohen Zuverlässigkeit die Spannungsregelung zu optimieren vermag. Für den weiteren Projektverlauf bedeutet dies, dass der Prototyp mit einer Funktionalität ausgestattet werden muss, die im Falle eines Funkausfalls automatisch auf die herkömmliche Regelung wechselt. Mit diesem zweigleisigen System – der herkömmlichen sowie der mobilfunkgestützten Regelung – lassen sich die Vorteile beider Systeme hinsichtlich Effizienz und Zuverlässigkeit kombinieren.

Literatur

- 1 Vehbi C. Güngör, Dilan Sahin, Taskin Kocak, Salih Ergüt, Concettina Buccella, Carlo Cecati, Gerhard P. Hancke: Smart Grid Technologies: Communication Technologies and Standards. IEEE Transactions on Industrial Informatics, Volume 7, Issue 4, 2011.
- 2 Gerhard Zenger, Susanne Kenner, Klaus Volbert, Thomas Waas, Markus Kucera: Acquiring Energy Data from a medium-voltage Grid for future Smart Grid Solutions. Workshop on Intelligent Solutions in Embedded Systems (WISES'13), 2013.

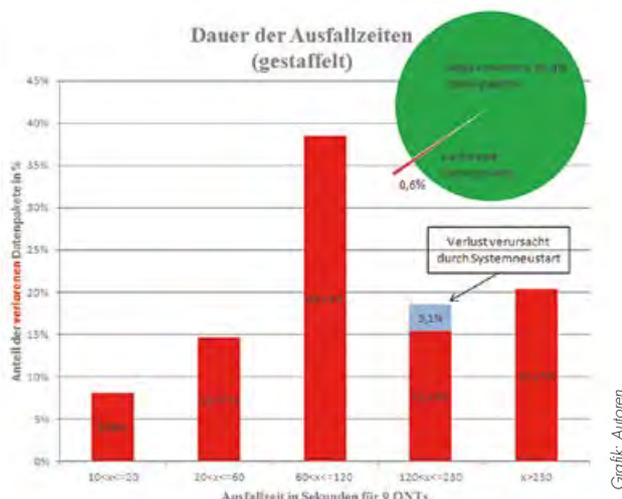


Abb. 2: Dauer der Ausfallzeiten

Projektleitung

Prof. Dr. Klaus Volbert
klaus.volbert@oth-regensburg.de

Prof. Dr. Thomas Waas
thomas.waas@oth-regensburg.de

Projektmitarbeiter

Gerhard Zenger, Susanne Kenner, Patrick Robatzek

Kooperationspartner

- REWAG Regensburger Energie- und Wasserversorgungs AG & Co. KG
- MR Maschinenfabrik Reinhausen GmbH

Projekträger

Bayerische Forschungsstiftung

Projektaufzeit

30 Monate, März 2012 – August 2014

HERAUSFORDERUNGEN UND LÖSUNGS-STRATEGIEN IN DER AGILEN ANWENDUNGSENTWICKLUNG MIT SCHEMALOSEN NOSQL-DATENBANKSYSTEMEN

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

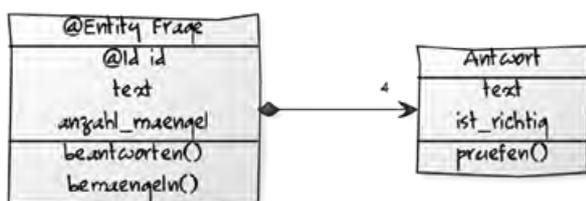
In der Entwicklung von interaktiven Web-Anwendungen sind NoSQL-Datenbanksysteme zunehmend beliebt, nicht zuletzt, weil sie flexible Datenmodelle erlauben. Das erleichtert ein *agiles* Projektmanagement, welches sich durch häufige Releases und entsprechend häufige Änderungen am Datenmodell auszeichnet. In diesem Artikel geben wir einen Überblick über die besonderen Herausforderungen der agilen Anwendungsentwicklung gegen schemalose NoSQL-Datenbanksysteme. Wir stellen Strategien für die Schema-Evolution aus der Praxis vor und berichten über unsere ersten Ergebnisse bei der Entwicklung dedizierter, innovativer Werkzeuge.

SCHEMA-EVOLUTION IN DER AGILEN WEBENTWICKLUNG

Die klassische Datenbankvorlesung lehrt Schemaentwurf als top-down-Ansatz, ausgehend von einer umfassenden, vorausschauenden Modellierung der Anwendungsdomäne hin zur Definition der einzelnen Relationen. In vielen Anwendungsbereichen, wie etwa bei der Entwicklung von Web-Anwendungen, wird hingegen zunehmend *agil* vorgegangen. Hier ist es somit nicht mehr möglich, vorab ein fixes Schema zu definieren, das über mehrere Releases stabil bleibt. Gleichzeitig sträuben sich agile Entwickler zunehmend, auf das nächste Wartungsfenster des Datenbankadministrators zu warten, um ihre Schema-Änderungen integrieren zu können.

Eine Alternative besteht darin, auf schemalose Datenbanksysteme umzusteigen. Viele NoSQL-Datenbanksysteme, etwa *MongoDB*, *CouchBase* oder *CouchDB*, arbeiten ohne festes Schema. Die persistenten Objekte können dabei für die Anfrageauswertung indiziert werden, obgleich sie unterschiedlich strukturiert sind. So wird die Anwendungsentwicklung nicht durch ein fixes Schema eingeschränkt.

Eine Besonderheit im Web-Umfeld ist, dass die Anwendung verfügbar bleiben muss, auch wenn Schema-Änderungen umzusetzen sind. In der Anwendungsentwicklung haben sich dazu in den letzten Jahren verschiedene Strategien zum Umgang mit Schema-Evolution in agilen Projekten etabliert.

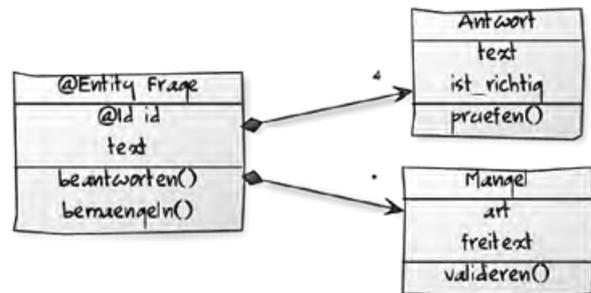


Grafik: Stefanie Scherzinger

Abb. 1: Jede Quiz-Frage der ersten Version hat vier mögliche Antworten, Bemängelungen werden gezählt.

LÖSUNGSSTRATEGIEN IN DER ANWENDUNGSENTWICKLUNG

Wir gehen weiter an einem kleinen Beispiel vor, um die aktuellen Fragestellungen bei der Schema-Evolution in der agilen Anwendungsentwicklung zu veranschaulichen. Interaktive Quiz-Spiele nach dem Vorbild von *Trivial Pursuit* sind derzeit sehr beliebt. Abbildung 1 zeigt das UML-Modell einer Quiz-Frage¹ aus der ersten Version unserer Anwendung. Jede Frage hat eine eindeutige Kennung (id), einen Text und vier mögliche Antworten. Nur eine Antwort ist richtig. Die Spieler können Fragen bemängeln, etwa weil Sachfehler vorliegen. Dabei wird die Anzahl der Mängel erfasst.²



Grafik: Stefanie Scherzinger

Abb. 2: Bei Quiz-Fragen der zweiten Version werden Mängel genauer aufgeschlüsselt.

Im nächsten Release will der Betreiber Mängel besser unterscheiden können, sie werden nach Arten klassifiziert und durch einen Freitext beschrieben. Abbildung 2 zeigt das neue Datenmodell. Nun steht das Entwicklungsteam vor einer Herausforderung, denn das NoSQL-Produktsystem enthält bereits Quiz-Fragen der alten Struktur.

In der Praxis sind hier verschiedene Strategien gängig. Beim *Versionenpluralismus* existieren ab dem Release der neuen Anwendung beide Versionen von Fragen in der Datenbasis. Entsprechend muss die Anwendungslogik mit Datensätzen beider Versionen arbeiten können, was die Anwendungsentwicklung erheblich erschwert. Betrachten wir dazu unser Beispielszenario. Die Betreiber des Online-Spiels wollen umstrittene Fragen näher inspizieren. Dazu wird eine Anfrage in der *Java Persistence Query Language*, einer Anfrage-

¹ Die UML Modelle wurden mit <http://yuml.me/> erstellt.

² Die Annotation @Entity dient als Hinweis, dass Fragen-Objekte persistiert werden. Die Annotation @Id zeichnet das Schlüsselattribut aus.

sprache für Java-Klassen mit SQL-ähnlicher Syntax, gestellt. Diese muss versionsübergreifend formuliert sein:

```
select f.id, f.text from Frage f
where f.anzahl_maengel > 100
union
select f.id, f.text from Frage f
where size(f.maengel) > 100
```

Alternativ können alle existierenden Datensätze beim Release der neuen Version migriert werden. Während solch einer *eager Migration* muss der Anwendungsbetrieb aufrecht erhalten werden. Viele Platform-as-a-Service-Anbieter erlauben es, mehrere Versionen einer Anwendung parallel zu betreiben. Sofern es gelingt, die Datensätze jeweils exklusiv einer Version der Anwendung zuzuordnen, kann der Anwendungsbetrieb unterbrechungsfrei fortgeführt werden. Nach Abschluss der Migration sind alle Fragen in der aktuellen Version.

Eine *eager Migration* erleichtert langfristig die Wartung der Anwendung. Um in unserem Beispiel wieder die umstrittenen Fragen zu finden, genügt nach erfolgreicher Migration eine Anfrage gegen das neue Schema:

```
select f.id, f.text from Frage f
where size(f.maengel) > 100
```

Eine *eager Migration* verursacht allerdings unnötige Kosten, wenn nicht alle Daten künftig auch gebraucht werden: Wird die NoSQL-Datenbank als *Database-as-a-Service* genutzt, werden sämtliche Schreib- und Leseoperationen für die Migration in Rechnung gestellt.

Bisher unterstützen schemalose NoSQL-Produkte *eager Migration* nicht. Es bleibt also den Anwendungsentwicklern überlassen, die nötigen Migrationsskripte zu schreiben.

Ein etablierter Ansatz mit einem fließenden Übergang zwischen Versionen ist eine *lazy Migration*, wie sie bereits in einigen *Object Mappern* implementiert wird (z. B. *Objectify* oder *Morphia*). Hier werden die einzelnen Datensätze beim Laden in die Anwendung migriert. Die strukturellen Änderungen werden dann beim nächsten Persistieren des Datensatzes in der NoSQL-Datenbank festgeschrieben. Datensätze, auf die nicht mehr zugegriffen wird, bleiben dabei in der ursprünglichen Version. Dadurch werden Daten nicht unnötig migriert und ein unterbrechungsfreier Betrieb der Anwendung ist möglich. Allerdings wird der Migrationscode im *Object Mapper* schnell unübersichtlich, wenn mehrere Aliversionen zu unterstützen sind. Zudem müssen bei der Formulierung von Anfragen weiterhin beide Versionen von Fragen berücksichtigt werden.

Langfristig ist es in der Anwendungsentwicklung sinnvoll, einen *hybriden Ansatz* zu fahren, wonach kleine Änderungen im Schema *lazy*, Sprünge in der Evolution hingegen *eager* umgesetzt werden.

Solange allerdings die systematische Unterstützung durch professionelle Werkzeuge nicht gegeben ist, handelt es sich bei diesen Strategien um bloße Notbehelfe. Somit stellt sich die Frage, wie Anwendungsentwickler von den Freiheiten schemaloser Systeme langfristig profitieren können, ohne alsbald die Kontrolle über ihre Datenbasis zu verlieren.

ERGEBNISSE

Mit der zunehmenden Beliebtheit von NoSQL-Systemen in der Anwendungsentwicklung steigen die Ansprüche an schemalose Datenbanksysteme. So werden Werkzeuge zur systematischen Schema-Verwaltung in naher Zukunft ebenso zum Ökosystem von NoSQL-Datenbanksystemen gehören, wie es heute für relationale Datenbanksysteme selbstverständlich ist. In unserer Forschung widmen wir uns der Entwicklung solcher innovativer Werkzeuge:

In 1 stellen wir eine Schema-Evolutionssprache für schemalose NoSQL-Datenbanksysteme vor, die es erlaubt, Migrationen deklarativ zu spezifizieren. In 2 postulieren wir die Notwendigkeit einer eigenen Schema-Management-Komponente für NoSQL-Datenbanksysteme, die für eine kontinuierliche und systematische Schema-Evolution ausgelegt ist.

In 3 zeigen wir, dass selbst die Datenmodellierung bei NoSQL-Systemen neue Herausforderungen birgt, da das Datenmodell unmittelbare Auswirkung auf die Skalierbarkeit der Anwendung haben kann.

Literatur

- 1 Scherzinger, S., Klettke, M., Störl, U.: Managing Schema Evolution in NoSQL Data Stores. The 14th International Symposium on Database Programming Languages, Riva del Garda (2013).
- 2 Klettke, M., Scherzinger, S., Störl, U.: Datenbanken ohne Schema? Herausforderungen und Lösungs-Strategien in der agilen Anwendungsentwicklung mit schema-flexiblen NoSQL-Datenbanksystemen. Zur Veröffentlichung bei der Fachzeitschrift „Datenbankspektrum“ angenommen, 2014.
- 3 Scherzinger, S., Cunha de Almeida, E., Ickert, F., Didonet Del Fabro, M.: On the Necessity of Model Checking NoSQL Database Schemas when building SaaS Applications. First International Workshop on Testing The Cloud, Lugano (2013).

Projektleitung

Prof. Dr. Stefanie Scherzinger +49 941 943-1301
 Fakultät Informatik und Mathematik
 stefanie.scherzinger@oth-regensburg.de

ULTRASCHALL-MESSSYSTEM FÜR DAS LIPUS-PROJEKT

Heyl. C., A. Boldenko und G.J. Monkman
 Mechatronics Research Unit, Ostbayerische Technische Hochschule Regensburg
 Kujat. R.

Ein Ultraschallsensor wird unter Nutzung des piezoelektrischen Effekts konzipiert sowie das elektrische Ersatzschaltbild des Schallwandlers modelliert und mit Messwerten verglichen. Die Ausarbeitung der Messelektronik sowie der Schnittstelle zu einem PC wird dokumentiert und erläutert. Des Weiteren wird auf die Möglichkeit, eine Benutzeroberfläche zur Ultraschalleistungsmessung mittels eines Labview-Programms zu realisieren, eingegangen.

Es wird ein Lösungskonzept zur Ultraschalleistungsmessung im Frequenzbereich zwischen 1 MHz und 2 MHz vorgestellt. Dabei wird auf die Verwendung möglichst kostengünstiger Komponenten Wert gelegt. Einfache Piezoelemente, welche für niedrige Frequenzen bis 20 kHz ausgelegt sind, werden auf deren Brauchbarkeit überprüft. Bei Messungen des Frequenzspektrums kann ein näherungsweise konstantes Übertragungsverhalten der Piezoscheiben im relevanten hochfrequenten Bereich festgestellt werden.

Zum Ausgleichen der Nichtlinearitäten müssen diese exakt ermittelt werden. Das verwendete Piezoelement weist eine komplexe Frequenzabhängigkeit auf. Durch zahlreiche Messungen des Spektrums kann ein exakter Verlauf des Frequenzgangs verifiziert werden.

Wegen der Verwendung des Messsystems bei In-Vitro-Anwendungen wird die Funktion des Sensors in einem mit Wasser gefüllten Kunststoffbehälter demonstriert. Die erzeugten Signale werden durch Messungen dokumentiert und ein gutes Verhalten des entwickelten Systems nachgewiesen.

Im Forschungsprojekt LIPUS (Low-Intensity Pulsed Ultrasound) wird die Stimulation von Gewebezellen durch schwachen, gepulsten Ultraschall (Leistung bis zu 30 mW/cm²) studiert. Es werden unter chondrogenen Kulturbedingungen adulte mesenchymale Stammzellen mit sinusförmigen Ultraschallwellen bestrahlt. Es wird untersucht, wie die Differenzierung zu Knorpelgewebe durch die Ultraschallwirkung beschleunigt werden kann. Momentan werden Zusammenhänge zwischen der Induktion der Differenzierung und den Parametern des stimulierenden Ultraschalls untersucht.

Zur Erforschung von Abhängigkeiten zwischen den Schallkenngrößen und dem Differenzierungsprozess steht ein frei parametrierbarer Ultraschalleistungsverstärker zur Verfügung. Dieses Gerät erlaubt zwar das Variieren der Ultraschalleistung, ihre Messung ist jedoch nicht möglich. Da die Differenzierungseffekte stark von der Ultraschallintensität abhängig sind, ist es wichtig, diese Kenngröße genau kontrollieren zu können. Als Referenz für die Einstellung der exakten Intensität wird ein kompaktes, elektronisches und möglichst kostengünstiges Sensorsystem zur Messung der Ultraschallintensität konzipiert. Die geringe Größe ist entscheidend, weil die verwendeten Zellkulturgefäße einen kleinen Durchmesser haben. Der Funktionsbereich bezüglich der Signalfrequenz und dem Ein- sowie Ausschwingverhalten der Elektronik sind gänzlich von den Parameterbereichen des vorhandenen Ultraschall-Leistungsverstärkers abhängig.

KONZEPT

Das Lösungskonzept beruht auf der Verwendung einfacher Piezoscheiben. Diese sind meist für Audio-Anwendungen aus-

gelegt und haben Resonanzfrequenzen unter 20 kHz. Da deren Frequenzspektrum im hochfrequenten Bereich zwischen 1 MHz und 2 MHz jedoch weit außerhalb des Resonanzpunktes eine nahezu konstante Übertragung aufweist, können diese verwendet werden. Erste Voraussetzung ist eine ausreichend große Ausgangs-Signalstärke der Piezoschwinger. Die entscheidende Idee bei dieser Lösung ist es, das ungleichmäßige Übertragungsverhalten des Schallwandlers durch eine intelligente Software auszugleichen und dadurch ein konstantes Übersetzungsverhältnis des Messsystems zu erreichen (siehe Abbildung 1).

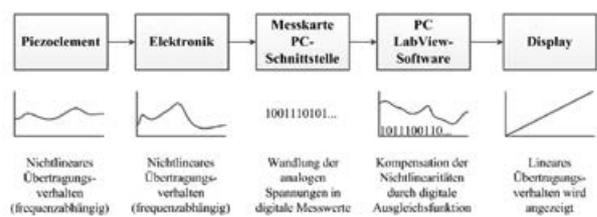


Abb. 1: Blockschaltbild des Lösungskonzepts

Grafik: Autoren

Hierfür wird eine Elektronik zur Gleichrichtung der Wechselspannung entwickelt. Das gleichgerichtete Signal kann mit einer langsam abtastenden Messkarte verarbeitet werden. Da in diesem Fall jegliche Information über die Frequenz des Signals verloren geht, ist es notwendig, eine weitere Schaltung zu entwerfen, welche einen rechteckförmigen Takt generiert. Dieser Takt enthält die Grundfrequenz des Eingangssignals, welche mit einem digitalen Zähler indirekt gemessen wird.

Die Frequenz des Eingangssignals ist wichtig, weil die Piezoschwinger sowie die Messelektronik gewisse Frequenzab-

hängigkeiten aufweisen, welche durch softwaretechnische Ausgleichsfunktionen kompensiert werden. Um diese Anpassung zu ermöglichen, muss die Frequenz der Spannung bekannt sein. Der Aufbau der Messelektronik kann in zwei Pfade eingeteilt werden, die Gleichrichterschaltung und den frequenzabhängigen Taktgenerator. Jeder Pfad ist jedoch aus mehreren Stufen aufgebaut.

MODELLIERUNG

Da die verwendeten kostengünstigen Piezoelemente starke Schwankungen der Frequenzabhängigkeit aufweisen und weil für das gewünschte Messsystem ein konstantes Übertragungsverhalten angestrebt wird, muss das frequenzabhängige Spektrum möglichst genau ermittelt werden. Hierfür wird die Vierleitermesstechnik mit einem HF2IS Impedance Spectroscopie der Firma Zurich Instruments durchgeführt. Das zu erstellende Modell des Ersatzschaltbildes der verwendeten Piezoscheibe soll das frequenzabhängige komplexe elektrische Verhalten beschreiben, sodass realistische Simulationen bei der Schaltungsentwicklung möglich sind.

Das allgemeine, einfache Ersatzschaltbild von piezoelektrischen Wandlern ist ein Reihenschwingkreis mit parallel geschalteter Kapazität. Simulationen mit diversen Reihenschwingkreisen ergeben eine grobe Übereinstimmung der Frequenzabhängigkeit des einfachen Ersatzschaltbildes mit den Messwerten. Um die gemessene Kurve besser mit der Simulationskurve vergleichen zu können, wird ein Labview-Programm entwickelt.

Durch Integration weiterer passiver Elemente und geschickter Verknüpfung zu kleineren Schwingkreisen wird das Modell an die Messwertkurve des Frequenzspektrums angepasst.

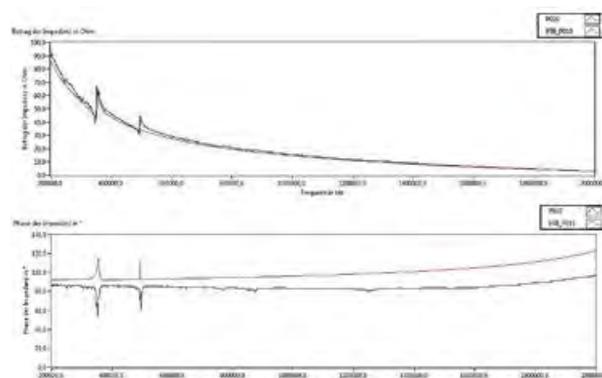
Dabei soll nicht nur der Bereich zwischen 1 MHz und 2 MHz übereinstimmen, sondern durch eine breitbandige Ähnlichkeit der Kurven ein möglichst genaues und damit realistisches Modell des Piezoschwingers gefunden werden. Als Ergebnis kann der Betrag der komplexen Impedanz mit guter Genauigkeit rekonstruiert werden (siehe Abbildung 2). Gleichzeitig weist jedoch der Verlauf des Phasenwinkels einige Divergenzen auf.

MESSELEKTRONIK

Die Tests der modular aufgebauten elektronischen Schaltungen zeigen das erwartete Systemverhalten sowie positive Messergebnisse. Einzelne Funktionsblöcke sowie beliebige Kombinationen der Schaltungsstufen durchlaufen umfangreiche Tests. Es gelingt, eine Messelektronik mit dem gewünschten Verhalten zu erstellen und ausreichend zu testen.

Die Frequenzabhängigkeit der Messelektronik wird durch entsprechende Messungen festgestellt und in einem Diagramm dargestellt. Durch Kenntnis der exakten Abweichungen bestimmter Frequenzen, kann die Kompensation der Frequenzabhängigkeit ein genaueres Messverhalten ermöglichen. Die lineare Abhängigkeit der erzeugten Gleichspannung von der Amplitude der Eingangsspannung kann ebenfalls durch zahlreiche Messungen in guter Genauigkeit nachgewiesen werden.

Anstoßfinanzierung erhielt dieses Projekt durch das Regensburg Center for Biomedical Engineering (RCBE), mit Mitteln des Technologie- und Wissenschafts-Netzwerks Ostbayern (TWO).



Grafik: Autoren

Abb. 2: Vergleich des komplexen Ersatzschaltbildes mit der Messung

Literatur

- Heyl, C.: Konzipierung einer Messelektronik zur Ultraschalleistungsmessung – Bachelorarbeit, OTH Regensburg, 19.08.2013.
- Nuß, A.: Low-Intensity Pulsed Ultrasound (LIPUS): Konzipierung und Realisierung eines Ultraschallsystems für In-vitro-Anwendungen an Knorpelgewebe – Masterarbeit, Hochschule Regensburg, 28.04.2010.
- Korstjens, C. M., Nolte P. A., Burger, E. H., Albers, G. H. R., Semeins, C. M., Aartman, I. H. A., Goei, S. W. und Klein-Nulend, J.: „Stimulation of bone cell differentiation by low-intensity ultrasound – A histomorphometric in vitro study“, *Journal of Orthopaedic Research* 22, pp. 495-500, 26 February 2004.

Projektleitung

Prof. Dr. Gareth Monkman +49 941 943-1108
Mechatronics Research Unit (MRU)
gareth.monkman@oth-regensburg.de

Projektmitarbeiter

Christopher Heyl, Alex Boldenko

Geldgeber

Bayerisches Staatsministerium

Kooperationspartner

Universitätsklinikum Regensburg

LEBENSDAUER LAUFENDER SEILE, DIE DURCH BIEGEWECHSEL UND GLEICHZEITIGE ZUGKRAFTÄNDERUNG BELASTET WERDEN

Die Lebensdauer von Seilen, die durch Biegewechsel oder durch Zugkraftänderungen beansprucht werden, ist ausgiebig erforscht. Es existieren Gleichungen zur Berechnung der zu ertragbaren Anzahl von Lastzyklen. Für die Kombination der beiden Beanspruchungsarten existiert ebenfalls eine Berechnungsmethode. Durch Definition einer äquivalenten Seilzugkraft wird die kombinierte Beanspruchung auf einen einfachen Biegewechsel zurückgeführt. Diese Berechnungsmethode gilt aber nur in einem bestimmten Belastungsbereich. Der Autor hat bereits ein theoretisches Modell vorgestellt, mit dem verschiedene dynamische Belastungsarten zu einer Gesamtermüdungsfestigkeit zusammengefasst werden. Im Folgenden wird dieses Modell auf die Kombination von Biegewechsel und Zugkraftänderungen angewandt. Dieses Modell gilt dann für den gesamten Belastungsbereich. Durch Vergleich dieses Modells mit den bestehenden Berechnungsmethoden kann die neue Lebensdauergleichung in Zahlen angegeben werden.

Die dynamische Belastung eines Bauteils führt zu Materialermüdung, die durch eine Wöhler-Kurve beschrieben werden kann. Bei Drahtseilen sind drei Arten von dynamischen Belastungen möglich:

- Biegewechsel beim Lauf über Seilscheiben,
- Schwingspiele durch Zugkraftänderungen und
- Torsionswechsel, die hauptsächlich in Schachtförderanlagen mit Treibscheibenantrieb auftreten, wenn sich das Seil durch den Schacht auf- und abwärts bewegt.

Die Wöhlerlinien der einzelnen Belastungen können als rechtwinklig aufeinanderstehend betrachtet werden. Wenn zwei dynamische Beanspruchungen auftreten, muss die Frage beantwortet werden, mit welcher Art von Kurve die beiden Wöhlerlinien verbunden werden können. In einem früheren Modell wurden die Wöhlerlinien durch Ellipsen miteinander verbunden.¹ Detaillierte Untersuchungen haben ergeben, dass die Wöhlerlinien besser durch eine sogenannte Superellipse verbunden werden können.

Im Fall der Materialermüdung durch Biegewechsel und/oder Schwingspiele kann die Belastung auf vier verschiedene Arten auftreten, die in Abbildung 1 dargestellt sind:

- 1) Die Materialermüdung wird ausschließlich durch Zugkraftänderung verursacht. Die ertragbare Schwingspielzahl kann mithilfe der Wöhlerlinie für Schwingspiele berechnet werden.
- 2) Die Materialermüdung wird durch Biegewechsel und gleichzeitige Zugkraftänderung verursacht, wobei die Zugkraft beim Biegewechsel deutlich niedriger ist als die obere Kraft bei der Zugkraftänderung. In diesem Fall können die beiden Belastungen näherungsweise als unabhängig voneinander betrachtet werden. Diese Belastungsart kann in zwei einzelne Belastungselemente aufgeteilt werden. Die Materialermüdung kann für die beiden Belastungselemente getrennt berechnet und mithilfe der Schadensakkumulationshypothese nach Palmgren und Miner zusammengefasst werden.
- 3) Die Materialermüdung wird durch Biegewechsel und gleichzeitige Zugkraftänderungen verursacht, wobei die Maximalkraft während des Biegewechsels auftritt. In diesem Fall ist sowohl die Amplitude als auch der Mittelwert der Längs-

spannung erhöht. Um das Schädigungsverhalten dieser kombinierten Belastung zu beschreiben, hat Feyrer die kombinierte Belastung auf einen Einfachbiegewechsel zurückgeführt, bei dem die Seilzugkraft durch eine erhöhte sogenannte äquivalente Seilzugkraft ersetzt wird.²

- 4) Die Materialermüdung wird ausschließlich durch Biegewechsel verursacht. Die ertragbare Biegewechselzahl kann mithilfe der Wöhlerlinie für Biegewechselzahlen berechnet werden.

Abhängig von der Größe der Kraftamplitude und der Seilzugkraft beim Biegewechsel werden für die Berechnung der ertragbaren Anzahl von Lastzyklen die Methoden 2) oder 3) verwendet. Um eine Berechnungsmethode zu haben, die für den gesamten Beanspruchungsbereich gilt, wird das folgende Modell vorgeschlagen: In einem 3D-Diagramm, in dem zwei Wöhlerlinien 90° gegeneinander versetzt sind, können sie durch eine Freiformfläche miteinander verbunden werden. Für eine bestimmte Lastspielzahl wird angenommen, dass die Wöhlerlinien durch eine Superellipse miteinander verbunden werden.

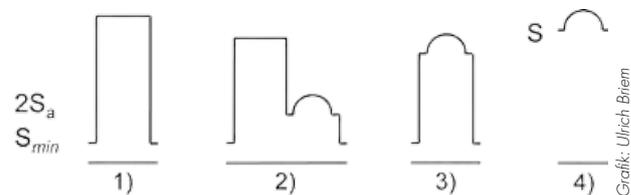
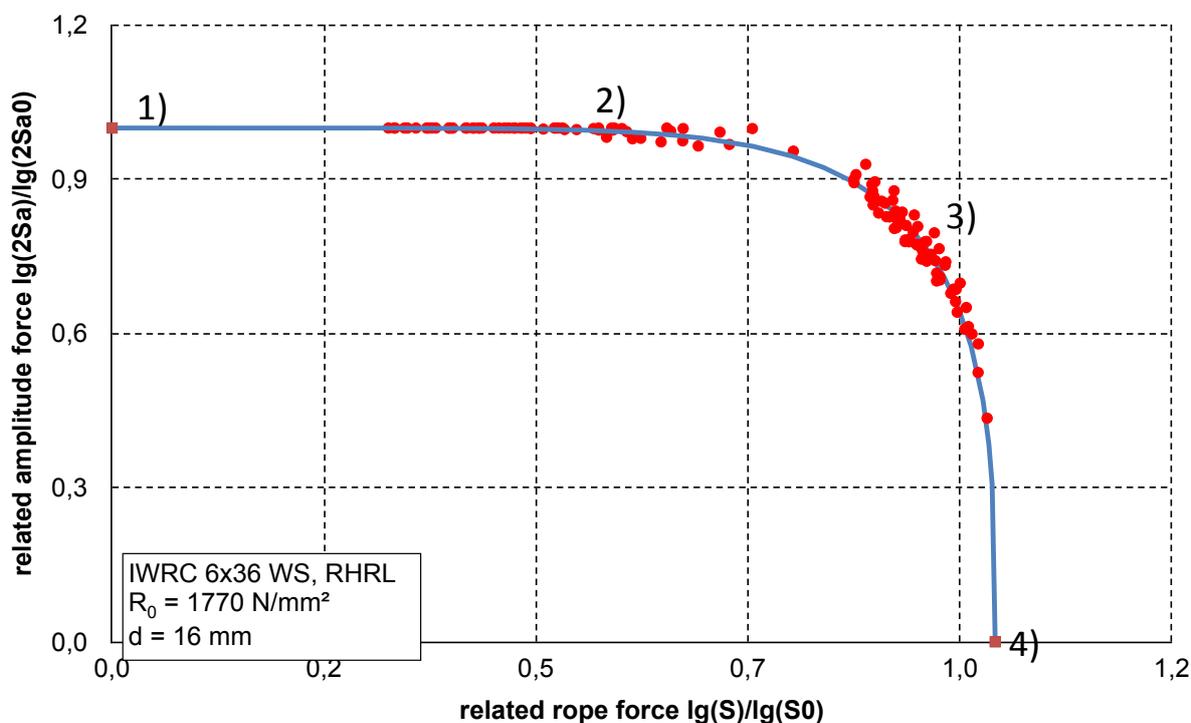


Abb. 1: Vier verschiedene Arten des Auftretens von Biegewechsel- und/oder Zugschwellbeanspruchung

Grafik: Ulrich Briem

Um genügend Daten für die Regressionsrechnung zu haben, werden diese mit den existierenden Methoden von Feyrer berechnet.² Für verschiedene ertragbare Lastzyklenzahlen, verschiedene D/d-Verhältnisse, verschiedene durchmesserbezogene Unterkräfte S_{min}/d^2 und für eine bestimmte Seilkonstruktion (IVRC+6x36 RHRL, 16 mm, 1770 N/mm²) wurden jeweils vier Datenpunkte 1) bis 4) bestimmt. Für alle Kombinationen von Lastspielzahlen, D/d-Verhältnisse und Lastamplituden wurden jeweils nichtlineare Regressionsrechnungen durchgeführt.³



Grafik: Ulrich Briem

Abb. 2: Alle Datenpunkte und die Regressionskurve ⁴

Wenn beide Lastachsen normiert sind, können alle Datenpunkte in ein einziges Diagramm eingezeichnet und durch eine Regressionsrechnung zusammengefasst ausgewertet werden. Die Regressionskurve wurde mit den jeweiligen Datenpunkten 1), 3) und 4) berechnet. Die Datenpunkte 2) werden durch die gefundene Kurve eindrucksvoll bestätigt. Abbildung 2 zeigt das Diagramm der Datenpunkte mit der Regressionskurve.

Die Anzahl der ertragbaren Lastwechsel aufgrund von Biegewechseln oder von Zugkraftänderungen kann mit entsprechenden Gleichungen berechnet werden. Im Fall von Biegewechseln mit gleichzeitiger Zugkraftänderung kann die ertragbare Lastwechselzahl ebenfalls berechnet werden. Abhängig von der Größe der beiden Beanspruchungen geschieht dies mithilfe der Palmgren-Miner-Regel oder durch Rückführung des kombinierten Biegewechsels auf eine Einfachbiegung mit einer erhöhten sogenannten äquivalenten Seilzugkraft.

Das vorgestellte Modell verwendet Superellipsen, um die Wöhlerlinien der beiden Beanspruchungen zu verbinden. Dies erlaubt die Berechnung der ertragbaren

Lastwechselzahl mit einer einzigen Gleichung. Lediglich die Gleichungen für die Lebensdauergleichungen für die Einzelbeanspruchungen sind dazu nötig. Das vorgestellte Modell erlaubt auch eine Erweiterung auf ein dreidimensionales Superellipsoid. Dadurch ist es möglich, die dritte mögliche dynamische Beanspruchung von laufenden Drahtseilen, die Torsionswechselbelastung, mitzuberechnen.

Literatur

- 1 Briem, U.: Total fatigue behaviour of running ropes. OIPEEC Conference 2009, Conference proceedings, pp. 219-229, Stuttgart 2009.
- 2 Feyrer, K.: Drahtseile: Bemessung, Betrieb, Sicherheit. 2. Auflage, Berlin: Springer Verlag, 2000, ISBN 3-540-67829-8.
- 3 Wagner, M.: Lebensdauer von Drahtseilen bei Kombination von Biegewechsel- und Zugschwellbelastung. Unveröffentlichte Bachelorarbeit, Hochschule Regensburg, 2012.
- 4 Briem, U.: Lifetime of running ropes stressed by fluctuating tension and bending cycles. OIPEEC Conference 2013, Conference proceedings, pp. 105-114, Oxford 2013.

Projektleitung

Prof. Dr.-Ing. Ulrich Briem
 OTH Regensburg

+49 941 943-5191

Fakultät Maschinenbau
 ulrich.briem@oth-regensburg.de
 www.oth-regensburg.de



EIN STARKES STÜCK OBERPFALZ

LÄPPLE AUTOMOTIVE IN TEUBLITZ

Seit 1990 produzieren wir in den Hallen der ehemaligen Maxhütte Karosseriekomponenten und -systeme für namhafte Kunden aus der Automobilindustrie. Sie schätzen unsere langjährige Erfahrung in der Umformung von Stahl

und Aluminium ebenso wie unsere Kompetenz im Leichtbau. Mit unseren derzeit 650 Mitarbeitern formen wir am Standort Teublitz auch weiterhin die automobilen Zukunft.

LÄPPLE Automotive GmbH
info@laepple-automotive.de • www.laepple-automotive.de

UNSERE INSERENTEN FINDEN SIE AUCH IM INTERNET:

www.unternehmen-regensburg.de

DEVELOPMENT
LASER TECHNOLOGY
ENGINEERING PARTNER
RESEARCH AND DEVELOPMENT
TECHNOLOGY CONSULTING
APPLICATION LABORATORY
LASER SCANNING SYSTEMS

ALL IN OUR HEADS

CUSTOMER-SPECIFIC
LASER-SUBSYSTEMS
REMOTE WELDING
MICROMACHINING
OPTICAL DESIGN
MATERIALS SCIENCES
FEASIBILITY STUDIES
SOFTWARE
PRECISION
SCANHEAD
LASER-KNOW-HOW
SOLUTIONS

Arbeiten bei ARGES
Aktuelle Stellen- und
Studienangebote:



— OPTICAL SCANNING SOLUTIONS

ARGES entwickelt und produziert innovative Laser-Scan-Systeme zur Formung und Ablenkung von Laserstrahlen in anspruchsvollen Applikationen für den Laserkomponentenmarkt.

Zum Leistungsportfolio der ARGES GmbH gehören neben einer vielseitig einsetzbaren Produktpalette von Standard-Scansystemen auch individuelle, kunden- und anwendungsspezifische Sonderentwicklungen sowie die Realisierung kompletter Laser-Subsysteme für die Integration in Laseranlagen.



— ARGES GmbH Werk 4 92442 Wackersdorf www.ARGES.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 www.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



THERMISCHE FEM-SIMULATION DES LASER-DURCHSTRAHLSCHWEISSENS VON KUNSTSTOFFEN

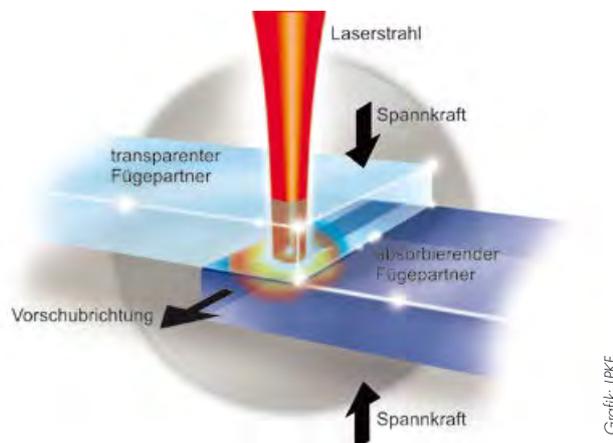
Stefan Hierl, OTH Regensburg
 Sebastian Talbot, OTH Regensburg
 Anton Schmailzl, OTH Regensburg

Im Rahmen eines studentischen Forschungsprojekts wurde ein Berechnungsmodell für die FEM-Simulation des Temperaturfeldes beim Laser-Durchstrahlschweißen von Kunststoffen aufgebaut. Dieses FEM-Modell dient dazu, den Einfluss der Prozessparameter auf die Temperaturverteilung in der Schweißnaht zu analysieren. Die bisher erreichten Ergebnisse zeigen, dass die berechneten Temperaturgradienten sehr gut mit den Ergebnissen aus experimentellen Untersuchungen übereinstimmen. Um die Simulation auch hinsichtlich der absoluten Temperaturwerte zu optimieren, müssen in weiteren Arbeiten die relevanten Materialkennwerte präziser ermittelt werden.

Das Laser-Durchstrahlschweißen von Kunststoffen ist eine Fügetechnik, die aufgrund ihrer spezifischen Vorteile gegenüber konventionellen Kunststofffügeverfahren immer weitere Anwendungsgebiete erschließt. Wesentliche Vorteile des Verfahrens sind eine geringe mechanische Belastung der Bauteile, ein geringer Schmelzeaustritt und eine partikelfreie Schweißung. Deshalb wird es z. B. beim Verschließen von Kunststoffgehäusen für empfindliche Elektronikbauteile oder in der Medizintechnik eingesetzt. Zur Verbesserung des Prozessverständnisses und zur Analyse der zahlreichen Einflussparameter wurde im Rahmen eines Forschungs- und Entwicklungsprojekts ein Modell für die thermische Simulation des Durchstrahlschweißens entwickelt und durch experimentelle Untersuchungen verifiziert.

der beiden Fügepartner sicher. Durch den Vorschub des Laserstrahls wird die Schweißnaht erzeugt.^{1, 2} Das sich ausbildende Temperaturfeld steht in enger Korrelation mit der erzielbaren Schweißnahtqualität, wobei zahlreiche Einflussparameter, wie z. B. die Laserleistung, die Leistungsdichteverteilung, die Vorschubgeschwindigkeit, der Spanndruck sowie die optischen und thermischen Materialeigenschaften selbige beeinflussen. Die Temperaturverteilung in der Schweißnaht kann jedoch experimentell nicht ohne Weiteres ermittelt werden. Eine thermische Simulation hingegen bietet die Möglichkeit, den Einfluss der unterschiedlichen Parameter zu analysieren, um so den Prozess zu optimieren oder die Materialeigenschaften anzupassen.

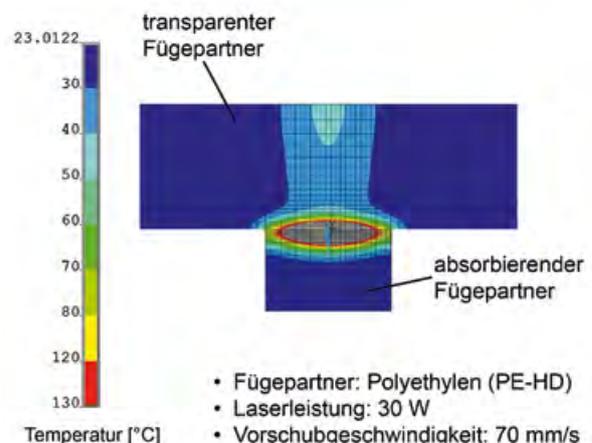
Die besondere Herausforderung beim Aufbau des Simulationsmodells besteht darin, die Strahlungserwärmung des Kunststoffs entsprechend des realen Prozesses abzubilden. Hierzu sind die Intensitätsverteilung des Laserstrahls sowie die Mechanismen der Strahlungsabsorption der beteiligten Kunststoffe, welche sich im Wesentlichen durch das Lambert-Beer'sche Gesetz beschreiben lassen, zu berücksichtigen.³ Die Umsetzung im transienten FEM-Modell erfolgt durch lokal verteilte interne Wärmequellendichten, welche das



Grafik: LPK

Abb. 1: Schematische Darstellung des Laser-Durchstrahlschweißens von Kunststoffen

Abbildung 1 zeigt das Verfahrensprinzip des Laser-Durchstrahlschweißens. Der Laserstrahl, üblicherweise im nahen Infrarot (Wellenlänge im Bereich von ca. 800 nm bis 1100 nm), durchstrahlt den oberen Fügepartner, wird im unteren absorbiert und schmilzt den Kunststoff auf. Überwiegend durch Wärmeleitung wird auch der obere Fügepartner plastifiziert. Eine Spannvorrichtung fixiert die Bauteile und stellt so den notwendigen thermischen Kontakt



Grafik: Autoren

Abb. 2: Querschnitt des Temperaturfeldes in der Schweißnaht unmittelbar nachdem der Laserstrahl die Schnittebene passiert hat

Bauteil auf Basis der gewünschten Intensitätsverteilung und der definierten Fahrkurve erwärmen. Die geometrische Parametrierung der Wärmequelle erfolgt durch ein eigens entwickeltes Parametriertool, welches den Aufwand für den Benutzer auf ein Mindestmaß reduziert und eine schnelle Simulationsdurchführung ermöglicht. Aufgrund der sehr hohen Temperaturgradienten stellt auch die Vernetzung der Bauteile eine nicht unerhebliche Herausforderung dar, da diese einen sehr hohen Einfluss auf das sich ausbildende Temperaturfeld hat.

Abbildung 2 zeigt exemplarisch den Querschnitt durch das berechnete Temperaturfeld in der Schweißnaht. Die Fügeanordnung ist ein sogenannter T-Stoß, der oft für experimentelle Untersuchungen verwendet wird. Beim Durchtritt des Laserstrahls durch den oberen Fügepartner findet nur eine geringe Strahlungsabsorption im Volumen statt, da die Eindringtiefe E der Laserstrahlung im Kunststoff relativ groß ist ($E \approx 20$ mm). Die Eindringtiefe E gibt nach Lambert-Beer die Tiefe an, bei der die Strahlungsleistung aufgrund der Volumenabsorption auf $1/e$ abgefallen ist. Der untere Fügepartner hingegen weist aufgrund absorbierender Füllstoffe eine sehr geringe optische Eindringtiefe auf ($E \approx 0,1$ mm), die Laserstrahlung wird in einer vergleichsweise geringen Tiefe absorbiert gekennzeichnet durch hohe Spitzentemperaturen und einen großen Temperaturgradient. Das sich ausbildende Temperaturfeld ist nicht nur das Ergebnis der Volumenabsorption, sondern auch der Wärmeleitung. Es hat eine elliptische Form und liegt zu ca. $2/3$ im unteren Fügepartner. Vergleicht man das Ergebnis der FEM-Simulation mit dem Dünnschnitt durch eine Schweißnaht, so ist zu erkennen, dass die Isothermen des berechneten Temperaturfeldes sehr gut mit der experimentell ermittelten Schweißnahtform (Schweißlinse) übereinstimmen. Lediglich die berechneten absoluten Temperaturen weichen noch von denen ab, die in der Schweißnaht zu erwarten sind.

Wie bereits erwähnt, hat das sich ausbildende Temperaturfeld einen entscheidenden Einfluss auf die Schweißnahtqualität. Eine zu geringe Temperatur im oberen Fügepartner kann z. B. zu einer unzureichenden Schweißnahtfestigkeit führen, zu hohe Temperaturen im unteren Fügepartner hingegen bewirken eine thermische Schädigung des Kunststoffs, die zur Blasenbildung und damit zu einer Undichtheit in der Schweißnaht führt. Zwischen diesen beiden Extremen liegt das zur Verfügung stehende Prozessfenster. Dessen Größe wird wesentlich durch die Werkstoffeigenschaften,

aber auch durch die Energieeinbringung beeinflusst. So kann z. B. durch den Einsatz einer zweiten Strahlquelle, die aufgrund der Wellenlänge im oberen Fügepartner stärker absorbiert wird, die Lage der Schweißlinse in Richtung des oberen Fügepartners verschoben werden, was zu einer Vergrößerung des Prozessfensters führt.

In weiteren Arbeiten soll der Einfluss der Simulationsparameter wie z.B. die Vernetzung der Bauteile oder die Materialeigenschaften, auf das Berechnungsergebnis untersucht werden. Eine besondere Herausforderung stellt hierbei die experimentelle Ermittlung der relevanten temperaturabhängigen Materialkennwerte dar.

Literatur

- 1 Hierl, S.: Innovative Systemlösungen für das Laserstrahl-Kunststoffschweißen. In: *Laser in der Elektronikproduktion & Feinwerktechnik – LEF 2002*, Herausgeber: A. Otto, M. Geiger, 2002, S. 167-178, Meisenbach, Bamberg.
- 2 Schmailzl, A.; Hierl, S.; Sieben, M.; Brunnecker, F.: Optimierung der Spanndruckverteilung beim Laserdurchstrahlenschweißen komplexer Bauteile mittels FE-Berechnung. In: *Fügen von Kunststoffen – Joining Plastics*, 7, 2013, S. 30-34.
- 3 Polster, S.: *Laserdurchstrahlenschweißen transparenter Polymerbauteile*, Dissertation, Universität Erlangen-Nürnberg, 2009, Meisenbach, Bamberg.

Projektleitung

Prof. Dr. Stefan Hierl + 49 941 943-5175
Labor für Laser-Materialbearbeitung
stefan.hierl@oth-regensburg.de

Kooperationspartner

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

Geldgeber

Bayerisches Staatsministerium für Wissenschaft, Forschung und Kunst

Fördersumme

259.607 €

Projektlaufzeit

Mai 2012 – Juni 2015

Projekthomepage

www.oth-regensburg.de/fakultaeten/maschinenbau/labore/laser-materialbearbeitung.html

FELDEMISSIONSELEKTRONENQUELLEN BASIEREND AUF SILIZIUMEMITTERN MIT HOHEM ASPEKTVERHÄLTNIS

Robert Ławrowski, OTH Regensburg
 Christian Prommesberger, OTH Regensburg
 Christoph Langer, OTH Regensburg
 Florian Dams, OTH Regensburg
 Rupert Schreiner, OTH Regensburg

47

Durch die Optimierung eines reaktiven Ionenätzprozesses mit induktiv gekoppeltem Plasma ist die Herstellung von Siliziumkathoden mit hoher Anisotropie und hohem Aspektverhältnis für Feldemissionsanwendungen möglich. Simulationen mit COMSOL Multiphysics® untermauern das Potenzial dieser Feldemitter. Die Ergebnisse der Simulationen bei einer Säulenhöhe von 2 bis 10 μm zeigen einen zwei- bis sechsfach höheren Feldüberhöhungsfaktor ($\beta \approx 70 - 210$) der tiefgeätzten Strukturen im Vergleich zu identischen Emittlern ohne zusätzliche Tiefenätzung ($\beta_0 \approx 35$). Feldemissionsmessungen bestätigen diese Simulationsergebnisse. Der modifizierte Herstellungsprozess ermöglicht somit die Realisierung von Feldemissionselektronenquellen für kleinere makroskopische Feldstärken.

GRUNDLAGEN DER FELDEMISSION

Bei der Feldemission (FE) werden durch ein starkes äußeres elektrisches Feld Elektronen aus dem Festkörper gelöst. Klassisch ist dafür die Austrittsarbeit W_b erforderlich. Bei quantenmechanischer Betrachtung besteht jedoch eine gewisse Wahrscheinlichkeit, dass einige Elektronen das Material verlassen können, obwohl ihre Energie dafür nicht ausreicht.¹ Diese Wahrscheinlichkeit weist eine starke Abhängigkeit von der Breite der zu überwindenden Potenzialbarriere auf. Hohe elektrische Felder reduzieren diese und ermöglichen damit ein Tunneln der Elektronen durch die Potenzialbarriere. Insbesondere bei Halbleitern ist es durch Beleuchtung möglich, Elektronen auf höhere Energieniveaus anzuregen, die leichter die dort dünnere Potenzialbarriere durchtunneln können.¹ Die für die FE benötigten Feldstärken werden durch eine Spannung zwischen Anode und einer im geringen Abstand davon platzierten Kathode erzielt. Aufgrund der scharfkantigen Strukturen auf der Kathodenoberfläche tritt dort der Effekt der Feldüberhöhung auf.^{1,2}

Die Äquipotenziallinien verdichten sich an den Spitzen der strukturierten Oberflächen und verursachen lokal ein größeres Feld. Der Quotient aus der lokalen Feldstärke E_{mikro} an der Spitze und der Feldstärke E_{makro} zwischen Anode und Kathode wird als Feldüberhöhungsfaktor β bezeichnet. Für die meisten Anwendungen sollte der β -Faktor möglichst hoch sein, damit bereits ein kleines angelegtes Feld (E_{makro}) ein großes lokales elektrisches Feld (E_{mikro}) verursacht.

SIMULATIONSERGEBNISSE

Mit dem Modell der Elektrostatik in COMSOL Multiphysics® kann eine Aussage über die resultierenden Feldstärken an einer vorgegebenen Geometrie getroffen werden. Ein zweidimensionales Modell in Rotationssymmetrie wird verwendet. Die bei der Simulation verwendeten Randbedingungen sind: Keine Ladung am Rand, Erdung auf der Kathodenseite und Spannung an der Anode. Eine konventionelle Emitterspitze der Höhe $h = 1 \mu\text{m}$ und ein Radius $R = 20 \text{ nm}$ liefern als Simulationsergebnis einen Feldüberhöhungsfaktor von $\beta_0 = 35$. Eine zusätzliche Säule der Höhe $h_s = 4 \mu\text{m}$ liefert einen ca. dreimal höheren Wert.



Abb. 1: Aufbau der Feldemissionselektronenquelle (links) mit vergrößerter Darstellung des Gitters (rechts, oben) und der Siliziumemitter (rechts, unten)

Grafik: Autoren

HERSTELLUNGSVERFAHREN DER SI-FELDEMISSIONSKATHODEN

Zur Herstellung der Kathoden² wurde das reaktive Ionenätzverfahren (RIE) bezüglich der Homogenität optimiert und um einen Ätzschritt mit induktiv gekoppeltem Plasma (ICP) erweitert. Zunächst wird auf der Oberfläche von Silizium (Si) ein Feucht-oxid abgeschieden. Durch Photolithographie wird die Position der Emittler definiert. Ein RIE-Prozess überträgt die laterale Anordnung der Strukturen in das Oxid. Nach dem Entfernen des Photolacks wird durch ein weiteres RIE-Verfahren die Spitzenform der Emittler bestimmt. Die anschließende Tiefenätzung des Si wird durch die Verwendung des ICP-Verfahrens ermöglicht. Die anschließende Feuchtoxidation dient zur Anschärfung der Feldemitter. Die endgültige Form wird nach einer nass-chemischen Entfernung des gesamten Oxides erreicht. Die Emittler auf der Si-Kathode weisen eine Gesamthöhe von 5 μm und einen Säulendurchmesser von 1 μm auf (Abbildung 1). Die Krümmungsradien liegen zwischen 15 und 35 nm.

CHARAKTERISIERUNG DER ELEKTRONENQUELLE

Eine Spannung ($U = E_{\text{makro}} \cdot d$) von bis zu 1 kV wird zwischen der Si-Kathode (Abbildung 1) und einem im Abstand von ca. $60 \mu\text{m}$ über den Emittlern positioniertem Gitter (Abbildung 1) angelegt, welches als Anode dient. Der Emissionsstrom I wird in Abhängigkeit der angelegten Spannung U gemessen. Ergibt sich beim Plot nach Fowler-Nordheim (FN) eine Gerade, so handelt es sich um klassische FE, wie z. B. üblicherweise bei Metallen. Dabei wird I/E_{makro}^2 in Abhängigkeit der reziproken Feldstärke ($1/E_{\text{makro}}$) logarithmisch aufgetragen. Aus der Steigung der Geraden kann der β -Faktor ermittelt werden. Im Gegensatz zu Metallen, n-dotierten oder metallbeschichteten Si-Kathoden weisen Feldemitter aus p-dotiertem Si eine deutlich vom linearen Verlauf abweichende Charakteristik im FN-Plot auf (Abbildung 2).^{1, 2}

Bei mittleren Feldstärken (ab $12 \text{ V}/\mu\text{m}$) bildet sich hier ein Plateau aus. Die Stromstärke liegt dabei im Bereich von 30 bis 50 nA. Die Bandstruktur von p-Si verändert sich unter dem Einfluss eines starken elektrischen Feldes, sodass sich eine Verarmungszone bildet, welche direkt unterhalb der oberflächennahen Inversionsschicht liegt.¹ Diese Verarmung an freien Ladungsträgern im Emitter führt zu einer Erniedrigung der Leitfähigkeit und so zu einer weiteren Limitierung des Emissionsstromes. Der Anstieg des Stromes bei gleichzeitiger Erhöhung des Feldes ist somit geringer. Die Säule ermöglicht im vorliegenden Fall ein noch größeres Eindringen des elektrischen Feldes und somit ein stärkeres Ausdehnen der Verarmungszone.³ Dies hat eine weitere Erniedrigung der Leitfähigkeit zur Folge. Noch höhere Felder (ab $E \approx 15 \text{ V}/\mu\text{m}$) verursachen einen lawinenartigen Anstieg

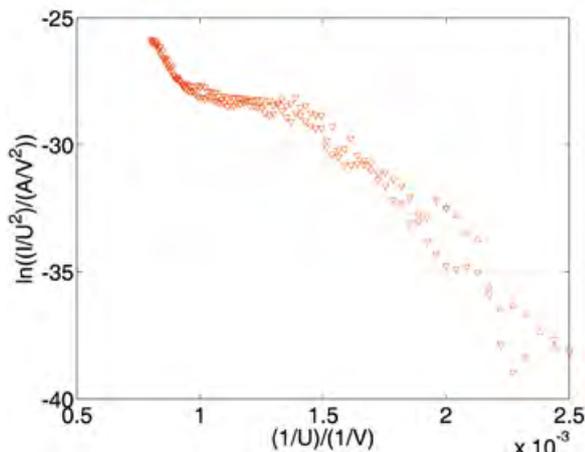


Abb. 2: Emissionsstrom im Fowler-Nordheim-Plot einer Probe mit 1.141 Emittlern mit einem Anodenabstand von $60 \mu\text{m}$

Grafik: Autoren

des Stromes. Dies ist auf die Beeinflussung der Beweglichkeit der Ladungsträger durch das innere Feld zurückzuführen.¹

Der aus den Messdaten ermittelte β -Faktor beträgt ca. 80. Laut den Simulationsergebnissen liefert eine Säule der Höhe $h_s = 4 \mu\text{m}$ und einer Spitze der Höhe $h = 1 \mu\text{m}$ mit einem Spitzenradius von 15 bis 35 nm einen β -Faktor im Bereich von 70 bis 135. Die Simulation beschreibt die Feldüberhöhung eines einzelnen idealen Emitters. Bei der Messung der Kathode wird über 1.141 Emittler gemittelt. Der gemessene β -Faktor liegt dabei im Bereich der Simulationsergebnisse.

Die Optimierung der RIE-Ätzungen erlaubt die Herstellung von Spitzenfeldemittern mit kleinen Spitzenradien ($R < 35 \text{ nm}$) und hohen Aspektverhältnissen der Emittler ($(h+h_s) / R > 250$). Bei FE-Messungen ergibt sich für p-Si dadurch ein höherer Feldüberhöhungsfaktor sowie eine deutliche Stromstabilisierung. Die Verwendung dieser Feldemitter ist damit eine gute Voraussetzung für einen zuverlässigen Betrieb von Emissionskathoden bei kleinen Feldstärken für die Anwendung in Ionisationsgassensoren oder in miniaturisierten Röntgenquellen.

Literatur

- 1 L. M. Baskin, O. I. Lvov, and G. N. Fursey, "General features of field emission from semiconductors", *Phys. Status Solidi B*, vol. 47, no. 1, pp. 49-62, 1971.
- 2 F. Dams, A. Navitski, C. Prommesberger, P. Serbun, C. Langer, G. Müller, and R. Schreiner, "Homogeneous Field Emission Cathodes With Precisely Adjustable Geometry Fabricated by Silicon Technology", *IEEE Trans. Electron Devices*, vol. 59, no. 10, pp. 2832-2837, 2012.
- 3 L. F. Velasquez-Garcia, S. A. Guerrero, Y. Niu, and A. I. Akinwande, "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 Trans. Electron Devices*, vol. 58, no. 6, pp. 1775-1782, 2011.

Allgemeinwissenschaften und Mikrosystemtechnik

Projektleitung

Prof. Dr. Rupert Schreiner

+49 941 943-1277

rupert.schreiner@oth-regensburg.de

Projektmitarbeiter

Florian Dams, Christoph Langer, Robert Ławrowski,
Christian Prommesberger

Kooperationspartner

- Bergische Universität Wuppertal
- KETEK GmbH München
- Thyracont Vacuum Instruments GmbH Passau

Geldgeber

- BMBF – Bundesministerium für Bildung und Forschung
- BFS – Bayerische Forschungsstiftung

Projektlaufzeit

30 Monate / 9 Monate

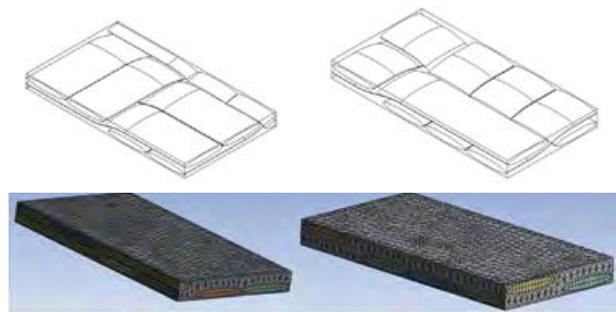
MECHANISCHE CHARAKTERISIERUNG VON BASALTFASER- VERSTÄRKTEN KUNSTSTOFFEN MIT GEWEBEVERSTÄRKUNG – NUMERISCHE UND EXPERIMENTELLE UNTERSUCHUNGEN

Piergiorgio Valentino, Marco Romano, Ingo Ehrlich, Franco Furguele, Norbert Gebbeken

49

This paper describes the results of tensile tests and finite element (FE) calculations with representative volume elements (RVEs) of basalt fibre reinforced plastic with two different types of fabric reinforcements. As fabric reinforcements show repeating undulations of warp and fill yarn, simple mixtures laws reach their limits. The aim of this work is to determine the stiffness of a fabric reinforced composite in warp and fill direction with numerical investigations. The tensile tests and the FE-calculations have been carried out for two different types of basalt fabrics, namely twill 2/2 and twill 1/3. The comparison between the experimental data and the results of the FE-calculations are provided in order to support the validity of the proposed model.

Vereinfachende Theorien zur Beschreibung des mechanischen Verhaltens von faserverstärkten Kunststoffen (FVK) setzen meist einen Lagenaufbau aus unidirektional verstärkten Einzellagen und Homogenisierung der Materialeigenschaften voraus. Dabei werden in der Praxis häufig Lagenaufbauten aus gewebeverstärkten Einzellagen für Strukturbauteile verwendet. Durch die Webart des Gewebes und die daraus resultierende Ondulation von Kett- und Schussfäden werden die strukturmekanischen Eigenschaften beeinflusst. Im Folgenden werden basaltfaserverstärkte Kunststoffe mit Gewebeverstärkung zerstörend im Zugversuch geprüft und mit repräsentativen Volumenelementen (RVEs) mit der Finiten-Elemente-Methode (FEM) modelliert und berechnet.



Grafik: Autoren

Abb. 1: Drahtmodelle (oben) und vernetzte RVEs im FE-Preprocessor (unten): Links: Köpergewebe 2/2 Rechts: Köpergewebe 1/3

MATERIALIEN UND VERSUCHSDURCHFÜHRUNG

Die Herstellung der Prüflatten und Präparation der Probekörper erfolgt mit jeweils zwei unterschiedlichen Geweben aus Basaltfasern.¹ Dies ist ein Köpergewebe 2/2 und ein Köpergewebe 1/3. Im Handauflegeverfahren sind Prüflatten hergestellt worden, die im Vakuumpressverfahren ausgehärtet worden sind. Als Matrixsystem dient ein kaltaushärtendes duroplastisches Harzsystem. Aus den Prüflatten werden Probekörper in die beiden Vorzugsrichtungen der Gewebe, Kett- und Schussrichtung, ausgeschnitten. Die anschließende Präparation der Probekörper erfolgt nach DIN EN 2747.

Die experimentelle Bestimmung des Faservolumengehalts geschieht aufgrund der hohen thermischen Beständigkeit von Basaltfasern³ nach DIN EN ISO 1172 im Kalzinierungsverfahren. Dabei wird bei kleineren Probekörpern in einem Muffelofen bei ca. 620 °C die Kunststoffmatrix thermisch zersetzt. Mit der Kenntnis der Dichte der Einzelkomponenten, Verstärkungsfaser aus Basalt 2,75 g/cm³ und duroplastischem Matrixsystem 1,15 g/cm³ sowie der Masse des Probekörpers vor und nach dem Veraschen der Matrix wird der Faservolumengehalt berechnet.³ Die Faservolumengehalte liegen bei den untersuchten Prüflatten zwischen 48 Vol.% und 55 Vol.%.

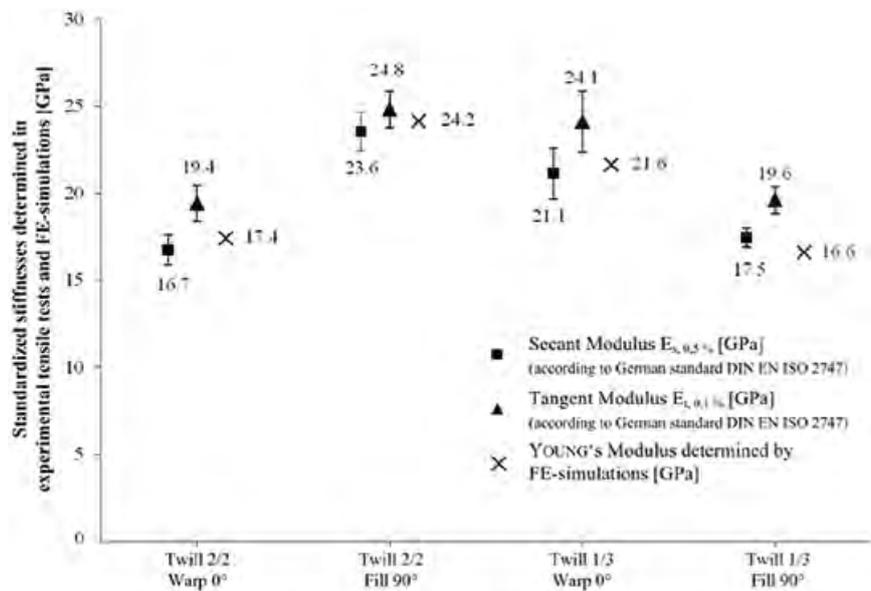
Die Zugversuche sind mit einer servohydraulischen Zugprüfmaschine durchgeführt worden. Als Spannzeug sind dabei hydraulische Parallelspannbacken verwendet worden.¹ Dabei zeigten die mechanischen Werkstoffkennwerte Steifigkeit und Festigkeit für die unterschiedlichen Gewebearten und Vorzugsrichtungen jeweils charakteristische Werte und hohe Reproduzierbarkeiten.

Für beide Gewebearten zeigte die Kettrichtung höhere mechanische Werkstoffkennwerte als die Schussrichtung.

NUMERISCHE UNTERSUCHUNGEN MIT DER FINITE-ELEMENTE-METHODE

Die Bestimmung der geometrischen Dimensionen einer gewebeverstärkten Einzellage ist durch Schliffbilderstellung in Kett- und Schussrichtung bei jeder der beiden verwendeten Gewebearten erfolgt. Die geometrischen Abmessungen der Querschnitte von Kett- und Schussfäden sind im Auflichtmikroskopieverfahren ermittelt worden.¹ Dabei ist vereinfachend vorausgesetzt worden, dass der Kett- und Schussfaden einem sinusförmigen Verlauf folgen und die Querschnitte der einzelnen Stränge elliptisch sind.² Die Vernetzung ist mit tetraederförmigen Volumenelementen erfolgt. Die Kontakte zwischen den einzelnen Regionen des RVEs sind mit koinzidenten Knoten modelliert worden.^{1, 2} Um die Faserverstärkung in Richtung des Längsverlaufs der jeweiligen Region zu modellieren, sind die Elementkoordinatensysteme parallel zum Längsverlauf der jeweiligen Region im RVE orientiert worden.² Abbildung 1 zeigt die Drahtmodelle und die vernetzten RVEs.

Die Randbedingungen sind so aufgebracht worden, dass eine reine Längsverformung gewährleistet ist. Dabei wird die Kontraktion des RVEs in Breiten- und Dickenrichtung zugelassen, um Querkontraktionseffekte nicht zu behindern.² An einer Fläche werden in äquidistanten Schritten Spannungen bis zur Zugfestigkeit aufgebracht. Die Betrachtung der resultierenden Dehnungen als Längsverformungen erlaubt die Berechnung der Verzerrungen.²



Grafik: Autoren

Abb. 2: Sekantenmodul und Tangentenmodul der beiden Arten der Gewebeerstärkung nach DIN EN ISO 2747 normiert auf ein Faservolumengehalt von 60 % und die berechneten Steifigkeiten des FE-Modells der RVEs

Basaltfaserverstärkte Kunststoffe mit unterschiedlichen Arten von Gewebeerstärkung sind mechanisch charakterisiert worden. Die durchgeführten Untersuchungen beinhalten experimentelle Zugversuche und FE-Berechnungen mit RVEs. Abbildung 2 zeigt die Ergebnisse der experimentellen und numerischen Untersuchungen. Die durchgeführten Berechnungen mit der FEM mit zwei Arten von RVEs werden damit experimentell validiert. Sie erlauben sehr genaue Vorhersagen bezüglich der Steifigkeit in die jeweiligen Vorzugsrichtungen von gewebeerstärkten Kunststoffen.

Die experimentelle Bestimmung des Faservolumengehalts, die Auflichtmikroskopie und die Ergebnisse der Zugversuche sind die Grundlage für den Aufbau der RVEs und stellen die Datenbasis für die Eingabeparameter bzw. Werkstoffkennwerte für die numerischen Untersuchungen dar. Ein hoher Grad an Übereinstimmung zeigt das Potenzial zur Vorhersage von Steifigkeit für gewebeerstärkte Kunststoffe. Die getroffenen Voraussetzungen im FE-Modell sind dabei teilweise sogar stark vereinfachend. Trotz der getroffenen Voraussetzungen bezüglich der Geometrie und der Verteilung des Faservolumengehalts lieferte die FE-Berechnung Ergebnisse in der zuvor beschriebenen hohen Qualität.

Literatur

- Valentino, P.; Romano, M.; Ehrlich, I.; Furgiuele, F.; Gebbeken, N.: Mechanical characterization of basalt fibre reinforced plastic with different fabric reinforcements – Tensile tests and FE-calculations with representative volume elements (RVEs). In: Acta Fracturae – XXII Convegno Nazionale IGF (Italiano Gruppo Frattura), Roma, 1.-3. July 2013, pp. 231-244, ISBN 978-88-95940-47-2, ISSN 2281-1443; In: Iacovello, F.; Risitano, G.; Susmel, L. (Eds.): Acta Fracturae – XXII Convegno Nazionale IGF (Italiano Gruppo Frattura). Roma, 1.-3. July 2013, ISBN 978-88-95940-47-2, ISSN 2281-1443.
- Ottawa, P.; Romano, M.; Wagner, M.; Ehrlich, I.; Gebbeken, N.: The influence of undulation in fabric reinforced composites on dynamic properties in a mesoscopic scale in composites reinforced with fabrics on the damping behavior. In: Proceedings of the 11. LS-DYNA Forum, Ulm, 9./10. October, 2012, pp. 171-172; In: N. N.: Proceedings of the 11. LS-DYNA Forum 2012. DYNAMore GmbH (Hrsg.), Stuttgart, ISBN 3-9809901-9-2.
- Schmid, V.; Jungbauer, B.; Romano, M.; Ehrlich, I.; Gebbeken, N.: Diminution of mass of different types of fibre reinforcements due to thermal load. In: Proceedings of the Applied Research Conference, Nürnberg, 25./26. Juni 2012, pp. 231-235, ISBN-10: 3844010939, ISBN-13: 978-3844010930, DOI: 10.2370/9783844010930; In: Mottok, J.; Ziemann, O. (Eds.): Applied Research Conference 2012 – ARC 2012. Shaker Verlag, Aachen/Herzogenrath, 2012, ISBN 978-3-8440-1093-0, DOI 10.2370/9783844010930.

Projektleitung

Prof. Dr.-Ing. Ingo Ehrlich +49 941 943-5152
 OTH Regensburg, Fakultät Maschinenbau,
 Labor für Faserverbundtechnik
 ingo.ehrlich@oth-regensburg.de

Michael Eisenried, Marco Romano, Bastian Jungbauer,
 Ingo Ehrlich
 OTH Regensburg, Department of Mechanical Engineering,
 Laboratory for Composite Technology

Norbert Gebbeken
 University of the Bundeswehr Munich, Neuburg
 Institute for Engineering Mechanics and Structural Mechanics

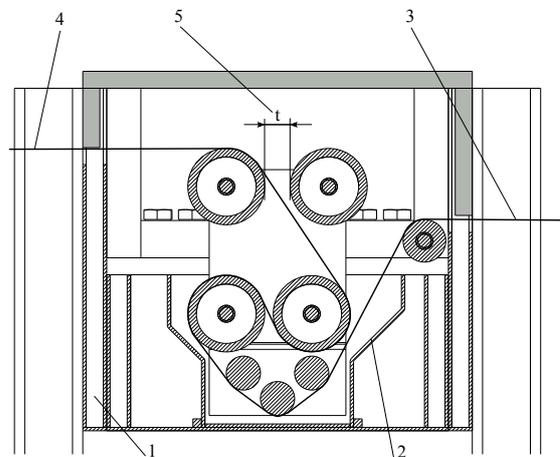
HERSTELLUNG VON UNIDIREKTIONAL VERSTÄRKTEN PREPREGS IM LABORMASSSTAB – EINFLUSS VON FERTIGUNGSPARAMETERN AUF DIE MATERIALQUALITÄT

Michael Eisenried, OTH Regensburg
 Marco Romano, OTH Regensburg
 Bastian Jungbauer, OTH Regensburg
 Ingo Ehrlich, OTH Regensburg
 Norbert Gebbeken, UniBw München

A prepreg production device in laboratory scale is used to develop the production process of unidirectionally reinforced prepregs. The aim of the prepreg production machine is to impregnate different types of reinforcement fibers with an arbitrarily selectable thermoset matrix system that completely satisfies the requirements for autoclave processing. To identify the parameters of the production process and investigate its sensitivity on the quality of the semi-finished product, experimental investigations regarding fiber volume content and resin flow while curing are carried out with specimens out of test panels cured in autoclave processing. The investigated parameter is the width of the wiping gap and its effects on fiber volume content and resin flow. The parameter clearly affects both properties so that a proper impregnation and curing process can be achieved by optimizing the parameter to desired values.

Faserverstärkte Kunststoffe bieten ein großes Leichtbaupotenzial durch deren hohe Steifigkeiten und Festigkeiten bezogen auf die meist geringen Dichten der Einzelkomponenten. Für die Verarbeitung im Heißluftautoklav werden bei Untersuchungen zum Einfluss von Werkstoffparametern vorimprägnierte Faserhalbzeuge benötigt, bei denen die Kombination aus Verstärkungsfaser und Matrixwerkstoff annähernd frei wählbar ist. Diese vorimprägnierten Halbzeuge werden als Prepreg (von engl.: PREimPREGnated – vorimprägniert) bezeichnet.¹

Auf dem Markt erhältliche Prepregs bieten diese Möglichkeit nicht. Darüber hinaus ist meist der Bezug in laborüblichen (Kleinst-)Mengen nicht oder nur erschwert möglich. Um die reproduzierbare und direkt vergleichbare Analyse der Werkstoffparameter unterschiedlicher Arten von Verstärkungsfasern durchführen zu können, ist eine Prepreganlage im Labormaßstab entwickelt, konstruiert und aufgebaut worden. Mit dieser Anlage werden unidirektional (UD) verstärkte, vorimprägnierte, zweidimensionale Faserhalbzeuge mit warmushärtender duroplastischer Kunststoffmatrix gefertigt. Die Arbeit beschreibt die Einflüsse der Fertigungsparameter auf das hergestellte Halbzeug.

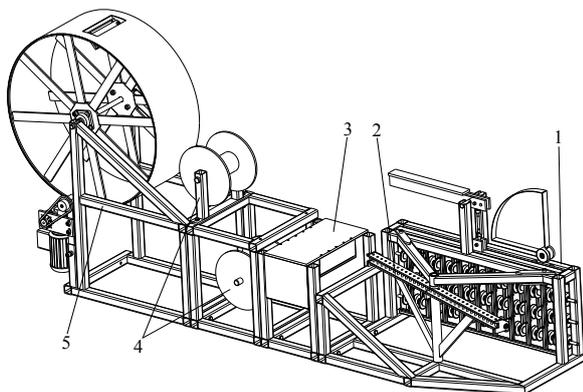


Grafik: Autoren

Abb. 2: Schnittdarstellung des Imprägniermoduls: 1 isoliertes Gehäuse, 2 Harzbehälter, 3 trockene unidirektionale Lage von Verstärkungsfasern, 4 unbedecktes Prepreg, 5 variabler Abstreifspalt zum Einstellen des Faservolumengehalts

BESCHREIBUNG UND FUNKTIONSPRINZIP DER PREPREG-ANLAGE

Die Prepreg-Anlage ist modular aufgebaut. Abbildung 1 stellt eine Übersicht der Anlage dar. Das Abrollmodul wird mit 30 Spulen bestückt, die den Rovingvorrat bereitstellen. Mit Hilfe einer geregelten Bremsenmechanik wird die Rovingvorspannung während des gesamten Prozesses konstant gehalten. Über einen schwenkbaren Kamm werden die Rovings zu einem UD-Band ausgerichtet, dessen Verhältnis von Breite zu Dicke variabel einstellbar ist. Das vorgespannte UD-Band wird in das in Abbildung 2 dargestellte Imprägniermodul geführt. Bei der verwendeten Prepreg-Anlage wird das Schmelzharzimpregnierverfahren angewandt. In dem isolierten Gehäuse werden die Verstärkungsfasern durch ein Tauchbad mit vorgeheizter duroplastischer Matrix geführt. Mehrere starre Umlenkungen und Walzen dienen zur Konsolidierung, die durch die erhöhte Harztemperatur und die daraus resultierende herabgesetzte Viskosität des Harzes unterstützt wird.^{1,3}



Grafik: Autoren

Abb. 1: Prepreg-Anlage im Labormaßstab: 1 Abrollmodul, 2 Schwenkbarer Kamm, 3 Imprägniermodul, 4 Folienmodule, 5 Aufrollmodul

Die getränkten Verstärkungsfasern durchlaufen einen variabel einstellbaren Abstreifspalt zwischen zwei Walzen. Die Spaltbreite t definiert den Faservolumengehalt des Prepregs. Dabei wird das überschüssige Harz in den Harzbehälter zurückgeführt. Das Prepreg wird aus dem Imprägniermodul gezogen und im Folienmodul auf beiden Seiten mit einer dünnen Schutzfolie abgedeckt. Im Aufrollmodul wird das Prepreg über eine Trommel mit einem Durchmesser von 800 mm aufgerollt. Durch den großen Durchmesser werden Welligkeiten beim Abnehmen des Prepregs von der Trommel vermieden. Der Antrieb der Anlage erfolgt durch eine Asynchronmaschine am Aufrollmodul. Vorzugsgeschwindigkeit und maximale Vorspannkraft können durch die Änderung der Übersetzung am Kettentrieb vorgenommen werden.

VERSUCHSDURCHFÜHRUNG UND EXPERIMENTELLE UNTERSUCHUNG

Ziel der Untersuchung ist die Ermittlung der Auswirkung der Spaltbreite t beim Imprägniervorgang auf den Harzfluss sowie auf den Faservolumengehalt. Die Herstellung der Prüfplatten erfolgt dabei im Heißluftautoklav. Für die Messreihe sind Glasfaserrovings mit einer linearen Dichte von 2400 tex und ein warm-aushärtendes Epoxidharzsystem verwendet worden. Die Spaltbreite wird von 0,30 mm bis 0,55 mm in Schritten von 0,05 mm variiert. Für jede Spaltbreite wird eine Prüfplatte mit vier UD-Einzellagen zu einem symmetrischen Kreuzverbund [0/90]_s gefertigt. Die geometrischen Abmessungen betragen ca. 100 x 100 mm. Das Laminat wird nach DIN EN 2332 im Heißluftautoklav unter Druck und Temperatur ausgehärtet. Nach dem Aushärten erfolgt der Zuschnitt der Prüfplatten zu Probekörpern mit den geometrischen Abmessungen von ca. 70 x 70 mm. Mit der Kenntnis der Masse des Laminats vor dem Aushärtvorgang im Heißluftautoklav und der Masse der Probekörper nach dem Aushärtvorgang und Zuschnitt wird nach DIN EN 2332 der Harzfluss bestimmt. Zur Ermittlung des Faservolumenanteils wird das Kalzinierungsverfahren nach DIN EN ISO 1172 angewendet.² Dafür werden aus jedem Probekörper vier weitere kleinere Probekörper mit den geometrischen Abmessungen von ca. 10 x 10 mm ausgeschnitten. Anschließend wird das polymere Matrixsystem bei 620 °C thermisch zersetzt. Mit der Kenntnis der Masse des Probekörpers vor und nach dem Veraschen der Matrix sowie den Dichten der Einzelkomponenten, im Einzelnen Glasfaser 2,58 g/cm³ und duroplastisches Matrixsystem 1,17 g/cm³, wird der Faservolumengehalt nach DIN EN ISO 1172 berechnet.²

Die experimentellen Untersuchungen zeigen, dass bei zunehmender Spaltbreite t beim Imprägniervorgang der Harzfluss während dem Aushärten im Heißluftautoklav zunimmt. Bei Spaltbreiten von $t = 0,30$ mm bis $t = 0,45$ mm stellt sich ein annähernd konstanter Faservolumengehalt ein. Ab einer Spaltbreite von $t = 0,50$ mm sinkt der Faservolumengehalt erkennbar. Die Breite des Abstreifspalts t beeinflusst den Harzfluss im Aushärtprozess sowie den Faservolumenanteil im fertigen Laminat erheblich.

Literatur

- 1 Flemming, M.; Ziegmann, G.; Roth, S.: Faserverbundbauweisen: Halbzeuge und Bauweisen. Springer-Verlag, Berlin Heidelberg 1996.
- 2 Schmid, V.; Jungbauer, B.; Romano, M.; Ehrlich, I.; Gebbeken, N.: Diminution of mass of different types of fibre reinforcements due to thermal load. In: Proceedings of the Applied Research Conference, Nürnberg, 25./26. Juni 2012, pp. 231-235, ISBN-10: 3844010939, ISBN-13: 978-3844010930, DOI: 10.2370/9783844010930;
- In: Mottok, J.; Ziemann, O. (Eds.): Applied Research Conference 2012 – ARC 2012. Shaker Verlag, Aachen/Herzogenrath, 2012, ISBN 978-3-8440-1093-0, DOI 10.2370/9783844010930.
- 3 Strong, B.: Fundamentals of Composite Manufacturing: Materials, Methods, and Application. Society of Manufacturing Engineers, Dearborn/Michigan, 1989.

Projektleitung

Prof. Dr.-Ing. Ingo Ehrlich +49 941 943-5152
OTH Regensburg, Fakultät Maschinenbau,
Labor für Faserverbundtechnik
ingo.ehrlich@oth-regensburg.de

Michael Eisenried, Marco Romano, Bastian Jungbauer,
Ingo Ehrlich
OTH Regensburg, Department of Mechanical Engineering,
Laboratory for Composite Technology

Norbert Gebbeken
University of the Bundeswehr Munich, Neubiberg
Institute for Engineering Mechanics and Structural Mechanics

Kooperationspartner

- SK CARBON RODING GmbH, Roding
- MÜHLMEIER GmbH & Co. KG, Bärnau

Förderung

BFS – Bayerische Forschungsstiftung

Fördersumme

50.000 €

Projektlaufzeit

Januar bis Dezember 2013

Projekthomepage

www.forschungsstiftung.de/index.php/Projekte/Details/Verfahrensentwicklung-fuer-reproduzierbare-und-vergleichbare-unidirektionale-Prepregs-UniPreg.html

PICOLYZER – ECHTZEIT-ONLINE-ANALYSEGERÄT ZUR DETEKTION VON KLEINSTKONTAMINATIONEN IM SUB-PPB-BEREICH

Albert Hutterer, Michael Bauhuber, Andreas Mikrievskij, Monika Argauer, Helmut Hummel, Alfred Lechner
Kompetenzzentrum Nanochem, Fakultät AM, OTH Regensburg

Höchste Reinheit der Ätz- und Reinigungschemikalien sind in der Halbleiterindustrie Voraussetzung für die einwandfreie Funktionalität der Chips. Das von MST Bayern geförderte Projekt Picolyzer erfolgte in Kooperation des Kompetenzzentrums Nanochem der OTH Regensburg mit der Micro-Epsilon Messtechnik GmbH & Co. KG Orthenburg. Das entwickelte Analytikgerät weist besonders problematische metallische Kontaminationen in Prozessbädern erstmalig in Echtzeit bis in den sub-ppb-Bereich nach. Aktuell werden diese Becken mit kostenintensiven Untersuchungsmethoden wie der Atomabsorptionsspektroskopie (AAS) stichprobenartig im Labor überprüft. Das mikrotechnologisch hergestellte Sensorsystem stellt eine kostengünstige Lösung zur Echtzeitüberwachung der Prozessmedien dar und weist gleichzeitig einen geringen Probenverbrauch kleiner 2,5 ml/h auf. Die Messzelle beruht auf einer in Silizium geätzten totalreflektierenden Spirale, die eine Rauigkeit im Nanobereich aufweist, und einem dazu integrierten planarem mäanderförmig angeordnetem Mikromischer.

Besonders bei hochtechnologischen Herstellungsprozessen der Halbleiterindustrie bedarf es einer kontinuierlichen Überwachung von Metallkontaminationen in Prozessbecken, da diese zu kostenintensiven Produktionsausfällen führen können. Der Nachweis der für Mikrochips schädlichen Metallionen basiert auf dem Prinzip der UV/VIS-Spektroskopie. Die Herausforderung ist, hohe Extinktionen E und somit niedrige Nachweisgrenzen im sub-ppb-Bereich zu erreichen. Um entsprechend dem Lambert-Beer'schen Gesetz

$$E = \epsilon \cdot c \cdot l$$

Konzentrationen c im sub-ppb-Bereich messen zu können, wird der stoffabhängige molare Extinktionskoeffizient ϵ sowie die Messstrecke l maximiert. Das Messsystem besteht dabei grundlegend aus einer totalreflektierend beschichteten Messzelle, gefertigt in Silizium, einem Mikromischer (Abbildung 1 (A)), vorgeschalteter Fluidik, Lichtquelle, Spektrometer und einer Auswerteeinheit. Die Medienzuführung wird dabei mit flussgesteuerten Mikropumpen auf einen Volumenstrom von 2,5 ml/h geregelt.²

Der Analyt durchläuft den Mikromischer und wird mit einer spezifischen Komplexbildnerlösung vermischt. Innerhalb der Mäanderstruktur dominiert aufgrund der streng laminaren Strömung fast ausschließlich Diffusion die Vermischung. Liegt nun eine metallische Kontamination z. B. durch Eisenionen in Flüssigkeiten vor, wird diese durch das Additiv komplexiert. Hierdurch wird eine enorme Erhöhung des Extinktionssignals erreicht, was in einer deutlichen Verbesserung der Nachweisgrenze resultiert.

Die Steigerung der Weglänge wird durch Ätzung eines bis zu drei Meter langen, spiralförmigen Mikrofluidikkanals in Silizium erreicht. Hierzu wird ein speziell entwickelter, nasschemischer Ätzprozess zur Fertigung der isotropen Strukturen im Reinraum der OTH Regensburg verwendet (Abbildung 1 (B)). Die Herausforderung und gleichzeitig die Besonderheit dieses Verfahrens liegt darin, Strukturen im dreistelligen Mikrometerbereich zu ätzen, wobei die Oberflächenrauigkeit im Bereich optischer Qualität von $10\text{nm} \pm 2\text{nm}$ beträgt.¹



Abb. 1: (A) REM-Aufnahme des Kanalquerschnitts des spiralförmigen Kanals, (B) Mit Glas gedeckelter Mikromischer, (C) Picolyzer-Prototypen mit allen integrierten Bauteilen

Quelle: Kompetenzzentrum Nanochem

Um Licht in den langen gekrümmten Kanälen möglichst verlustarm zu leiten, wird das Gesetz der Totalreflektion ausgenutzt. Voraussetzung ist hierbei, dass der Brechungsindex des Kernmaterials, in unserem Fall wässrige Lösungen ($n_k > 1,33$), größer ist als der der umgebenden Mantelschicht. Ist der Einfallswinkel auf die Grenzfläche nun genügend groß, wird das gesamte Licht reflektiert.

Zur Gewährleistung der Totalreflektion wird die Kanalwand mit Teflon® AF ($n_M = 1,31$), einem amorphen Polymer der Firma Dupont³, mittels Spin-On-Verfahren beschichtet. Um die vermischte Probe durch die Messzelle leiten zu können, wird das strukturierte beschichtete Siliziumsubstrat mit einem ebenfalls beschichteten Glasdeckel über einen „adhesive bonding“-Prozess gedeckelt und fluidisch via Nanoports™ angebunden.

Abschließend wird die Lichteinkopplung in den Flüssigkeitslichtwellenleiter realisiert. Um die Strahlung der Lichtquelle in die Messzelle ein- beziehungsweise in Richtung des Spektrometers auskoppeln zu können, werden Lichtwellenleiter aus Quarzglas in den beschichteten Kanal eingeführt und verklebt. Diese Lichtleiter besitzen standardmäßig einen SMA 905 Anschluss und können somit an alle gängigen optischen Bauteile angeschlossen werden.



Mehr Präzision.

Micro-Epsilon gilt als weltweit führend in der Weg-, Positions- und Dimensionsmesstechnik.

Interessierten Studentinnen und Studenten (Elektrotechnik / Maschinenbau / Informatik) bieten wir die Möglichkeit für Praktika, Diplom-, Bachelor- und Masterarbeiten sowie zum Berufseinstieg.

MICRO-EPSILON Messtechnik
Königbacher Str. 15 | 94496 Ortenburg
Tel. 08542/168-0 | www.micro-epsilon.de/jobs




INTERNATIONAL AKTIV, REGIONAL VERBUNDEN

In mehr als 120 Jahren hat sich die **SCHERDEL**Gruppe zu einem der führenden Anbieter im Bereich der Metallumformung entwickelt. Weltweit sind wir mit über 4300 Mitarbeitern an 29 Standorten präsent. Wir liefern Premiumprodukte, unter anderem für den Automobilbereich, die Medizintechnik und den Elektronikbereich. Der Mensch steht bei uns im Mittelpunkt des unternehmerischen Handelns. **SCHERDEL** ist geprägt durch flache Hierarchiestrukturen und eine familiäre Atmosphäre. Trotzdem – oder gerade deshalb – gehören wir zu den Hidden Champions der Branche.

www.scherdel.de




VISIONEN UMSETZEN ...
... INNOVATIONEN SCHAFFEN

Mit unseren Produktentwicklungen gestalten wir die Zukunft.



smart solutions



Haustechnik



Hausgeräte



Umwelttechnik

emz-Hanauer GmbH & Co. KGaA
Siemensstraße 1 | D-92507 Nabburg
Telefon: +49 9433 898-0 | Fax: -188
info@emz-hanauer.com
www.emz-hanauer.com



emz - THE SMILING COMPANY

ERGEBNISSE

Zusammen mit unserem Industriepartner Micro-Epsilon wurden der hergestellte Mikromischer und die Messzelle in einen Prototypaufbau integriert (Abbildung 1 (C)). Dabei konnten Fe^{3+} -Kontaminationen mit einer verwendeten Kanallänge von 1,4 m bereits bis zu einer Konzentration von 1 ppb sicher nachgewiesen werden (Abbildung 2 (A)). Der erreichte Regressionswert (Abbildung 2 (B)) beträgt dabei $R^2 = 0,9989$ und zeigt die hohe Genauigkeit der Messmethode auf.

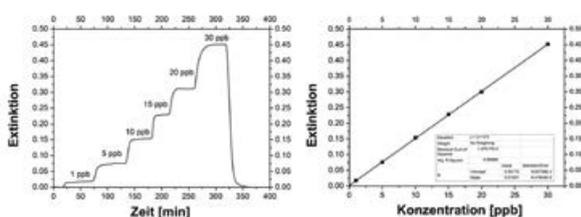


Abb. 2: Messung verschiedener Eisen-Konzentrationen (links) mit der dazugehörigen Regressionsgeraden (rechts), aufgenommen mit einer Messkanalstrecke von 1,4 m Länge

Grafik: Kompetenzzentrum Nanochem

Mit einer Kanallänge von 2,8 m konnten diese Ergebnisse mit einem Regressionswert von $R^2 = 0,99994$ bereits übertroffen werden. Die als Vergleichsmessung konventionelle Methode der Atomabsorptionsspektroskopie (AAS) konnte diesen Wert nicht erreichen. Ein weiterer bedeutender Vorteil unseres Systems liegt im großen dynamischen Messbereich, der einen linearen Verlauf von 1-150 ppb aufweist. Im Vergleich zur AAS, welche einen Linearitätsbereich von z. B. 1-20 ppb bietet, ist dies ein bedeutender Faktor, da notwendige fehlerbehaftete Verdünnungsschritte vermieden werden.

Um die Messauflösung noch weiter zu erhöhen, kann zum einen die Wegstrecke weiter maximiert werden, oder zum anderen lassen sich durch speziell für das Ion entwickelte Komplexbildner größere molare Extinktionskoeffizienten erreichen. Dadurch ist die Detektion von metallischen Kontaminationen bis in den tieferen sub-ppb-Bereich durchführbar.

DANKSAGUNG

Das Kompetenzzentrum Nanochem bedankt sich bei dem Industriepartner Micro-Epsilon für die hervorragende Zusammenarbeit sowie bei der Universität Kiel für die Betreuung zweier im Projekt durchgeführter Promotionen. Dank gilt auch dem Projektförderer VDI/VDE-IT für die Unterstützung im Rahmen des Förderprogramms MST-Bayern (BAY147/001), ohne die dieses Projekt nicht möglich gewesen wäre.

Während des dreijährigen Forschungsprojekts konnte ein seriennaher Prototyp entwickelt werden, der Echtzeitanalysen von wässrigen Lösungen bis in den sub-ppb-Bereich ermöglicht. Ziel der aktuellen Entwicklung ist, das Spektrum an bereits detektierbaren Ionen (Aluminium, Eisen und Kupfer) zu erweitern. Darüber hinaus stellt die Adaption des Messverfahrens in aggressiven Lösungen, wie z. B. den sauren und basischen Reinigungsbecken (SC-1, SC-2) der Halbleiter- und Solarindustrie, einen Kernbestandteil dar. Auch die Anwendungsbereiche der Biotechnologie und Pharmazie sollen zukünftig miteinbezogen werden. Hierbei können die Kanäle z. B. durch Funktionalisierung der Kanalwand für die speziellen Nachweisuntersuchungen modifiziert und somit hochspezifische, sensitive Messungen in Echtzeit durchgeführt werden. Durch die flexible Anpassung der Messstrecke können auch Kontaminationen in höheren Bereichen untersucht werden. Ein bedeutendes Anwendungsgebiet stellt hierbei die Echtzeitüberwachung von Galvanikbädern dar.

Literatur

- 1 M. Bauhuber, A. Mikrievskij, A. Lechner: Isotropic wet chemical etching of deep channels with optical quality in silicon with HNA based etching solutions, *Material Science in Semiconductor Processing*, Vol. 16, pp. 1428-1433, 2013.
- 2 A. Hutterer, M. Bauhuber, H. Hummel, A. Lechner: Real-time analyses of metal contaminations in the ppb-range; *Solid State Phenomena* Vol. 195 (2013), pp 269-273; Trans Tech Publications, Switzerland, 2013.
- 3 DuPont. Teflon AF Amorphous Fluoropolymers Properties of Amorphous Fluoropolymers Based on 2,2 Bistrifluoromethyl-4,5-Difluoro-1,3 Dioxole, Honolulu, 1993.

Projektleitung

Prof. Dr. Alfred Lechner +49 941 943-1271
Kompetenzzentrum Nanochem
alfred.lechner@oth-regensburg.de

Projektmitarbeiter

Albert Hutterer, Michael Bauhuber, Andreas Mikrievskij,
Monika Argauer

Kooperationspartner

Micro-Epsilon Messtechnik GmbH & Co. KG, Orthenburg

Gefördert durch

VDI/VDE-IT, Förderprogramm MST-Bayern

Fördersumme

ca. 350.000 €

Projektlaufzeit

36 Monate

Weitere Informationen

www.nanochem.eu

DIE MESSUNG DER SERVICEQUALITÄT IN DER LOGISTIK

In den hart umkämpften Teilmärkten der Logistik ist die Servicequalität ein wichtiger Erfolgsfaktor, um sich im Falle einer intern erbrachten Logistikleistung einen Wettbewerbsvorteil zu verschaffen oder im Falle eines Logistikdienstleisters von Wettbewerbern abzuheben. Der Beitrag beleuchtet die Messung der Servicequalität von Logistik-Dienstleistungen und stellt die Ergebnisse zweier Studien zur Untersuchung der Servicequalität von Logistikdienstleistern im Segment Stückgutlogistik bzw. KEP-Dienste vor, die der Autor in Zusammenarbeit mit dem Deutschen Institut für Servicequalität konzipiert bzw. durchgeführt hat.

Die Studie „Die Top 100 der Logistik“ identifiziert in Deutschland 13 verschiedene Teilmärkte in der Logistik, die sich teilweise sehr stark in der Art der zu erbringenden Logistik-Dienstleistung unterscheiden. Wichtige Teilmärkte sind Industrielle Kontraktlogistik, landgebundene Ganzladungsverkehre, Konsumgüterdistribution, Stückgutverkehre oder Kurier-, Express- und Paket-Dienste (KEP) (vgl. Kille/Schwemmer (2012), S. 53).

Ebenso wie die Vielfalt von Dienstleistungsarten hat sich eine Vielzahl von Definitionsansätzen von Servicequalität herausgebildet. Die Ansätze stellen mit Potenzial-, Prozess- und Ergebnisqualität im Wesentlichen auf drei Dimensionen von Dienstleistungen ab, die in den Ansätzen unterschiedlich stark berücksichtigt werden. Im Rahmen des bekanntesten Ansatzes, des SERVQUAL-Ansatzes, wurde eine standardisierte Skala zur Messung der Service-Qualität und der daraus folgenden Kundenzufriedenheit entwickelt. Der Ansatz definiert mit dem materiellen Umfeld, der Zuverlässigkeit, der Reaktionsfähigkeit, der Leistungskompetenz sowie dem Einfühlungsvermögen fünf Hauptdimensionen.

Zur Erhebung bzw. Messung der Servicequalität existieren je nach Zielsetzung unterschiedliche Verfahren. Unternehmensorientierte Verfahren eignen sich für die betriebswirtschaftliche Ergebniskontrolle bzw. sind auf den Prozess der Dienstleistungserstellung gerichtet. Liegt das Ziel in der optimalen Erfüllung der kundenseitigen Erwartungshaltung, sind die Qualitätsanforderungen sowie deren Erfüllung auf kundenorientierter Basis zu evaluieren.

Zwei Studien-Beispiele zeigen, wie die Messung der Servicequalität einer Logistikdienstleistung erfolgen kann.

Der Teilmarkt Stückgutverkehr ist – obwohl er mit 8 % des Gesamtmarktes ein relativ kleines Segment darstellt – einer

der traditionellen Kernmärkte der Logistik und zudem für ein Industrieland wie Deutschland ein wichtiger Teil einer modernen Infrastruktur. Er weist mit insgesamt über 80 % einen hohen Outsourcing-Anteil auf, und die Servicequalität der Anbieter ist aufgrund der sehr standardisierten Prozesse in diesem reifen Marktsegment (z. B. im Vergleich zu hochspezialisierter Kontraktlogistik) gut vergleichbar.

Zur Ermittlung relevanter Bewertungskriterien wurde mit der sequenziellen Ereignismethode ein generischer Dienstleistungsprozess modelliert, wobei sowohl der interne Prozess der Dienstleistungserstellung als auch die für den Kunden sichtbaren Aspekte der Dienstleistung abgebildet werden. Dieses Modell wurde durch Expertengespräche validiert und ergänzt. So wurden mit Angebot/Leistung, Kundenorientierung, Beratung, Konditionen, Kompetenz, Weiterempfehlungsbereitschaft und Wiederwahlabsicht sieben Hauptkriterien zur Beurteilung der Dienstleistungsqualität zusammengestellt. Die Erhebung erfolgte anhand einer Kundenbefragung.

Die Ergebnisse zeigen ein homogenes Bild der untersuchten Logistikanbieter: Sechs der untersuchten Dienstleister erreichten das Qualitätsurteil „gut“ – nur ein Unternehmen erhielt ein befriedigendes Urteil.

Die höchste Gesamtpunktzahl erreichte System Alliance und erreichte als einziger Dienstleister in der wichtigen Kategorie Leistung eine sehr gute Beurteilung. Dabei honorierten die befragten Logistikentscheider besonders die hohe Termintreue, die schadensfreien Lieferungen und die zuverlässigen Track&Trace-Möglichkeiten.

Zweiter wurde Cargo-Line mit einer Gesamtpunktzahl, die nur sehr knapp unter dem des Erstplatzierten System Alliance lag. Dieser Anbieter erzielte die besten Ergebnisse in den Kategorien Kundenorientierung und Konditionen. Dabei wa-

	Gesamturteil		
	Punkte*	Rang	Qualitätsurteil
System Alliance	77,8	1	gut
Cargo-Line	77,8	2	
Dachser	76,5	3	
IDS Logistik	76,3	4	
Deutsche Post DHL	75,8	5	
DB Mobility Logistics	72,7	6	
24 Plus Systemverkehre	69,5	7	befriedigend

100,0 – 80,0 Punkte = sehr gut
79,9 – 70,0 Punkte = gut
69,9 – 60,0 Punkte = befriedigend
59,9 – 40,0 Punkte = ausreichend
39,9 – 0,0 Punkte = mangelhaft

Grafik: Thomas Liebetruth

Abb. 1: Ergebnisse Kundenbefragung Stückgutverkehr 2013

	Ergebnis Serviceanalyse		
	Punkte*	Rang	Qualitätsurteil
Cargo International	81,1	1	sehr gut
UPS	79,9	2	gut
DHL	75,7	3	
Paket.ag	74,7	4	
GLS	71,4	5	
DPD	67,3	6	befriedigend
Hermes	65,0	7	
Der Courier	64,2	8	

100,0 – 80,0 Punkte = sehr gut
79,9 – 70,0 Punkte = gut
69,9 – 60,0 Punkte = befriedigend
59,9 – 40,0 Punkte = ausreichend
39,9 – 0,0 Punkte = mangelhaft

Grafik: Thomas Liebetruh

Abb. 2: Ergebnisse Mystery-Test Paket-Dienste 2013

ren die befragten Kunden besonders von der hohen Erreichbarkeit, der Flexibilität der Mitarbeiter und dem guten Preis-Leistungs-Verhältnis beeindruckt und honorierten dies mit der höchsten Weiterempfehlungs- und Wiederwahlwahrscheinlichkeit.

Den dritten Platz sicherte sich Dachser und konnte die beste Platzierung in der Kategorie Kompetenz erzielen. Die befragten Logistik-Entscheider waren auch von dem Auftreten der Mitarbeiter, der kurzen Bearbeitungsdauer und dem umfassenden Angebot angetan.

Das zweite Beispiel betrachtet die Servicequalität von Paketdienstleistern. Das dafür relevante Marktsegment KEP-Dienste umfasst ca. 7 % des gesamten Logistikmarktes und spielt ebenso wie das Segment Stückgutverkehr eine wichtige Rolle für die Infrastruktur Deutschlands.

Bei der Konzeption der Studie wurde für die Erhebung das Verfahren der Mystery-Tests eingesetzt – also die systematische und kontrollierte verdeckte Beobachtung. Dabei untersuchten Testpersonen unter Angabe eines fiktiven Namens die Servicequalität für verschiedene Kanäle auf Basis von standardisierten Kriterien. Die Bewertungskategorien orientierten sich an den Dimensionen des SERVQUAL-Ansatzes und wurden für die untersuchten Kanäle angepasst.

Die Serviceanalyse basierte auf den wesentlichen Kontaktpunkten der Verbraucher mit dem Unternehmen, nämlich in den Annahmestellen und Paketshops vor Ort (Versandtests), per Telefon, im Internet und per E-Mail. Die Kriterien für den Versandtest orientierten sich am Versandprozess und umfassten die Paketaufgabe, die Paketannahme, die Versandqualität sowie die Versandoptionen. Bei der Analyse der Telefon- und E-Mail-Servicequalität wurde auf die Merkmale Aktivitätsgrad, Kompetenz und Kommunikationsqualität abgestellt. Die Analyse des Internetauftritts erfolgte anhand einer Inhaltsanalyse sowie einer Nutzerbetrachtung.

Das Ergebnis der Serviceanalyse fiel insgesamt gut aus. Ein Unternehmen erreichte ein sehr gutes Resultat. Vier Paketdienste schnitten gut ab und drei weitere befriedigend.

Cargo International erzielte das beste Ergebnis in der Serviceanalyse. Vor allem die Versandqualität überzeugte. Der Anbieter hatte mit die kürzeste Versanddauer im Test von durchschnittlich einem Tag. Neun von zehn Paketen kamen ohne Beschädigung oder Verschmutzung am Zielort an. Die E-Mail-Antworten des Unternehmens zeigten insgesamt die höchste Kompetenz, waren vollständig und ohne Rechtschreibfehler.

Den zweiten Rang erreichte UPS. Besonders positiv fiel hier das beste Abschneiden beim Versandtest ins Gewicht. Sämtliche Bestellungen wurden abgeholt und zugestellt. Die durchschnittliche Versanddauer von gut einem Tag gehörte mit zu den kürzesten im Test. Die Mitarbeiter gingen bei der Paketannahme mit den Paketen sehr sorgfältig um und bewiesen im Kundenkontakt ein kommunikationsstarkes Auftreten.

Rang drei nahm DHL ein. Das Unternehmen zeigte beim Versandtest eine gute Leistung. In Bezug auf die Paketannahme erreichte der Anbieter mit professionell auftretenden Mitarbeitern ein sehr gutes Resultat. Bei den Versandoptionen fiel vor allem die große Anzahl an Packstationen positiv ins Gewicht.

Literatur

Kille, Christian; Schwemmer, Martin: Die Top 100 der Logistik – Marktgrößen, Marktsegmente und Marktführer in der Logistikdienstleistungswirtschaft, Ausgabe 2012/13; Hamburg: DVV Media Group (2012).

Deutsches Institut für Service-Qualität: Dokumentation: Studie Paketdienste 2013 im Auftrag des Nachrichtensenders n-tv, Hamburg (2013).

Deutsches Institut für Service-Qualität: Dokumentation inkl. Detailergebnisse Kundenbefragung: Stückgutlogistik-Dienstleister im Auftrag von ‚Markt und Mittelstand‘, Hamburg (2013).

Projektleitung

Prof. Dr. Thomas Liebetruh

+49 941 943-9779

Fakultät Betriebswirtschaft

thomas.liebetruh@oth-regensburg.de

Kooperationspartner

Deutsches Institut für Service-Qualität

SOFTWARE ENGINEERING AKTIVIERT LERNEN – ERFAHRUNGEN MIT „SHIFT FROM TEACHING TO LEARNING“

58

Laboratory for Safe and Secure Systems (LaS³), OTH Regensburg:
Michael Schumm, Saskia Joseph, Michael Reschke,
Alexander Soska, Irmgard Schroll-Decker, Jürgen Mottok

Software Engineering beschäftigt sich mit der systematischen und disziplinierten Entwicklung von Software. Als sehr volatiles Fach mit einem hohen Anteil an sich ändernden Technologien und Methoden bietet sich diese Fachdisziplin sehr gut an – sowohl im Hochschulkontext als auch in der beruflichen Praxis –, über geeignete Strategien der Fort- und Weiterbildung und des Lernens selbst nachzudenken. Dieser Beitrag beschreibt die Erfahrungen der Autoren mit ausgewählten Methoden zum aktivierenden und forschenden Lernen.

Mit der Umsetzung des Bologna-Prozesses und der Einführung von Bachelor- und Masterstudiengängen an den Hochschulen wurde studentisches Lernen neu thematisiert. „The Shift from Teaching to Learning“ beinhaltet einen Perspektivwechsel der akademischen Lehre hin zu einer Lerner- und Lernprozesszentrierung [Schneider, 2009]. Neben den Lerninhalten gewinnt die Diskussion über die von den Studenten zu erwerbenden Kompetenzen – als Lernergebnisse – seit langem an Bedeutung. Die Gewichte der Diskussion verschieben sich vom Lehraufwand hin zum Lernaufwand und Lernprozess. Die Rolle des Lehrenden verändert sich damit: Er wird zum Unterstützer der Lernenden, seine Lehrkompetenz realisiert sich in dem Motto „Lehren zum Lernen“.

Subjektorientierte und konstruktivistische Theorieansätze bilden die Erklärungsfolie zur Aneignung von Wissen, zum Lernen und Lehren [Mottok, 2009]. Kernaussage ist, dass jeder Mensch durch die Interaktion mit seiner Umgebung seine eigene persönliche Wirklichkeit erschafft. Diese unterscheidet sich von der Wirklichkeit anderer Menschen. Lernen wird als die Konstruktion von Bedeutung und damit als das dynamische Weiterentwickeln der persönlichen Wirklichkeit gesehen.

SOFTWARE ENGINEERING FÜR MECHATRONIKER

Im Curriculum des Bachelorstudiengangs Mechatronik der Ostbayerischen Technischen Hochschule Regensburg wird im vierten Semester die Vorlesung Software Engineering im Umfang von 2 SWS/3 ECTS und im fünften Semester das Praktikum/Seminar Software Engineering als Blockveranstaltung im Umfang von 4 SWS/5 ECTS angeboten. Alle Studierenden haben als Vorkenntnisse die Programmiersprachen C und C++ (10 SWS V+Ü) sowie Mikrokontrollertechnik (6 SWS V+Ü). Sie haben dagegen keine Erfahrung bezüglich der über die Programmierung hinausgehenden Schritte bei der Software-Entwicklung. Wie an der großen Zahl von Praktika und Projekten zu erkennen ist, wird deren zentrale Rolle in der Lehre von Software Engineering Rechnung getragen.

Die Vorlesung Software Engineering bereitet auf eine schriftliche Prüfung vor. Dagegen wird die Blockveranstaltung Praktikum/Seminar Software Engineering mit einem studienbegleitenden Leistungsnachweis abgeschlossen.

FACHWISSENSCHAFTLICHE LERNZIELE UND AUFGABENSTELLUNG

Ein wesentlicher Bestandteil des Praktikums/des Seminars Software Engineering ist ein Planspiel, welches eine Projektaufgabe mit dem Embedded Roboter System LEGO® Mindstorms® NXT 2.0 beinhaltet. In dieser sollen ein Labyrinth-Algorithmus sowie eine Fernsteuerung- und Fernüberwachung des NXT-Roboters über einen Server-PC und zusätzlich über Web-Clients, also Browserapplikationen, erstellt werden. Bibliotheken und einfache Beispiele liegen den Lernenden in der Lernplattform moodle bereits vor. Dies entspricht einer realen Projektsituation, in der betriebsbewährte Softwarelösungen verstanden und anteilig wiederverwendet werden sollen.

AUFBAU DER LEHRVERANSTALTUNG

Die Blockveranstaltung Praktikum/Seminar Software Engineering findet an fünf Tagen statt. Während an den ersten beiden Tagen Fachthemen erarbeitet und vermittelt werden, werden an den restlichen drei Tagen in einem als Projektarbeit ausgelegten Planspiel die Kenntnisse und Fertigkeiten in den Fachthemen vertieft und angewendet.

Bereits zwei Monate vor der Blockveranstaltung findet eine Vorbesprechung mit den Studierenden statt. Hier werden sowohl die Seminarvortragsthemen als auch die Posteraufgabe für Open Space vergeben. Den Studierenden werden Literaturhinweise zur Bearbeitung der Aufgaben in der Lernplattform moodle zur Verfügung gestellt.

Die Semestergruppe wird während des Planspiels in mehrere Projektgruppen mit jeweils ca. 10-20 Teilnehmern aufgeteilt. Während der Blockveranstaltung Praktikum/Seminar Software Engineering stehen Seminar- und Rechnerräume für die einzelnen Planspielgruppen zur Verfügung. An der Blockveranstaltung haben bereits Semestergruppen mit 20 bis 60 Studierenden teilgenommen.

METHODENBAUKASTEN IN DER LEHRVERANSTALTUNG

Der ermöglichtsdidaktische Ansatz spricht sich dagegen aus, dass Wissen von einem Lehrer an Lernende übertragen werden

kann. Dagegen setzt er auf die Schaffung optimaler Bedingungen für Lernende [Mottok, 2009] der Art, dass sie sich Wissen selbstgesteuert aneignen können. Dazu ist ein anregend gestaltetes Umfeld vonnöten, in dem Lernende durch neugieriges Erforschen, Ausprobieren und Untersuchen, entweder alleine oder in Gruppen, Wissen, Fertigkeiten und Kompetenzen „erschaffen“. Die Ausgestaltung eines Lernarrangements für Software Engineering mit Elementen aus dem konstruktivistischen Methodenbaukasten [Reich, 2012 und Macke, 2012] und der aktivierenden Lehre reduziert den Anteil an Frontalunterricht.

Seit dem WS 2009/2010 sind im Praktikum/Seminar Software Engineering die Elemente einer konstruktivistischen Didaktik eingesetzt worden. Dabei ist festzuhalten, dass die große Anzahl an Einträgen in der Tabelle durch die Tatsache entstanden ist, dass im Laufe der Zeit verschiedene Methoden verwendet wurden. Die jeweilige Auswahl der eingesetzten Methoden ist an Rahmenbedingungen (wie z. B. die Teilnehmerzahl) gebunden.

Die Komplexität des Fachgebietes Software Engineering besteht einerseits in der Fülle des theoretischen Lehrstoffes, andererseits in der praktischen Ausgestaltung des Planspiels, das problemlösendes Handeln in sozialer Interaktion erfordert. Der praktische Teil soll damit auch zur Reifung der Team- und Sozialkompetenz der Lernenden beitragen. Dies wird im Pair-Teaching personalisiert durch die Rollen der Lehrenden als Fachwissenschaftler/Professor und als Trainer/Pädagoge.

ERFAHRUNGEN MIT AKTIVIERENDER LEHRE

Die Studierenden werden in exemplarischem und forschendem Lernen mittels aktivierender Methoden beteiligt und in ein Projekt des Software Engineering mit einem Planspiel involviert. Dabei wurden Erfahrungen gesammelt und evaluiert:

- Die Lernthemen können von den Studierenden mitbestimmt werden (z. B. Themenauswahl von Seminarvortrag und Poster, Rolle im Projekt).
- Die Lerninhalte sind mit dem Anwendungsfall der Projektarbeit fassbar reduziert.
- Die angebotenen Lerninhalte können selbsttätig erschlossen werden.
- Handlungsbezogene Problemstellungen der Projektarbeit sind explizit Thema in der Blockveranstaltung.
- Gruppen-Puzzle und Open Space benötigen eine intensive Begleitung durch den Lehrenden (Literatur bereitstellen, Hilfestellung geben).
- Mit Verlassen des 90-Minuten-Rhythmus entstehen Raum, Zeit und Gelassenheit zum Lernen.

ZUSAMMENFASSUNG UND AUSBLICK

Der Einsatz aktivierender Methoden im Fach Software Engineering verbessert das Lernen: Die Lernenden steuern ihren Lernprozess selbst. Sie finden dabei ihren Weg, um möglichst effektiv ihr Wissen zu erweitern. Ein Lernen der Studierenden, das auf Eigeninitiative beruht, unter Beteiligung mehrerer Ebenen – Gefühl, Intellekt, Tun –, ist das eindringlichste und hat einen nachhaltigen Lerneffekt zur Folge.

Ausführlicher Artikel unter:

http://www.qualitaetspakt-lehre.de/_media/2013-11-28_HDMINT_2013_Tagungsband_inkl.ISSN.pdf

Literatur

Macke, G., Hanke, U., Viehmann, P. (2012): Hochschuldidaktik, Lehren, vortragen, prüfen, beraten, 2. Auflage, Beltz Verlag, Weinheim.

Mottok, J., Hagel, G., Utesch, M., Waldherr, F. (2009): Konstruktivistische Didaktik – ein Rezept für eine bessere Software Engineering Ausbildung?, Embedded Software Engineering Kongress, Sindelfingen.

Reich, K. (2012): Konstruktivistische Didaktik – Lehr- und Studienbuch mit Methodenpool, 5. Auflage, Beltz Verlag, Url: <http://methodenpool.uni-koeln.de>

Projektleitung

Prof. Dr. Jürgen Mottok

Laboratory for Safe and Secure Systems (LaS³)

Prof. Dr. Irmgard Schroll-Decker

Laboratory for Safe and Secure Systems (LaS³)

Projektmitarbeiter

Michael Schumm, Saskia Joseph, Michael Reschke, Alexander Soska

Kooperationspartner

Hochschule Aschaffenburg, Hochschule Coburg, Hochschule Kempten, Hochschule Landshut, Hochschule Neu-Ulm

Projekt

EVELIN – Experimentelle Verbesserung des Lernens von Software Engineering

Förderantrag zur Verwaltungsvereinbarung zwischen Bund und Ländern über ein gemeinsames Programm für bessere Studienbedingungen und mehr Qualität in der Lehre

Geldgeber

BMBF – Bundesministerium für Bildung und Forschung

Fördersumme Regensburg

1,8 Mio. €

Projektlaufzeit

60 Monate

Projekthomepage

www.las3.de

MUSKULOSKELETTALE SIMULATION ZUR UNTERSUCHUNG DES EINFLUSSES GEOMETRISCHER PARAMETER DER WIRBELKÖRPER AUF DIE BELASTUNG DER LENDENWIRBELSÄULE

Michael Putzer, OTH Regensburg
John Rasmussen, Aalborg University
Ingo Ehrlich, OTH Regensburg

Norbert Gebbeken, Universität der Bundeswehr München
Sebastian Dendorfer, OTH Regensburg

60

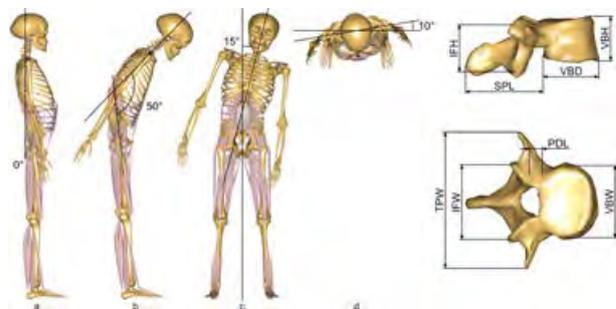
Zur Simulation von patientenspezifischen Belastungen in der Lendenwirbelsäule werden muskuloskelettale Modelle mit patientenspezifischer Geometrie verwendet. Diese Daten besitzen allerdings eine inhärente Ungenauigkeit. Diese Studie untersuchte den Einfluss definierter geometrischer Parameter auf die Lasten in der Lendenwirbelsäule anhand eines parametrisierten muskuloskelettalen Modells in vier verschiedenen Körperhaltungen: aufrecht stehend, vorgebeugt, zur Seite gedreht und zur Seite geneigt. Variiert wurden die Abmessungen des Wirbelkörpers, des Wirbelbogens und der Dornfortsätze sowie die Orientierung der Facettengelenke und die Krümmung der Lendenwirbelsäule. Anschließend wurden die Parameter mit den größten Einflüssen in weiteren Simulationen kombiniert. Die Änderung der Last zwischen L4 und L5 wurde als Ziel der Untersuchung festgelegt. Die größten Lastunterschiede ergaben sich durch die Änderung der Wirbelkörperhöhe, der Bandscheibenhöhe, der Wirbelkörpertiefe und der Krümmung der Lendenwirbelsäule.

Das Wissen über die Belastungen in der Lendenwirbelsäule (LWS) ist wichtig, damit die Entstehung von Schmerzen und Degenerationen nachvollzogen und eine optimale Behandlung geplant werden kann. Zur Generierung dieses Wissens werden derzeit überwiegend zwei verschiedene Ansätze verfolgt. Zum einen gibt es Finite Elemente (FE) Untersuchungen, welche sich auf isolierte Bereiche der Wirbelsäule konzentrieren,¹ dabei aber sehr detaillierte Materialmodelle berücksichtigen, und zum anderen werden Simulationen mithilfe von muskuloskelettalen Modellen (MM) durchgeführt, welche die Problemstellung aus einer anatomisch integralen Sicht mittels starrer Körper, Muskeln und passiver Elemente, wie den Bändern betrachten. Im Rahmen dieser Studie wurden in Simulationen mit MM mehrere definierte Parameter der Lendenwirbel und der LWS variiert, um deren Einfluss auf die Belastung der LWS zu ermitteln.

MATERIAL UND METHODEN

Ausgangspunkt war ein MM, welches dem Simulationsprogramm (AnyBody Modeling System™ (AMS), AnyBody™ Technology, Aalborg, Dänemark) beiliegt. Dieses wurde mithilfe von computertomografischen (CT) Aufnahmen und dem Segmentierungsverfahren im Bereich der LWS probandenspezifisch angepasst und die Extremitäten wurden hinzugefügt. Die Berechnung der Kräfte zwischen den Facettengelenken erfolgte mittels einer Kontaktfunktion des AMS, welche die tatsächlich vorhandene Oberfläche berücksichtigt. Eine weitere Modifikation umfasste die Positionierung der Rotationszentren nach Literaturangaben. Das finale Modell beinhaltete 27 Knochen, 287 Muskeln sowie 60 Bänder und wurde mittels Daten aus einem Experiment validiert.²

Die in Abbildung 1 dargestellten Ganzkörpermodelle zeigen die vier untersuchten Körperhaltungen und zwei Ansichten eines Wirbels mit einer Auswahl der verwendeten Parameter. Nicht abgebildete Variablen sind die Bandscheibenhöhe (DiH), die Krümmung der LWS (ABV) bzw. die Orientierung der Facettengelenke (CAX, CAY). Auf Grundlage von publi-



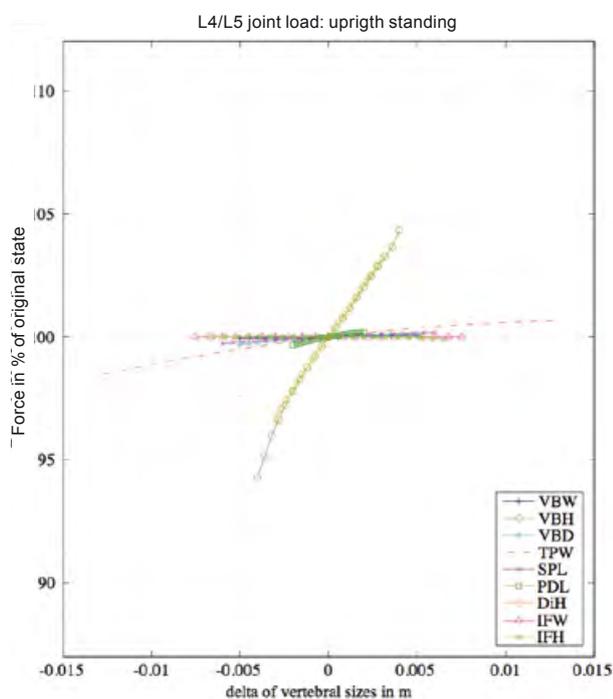
Quelle: Labor für Biomechanik

Abb. 1: Die Ganzkörpermodelle zeigen die vier untersuchten Körperhaltungen: v.l.n.r. aufrecht stehend, Flexion, Seitneigung und Torsion. Rechts sind zwei Ansichten eines Wirbelkörpers abgebildet und mit einer Auswahl der untersuchten Parameter versehen.

zierten anatomischen Studien wurden die Intervallgrenzen der Variablen festgelegt, wobei diese innerhalb einer Simulationsreihe sieben verschiedene Datenpunkte beinhalteten. Die Änderung der jeweiligen Abmessung wirkte sich durchgehend auf alle fünf Lendenwirbel simultan aus. Anschließend folgten noch Simulationen mit allen möglichen Paarkombinationen der Parameter Wirbelkörperhöhe und -tiefe sowie der Bandscheibenhöhe. Die Belastung der Lendenwirbelsäule wurde anhand des Kraftvektors zwischen den Wirbeln L4 und L5 ermittelt.

ERGEBNISSE

Die Simulationen zu den linearen Abmessungen der Wirbel ähnelten sich in allen vier Körperhaltungen stark, daher stehen die in Abbildung 2 dargestellten Ergebnisse für die aufrecht stehende Körperhaltung exemplarisch für alle Haltungen. Der Großteil der betrachteten Parameter schlug sich in einer äußerst geringen bis gar keiner Änderung der Last nieder. Im abgebildeten Fall zeigten einzig die Wirbelkörperhöhe (VBH) und Bandscheibenhöhe (DiH) eine größere Differenz zwischen ihren kleinsten und größten Abmessungen. Zusätzlich hierzu führten Simulationen mit vorgebeugten und zur Seite geneigten Körperhaltungen bei der Wirbelkörpertiefe (VBD) zu höheren



Quelle: Labor für Biomechanik

Abb. 2: Dargestellt sind die Ergebnisse der Simulationen für eine aufrecht stehende Körperhaltung. Es zeigte sich lediglich für die Wirbelkörperhöhe (VBH) und Bandscheibenhöhe (DIH) eine Änderung der Belastung größer als 3 %.

Änderungen der Last. Demgegenüber stand die Variation der Orientierung der Facettengelenke, welche den Zielparameter gar nicht beeinflussten. Anders verhielt es sich bei unterschiedlichen Krümmungen der Wirbelsäule, denn diese zeigten in aufrecht stehender Haltung und unter Flexion sowie Seitneigung einen sichtbaren Einfluss. Die zuletzt untersuchten Kombinationen führten je nach Auswirkung der einzelnen Parameter zu entsprechenden Ergebnissen.

DISKUSSION

Die numerischen Simulationen mit einem Parameter resultierten über alle vier Körperhaltungen hinweg in höheren Einflüssen auf die Belastung für die Wirbelkörper- bzw. die Bandscheibenhöhe und bestätigten damit die Aussagen bereits publizierter Versuche.^{1, 3} Neben diesen beiden Variablen hatte auch die Wirbelkörpertiefe eine merkbare Auswirkung, insbesondere unter Flexion und Seitneigung. All diese genannten Charakteristiken können mit der Änderung der Momente erklärt werden, welche sich aus dem Körpergewicht, den Muskel- bzw. Bandkräften und dessen Hebelarmen zum untersuchten Punkt zwischen L4 und L5 zusammensetzen. In diesen Versuchen wurden lediglich die Geometrie und damit einhergehend

die Hebelarme der angreifenden Kräfte verändert. Die großen Änderungen, welche aus den Höhenvariationen resultierten, wirkten sich derart stark aus, da diese den Hebelarm der größten Masse, die des Oberkörpers, verlängerten. Demgegenüber stand die gleichbleibende Belastung bei verschiedenen Orientierungen der Facettengelenke. Hier zeigte sich, dass in den simulierten Körperhaltungen kein Kontakt zwischen den Oberflächen bestand und für die kombinierten Simulationen ließ sich festhalten, dass diese eine Summierung der Ergebnisse aus den Einzeluntersuchungen darstellen. Obwohl das Modell eine gute Übereinstimmung mit den Experimenten zur Validierung² zeigte, sollten weitere Untersuchungen diesbezüglich erfolgen. Weiterhin handelt es sich in dieser Studie um Ergebnisse von lediglich einem Probanden und es fehlte eine Implementierung der Facettenkapsel.

FAZIT

Die Resultate dieser Studie deuten darauf hin, dass zur Generierung eines probandenspezifischen muskuloskelettalen Modells, neben den allgemeinen Probandendaten, die Höheninformationen der Wirbelkörper und Bandscheiben sowie die Krümmung der LWS ausreichen. Diese Angaben können leicht aus Röntgenaufnahmen gewonnen werden.

Literatur

- 1 Niemeyer, F., Wilke, H.-J., Schmidt, H.: Geometry strongly influences the response of numerical models of the lumbar spine – A probabilistic finite element analysis. *J. Biomech.* 45, 1414-1423 (2012).
- 2 Wilke, H., Neef, P., Hinz, B., Seidel, H., Claes, L.: Intradiscal pressure together with anthropometric data – A data set for the validation of models. *Clin. Biomech (Bristol, Avon)* 16 Suppl 1, 111-126 (2001).
- 3 Han, K.-S., Rohmann, A., Zander, T., Taylor, W. R.: Lumbar spinal loads vary with body height and weight. *Med. Eng. Phys.* 35, 969-977 (2012).

Projektleitung

Prof. Dr.-Ing. Sebastian Dendorfer +49 941 943-5171
 Regensburg Center of Biomedical Engineering, Labor für Biomechanik
 sebastian.dendorfer@oth-regensburg.de

Projektmitarbeiter

Michael Putzer, M. Sc.

Kooperationspartner

- Labor Faserverbundtechnik, Prof. Dr.-Ing. Ingo Ehrlich
- Aalborg University, Department of Mechanical and Manufacturing Engineering, Prof. John Rasmussen
- Universität der Bundeswehr München, Institut für Mechanik und Statik, Univ.-Prof. Dr.-Ing. habil. Norbert Gebbeken

MODELLIERUNG DER FRÜHEN POSTOPERATIVEN HÜFTBIOMECHANIK NACH IMPLANTIERUNG EINER HÜFTENDOPROTHESE UNTER BERÜCKSICHTIGUNG VON VERSCHIEDENEN OPERATIONSZUGÄNGEN – MINIMAL-INVASIVE VS. KONVENTIONELLE OPERATIONSZUGÄNGE

Tim Weber, OTH Regensburg, Fakultät Maschinenbau, Labor für Biomechanik und Universitätsklinikum Regensburg, Lehrstuhl für Orthopädie, Deutschland

Amir A. Al-Munajjed, AnyBody Technologies A/S, Aalborg, Dänemark

Gijsbertus J. Verkerke, University of Groningen, University Medical Center Groningen, Center for Rehabilitation, Groningen, Niederlande und University of Twente, Department of Biomechanical Engineering, Enschede, Niederlande

Tobias Renkawitz, Universitätsklinikum Regensburg, Lehrstuhl für Orthopädie, Deutschland

Sebastian Dendorfer, OTH Regensburg, Fakultät Maschinenbau, Labor für Biomechanik, Deutschland

Bis heute ist nicht klar, ob die postulierten Vorteile von minimal-invasiven Operationen sich auch in den Alltag übersetzen. Unter Berücksichtigung des Gewebeschadens, wie er bei verschiedenen Operationszugängen auftritt, wurden mithilfe eines parametrisierten, muskuloskelettalen Modells die Hüftreaktionskräfte während einer Kniebeuge simuliert. Verglichen mit den konventionellen Operationszugängen sind die Symmetrien der Hüftreaktionskräfte der minimal-invasiven Modelle (Maximum und Orientierung) erhöht.

Diese Studie fügt der Diskussion über Zweck und Nutzen von minimal-invasiven Operationszugängen ein neues, biomechanisches Bild hinzu. Minimal-invasive Operationen könnten vor allem in der frühen post-operativen Phase die Biomechanik der Hüfte verbessern.

		conventional approaches					minimally - invasive approaches			
		reference picture	anterior Smith-Petersen	anterolateral Watson-Jones	lateral Hardinge	posterior Moore	transgluteal Bauer	anterior	posterior	MicroHip® Femur First
anterior view	anterior view									
	posterior view									
	lateral view									
	medial view									

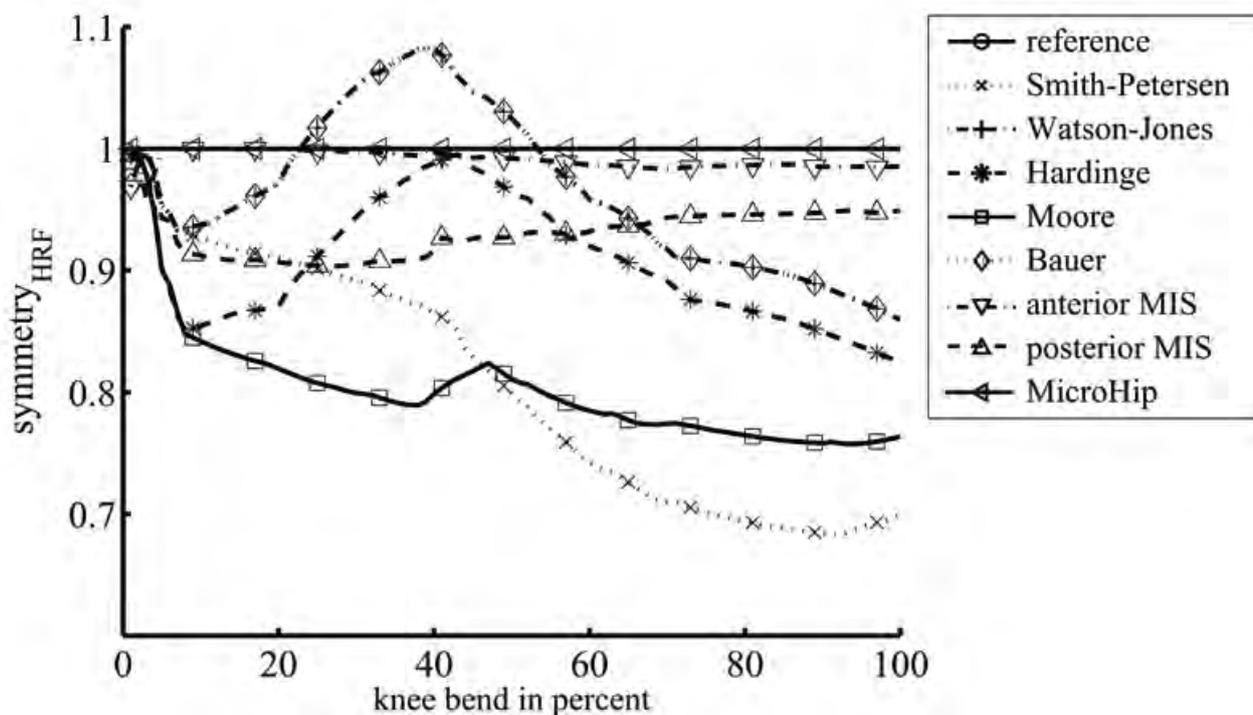
Quelle: T. Weber, Labor für Biomechanik

Abb. 1: Modellierung der verschiedenen Operationszugänge

Die Implantierung einer Hüftendoprothese gehört zu den erfolgreichsten Operationen unserer Zeit. ¹ Heutzutage kann ein Chirurg zwischen verschiedenen Operationszugängen wählen, bis hin zu minimal-invasiven Operationstechniken. Es ist allerdings nicht klar, inwiefern sich die Vorteile der minimal-invasiven Operation (weniger Gewebeschaden) in Vorteile für den Patienten, speziell in der frühen post-operativen

Phase, übersetzen lassen. Diese Studie soll die Diskussion zwischen konventionellen sowie minimal-invasiven Operationszugängen rein biomechanisch beleuchten.

Die Hüftreaktionskräfte während einer für Hüftpatienten besonders kritischen Bewegung (Kniebeuge) wurden mithilfe eines muskuloskelettalen Berechnungsmodells (AnyBody/Mo-



Grafik: T. Weber, Labor für Biomechanik

Abb. 2: Symmetrien der Hüftreaktionskräfte während der Kniebeuge

delingSystem) erhoben. Das Nachstellen der verschiedenen Operationszugänge wurde durch Exkludieren der eingeschnittenen Muskeln von der Simulation erreicht (Abbildung 1).

Verglichen mit den konventionellen Operationszugängen sind die Symmetrien der Hüftreaktionskräfte während Maximalbelastung („worst case“) der minimal-invasiven Modelle erhöht (Abbildung 2).

Der Ansatz, ein muskuloskelettales Berechnungsmodell zur Simulation von verschiedenen Operationszugängen zu verwenden, limitiert unsere Studie, z. B. können wir die Schmerzen der Patienten nicht miteinbeziehen. Der Vorteil eines Berechnungsmodells ist allerdings, dass nur ein Parameter verändert werden kann.

Im Rahmen dieser Studie haben minimal-invasive Operationszugänge weniger Einfluss auf die Hüftbiomechanik. Diese Studie fügt der Diskussion über Zweck und Nutzen von minimal-invasiven Operationszugängen ein neues, biomechanisches Bild hinzu.

Minimal-invasive Operationen könnten vor allem in der frühen post-operativen Phase die Biomechanik der Hüfte verbessern.

Literatur

- 1 Learmonth ID, Young C, Rorabeck C. 2007: The operation of the century: total hip replacement. *Lancet* 370(9597):1508-19.

Projektleitung

Prof. Dr.-Ing. Sebastian Dendorfer +49 941 943-5171
Leiter Labor Biomechanik – Direktor RCBE, OTH Regensburg

Kooperationspartner

- Universitätsklinik Regensburg
- AnyBody Technologies
- University Medical Center Groningen

Geldgeber

TWO – Technologie- und Wissenschaftsnetzwerk Oberpfalz

BEFRAGUNG IN BERUFLICHEN OBERSCHULEN IN OSTBAYERN

Im Auftrag des Ministerialbeauftragten für die Berufliche Oberschule Ostbayern wurde durch das Institut für Sozialforschung und Technikfolgenabschätzung (IST) eine Längsschnittstudie durchgeführt. Im Frühjahr 2012 wurden Schülerinnen und Schüler der 12. und 13. Klasse in Cham, Straubing und Regensburg befragt. Im Frühjahr 2013 fand eine Wiederholungsbefragung an den Schulen statt sowie eine Befragung von Absolventinnen und Absolventen. Thema der empirischen Bildungsstudie war die Beurteilung der Qualität in der (Aus-)Bildung und der nachschulische Werdegang.

Das deutsch-tschechische Projekt „Quality Management in Education“ diente der Verbesserung der Qualität in der (Aus-)Bildung in den Regionen Ostbayern und Zlin. Der Projekt-auftrag des Instituts für Sozialforschung und Technikfolgenabschätzung (IST) umfasste die Durchführung einer Panel- bzw. Kohortenstudie. Zur Ermittlung der Qualität in der (Aus-)Bildung wurde ein Befragungsinstrument entwickelt. Der Fragebogen umfasste 21 Fragen zu verschiedenen Aspekten des Unterrichts, wobei jeweils anhand umfangreicher Kriterien (Items) eine Einschätzung angekreuzt werden konnte. An der Online-Befragung der Abschlussklassen 2012 nahmen 905 Schülerinnen und Schüler teil. Bei der Wiederholungsbefragung 2013 waren es 1.018 und zudem 103 Absolventinnen und Absolventen. Die Daten wurden statistisch ausgewertet.

Die Schülerinnen und Schüler stellten ihrer jeweiligen Schule ein gutes Zeugnis aus. Das Anspruchsniveau ist nach Ansicht der Mehrheit genau richtig und der Unterricht eine gute Vorbereitung fürs Studium oder die weitere Ausbildung. Bei der Beurteilung der Unterrichtsfächer gibt es jedoch deutliche Unterschiede. So wird Mathematik zum Beispiel als sehr anspruchsvoll, aber auch strukturiert und als gute Vorbereitung für den weiteren Werdegang gesehen, der Unterricht im

Profillfach hingegen als besonders anregend. Und auch wenn die Qualität des Unterrichts insgesamt gut bewertet wird, wurden Ansatzpunkte für Verbesserungsmöglichkeiten in verschiedenen Bereichen herausgearbeitet.

Im Bereich der Neuen Medien wird vor allem dem Arbeiten am PC zukünftig sehr hohe Bedeutung zugemessen und hierbei wird auch Verbesserungsbedarf gesehen. Die Ergebnisse bieten auch im Hinblick auf die bevorzugten Unterrichtsformen interessante Einblicke.

Aus Sicht der Alumni wird der Nutzen der Ausbildung an der Beruflichen Oberschule für den späteren Werdegang hoch geschätzt. Zwei Drittel stufen ihre an dieser Schule erworbene Reife für Studium und Beruf und auch ihre Studierfähigkeit als sehr gut oder gut ein. Und die Alumni beurteilen ihre Leistungsfähigkeit im Vergleich zu Absolventen der Gymnasien mehrheitlich als gleich und ein Drittel sogar besser. Inwieweit diese Selbsteinschätzung realistisch ist, kann anhand der Befragungsdaten nicht geprüft werden.

Die überwiegende Mehrheit der Schülerinnen und Schüler an der Beruflichen Oberschule (BOS) bzw. der Fachoberschule (FOS) plant ein Studium (2012: 78 %, 2013: 77 %) und unter den Alumni 2013 studieren 82 % (siehe Abbildung 1).

Schulabsolventen im Jahr 2013

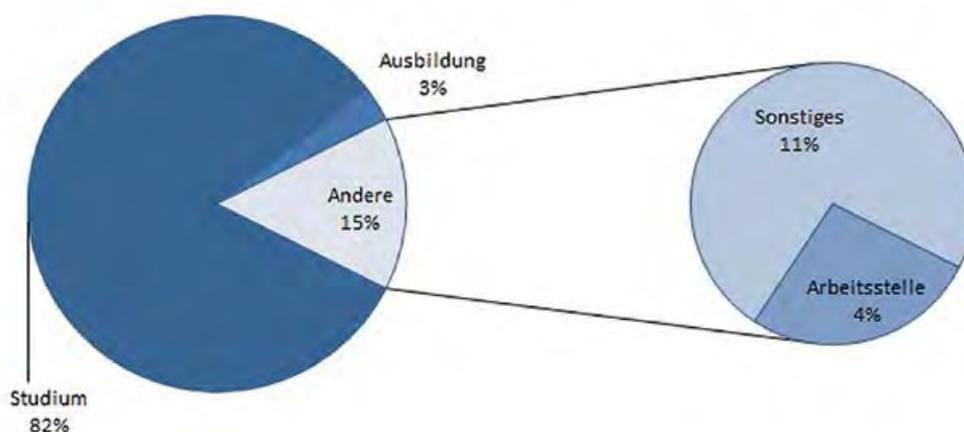


Abb. 1: Ausbildungsverhältnis von Schulabsolventen der Beruflichen Oberschulen Ostbayern im Jahr 2013



Foto: Gülay Sahil, Pressestelle OTH Regensburg

Abb. 2: Abschlussveranstaltung an der OTH Regensburg am 18.07.2013

Damit der Übergang an die Hochschule gelingt, sind Informationen über die Möglichkeiten wichtig. Um Informationen zum weiteren Werdegang zu finden, beurteilen die Schüler/innen vor allem die Angebote der Hochschulen als hilfreich, die Berufsinformationen der Schulen oder Berufsinformationszentren werden nicht in diesem Maße wahrgenommen.

Die Verbesserung der Qualität der Lehre in der Beruflichen Oberschule ist nicht nur im Hinblick auf die Studierfähigkeit aus der Hochschulperspektive eine bedeutende Aufgabe. Der Beruflichen Oberschule kommt eine bedeutende Rolle bei der Durchlässigkeit des Bildungssystems zu. Sie bietet die Möglichkeit eines Bildungsaufstiegs für diejenigen, die

über die Realschule bzw. Mittelschule gehen. An den beruflichen Schulen werden mittlerweile in Bayern 42 % der Hochschulzugangsberechtigungen erworben.

Bei einer deutsch-tschechischen Abschlusskonferenz in Straubing, in der OTH Regensburg (siehe Abbildung 2) und bei einer Tagung der Schulleiterinnen und Schulleiter der Beruflichen Oberschulen wurden die Ergebnisse präsentiert.

Im Rahmen des deutsch-tschechischen Projekts „Quality Management in Education“ wurden 2012 und 2013 im Auftrag des Ministerialbeauftragten für die Berufliche Oberschule Ostbayern in Schulen in Cham, Straubing und Regensburg durch das Institut für Sozialforschung und Technikfolgenabschätzung (IST) Befragungen durchgeführt. Die empirische Bildungsstudie diente der Evaluation der Lehrqualität mit dem Ziel der Verbesserung des Unterrichts. Ein zweiter Aspekt war die Verbesserung des Übergangs von der Beruflichen Oberschule zum Studium, beispielsweise durch Informationen über das Studium, die Vorbereitung für den weiteren Werdegang durch Unterrichtsfächer oder die allgemeine Studierfähigkeit.

Literatur

Haug, S.; Altenbuchner, A.: Befragung an Beruflichen Oberschulen in Ostbayern. Schüler-/innenbefragung 2012, Schüler-/innenbefragung 2013 und Alumnibefragung 2013. Studie im Auftrag des Ministerialbeauftragten für die Berufliche Oberschule Ostbayern. Abschlussbericht. OTH Regensburg (2013).

Haug, Sonja, 2013: Befragung an Beruflichen Oberschulen in Ostbayern – Schülerbefragungen 2012 und 2013. In: Martina Navrátilová (Hrsg.): Qualitätsmanagement in der (Aus-)Bildung. Eine vergleichende Studie, angefertigt im Rahmen des bayerisch-tschechischen Comenius-Regio-Projektes zum Thema „Quality Management in Education“. Zlínský kraj in Zusammenarbeit mit dem Ministerialbeauftragten für die Berufliche Oberschule in Ostbayern. S. 23-27.

Projektleitung

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

Projektmitarbeiterin

Amelie Altenbuchner

Kooperationspartner bzw. Auftraggeber

Dienststelle des Ministerialbeauftragten für die Berufliche Oberschule Ostbayern

Weitere Kooperationspartner

- Siemens Professional Education Regensburg
- COMENIUS-Regio-Partner: Berufliche Schulen Zlínský kraj / Tschechische Republik

Geldgeber

Europäische Kommission, Education and Culture DG, Lifelong Learning Programme

Fördersumme für die Befragung

6.000 €

Projektlaufzeit

24 Monate

Weitere Informationen:

Institut für Sozialforschung und Technikfolgenabschätzung (IST):
www.hs-regensburg.de/ist
Projekt „Quality Management in Education“:
www.mb-ost.de/zlin/

GESELLSCHAFTLICHE TEILHABE ÄLTERER MENSCHEN IN REGENSBURG

Diese qualitativ-explorative Studie (vgl. Schechtel, 2013) diente dazu, eine thematisch strukturierte Landkarte gesellschaftlicher Teilhabebelegenheiten und des freiwilligen Engagements von und für ältere Menschen (50+) in der Stadt Regensburg zu erstellen. Ausgehend von bekannten Adressen wurden insgesamt 156 Telefoninterviews geführt und ausgewertet. Das Forschungsgebiet wurde dabei im Schneeballverfahren immer kleinteiliger erschlossen und strukturiert. Die Ergebnisse fließen in das „Seniorenpolitische Gesamtkonzept“ der Stadt Regensburg ein.

GESELLSCHAFTLICHE TEILHABE UND BÜRGER-SCHAFTLICHES ENGAGEMENT FÜR UND VON SENIORINNEN UND SENIOREN

Soziale Teilhabe stellt ein gewisses Maß an Grundversorgung (materiell, finanziell etc.) sicher und trägt zur psychosozialen Gesundheit bei. Dies gilt auch für Menschen mit Einschränkungen, wie sie u. U. altersbedingt entstehen können. Aufgabe der Kommunen ist es, für professionelle Strukturen zu sorgen, die eine Beteiligung und Teilnahme ermöglichen und günstige Rahmenbedingungen zu schaffen, die das Eingebundensein in ein informelles Sorgesystem ermöglichen.

Da Teilhabe oft auch durch Involviertsein als freiwillig Engagierte/r geschieht und zur Teilgabe mutiert, ergeben sich Schnittflächen zwischen Teilhabe und Engagement: Jüngere Ältere leisten vielfache Hilfen für hochbetagte, mobilitätseingeschränkte oder andere besondere Zielgruppen und engagieren sich als Interessensvertreter für die Belange des Alterns in der Kommune.

Das Bayerische Staatsministerium für Arbeit und Sozialordnung, Familie und Frauen (vgl. BSMASFF, 2010, S. 19f.) hat in den Vorgaben für die kommunale Seniorenpolitik „gesellschaftliche Teilhabe“ und „bürgerschaftliches Engagement“ als Handlungsfelder für die Kommunen definiert, die sie für die Erstellung ihres „Seniorenpolitischen Gesamtkonzepts“ analysieren und aus den Resultaten handlungsleitende Ziele ableiten sollten.

UNTERSUCHUNG

Die Untersuchung basiert auf der Annahme, dass die Lebensbedingungen mehrdimensional zu sehen sind, d. h. sozioökonomische, kulturelle und sozialökologische Bedingungen geben vor, welche Akteure und Zusammenschlüsse sich organisationell bilden und individuelle Entfaltungen wie Beschränkungen bedingen.

Insofern wurde zunächst eruiert, welche Aspekte gesellschaftlicher Teilhabe in einer Kommune zu berücksichtigen sind (z. B. Gesundheit, Bildung, Freizeit, soziale Netze) und welche förderliche und hinderliche Engagementstrukturen vorhanden sind. Im Anschluss daran wurden bekannte und leicht zugängliche Akteure kontaktiert: Dazu gehörten die Seniorenbeiräte, Seniorenclubs der Kirchen, der Wohlfahrtsverbände und freier Anbieter, die Besuchsdienste der Wohlfahrtsverbände, der

Krankenhäuser und Pflegeheime, der Vereine sowie ein Besuchsdienst eines sozialgewerblichen Dienstes. Zudem wurden Selbsthilfeangebote und Nachbarschaftshilfen eruiert und generationenübergreifende Angebote sowie institutionalisierte Treffmöglichkeiten erfasst. Teilhabechancen durch Bildung und ressortübergreifende Institutionen wurden in eigenen Rubriken behandelt.

Das Besondere am methodischen Vorgehen war, dass die im Seniorenamt bekannten Initiativen, Organisationen, Einzelpersonen und Akteure, die mit dem Untersuchungsgegenstand in Verbindung zu bringen waren, vollumfänglich angerufen und befragt wurden. Ergab sich, dass Kontaktdaten nicht mehr stimmten, so konnten neue ermittelt werden. Viele Ansprechpartner wurden im Schneeballverfahren eruiert, ebenso ergaben sich viele Querverweise. Dass die sozialen Teilhabeoptionen dicht erfasst waren, konnte man daran ablesen, dass zum Schluss immer wieder auf bereits bekannte Akteure verwiesen wurde. Dennoch kann nur von einer Momentaufnahme gesprochen werden, da sich soziale Netze und freiwilliges Engagement immer auch mit Personen und Protagonisten ändern.

Insgesamt wurde mit 156 Personen, die jeweils eine Organisation, eine Akteursgruppe, einen sozialen Dienst oder eine Einrichtung repräsentieren, ein Interview geführt.

AUSGEWÄHLTE RESULTATE

Trotz einer beeindruckenden Vielzahl an klassischen Seniorengruppen („Clubs“, Kreise) ist zu erwarten, dass sie an Bedeutung verlieren werden: Etwa ein Viertel der Leitungen klagten über Nachfolge- oder Mitgliederrekrutierungsprobleme und sehen sich als Gruppe vor dem Aus. Ein weiteres Drittel erreicht seine Zielgruppe mit dem bestehenden Angebot und sieht sich in seiner Aufgabe bestätigt. Rund ein Drittel der befragten Gruppen hat einen Wandel im Angebot vollzogen und erfreut sich großer Beliebtheit (z. B. eine Differenzierung des Angebots für jüngere und ältere Alte oder eine Neuausrichtung in der Form oder im Inhalt).

Insgesamt haben diese Gruppen, egal in welcher Trägerschaft, jedoch gerade für die mobilen Menschen im höheren Alter (80+) eine hoch sozial-integrierende Wirkung. Die Kontakt,

Gemeinschafts- und Kommunikationsfunktion überragt die Bedeutung von inhaltlichen Aktivitäten bei Weitem. Aus den gewachsenen und oft langjährigen Verbindungen entstehen informelle Ressourcen für das Alter (als sekundäres soziales Netz), die zum Tragen kommen, wenn z. B. ein Umzug in eine Einrichtung erforderlich ist (z. B. als Besuche, als Fahrdienst usw.). Jede Initiative, die dazu dient, aktivitäts- und gemeinschaftsstiftende Gruppen zu bilden, seien es sportliche, kulturelle, umweltbezogene oder andere, sind zu fördern, da sie sich als präventiv und nachsorgend erweisen.

Standen zur Gründungszeit vieler jetzt vorhandener Gruppen vor allem ein gemeinsamer Arbeitgeber (z. B. Bahn, Post u. a.), eine Verbandszugehörigkeit (z. B. Frauenbund) oder eine andere Zugehörigkeit (z. B. Konfession oder Pfarrei), so verändern sich die gemeinsamen Interessen nunmehr. Attraktiv sind tätigkeitsspezifische Zusammenschlüsse (z. B. Wandern, Gymnastik, Fotografieren usw.): Um eine weiterhin hohe Anzahl an Gruppen aufrechtzuerhalten, könnten Anreize in dieser Hinsicht geschaffen werden. Diese Zusammenschlüsse bieten zudem das Potenzial, auch jüngere Alte anzusprechen, die sich den traditionellen Seniorenkreisen nicht zugehörig sehen.

Hinsichtlich der Engagementbereitschaft der Regensburger Bürgerinnen und Bürger ist der Trend der Freiwilligensurveys (2004 und 2009) zu bestätigen, dass viele über 50-Jährige sich für Tätigkeiten – insbesondere auch für die Unterstützung von alten und hochbetagten Menschen – gewinnen lassen, aber mit ihrer Aktivität die Erwartung verbinden, mitgestalten zu können und gewürdigt zu werden. Auf Einrichtungsseite spiegelt sich das wider, d. h. Institutionen der Altenbildung, der -hilfe und -pflege, die ihr Angebot auf die Bedürfnisse der sogenannten „neuen Alten“ abgestimmt haben (u. a. auch in generationenübergreifender Hinsicht) und die soziales Engagement anerkennen, werden gerne kontaktiert und können Freiwillige über verschiedene Wege (Agentur, persönliche Ansprache usw.) rekrutieren.

Als schwierig erweist sich Teilhabe dann, wenn kein Zugang zu einem Sozialgebilde der oben genannten Couleur besteht und der Bedarf nicht bekannt wird. Eine solche Brücke mit einem Besuchsdienst im Krankenhaus (wenn der oder die sozial zurückgezogene Person sich dort befindet) zu schlagen, ist auch von Seiten der Betroffenen häufig sehr schwer. Institutionen und Organisationen stellen zudem fest, dass freiwillig Engagierte davor zurückschrecken, sich für Menschen mit großem Hilfebedarf einzusetzen: Angst vor der Konfrontation, eingeschränkte Handlungsmöglichkeiten und Angst vor juristischen Konsequenzen, die im Kontext des Umgangs auftauchen könnten, schrecken teilweise ab.

Essenziell ist die Erkenntnis, dass soziale Teilhabe und soziales Engagement dort am stärksten gedeihen, wo sie auf einen Sozialraum bzw. einen Stadtteil und vertraute Verbindungen bezogen sind (vgl. Michell-Auli / Kremer-Preiß, 2013, S. 15). Der begonnene Weg, die einzelnen Akteure (informelle, formelle, professionelle) quartiersbezogen zu vernetzen, die Vernetzung mit bekannten Personen öffentlich zu machen, Aktivitäten aufeinander abzustimmen und so Informations- und Kommunikationswege zu verkürzen, erweist sich als teilhabe- und engagementförderlich.

In Regensburg existiert ein differenziertes Geflecht gesellschaftlicher Teilhabe, das nicht an der Stadtgrenze endet. Trotz teilweiser Nachwuchssorgen hinsichtlich der Fortführung mancher Initiativen, Vereine, Gruppen und Organisationen (vor allem bei beruflich orientierten) sind diese Netze sehr tragfähig und erweisen sich als ausgesprochen präventiv gegen Vereinsamung, insbesondere im höheren Alter. Eng verknüpft ist dieses Netz mit den vielen Optionen sozialen Engagements von überwiegend Menschen über 50, die für ältere, alte und hochbetagte Menschen freiwillige Dienste leisten. Der Regensburger Ansatz, die einzelnen Organisationen und Systeme miteinander zu verbinden und sie lokal mit einem Ansprechpartner zu repräsentieren, scheint sich zu bewähren. Neben einigen sehr gut involvierten Gruppen lassen sich auch spezifische Zielgruppen identifizieren, die vom bestehenden Angebot nicht erreicht werden.

Literatur

- 1 Bayerisches Staatsministerium für Arbeit und Sozialordnung, Familie und Frauen (BSMASFF) (Hg.): Kommunale Seniorenpolitik Teil 1. Teil 2. München (2010).
- 2 Michell-Auli, P. / Kremer-Preiß, U.: Quartiersentwicklung. Köln (2013).
- 3 Schechtl, S.: Gesellschaftliche Teilhabe älterer Menschen in Regensburg. Eine qualitative Studie. Regensburg (2013) (unveröff. Bachelorarbeit).

Projektleitung

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

Projektmitarbeiterin

Stefanie Schechtl, B.A.

Kooperationspartner und Geldgeber

Seniorenamt der Stadt Regensburg

Projektlaufzeit

Juni 2012 – Januar 2013

Fördersumme

1.100 €

... SPUREN HINTERLASSEN ... FRAUENBEWEGUNG UND SOZIALER WANDEL

Brauchen wir eigentlich noch eine Frauenbewegung oder hat sich die Gleichberechtigung mittlerweile in der Gesellschaft durchgesetzt? Die Ambivalenzen und Widersprüche der Geschlechterverhältnisse werden auch sichtbar in den Ergebnissen eines Lehr-Forschungsprojektes, das von Studierenden der Sozialen Arbeit umgesetzt wurde. In der Recherche und Analyse Regensburger Frauenprojekte zeigt sich, dass die Forderung nach der Umsetzung der Gleichberechtigung von Frauen und Männern immer noch aktuell ist – hier und weltweit.

„Der Erfolg der Frauenbewegung ist nicht ohne weiteres messbar, aber unzweifelhaft“, schreibt die Soziologin Ute Gerhard (1999: 181). Sehen das junge Frauen und Männer im Jahr 2013 genauso? Welche Bedeutung haben für sie die Frauenbewegung bzw. deren Themen? Wie bewerten junge Menschen heute die Geschlechterverhältnisse?

Diesen Fragen stellten sich 37 Studentinnen und Studenten im Rahmen des Seminars „Frauenbewegung und Sozialer Wandel“ an der Fakultät Angewandte Sozialwissenschaften und machten sich auf die Spuren der Regensburger Frauenbewegung. Ihre Aufgabe bestand darin, ein Thema der Frauenbewegung auszuwählen und dort Ungleichheiten und Problemlagen in den Geschlechterverhältnissen zu identifizieren und in Bezug auf deren Veränderungen oder Persistenz hin zu analysieren.

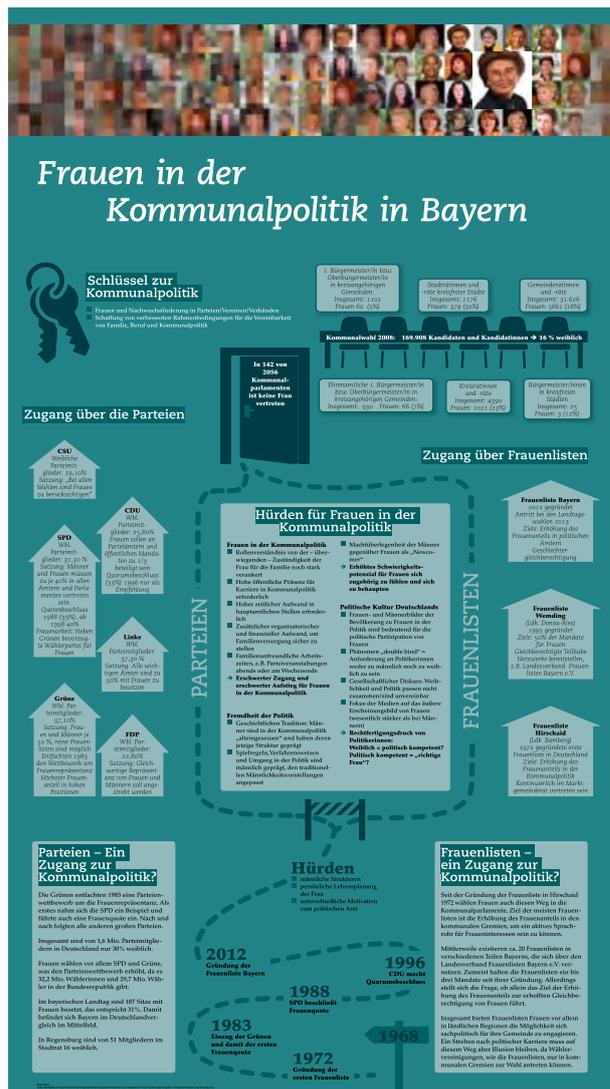
Die bewusst gewählte Ergebnispräsentation als Plakat erforderte von den Studierenden klare Fokussierungen, präzise Faktensammlungen und eindeutige Ergebnisse und Positionierungen. Das Ergebnis des Lehr-Forschungsprojektes war eine Ausstellung an der OTH (21.3.-10.4.2013) und eine Dokumentation (Dünger u. a. 2013). Die Ausstellung tourt derzeit durch mehrere Städte und Institutionen in Bayern.

Wissenschaftlerinnen haben mittlerweile in gründlichen Forschungen die Geschichte der sogenannten Alten Frauenbewegung (Mitte des 19. – Beginn des 20. Jhs.) sowie der Neuen Frauenbewegung (ab Ende der 1960er-Jahre) aufgearbeitet. Dabei zeigt sich, dass sich die Themen der alten und der neuen Frauenbewegung zwar im Detail verändert, im Großen und Ganzen aber Bestand haben: Es geht um Bildung und Arbeit, Körper und Sexualität, Gewalt und Partizipation (vgl. Rudolph 2009). Angestrebt werden das Ende patriarchaler Herrschaft, der Abbau von Diskriminierung und geschlechtsspezifischer Arbeitsteilung. Diese Themen finden sich auch in der Bearbeitung der Studierenden wieder: Der Wandel des Schönheitsideals, die Geschichte des autonomen Frauenhauses, der Einstieg von Frauen in technische Berufe, die Bedeutung der Internationalen Frauenbewegung oder der Weg von Frauen in die Kommunalpolitik – dies sind nur einige Beispiele, mit denen sich die Studierenden befassen.

In ihrem Forschungsprozess haben die Studierenden unterschiedliche Methoden eingesetzt: Viele waren in Regensburg (und Umgebung) unterwegs und haben frühere oder heutige

frauenpolitische bzw. frauenbewegte Akteurinnen befragt oder in Interviews Positionen erhoben, andere haben offizielle Statistiken ausgewertet – alle haben sich durch wissenschaftliche und dokumentarische Texte gelesen.

Durch die Kooperations- und Aussagebereitschaft der Akteurinnen und Interviewpartnerinnen konnten die Studierenden forschend lernen und somit ihren Blick auf vergangene und aktuelle Prozesse im Wandel (und in der Konstanz) der Geschlechterverhältnisse schärfen.



„...SPUREN hinterlassen ...“
– Frauenbewegung und sozialer Wandel –

Abb. 1: Wege von Frauen in die Kommunalpolitik

Sieht man sich zum Beispiel die Situation von Frauen in der Kommunalpolitik an, so muss man feststellen, dass es in Bayern 2013 noch 142 Kommunalparlamente gab, in denen keine Frau vertreten war. Insgesamt lag der Anteil von Frauen in den bayerischen Kommunalparlamenten bei ca. 25 % (Bundesdurchschnitt 33 %). Auf der Suche nach den Hürden haben die Studentinnen der Projektgruppe beispielsweise die geschlechtsspezifische Arbeitsteilung, männerdominierte Strukturen und die „männliche Codierung im politischen Alltag“ identifiziert. Eine bessere Partizipation wird am ehesten möglich sein, wenn die Rahmenbedingungen für die Vereinbarkeit von Familie, Beruf und Politik verbessert werden und wenn die Parteien eine gezielte Nachwuchsarbeit betreiben.

Einen ganz anderen Blick haben die Studentinnen eingenommen, die sich mit dem Wandel des Schönheitsideals beschäftigt haben. Angesichts der Darstellung des weiblichen Körpers in historischen und aktuellen Bildern zeigt sich der ständige Wandel des Schönheitsideals. Gerade heute lassen sich auch interkulturelle Differenzen feststellen, wobei die Unterschiede in einem engen Zusammenhang mit dem Nahrungsmittelangebot stehen: Je besser das Angebot ist, desto dünner müssen die Frauen sein. Im Zusammenhang mit der Medialisierung der Gesellschaft werden über Körperbilder auch Bilder über den Charakter und den Erfolg von Frauen vermittelt (Frauen sind davon deutlich stärker betroffen als Männer): Attraktive Frauen gelten als erfolgreich, diszipliniert etc., während unattraktive als faul und unbeliebt gelten. Sie werden auch häufiger diskriminiert. Gerade bei jungen Frauen und Mädchen kommt es zu Problemen bei ihrer Identitätssuche, für die die Eigen- und Fremdwahrnehmung des Körpers eine immer größere Rolle spielt. In der Folge sind aufgrund mangelnden Selbstbewusstseins die Schönheitsoperationen stark angestiegen.

Wie haben sich Frauenbiografien verändert, welche Unterstützungssysteme gibt es für Alleinerziehende, was macht eigentlich die Frauenbeauftragte bei der Polizei? – Dies sind weitere Themen, die von den Studierenden erforscht und bildlich aufgearbeitet wurden. Auch wenn die Situation in den verschiedenen Bereichen unterschiedlich ist, zeigt sich insgesamt, dass die Transformationsprozesse oftmals nicht eindeutig sind und sich die Geschlechtergerechtigkeit noch nicht umfassend umgesetzt hat.

Literatur
 Dünger, Marie-Luisa; Hellwig-Schmid, Regina; Nothhaft, Charlotte; Rudolph, Clarissa; Schaaf, Sophia; Teufel, Marga; Wenig, Stefanie 2013: „... Spuren hinterlassen ...“ – Frauenbewegung und Sozialer Wandel. Begleitheft zur gleichnamigen Ausstellung, hg. von der Stadt Regensburg und der OTH Regensburg, Regensburg.
 Gerhard, Ute 1999: Die Töchter der Emanzipation – das Generationenproblem der Frauenbewegung, in: Dies.: Atempause. Feminismus als demokratisches Projekt, Frankfurt/M.
 Rudolph, Clarissa 2009: Frauen- und Gleichstellungspolitik: Gesellschaftlicher Wandel durch Institutionen? In: Kurz-Scherf, Ingrid; Lepperhoff, Julia; Scheele, Alexandra (Hg.): Feminismus: Kritik und Intervention, Münster, S. 115-132.

Schönheitsideal / Schönheitswahn
 ein gesellschaftlicher Aspekt der Frauenbewegung

DIE GESCHICHTE DES SCHÖNHEITSIDEALS

Frühgeschichte	Antike / Griechische Klassik	Römische Antike	Mittelalter
<ul style="list-style-type: none"> Venus von Willendorf große, längliche Stirn kleine Nase kleiner Mund und Haare 	<ul style="list-style-type: none"> Körper sollte weder zu dick noch zu dünn sein dücker Brust als die Verweiblichung blasse, rote Haare und kräftige Beine 	<ul style="list-style-type: none"> Stärke, Abstraktheit und grotescher Individualismus Fertigkeit nicht weibl. sondern männl. (völlig, stark) charakteristisch 	<ul style="list-style-type: none"> schlankheitsideale, schmale Figur nicht gerundete Schultern, keine Brüste schmale, hochstehende Taille, schmale Hüfte schon damals: viele, wenn gar keine, halbkugelige Locken, unbedeckt Haare Augen, weiße Haut, eher kleine oder Mund ca. 12. Jhd. bis 16. Jhd. → Anzeigen der Haare am Hals
Renaissance	Barock	Kokette	19. Jahrhundert
<ul style="list-style-type: none"> schöne, starke Hüften goldblondes Haar schwarzes Haar Mund weder zu klein noch zu groß, Hauptfarbe purpurrot Augen am besten dunkelblau 	<ul style="list-style-type: none"> nach wohlhabende Körper Männer haben sich in einem frühen Stadium der Aufklärung als Bewunderer der „Hüftengigant“ für Frauen mit rippiger Figur zurück. 	<ul style="list-style-type: none"> Laubwälder sind in Korsett gezwungen (Faschismus) Stark gepulverte und parfümierte Perücken, locken Gesicht unter dicker Schicht weißer Pulver verschwinden Ausnahme: Lebensstil nach französischer Revolution: große Haare, hochsteigende Röhre, keine Perücken 	<ul style="list-style-type: none"> Zuerst schlichte Kleider der Müller keine Bewegungen Keine Korsetts, kein Reiten, keine Perücken schlichte, einfache, sehr fleischliche Körper Korsetts werden abgelehnt Wiederiger Korsett und Schminke
20. Jahrhundert	21. Jahrhundert		
<ul style="list-style-type: none"> In der „Bearing Beauty“ durch Lehrgang: Backpfeifische Frauen, Männer Einziges geschlechtliches Haar, schwere, orangefarbene Augen, ohne Schminke Naturalbeauty: blond, dünn und sportlich, athletische Figur 	<ul style="list-style-type: none"> Nach 2. Weltkrieg kurze Zeit der typischen, weiblichen Formen durch Marilyn Monroe, keine Linsen schicht: französische Frauen und Models Wandel 20.26. → „The Daily Express“ erwarte 16-jährigen, sehr dünnen Mädchen am Gesicht des Jahres → würde ein originelles Model der Welt („Beige“) 	<ul style="list-style-type: none"> Sportliche, schlanke Figur schöne Haare Schminkeoperationen bei Frauen beliebt vor allem! 	

EINFLUSS DER MEDIEN
 Der Einfluss der Medien auf das Körperbild der Frauen

Die Schönheit der weiblichen Erscheinung liegt auf der Überschneidung von weiblichen Schönheitsidealen in den Medien und deren Wirkung. Deshalb werden vor allem noch Frauen und Mädchen der Zielgruppe betrachtet. Schönheit wurde in der öffentlichen Werbung von Einzelmodellen mit dem eigenen Körper von Frauen und Mädchen (vgl. Schmitt, 2009)

Die Medien betonen und prägen vor allem den Eindruck von körperlicher Attraktivität und deren gesellschaftliche Bedeutung:

- Ausmaßgebende Charaktere der weiblichen Medienpersonen und Schönheit, Jugendlichkeit und Erotik (vgl. Grottel, Kötter, 2008, 2009)

Attraktive Medienpersonen:

- Fröhlichkeit
- Charisma
- Romantische Beziehungen
- Mittelmäßig bessere Bewertung
- Schönheit

Unattraktive Medienpersonen:

- Verwundung
- Kontroversität
- Weniger Sozialkontakte
- Assoziation des Körpers mit Furcht und Distanz

FAZIT

- Attraktive Medienpersonen können zu einem gewissen Anteil das Körperbild des weiblichen Publikums beeinflussen
- Neben den Medien sind für Körperbildprägungen jedoch weitere Einflussfaktoren vorhanden:
 - sozialkulturelle Aspekte (ethnische Herkunft)
 - biologische Aspekte (genetische Prädisposition)
 - psychologische Aspekte (Selbstvergnügen)
- Zentrale Erkenntnistheorie sind:
 - Frauen scheinen mit ihrem Körper nicht mehr zufrieden und nutzen die Möglichkeit, sich für die Schönheit anderer Männer zu legen. Der Körper soll dem Idealbild entsprechen.
 - Die **Wohlfühlhorizontale** nennt folgende Faktoren, die bei Schönheitsoperationen entstehen können:
 - Ästhetik
 - ästhetische Nervenschädigungen
 - Blutungen
 - Narbenverwachsungen
 - Infektionen
 - Abstoßreaktionen

zentrale Erkenntnistheorie sind:

- Frauen haben einen Körper, der nicht mehr wie früher vor Brust, Bein, Beine und Po – jedoch hat von jeder irgendeinen Maß!
- Das ist der Frauenbewegung und trotz der Emanzipation lassen sich Frauen heute immer noch vom Schönheitsideal beeinflussen!
- Frauen scheinen für die Schönheit Geld auszugeben, Risiken und Schmerzen auf sich!
- Die Medien haben heute großen Einfluss auf die Frauen und beeinflussen deren Lebensstil!

„... SPUREN HINTERLASSEN ...“
 – Frauenbewegung und sozialer Wandel –

Abb. 2: Wandel des Schönheitsideals

Grafik: Autoren

Projektleitung
 Prof. Dr. Clarissa Rudolph +49 941 943-9851
 Fakultät Angewandte Sozialwissenschaften
 clarissa.rudolph@oth-regensburg.de

in Kooperation mit
 der Gleichstellungsstelle der Stadt Regensburg

gefördert durch
 die Leitstelle für die Gleichstellung von Frauen und Männern im Bayerischen Staatsministerium für Arbeit und Sozialordnung, Familie und Frauen

Vollständige Ausstellung unter:
www.oth-regensburg.de/de/hochschule/aktuelles/einzelansicht/article/spuren-hinterlassen-frauenbewegung-und-sozialer-wandel-1.html



Museumsbrücke Bozen



Fortschritt baut man aus Ideen.

Zur Verstärkung unseres Teams suchen wir

Studenten (m/w)

Absolventen (m/w)

Young Professionals (m/w)

Studienrichtungen

- Bauingenieurwesen
- Maschinenbau
- Wirtschaftsingenieurwesen

Wir bieten

- Praktika
- Abschlussarbeiten
- Gute Weiterentwicklungsmöglichkeiten
- Berufseinstiegsmöglichkeiten für Absolventen

Bewerbungen bitte über unser Karriereportal:

<http://karriere.max-boegl.de>

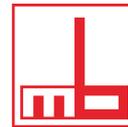
Aktuelle Jobangebote finden Sie unter:

<http://www.max-boegl.de>



Ihr Ansprechpartner:

Ralph Walter, Tel. +49(0)9181/909-10604



MAX BÖGL

Fortschritt baut man aus Ideen.

DIE ONLINEVERSION DES
FORSCHUNGSBERICHTS
FINDEN SIE UNTER:

www.oth-regensburg-forschungsbericht-2013.proaktiv.de

 **büro schröter**
stadtplanung architektur energie
ulrichstraße 11a
93326 abensberg
fon 09443 3961
fax 09443 3762
schröter@bueroschroeter.de
www.bueroschroeter.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

RENARHIS – NACHHALTIGE RESTAURIERUNG UND REGENERATIVE ENERGIEVERSORGUNG HISTORISCHER STADTQUARTIERE DER ZWISCHENKRIEGSZEIT

OTH Regensburg:

Annika Zeitler, Simon Schaubeck, Oliver Steffens,
Christian Rechenauer, Thekla Schulz-Brize

71

Am Modell eines genossenschaftlichen Wohnquartiers aus den 1920er-Jahren werden Restaurierungs- und Modernisierungsstrategien erarbeitet: Eine detaillierte Baudokumentation und architektonische Würdigung des Ensembles und die Entwicklung eines Konservierungs- und Nutzungskonzepts liefern die Basis für architektonische Entwürfe. Diese müssen bauphysikalisch und energetisch bewertet und eng abgestimmt werden auf eine Versorgung mit regenerativen Energien. Ziel ist die Entwicklung eines Leitfadens zur nachhaltigen Modernisierung von Wohnungsbauten der Zwischenkriegszeit, die den architektonisch wertvollen Bestand in seinem Erscheinungsbild erhält und gleichzeitig soziale Wohnkosten und einen geringen Primärenergiebedarf sicherstellt.

Nach dem Zensus 2011 wurden rund 26 % der Wohngebäude in Deutschland vor 1948 erbaut.¹ Die Entwicklung von Konservierungs- und Modernisierungskonzepten für diesen Gebäudetypus stellt deshalb einen wirtschaftlich bedeutenden Beitrag dar. Gleichzeitig geht es um die Bewahrung des architektonischen und städtebaulichen Erbes in unserem Land. Insbesondere der Bestand von Wohngebäuden aus der Zwischenkriegszeit beinhaltet bauhistorisch wertvolle Stadtquartiere. Nachhaltige Konzepte versuchen, den Konflikt zwischen dem denkmalpflegerischen Ziel, die architektonische Formensprache und Substanz der Gebäude zu erhalten, und der klimapolitischen und wirtschaftlichen Erfordernis einer optimierten Energieeffizienz zu überwinden. Neben dem ressourcenschonenden Umgang mit Rohstoffen und einer wirtschaftlichen Modernisierung ist die Berücksichtigung der kulturellen Traditionen und Formen des Zusammenlebens, also der Bewohnerstruktur mit all ihren Bedürfnissen, wichtig.

Während sich die Forschung bislang auf energiesparende Neubauten und die Renovierung alter Bausubstanz unter dem Aspekt der Wirtschaftlichkeit konzentriert, liegt der Fokus im interdisziplinär angelegten Forschungsprojekt RENARHIS auf den zentralen Fragen:

1. Wie löst man die Problematik der eingeschränkten energetischen Sanierbarkeit alter Gebäude, deren besondere Architektur erhalten werden soll?
2. Wie können die Besonderheiten und der spezifische Energiebedarf einer historischen Ensemble-Struktur gezielt verknüpft werden, um eine wirtschaftlich regenerative Energieversorgung zu erreichen?

Für ein existierendes Stadtquartier im Regensburger Osten werden zu diesen Fragestellungen modellhaft Lösungsansätze auf Grundlage einer detaillierten bauhistorischen Untersuchung erarbeitet, die typologisch auf weitere Ensembles dieser Zeit übertragen werden können.

Das Ensemble wurde in den Jahren von 1912 bis 1926 an der Plato-Wild-Straße als genossenschaftliche Anlage gebaut. Das Genossenschaftsprinzip und die Möglichkeit, Wohnraum zu günstigen Mieten zu schaffen, haben sich mit den Jahren er-



Abb. 1: Tachymetrisches Gebäudeaufmaß der Plato-Wild-Siedlung

Grafik: A. Zeitler (OTH Regensburg, 2013)

halten und stellen einen wichtigen Punkt für ein zukünftiges Nutzungskonzept dar. Auch seine architektonische Formensprache wird dem genossenschaftlichen Gedanken gerecht. Charakteristisch für das Erscheinungsbild der Siedlung sind die sparsam historisierenden Mietshausblöcke, die sich um grüne Innenhöfe gruppieren. Die horizontale Gliederung der Fassaden mit immer wiederkehrenden Elementen, wie die Gesimse und ein um alle Gebäude laufender Natursteinsockel, symbolisieren den Zusammengehörigkeits- und Gleichheitsgedanken des genossenschaftlichen Wohnungsbaus. Die Mehrfamilienhäuser sind mit traufständigen Walmdächern konzipiert, ihre Fassaden werden mit Lisenen und Pilastern zониert und mit Zwerchgiebelaufbauten betont.

Für die bauhistorische Aufarbeitung wurden Details ausgearbeitet sowie Informationen über die Konstruktion der Dächer, Wand- und Bodenaufbauten gesammelt. Ein tachymetrisches Aufmaß der Fassaden und die Vermessung einzelner Wohnungsgrundrisse lieferten Aussagen über den hohen Erhaltungsgang der Gebäude.

Eine vollständige Baudokumentation und bauphysikalische Analysen schaffen die Basis für energetische Modernisierungs- und Energieversorgungskonzepte. Wärmeverluste lassen sich durch Dämmmaßnahmen reduzieren. Für historisch wertvolle Fassaden verbietet sich jedoch eine außenseitig angebrachte Wärmedämmung. Hier kommt eine Innendämmung der Außenwände unter Einsatz feuchteregulierender (kapillaraktiver) Calciumsilikatplatten infrage.

Die bauphysikalischen Untersuchungen betreffen nicht nur die Wärmeverluste, sondern auch den Feuchtehaushalt, mit dem

Ziel, Schimmelpilz-Wachstum in den Wohnräumen zu verhindern und Tauwasserbildung in den Bauteilen zu begrenzen. Sie umfassen:

- Fotodokumentation und thermografische Analysen von Gebäudehülle und Innenräumen
- Baustoff-Analysen (Bohrkernentnahmen, Baustofffeuchtemessungen)
- Raumklimatische Messungen und Nutzerverhalten
- Thermische Berechnungen und hygrothermische Detail-Simulationen: Wärmebrücken in Wänden, Anschlüsse in Holzbalkendecken, Kellerdecke und Fenstern mit und ohne kapillaraktive Innendämmung
- Energetische Bedarfsberechnungen zur Dimensionierung der benötigten Dämmstärke
- Schallschutzmessungen und Konzepte zur konstruktiven Erüchtigung der Holzbalkendecken

Ein der baulichen und infrastrukturellen Situation angepasstes Energieversorgungskonzept soll auch ökologische Zielsetzungen umfassen (Ressourcenschonung, Reduktion von CO₂-Emissionen). In Studien- und Abschlussarbeiten analysierten OTH-Studierende die Energieinfrastruktur und führten Erhebungen zur Ermittlung des Energiebedarfs durch. In einer Bestands- und Potenzialanalyse wurden mögliche Energiequellen identifiziert und bewertet. Zwei verschiedene Versorgungsvarianten wurden daraus erarbeitet:

1. Solarthermie-Anlage mit Pelletkessel als Heizunterstützung und bauphysikalisch maximal mögliche Dämmung der Gebäudehülle
2. Blockheizkraftwerk (BHKW) auf Basis eines erneuerbaren Brennstoffes in Kombination mit reduzierter Dämmung

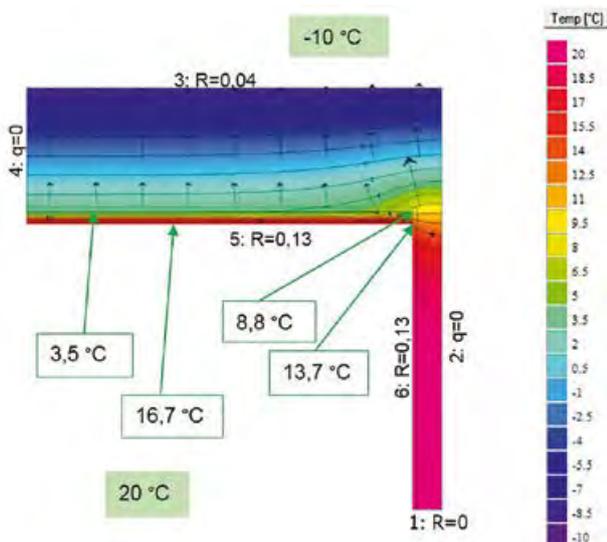


Abb. 2: Temperaturverlauf in einer raumseitig gedämmten Außenwand mit einbindender Innentrennwand

Die Solarthermie-Variante besteht durch überschaubare Investitionskosten und eine ausgereifte Anlagentechnik mit niedrigen Vorlauftemperaturen. Der durch die Solarthermie substituierte Wärmeanteil ist nahezu CO₂-frei und entlastet das ergänzende Kesselsystem. Dagegen beinhaltet die BHKW-Variante höhere Vorlauftemperaturen, die mit jedem Heizsystem verknüpft werden können. Nach dem Prinzip der Kraft-Wärme-Kopplung (KWK) wird neben thermischer auch elektrische Energie bereitgestellt, die im Ensemble verbraucht werden kann und zu einer ökologisch nachhaltigen dezentralen Lösung führt. Der Einsatz eines BHKW bietet sich bei historischen Bestandsgebäuden als Kompensationsstrategie an, wenn bauseitige energetische Sanierungen nur eingeschränkt möglich sind.

Feuchteregulierende Restaurierungsmaßnahmen in Form einer aktiven Wandtemperierung werden untersucht und in die Konzepte integriert. Alle Varianten müssen einer detaillierten Wirtschaftlichkeitsprüfung unterzogen werden, um die Wohnkosten im Ensemble auf einem sozial verträglichen Niveau zu halten. Ziel des Projekts ist die Entwicklung eines allgemein anwendbaren Handlungs- und Entscheidungleitfadens, in welchem die entwickelten Methoden und die daraus erarbeiteten Schlüsse und Resultate zusammengefasst werden. Der Leitfaden soll als praktisches Hilfsmittel für künftige Sanierungsprojekte genossenschaftlicher Wohnensembles in Deutschland dienen.

Wir danken dem Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung für die Förderung des Projekts durch die Förderinitiative „Zukunft Bau“ (Projekt Nr. II 3-F20-11-1-038).

Literatur

- 1 Zensus 2011, Statistische Ämter des Bundes und der Länder, 2013.

Kompetenzzentren

Historische Bauforschung, Nachhaltiges Bauen (KNB)

Projektleitung

Prof. Dr. Oliver Steffens

+49 941 943-9775

oliver.steffens@oth-regensburg.de

Projektmitarbeiter

Prof. Dr.-Ing. Thekla Schulz-Brize; Prof. Dr.-Ing. Christian Rechenauer; Prof. Dr.-Ing. Birgit Scheuerer; Tobias Saller, M. Sc.; Simon Schauback, M. Sc.; Matthias Wittmann, M.A.; Annika Zeitler, M.A.

Kooperationspartner

- Planungsbüro Schröter, Abensberg
- Gemeinnütziger Bauverein e. V., Regensburg
- Sonnenkraft Deutschland GmbH, Regensburg

Projektlaufzeit

Juli 2012 – September 2014

Projekträger

Bundesamt für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR)

DIE BEURTEILUNG UND STEUERUNG DER KONSISTENZ VON SELBSTVERDICHTENDEN BETONEN IN TRANSPORTBETONWERKEN

Florian Fleischmann, OTH Regensburg
Wolfgang Kusterle, OTH Regensburg

73

Selbstverdichtender Beton (SVB) ist ein Beton, der ohne Einwirkung zusätzlicher Verdichtungsenergie allein unter dem Einfluss der Schwerkraft fließt, entlüftet sowie die Bewehrungszwischenräume und die Schalung vollständig ausfüllt. Aufgrund dieser Eigenschaften bringt er eine Reihe ökologischer, sozialer und ökonomischer Vorteile mit sich. Trotz dieser Vorteile ist der Marktanteil eher gering. Der große Nachteil des SVB liegt in seiner geringen Robustheit gegenüber Schwankungen in den Ausgangsstoffen und deren Dosierung. Daher ist bei der Herstellung von SVB eine zusätzliche Qualitätsprüfung notwendig, die aufwendig ist und daher nicht immer durchgeführt wird.

Ziel des Forschungsprojekts war die Entwicklung eines Messgerätes, das bereits während der Herstellung die Qualität des SVB bewertet und eine zusätzliche Qualitätsprüfung überflüssig macht.

Selbstverdichtender Beton kann bezüglich seiner Frischbetoneigenschaften als Hochleistungsbeton bezeichnet werden. Aufgrund seiner besonderen Eigenschaften erfolgt der Einbau verdichtungsfrei, d. h. ohne Betonrüttler. Dadurch können Lärmbelästigung und gesundheitsschädliche Vibrationen vermieden werden. SVB ermöglicht die fehlerfreie Ausführung komplizierter, filigraner und unzugänglicher Bauteile mit besserer Oberflächenqualität. Durch den Wegfall der Verdichtung können die Einbauzeit und die Einbaukosten gesenkt werden. Zudem werden Ausführungsfehler vermieden und ein dichter Beton hergestellt, was zu einer besseren Dauerhaftigkeit der Bauwerke führt.

Trotz der genannten Vorteile ist der Marktanteil von SVB eher gering, was an den Problemen liegt, die dieser Baustoff mit sich bringt. Die Verwendung besonderer Ausgangsstoffe und der höhere Aufwand bei der Rezeptentwicklung, der Produktion und der Qualitätssicherung erhöhen die Herstellkosten. Zudem reagiert der SVB empfindlich gegenüber Schwankungen in den Ausgangsstoffen, wie z. B. Feuchtegehalt der (feinen) Gesteinskörnung, Sieblinie der feinen Gesteinskörnung, Korngrößenverteilung von Zement und Zusatzstoffen. Die genannten Probleme führen dazu, dass die Produktion für viele Unternehmen unwirtschaftlich wird. Daneben ist auch ein größeres Wissen notwendig, um einen stabilen SVB herstellen zu können.

Für die zuverlässige Herstellung von SVB ist gegenüber dem konventionellen Rüttelbeton eine zusätzliche Qualitätsprüfung notwendig. Die einfachste und gängigste Methode ist die Kontrolle durch einen Laboranten. Erfahrene Mitarbeiter können bereits durch eine Sichtkontrolle Aussagen über die Qualität der Frischbetoneigenschaften machen. Hat man die Möglichkeit, mit einer Schaufel durch den Beton zu fahren, dann können bereits genauere Auskünfte gemacht werden. In einer Betonmischanlage ist dies aber kaum möglich. Diese Methoden haben auch den Nachteil, dass es sich um eine subjektive Wahrnehmung handelt und jeder Laborant die Qualität anders beurteilen würde. Aus diesem Grund gibt es Prüfverfahren, wie zum Beispiel die Trichterauslaufzeit

und das Setzfließmaß. Der Vorteil dieser Messverfahren ist, dass sie einfach und für den Baustelleneinsatz geeignet sind. Für einen Einsatz bei der Produktion sind diese Messverfahren aber nicht geeignet, da die Prüfung zu lange dauert. Ein weiterer Nachteil ist, dass es sich lediglich um empirische Messverfahren handelt, die keine Aussagen über die rheologischen Eigenschaften zulassen.



Abb. 1: Prüfung eines SVB mit dem Setzfließmaß

Foto: Autoren

Als Rheologie bezeichnet man die Lehre vom Fließen. Beim Aufbringen einer äußeren Kraft wird die zeitliche Verformung des untersuchten Stoffes beobachtet. Dabei stellt sich bei Beton ein Verhalten ein, das zwischen einer idealviskosen Flüssigkeit (z. B. Wasser, Öl) und einem im Anfangsbereich idealelastischen Festkörper (z. B. Stahl) liegt.

Die wichtigsten rheologischen Parameter für SVB sind die Fließgrenze und die Viskosität. Die Fließgrenze gibt an, ab welcher Belastung der Beton zu fließen beginnt und spielt daher für die Entmischungsneigung und die Nivellierfähigkeit eine entscheidende Rolle. Unter Viskosität versteht man die Zähigkeit des Betons, welche wiederum Aufschluss über die Geschwindigkeit des Fließens gibt und indirekt aussagt, wie gut das Zusammenhaltevermögen der Mischung ist. Die Messung dieser rheologischen Eigenschaften erfolgt mit sogenannten Rheometern.



Bauunternehmen

Vertrauen Sie einem starken Partner!



Hoch- und Industriebau
(mit Geschäftsstelle München)



Tiefbau



Bahn- und Ingenieurbau



Stahl- und Metallbau

Franz **KASSECKER** GmbH
Egerer Straße 36, 95652 Waldsassen
www.kassecker.de

Antworten auf Ihre Fragen zu Hochleistungsbeton über

Fließfähigkeit, Schwinden, Frostwiderstand:
Messgeräte von Schleibinger: viskomat NT, Bt2, Schwindkegel
Schwindrinnen, Schüsselrinnen, CDF/CIF-Frostprüfanlagen, Ultraschallprüfgeräte

Schleibinger Geräte
Teubert u. Greim GmbH

Gewerbestraße 4
84428 Buchbach

Tel. (0 80 86) 9 40 10
Fax. (0 80 86) 9 40 14

info@schleibinger.com
www.schleibinger.com



Gewerbepbau mit System: wirtschaftlich, schnell und nachhaltig

konzipieren bauen betreuen. www.goldbeck.de



GOLDBECK Ost GmbH, Geschäftsstelle Regensburg
93059 Regensburg, Frankenstraße 9
Tel. 09 41/ 4 64 69-0

deteringdesign.de

UNSERE INSERENTEN FINDEN SIE AUCH IM INTERNET:

www.unternehmen-regensburg.de

www.klebl.de

DER BAUPARTNER IN DEUTSCHLAND



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



Die Zielsetzung des Forschungsprojekts war die Implementierung eines Rheometers im Mischer eines Betonwerks, um dort direkt nach der Herstellung schnell Aussagen über die rheologischen Eigenschaften des SVB zu erhalten. Diese werden dann mit definierten Soll-Werten abgeglichen. Werden diese Soll-Werte nicht eingehalten, wird dies dem Mischmeister mitgeteilt, der im Anschluss Korrekturmaßnahmen, z. B. die Zugabe von Kleinmengen von Stoffen zur Korrektur, einleitet. Da für die Befüllung eines Betonmischfahrzeuges mehrere Chargen notwendig sind, kann alternativ die Soll-Ist-Abweichung bei der nächsten Charge berücksichtigt werden.

In einem ersten Schritt wurden bestehende Rheometer bewertet, ob ein Einsatz im Mischer möglich ist und ob unsere geforderten Randbedingungen eingehalten werden. Im zweiten Schritt wurde ein Betonrheometer (BT2 der Firma Schleibinger Geräte GmbH) modifiziert. Schließlich entstand ein neues Betonrheometer (eBT2) für den Einsatz im Labor sowie auf der Baustelle. Mit diesem Rheometer sind Änderungen in der Betonqualität sehr gut erkennbar und Aussagen über die rheologischen Eigenschaften möglich.



Abb. 2: Entwickeltes Messgerät

Foto: Autoren

Im nächsten Schritt wurde das Messgerät in den Labormischer der OTH Regensburg eingebaut und evaluiert. Zum gegenwärtigen Zeitpunkt erfolgt die Konstruktion des Messgerätes für den Einbau in einem Transportbetonwerk. Nach erfolgreicher Testphase soll das Messgerät auch kommerziell vertrieben werden.

Im Rahmen des Forschungsprojekts KONSTROLL hat sich die OTH Regensburg in Kooperation mit ihren Projektpartnern Schleibinger Geräte GmbH und der Rohrdorfer Baustoffgruppe zum Ziel gesetzt, ein Messgerät zu entwickeln, das in einer kurzen Mischpause des Betonmischers in den Beton fährt, die Frischbetoneigenschaften des Betons ermittelt und somit Aussagen über die Qualität trifft. Anschließend kann im Bedarfsfall durch Nachdosierung von Ausgangsstoffen die Frischbetonqualität verbessert werden. Ziel ist die Erhöhung der Qualität von selbstverdichtenden Betonen und die Steigerung des Marktanteils.

Literatur

- 1 Fleischmann, F.: Das Kugel-Messsystem zur Bestimmung der rheologischen Eigenschaften Selbstverdichtender Betone. Dissertation, Ruhr-Universität Bochum (2014).
- 2 Fleischmann, F., Greim, M., Kusterle, W.: The Assessment and Control of the Rheological Properties of Self-Compacting Concrete in a Concrete Mixer. In: Roussel, N., Bessaies-Bey, H. (Eds.): Rheology and Processing of Construction Materials – Proceedings of the 7th International RILEM Conference on Self-Compacting Concrete and of the 1st International RILEM Conference on Rheology and Processing of Construction Materials, Paris (2013).
- 3 Fleischmann, F., Kusterle, W.: A new concrete rheometer for the assessment of the rheological properties of Self-Compacting Concrete. In: Proceedings of the Fifth North American Conference on the Design and Use of Self-Consolidating Concrete – SCC2013, Chicago (2013).

Projektleitung

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

Projektmitarbeiter

Florian Fleischmann, M. Eng.

Kooperationspartner

- Schleibinger Geräte Teubert und Greim GmbH
- Rohrdorfer Gruppe, Südbayerisches Portland-Zementwerk Gebr. Wiesböck & Co. GmbH

Geldgeber

BMBF

Fördersumme

259.000 €

Projektlaufzeit

36 Monate

KLEINTEILIGE ARCHITEKTURINTERVENTIONEN ALS IMPULS FÜR TOURISMUS-ENTWICKLUNG DER JURA.3 REGION

Ein Großteil unserer BA-Studierenden stammt aus dem Einzugsgebiet der OTH, Niederbayern Oberpfalz, und ein relevanter Teil unserer Absolventen startet nach dem Studium nach wie vor den Berufsweg in der Boomtown Regensburg oder kehrt in die Heimat zurück. Die angrenzenden ländlichen Räume aber sind – insbesondere im Norden und Osten – von erheblichem demografischem Umbau und Strukturwandel geprägt. Absiedlungsprozesse führen zu Leerständen auch in den identitätsbildenden, baulichen Strukturen der Ortszentren und gefährden zunehmend die Daseinsvorsorge der betroffenen Kommunen.¹ Von vergleichbaren Entwicklungen sind auch andere ländliche Räume, z. B. in Ostdeutschland, betroffen.² Im Verständnis der entstehenden Herausforderungen, auch an die Ausbildung, ist an der Fakultät Architektur mit Unterstützung der Hochschulleitung 2009 ein Kompetenzzentrum „LandUmbau“ gegründet worden, das in Zusammenarbeit mit Ämtern und Kommunen und unter Einbindung regionaler Akteure mögliche Strategieansätze in Studienprojekten gezielt thematisiert.³ Abhängig vom Unterrichtsmodul reicht der Maßstab der Befassung vom Objektentwurf über den Städtebau bis zum Regionalraum. Der Komplexität des Themas entsprechend, werden integrierte Lösungsansätze trainiert, die mehrere Kommunen verknüpfen, und unter Einbindung von Fachberatung interdisziplinär bearbeitet werden.

GEMEINSAM STARK! REGIONALE KOOPERATIONSPOTENZIALE FÜR DEN JURA.3 VERBUND AUS SICHT VON STUDIENDEN (SOS 2013)

Die Gemeinden Berching, Breitenbrunn und Dietfurt haben sich in der Arge Jura.3 zusammengeschlossen, um gemeinsam ihren Tourismus neu auszurichten, da die Wertschöpfung im Vergleich zum benachbarten Altmühltal auf niedrigem Niveau verbleibt: Als Ursachen wurden das Fehlen einer konzeptionellen Positionierung und eine grundsätzlich mangelnde In-Wert-Setzung der naturräumlichen und kulturellen Stärken identifiziert. Mit einem Tourismuskonzept wurde folgend der Vorschlag eines „Gesundheitsdreiecks“ entwickelt, das unter der Dachmarke Jura.3 integriert werden soll.⁴

Unsere Untersuchung erfolgt im Rahmen eines mit 2 SWS kleinen WA-Moduls. Mehrere didaktische Einheiten werden dafür als Tagesveranstaltungen geblockt: Am Projektstart steht eine Exkursion, bei der wir von den Bürgermeistern empfangen werden, Einführungsvorträge zu Geschichte, Kultur und Wirtschaft erhalten und gemeinsam mit dem Stadtplanungsbüro Ortsbegehungen durchführen. Über die Fahrt zu den Kommunen erleben wir die naturräumliche Umgebung. Alle Studierenden besuchen während der Projektbearbeitung die Region erneut.

Wie im Altmühltal ist die Gegend um Berching, Breitenbrunn und Dietfurt Ziel von Wander- und Fahrrad-Touristen der Altersgruppen Familien und Senioren. Hier setzt die Bearbeitung an: In Analyse vorgefundener, naturräumlicher und kultureller Potenziale, definieren die Studierenden neue, eigenständige Zugänge und bilden dabei auch typische Interessen und Interpretationsebenen ihrer Altersgruppe ab, die als Zielgruppe für Naherholung und Tourismus bislang noch nicht erreicht wird. Die Studierenden sind aufgefordert, Ansatzpunkte für Naherholung und Tourismus zu begründen, die grundsätzlich immer geeignet sein müssen, für alle drei Kommunen in Übertragung prinzipiell

zu funktionieren, und darüber hinaus für eine Stärkung der Zusammenarbeit im Verbund zu wirken. In den Planungsworkshops folgt auf die SWOT-Analyse die Definition möglicher Handlungsfelder. Exemplarisch ist die individuelle Strategie abschließend mit einer Architekturintervention zu belegen. Begleitet durch interdisziplinären Dialog der Argumente Naturraum, Tourismus, Architektur und Marketing gewinnen die Projekte ihr Profil und vernetzen sich, befördert durch die Arbeitsebene der Workshops, von Anfang an. „Ländliche Regionen müssen sich neu erfinden, um attraktiv zu bleiben und Gene-

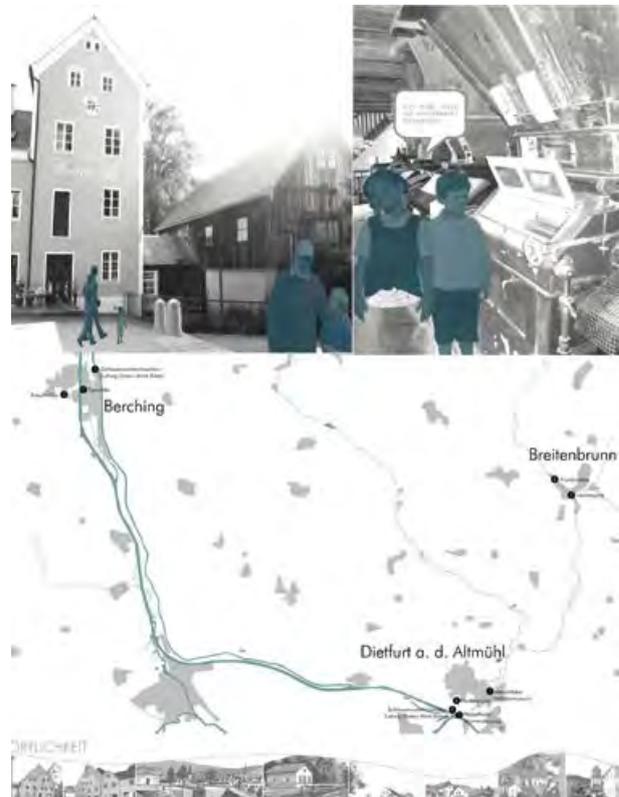


Abb. 1: Jura.3, „Geschichte der energetischen Wassernutzung“, Reaktivierung leer stehender Mühlen im Rahmen eines Bildungsprojektes, Daniel Duschl

rationen auch langfristig zu binden. Dazu benötigt es identitätsstiftende und sozial relevante Angebote. Service Design, aber auch die Bildung einer Marke, sind wichtige Bestandteile bei der strategischen Entwicklung eines Mehrwerts für den jeweiligen Standort. Um so wichtiger ist ein Disziplin übergreifendes Arbeiten, das schon an der Hochschule gefördert wird.“ (Designerin Sarah Dorkenwald)

Im Ergebnis sind Projekte entstanden, die entsprechend der Rahmenvorgaben des Tourismuskonzeptes im Finanzierungsbereich eher niederschwellig, dabei stark umsetzungsorientiert sind und die eine große Bandbreite neuer „Zugänge“ öffnen, wie offensichtliche Ressourcen von Naturraum und Baustruktur in Wert gesetzt werden können.

Wie auch bei anderen Projekten der Reihe „LandUmbau“, z. B. Dorf.Mittel.Punkt⁵, betonen unsere Kooperationspartner aus Gemeinden und Kommunen immer wieder, dass eine große Chance dieser Art der Zusammenarbeit in den unerwarteten, häufig auf offensichtlichen, neu gelesenen Potenzialen entwickelten Ansätzen besteht, und vor Ort neuen Schwung in resignative Debatten bringt – „Mut macht“.

Für Didaktik und Lehre möchte ich sogar eine Interpretation über diesen Maßstab hinaus wagen: Ländliche Räume, durch Strukturwandel und Demografie unter Druck geraten, über bewährte Standards und Werkzeuge der Raumentwicklung zunehmend schwieriger auf vergleichbare Lebensbedingungen wie in der Stadt zu bringen, eignen sich offensichtlich als Projektionsfläche für junge Menschen und ihre in diesem Alter natürlicherweise



Grafik: Ulrike Prücklmeier, Fotos: privat

Abb. 2: Jura.3, „Wasserwandern im Altmühltal“, Shelter-Strukturen für naturnahen Gesundheitstourismus, Ulrike Prücklmeier

eher „offenen“ Lebensentwürfe in besonderem Maße. Möglicherweise liegt eine große Chance, vielleicht auch bildungspolitische Herausforderung darin, gerade die „junge Generation“ viel stärker in Diskussionen um Weichenstellungen für die Zukunft der ländlichen Räume produktiv einzubeziehen.

Die Projektarbeit argumentiert im Programmkontext der Städtebauförderung, Programm „Kleinere Städte und Gemeinden“⁶, und war im Spannungsfeld eines kleinen Lehrformates und einer großen Anzahl eingebundener Partner logistisch eher aufwändig, dafür aber erneut impulsgebend für den weiterführenden Austausch zwischen Lehre und Praxis.

„Wir unterstützen die Arbeit der Studenten vor Ort, sie lernen, Qualität am regionalen Maßstab zu messen. Die Gemeinden werden durch kreative Beiträge angeregt, sich nicht mit dem Alltag zufriedenzugeben. Dass Qualität in der städtebaulichen Planung und anspruchsvolle Architektur auch in unserer Region als Impulsgeber für eine bessere Entwicklung funktionieren, können wir anhand von vielen Beispielen aus über 40 Jahren Städtebauförderung belegen.“ (LBD Rudolf Fröschl, RegOPf)

Literatur

- 1 Claudia Henzler, „Bis zum letzten Mann“, in „Die Provinz verwaist, wie Dörfer und Gemeinden gegen den Bevölkerungsschwund kämpfen“ SZ, S. 6/7, 12./13.01.2013.
- 2 Kerstin Faber, Philipp Oswalt, „Raumpioniere in ländlichen Regionen, Neue Wege der Daseinsvorsorge“, Spector Books, ISBN 978-3-940064-58-5, 2013.
- 3 Anne Beer, „LandUmbau“ als Lehrprojekt, in „Aktuelle Architektur der Oberpfalz 3“, Hrg./Verlag Büro Wilhelm, ISBN 978-3-943242-04-1, S. 122/123, 2011.
- 4 Klaus Frost, Tourismusprojekt Arge Jura.3, Frost Social Design, 2009/10.
- 5 Anne Beer, „Dorf.Mittel.Punkt, Nachqualifizierung versorgender Infrastruktur in Gemeinden der Steinwald-Allianz“, Schriftenreihe OTH LandUmbau, 2013.
- 6 <http://www.staedtebaufoerderung.info/> / Programm Kleinere Städte und Gemeinden

Projektleitung

Prof. Anne Beer

+49 941 943-1431

Kompetenzzentrum LandUmbau
anne.beer@oth-regensburg.de

Kooperationspartner

- Regierung der Oberpfalz, SG Städtebau, LBD Rudolf Fröschl
- Neuland Neumarkt
- Schober Architekten München
- Jura.3 Verbund
- Stadt Berching, Bürgermeister Ludwig Eisenreich
- Stadt Diefurt, Bürgermeister Franz Stephan
- Gemeinde Breitenbrunn, Bürgermeister Josef Kellermeier

Interdisziplinäre Zusammenarbeit

Sarah Dorkenwald, Dorkenwald und Spitzer, Brand-Marketing und Kommunikation
Dr. Heike Glatzel, Futour, Tourismus- und Regional-Beratung

Laufzeit

WA-Fach, 2 SWS, 1 Semester

Förderung

6.000 €

Exkursion/Workshops, Interdisziplinäre Kooperation, Dokumentation

FORSCHUNGSVORHABEN EnEff: WÄRME – INNOVATIVE FERNWÄRMEVERTEILUNG – EINSATZ FLIESSFÄHIGER VERFÜLLBAUSTOFFE ZUR KUNSTSTOFFVERBUND- MANTELROHRVERLEGUNG, ARBEITSPAKET BODENMECHANIK

Die Wärmeversorgung mit Fernwärme besitzt im Hinblick auf Nachhaltigkeit, Umweltschutz und Energieeffizienz sehr großes Potenzial. Wesentliche Kostenreduktionsmöglichkeiten zur Optimierung der Wettbewerbsfähigkeit werden aktuell im Fernwärmeleitungstiefbau und der Reduzierung der Betriebskosten gesehen. Zeitweise fließfähige, selbstverdichtende Verfällbaustoffe (ZFSV) bieten hierfür großes Potenzial, sind jedoch insgesamt kaum erforscht.



Abb. 1: Im Fernwärmeleitungsbau eingesetztes Kunststoffmantelrohr (KMR) mit Stahlinnenrohr, PUR-Schaumdämmung und PEHD-Mantel, rechts: mit ZFSV teilverfüllte KMR

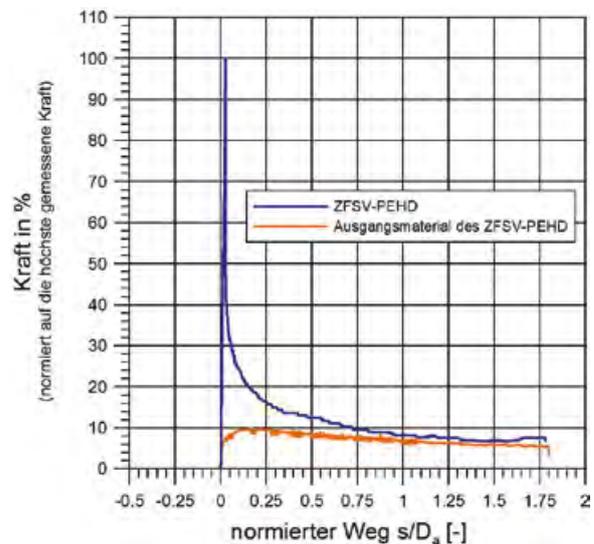
Fotos: Thomas Neidhart

Zeitweise fließfähige, selbstverdichtende Verfällbaustoffe (ZFSV) sind im konventionellen Rohrleitungsbau bereits seit längerem im Einsatz. Dort können sie für die Wiederverfüllung des unmittelbaren Bereiches um die Rohre – der sogenannten Leitungszone – als gut verbreitet und bewährt angesehen werden, u. a. auch wegen ihrer baubetrieblichen Vorteile:

- Verwendung von Böden, die im konventionellen Infrastrukturbau normalerweise aussortiert werden
- Schonung natürlicher Ressourcen durch Aushubminimierung und Reduzierung des Einsatzes von Ersatzbaustoffen
- Reduzierung der Bauzeit durch schnelleres Verfüllen, geringe Personalkosten durch personalreduziertes Verfüllen
- Keine Erschütterungsimmissionen, da der Verdichtungsvorgang entfällt

Diese Vorteile werden durch die besonderen Eigenschaften erreicht: ZFSV werden aus definierten Gesteinskörnungen/ Boden und Zusatzstoffen (im Wesentlichen Zement und technisch aufbereiteter Ton) hergestellt. Zum Zeitpunkt des Einbaus sind sie durch Zugabe großer Wassermengen zeitweise fließ- und pumpfähig sowie selbstnivellierend. Ohne Eintrag zusätzlicher Verdichtungsenergie füllen sie daher auch schwer erreichbare Bereiche unter und zwischen den Rohren – den sogenannten Rohrzwickeln – vollständig aus. Durch chemische und physikalische Prozesse wird das Zugabewasser im Zeitverlauf gebunden. Die Fließfähigkeit verringert sich dadurch und das Material geht vom fließfähigen in den festen Zustand über.

Fernwärmeleitungen (Abbildung 1) zeigen gegenüber konventionellen, erdverlegten Rohrleitungen ausgeprägte axiale und radiale Ausdehnung und Kontraktion in Abhängigkeit vom Betriebszustand. Gemäß ¹ liegen übliche Dauerbetriebstemperaturen bei 120 °C, übliche Betriebsdrücke bei 16 bar Innendruck. Die Größenordnung der Verschiebungen in Längsrichtung erreicht unbehindert den Dezimeterbereich.



Grafik: Bernd Wagner

Abb. 2: Kraft-Verschiebungskurve ZFSV-PEHD und Ausgangsmaterial des ZFSV-PEHD. Der Weg wurde auf den Rohraußendurchmesser normiert, die Kraft auf den höchsten gemessenen Wert.

Die sich dabei ergebenden axialen und radialen Dehnungen der Rohrleitung gilt es durch in der Leitungszone aktivierte Widerstände in axialer und radialer Richtung zu reduzieren. Ansonsten ist erheblicher technischer Aufwand zur Kompensation der Bewegungen zu betreiben. Dies stellt somit die Hauptaufgabe der Wiederverfüllung neben der klassischen Rohrbettung/Rohrauf Lagerung dar.

Aktuell ist in der Leitungszone der Einsatz von Natursanden 0/2 mm mit einem Größtkorn von 4 mm vorgeschrieben,¹ da hierfür ausreichend Erfahrungen und Untersuchungen vorliegen.

An der OTH Regensburg wurden für ZFSV im Rahmen von Drittmittelprojekten der Fakultät Bauingenieurwesen, Labor für Geotechnik (Professor Dr. Neidhart), bereits mehrere Untersuchungen für warmgehende Leitungen im Großversuch Maßstab 1:1 ausgeführt. Diese Untersuchungen haben bisher gegenüber einem begleitend untersuchten, fernwärmety pischen Sand höhere axiale Kräfte, auch bei zyklischer Belastung, gezeigt. Untersuchungen des FFI Hannover und des FITR Weimar kommen zu ähnlichen Ergebnissen.² Die Kräfte wirken dabei primär zwischen der PEHD-Schutz umhüllung der Rohre und dem ZFSV und werden so weiter in das Rohrsystem übertragen.

Abbildung 2 zeigt dies exemplarisch, jedoch bereits für einen kleinmaßstäblichen Laborversuch anstelle eines zeit- und kostenintensiveren Großversuchs. Hierfür wurde ein eigener Versuchsbehälter entwickelt. Die Simulation unterschiedlicher Verlegetiefen ist mittlerweile durch Weiterentwicklung ebenso möglich. Maßstabeffekte sind noch zu erfassen.

Diese Versuchsergebnisse deuten neben dem oben genannten Kostenaspekt der Bauausführung auch deutliches Potenzial für die Steigerung der Betriebssicherheit und Kostenreduzierung während des Lebenszyklus einer Fernwärmeleitung an. Allerdings sind ZFSV kaum erforscht. Die genaue Ursache der oben genannten höheren Kräfte ist derzeit noch nicht verstanden.

Nach erfolgreicher Antragsstellung wird daher seit Mitte 2012 das vom Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (BMWi) geförderte Forschungsvorhaben „EnEff: Wärme – Innovative Fernwärmeverteilung – Einsatz fließfähiger Verfüllbaustoffe zur KMR-Verlegung, Arbeitspaket Bodenmechanik“ an der OTH Regensburg in Kooperation mit dem „AGFW I Der Energieeffizienzverband für Wärme, Kälte und KWK e. V., Forschung und Entwicklung (AGFW)“ sowie der GEF Ingenieur AG (GEF) durchgeführt. Das Forschungsvorhaben ist in das beim AGFW angesiedelte und ebenso vom BMWi geförderte Forschungsprojekt „Einsatz fließfähiger

Verfüllstoffe zur KMR-Verlegung in Gräben und Haubenkanälen“ integriert. Insbesondere das Kontaktverhalten ZFSV-KMR ist dabei im Fokus. An dieser Stelle sei dem BMWi für die Bewilligung der genannten Forschungsvorhaben gedankt.

Das Vorhaben gliedert sich in insgesamt 9 Arbeitsschritte:

- Arbeitsschritt 1 – Abschichtungsverfahren: Identifikation der relevanten ZFSV
- Arbeitsschritt 2 – Versuchsreihen: Grundlagenuntersuchung der identifizierten ZFSV, weitere experimentelle Abschichtung, bodenmechanische Untersuchung und Beschreibung der verbliebenen ZFSV, Untersuchung deren Kontaktverhalten zu PEHD in klein- und großmaßstäblichen Laborversuchen
- Arbeitsschritt 3 – Vorgaben für die Ausführungstechnik
- Arbeitsschritt 4 – Definition der Qualitätsanforderungen
- Arbeitsschritt 5 – Feldversuche mit Messreihen
- Arbeitsschritt 6 – Qualitätssicherung und Qualitätskontrolle: Erarbeitung von Qualitätssicherungs- und Qualitätskontrollmaßnahmen
- Arbeitsschritt 7 – Empfehlungen für Regelwerk und Berechnungsverfahren: Entwicklung verbesserter Berechnungsläufe für die statische Auslegung von FW-Leitungen bei Verwendung von ZFSV, Erarbeitung von Empfehlungen für einen Regelwerkbaustein des AGFW
- Arbeitsschritt 8 – Verbreitung des Wissens und des Einsatzes
- Arbeitsschritt 9 – Bewertung der Auswirkungen: Analyse volkswirtschaftlicher, bautechnischer, sicherheitsrelevanter sowie emissions- und ressourcensparender Auswirkungen

Literatur

- 1 AGFW (Hrsg.): AGFW-Arbeitsblatt FW 401 – Teil 1-18: Verlegung und Statik von Kunststoffmantelrohren (KMR) für Fernwärmenetze, Frankfurt am Main (AGFW-Verlag) 2007.
- 2 Experimentelle Erfassung der Interaktion von KMR und neuartigen Rohreinbettungsverfahren; (http://www.fitr.de/site/rohrbau_kongress/rohrbau_PDFs_99/11.PDF, abgerufen am 16.04.2012)

Labor für Geotechnik

Projektleitung

Professor Dr.-Ing. Thomas Neidhart +49 941 943-1366
thomas.neidhart@oth-regensburg.de

Dipl.-Ing. (FH), Dipl.-Wirtschaftsing. (FH)

Bernd Wagner +49 941 943-9767
bernd.wagner@oth-regensburg.de

Zuwendungsgeber

Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (BMWi)

Fördersumme

ca. 560.000 €

Projektlaufzeit

36 Monate

BRANCHEN

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

Architekten und Ingenieure

büro schröter,
Dipl.-Ing.(FH) Sonja Schröter 70
Dömges Architekten 70

Bauplanung

büro schröter,
Dipl.-Ing.(FH) Sonja Schröter ... 70

Bauunternehmen / Bauträger

Franz Kassecker 74
GOLDBECK Ost 74
Klebl 74
Max Bögl Bauservice 70

Elektrotechnik

MICRO-EPSILON
MESSTECHNIK 54

Energieversorgung

REWAG Regensburger
Energie- und Wasserversorgung . 2

Industriebetriebe

Audi U2
BMW 4
Continental Automotive U4
emz-Hanauer 54
HOERBIGER Micro Fluid 44
MR Maschinenfabrik
Reinhausen U3
SCHERDEL 54

Maschinenbau

ARGES 44
SCHERDEL 54

Messtechnik

MICRO-EPSILON
MESSTECHNIK 54
Schleibinger Geräte
Teubert u. Greim 74

Metallbau

Franz Kassecker 74
LÄPPLE Automotive 44

Rechtsanwälte / Rechtsanwältinnen

LangPatent Anwaltskanzlei 2
v. Düsterlho,
Rothammer & Partner 2

Steuerberatung

v. Düsterlho,
Rothammer & Partner 2

Übersetzungen

Übersetzungsbüro
Connect-Sprachenservice 2

Unsere Inserenten finden Sie auch im Internet unter:

www.unternehmen-regensburg.de

Die Onlineversion des Forschungsberichts finden Sie unter:

www.oth-regensburg-forschungsbericht-2013.proaktiv.de

IMPRESSUM

Konzept und Betreuung

inixmedia Bayern GmbH
Geschäftsführer: Maurizio Tassillo
Redaktionsleitung: Dr. Anja Wenn
Kronacher Straße 41
96052 Bamberg
Telefon 0951/700 869-0
Fax 0951/700 869-20
Mail bayern@inixmedia.de

Redaktion OTH Regensburg:
Maximilian Rappl
Redaktion Verlag: Dr. Anja Wenn
Lektorat Verlag: Lea Gutscher
Anzeigenberatung: Thomas Deindörfer
Layout/Satz: Caroline Strobel
Druck: Kessler Druck+Medien
GmbH & Co. KG, Bobingen
PN 1149

Herausgeber

inixmedia GmbH
Marketing & Medienberatung
HRB 5629, Kiel
Geschäftsführer:
Thorsten Drewitz, Maurizio Tassillo
Liesenhörnweg 13
24222 Schwentinental
Telefon 0431/66 848-60
Fax 0431/66 848-70
Mail info@inixmedia.de
Web www.inixmedia.de

Im Auftrag der OTH Regensburg
Ausgabe 2014

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



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

Wir suchen:
Selbstständige Außen-
dienstmitarbeiter/innen
mit Spaß am Verkauf, gern auch branchenfremd, für die Region Bayern.

Wir bieten:
Sorgfältige Einarbeitung, regelmäßiges leistungsgerechtes Einkommen, eine **interessante und lukrative Tätigkeit im Außen-**
dienst.

inixmedia GmbH · Kronacher Straße 41 · 96052 Bamberg · Tel. 09 51/70 08 69-0 · jobs@inixmedia.de
www.inixmedia.de

*„Meine Geschichte: Ich stehe auf
Klimawandel. Aber nur bei der Arbeit. Denn
dort teste ich Produkte bei extremen Temperaturen.
Und welche Geschichte schreiben Sie?“*



Mehr zur Geschichte
erfahren Sie hier

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 2.850 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.

Besuchen Sie uns auf

www.reinhausen.com/karriere



THE POWER BEHIND POWER.

Continental 
The Future in Motion



Kluge Köpfe gesucht ...

... für Praktika, Abschlussarbeiten und Festanstellungen.

Are you auto-motivated?
Welcome to Regensburg!

www.continental-karriere.de
www.facebook.com/ContinentalKarriere
www.continental-people.com

