

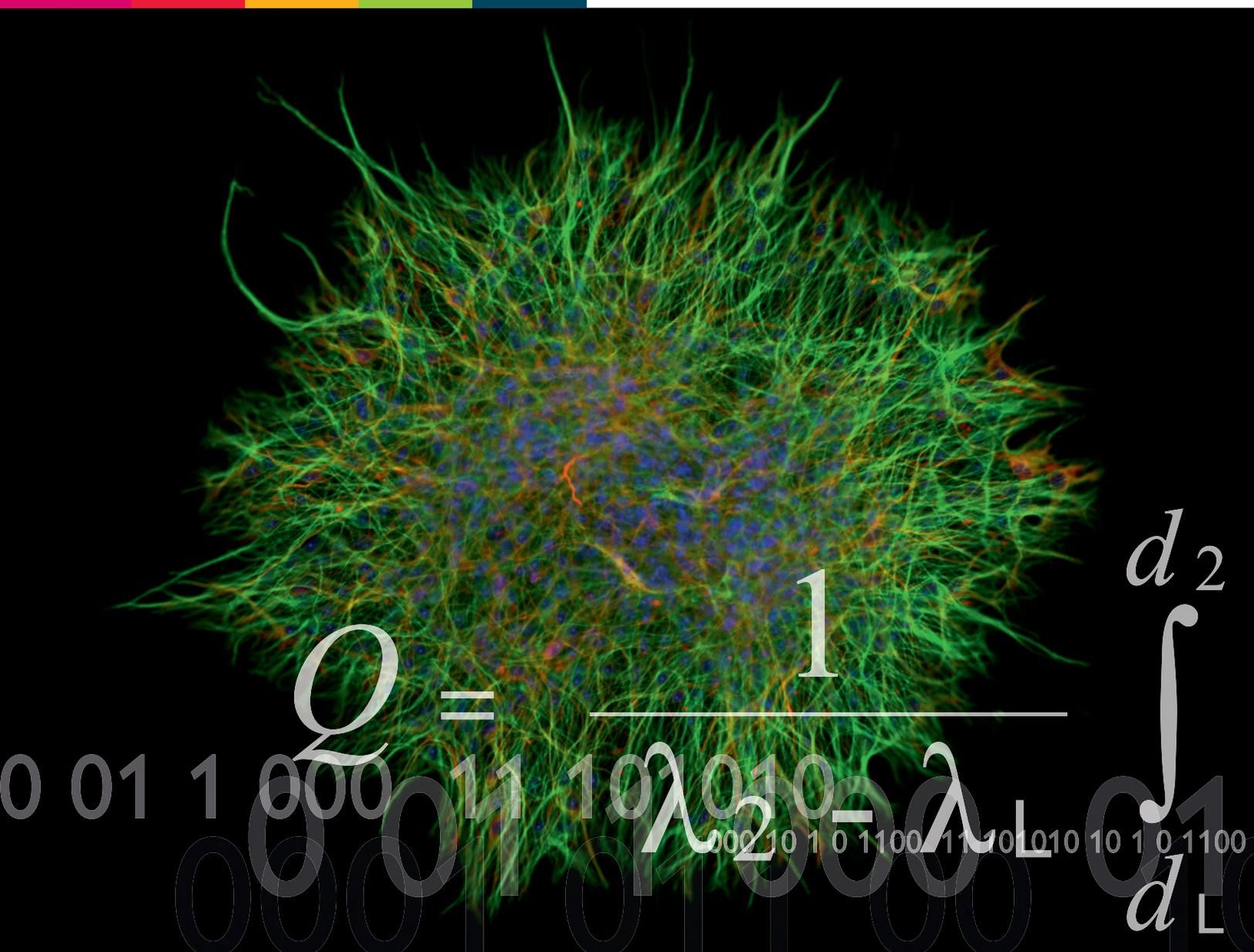


Fachhochschule  
Kaiserslautern

University of  
Applied Sciences

# Forschungsbericht 2012

CAMPUS KAISERSLAUTERN · PIRMASENS · ZWEIBRÜCKEN



[www.fh-kl.de](http://www.fh-kl.de)



## Impressum

---

## Impressum

Herausgeber  
Prof. Dr. Konrad Wolf  
Präsident der Fachhochschule  
Kaiserslautern

Morlauterer Straße 3 I  
67657 Kaiserslautern

Redaktion  
Referat Forschung und  
Projektkoordination

Morlauterer Straße 3 I  
67657 Kaiserslautern

Tel. 0631 3724-2159  
Fax 0631 3724-2174

Beiträge sind namentlich  
gekennzeichnet

Titelbild:  
Bildquelle Projekt Stammzellen

Projektleitung Anzeigen  
Sandra-Anabel Heck  
Tel.: 06082 9279399  
Fax: 06082 9279398

Produktion  
mediaprint infoverlag gmbh

# Vorwort

Liebe Leserin, lieber Leser,

vor Ihnen liegt die neue Ausgabe des Forschungsberichts der Fachhochschule Kaiserslautern. Mit dem Bericht möchten wir Ihnen einen Einblick in die vielfältigen Arbeitsgebiete unserer Hochschule vermitteln und interessante Ergebnisse aus der angewandten Forschung vorstellen. Möglicherweise kann die Lektüre dazu anregen, Kontakt mit unseren Forscherinnen und Forschern aufzunehmen oder gar eine Kooperation zu beginnen.

Forschung und Entwicklung nahmen in den beiden letzten Jahren einen sehr positiven Verlauf, der sich nicht nur an einer steigenden Drittmittelinwerbung, sondern auch an einer spürbar wachsenden F&E-Aktivität ablesen lässt. Von den drei angewandten Forschungsschwerpunkten der Hochschule trägt besonders der Schwerpunkt „Integrierte Miniaturisierte Systeme“ maßgeblich zu dieser Entwicklung bei.

Neben dem für Fachhochschulen traditionellen Ausbildungsziel zur Fach- oder Führungskraft im Unternehmen unterstützt die Hochschule zunehmend auch alternative Karrierewege ihrer Studierenden, so z. B. in die eigene unternehmerische Selbstständigkeit oder in eine wissenschaftlich orientierte Karriere. So ist die Zahl der kooperativen Promotionen, die in Zusammenarbeit mit einer Partneruniversität durchgeführt werden, inzwischen auf fast 20 laufende Vorhaben gewachsen. Während es sich bei den ersten kooperativen Pro-

motionen vor Jahren noch nahezu ausschließlich um Einzelfälle handelte, die mit ausländischen Partneruniversitäten abgewickelt wurden, sind mittlerweile Arbeitsgruppen von Nachwuchswissenschaftlerinnen und Nachwuchswissenschaftlern entstanden, die zu verwandten Themen arbeiten. Beispielsweise eröffnen die Forschungsprojekte in den Mikro- und Nanotechnologien sowie in den Lebenswissenschaften ideale Voraussetzungen für die Einbindung von Promotionsarbeiten in die Forschung, aber auch in die Lehre der Hochschule. Besonders erfreulich ist die erfolgreiche Beantragung von EU geförderten Projekten zum wissenschaftlichen Austausch und zur Nachwuchsförderung aufgrund der gelungenen Integration dieser Arbeitsgebiete in die internationale Fachcommunity.

Die Fachhochschule Kaiserslautern hat sich im vergangenen Jahr erfolgreich an den beiden BMBF-Ausschreibungen „Sicherung der Qualität in der Lehre“ und „Offene Hochschule – Aufstieg durch Bildung“ beteiligt.

Diese umfangreichen Projekte werden über die nächsten Jahre die Lehre maßgeblich unterstützen und innovative Wege ermöglichen, verknüpft auch mit wissenschaftlichen Fragestellungen. Das Zentrum für Qualitätssicherung und -entwicklung (ZQ) der Johannes-Gutenberg-Universität Mainz übernimmt die wissenschaftliche Begleitung dieser Projekte. In der nächsten Ausgabe unseres Forschungsberichts werden wir erste Ergebnisse vorstellen können.



Mein Dank gilt allen, die mit ihren Beiträgen diesen Bericht bereichert haben. Die erfolgreiche Durchführung von Forschungsprojekten im laufenden Lehrbetrieb erfordert sehr viel Engagement von den Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern sowie den betreuenden Professorinnen und Professoren – nicht zu vergessen natürlich auch Zuarbeit durch Hochschulabteilungen wie die Haushalts- und Personalabteilung, das Rechenzentrum, die Bibliotheken oder die Referate für Wirtschaft und Transfer sowie für Forschung und Projektkoordination. Die Hochschulleitung weiß das Engagement aller Beteiligten zu schätzen und freut sich über die positive Wirkung für die Hochschule.

In bewährter Weise erscheint dieser Bericht in Kooperation mit der media-print infoverlag GmbH. Ich wünsche Ihnen eine spannende Lektüre.

Ihr

A handwritten signature in black ink that reads "Konrad Wolf". The signature is written in a cursive, slightly stylized script.

Prof. Dr. Konrad Wolf  
Präsident

# Inhalt Forschungsbericht 2012

Vorwort Präsident	1
<b>I. Aktuelles aus der Hochschule</b>	4
<b>II. Projektbeispiele aus Forschung &amp; Entwicklung</b>	8
<b>Applied Life Sciences</b>	
Darmmotilität – und er bewegt sich doch ... Prof. Dr. med. Karl-Herbert Schäfer	8
Stammzellen – Was man nicht im Kopf hat ... Prof. Dr. med. Karl-Herbert Schäfer	12
Die Erhaltung des neuronalen Stammzellcharakters durch Lipopolysaccharide Dipl.-Biol. Anne Schuster, Prof. Dr. med. Karl-Herbert Schäfer	16
Ultraschalleffekt – Studie zum Einfluss von Ultraschall auf Zellen Dipl.-Biol. Anne Schuster, Prof. Dr. med. Karl-Herbert Schäfer	20
<b>Bauingenieurwesen</b>	
Elastische Inliner-, Fugen-, Schachtkopfanbindungen für Schächte und begehbare Kanalisationen Dipl.-Ing. (FH) Artur Gitzen, Prof. Dr.-Ing. Peter Michael Hajek	24
<b>Betriebswirtschaft</b>	
Empirische Untersuchung bei Studierenden und Praktikern zum Controlling unter besonderer Berücksichtigung von KMU Prof. Dr. Walter Ruda, B. A. Bernhard Dackiw	28
Internationale empirische Studie „Gründungsverhalten und Entrepreneurship-Motivation von Studierenden“ Prof. Dr. Walter Ruda, Prof. Dr. Thomas A. Martin, M. A. Dipl.-Betriebswirt (FH) Benjamin Danko	32
<b>Informatik</b>	
du.fragmich.net – Ein Frage-und-Antwort-System im Web 2.0 der FH Kaiserslautern B. Sc. Martin Weller, Prof. Adrian Müller	36
<b>Kunststofftechnik</b>	
Erhöhung der elektrischen Leitfähigkeit von Matrixwerkstoffen für Composites durch den Einsatz leitender Nanomaterialien Prof. Dr.-Ing. Jens Schuster	40
<b>Maschinenbau</b>	
Digitale Fabrik – Integriertes Product Lifecycle Management für die Musterfabrik der FH Kaiserslautern Prof. Dr. Reinhard Horn, Prof. Dr. Thomas Kilb, Prof. Dr. Hubert Klein	42
<b>Mikrosystemtechnik</b>	
Physikalische Charakterisierung perpendikular magnetisierter Maßverkörperungen für hochauflösende Drehgeber	

Dipl.-Ing. (FH) Dominik Mika, Prof. Dr. Hildegard Möbius	46
AMR-Sensoren für die Entwicklung moderner Sportausrüstung Prof. Dr. Antoni Picard	50
<b>III. Forschungsfreiemester</b>	54
<b>Die Nutzung neuronaler Netze zum Auffinden optimaler Repositionspfade für die chirurgische Versorgung von Knochenfrakturen</b> Prof. Dr. Rainer Fremd	54
<b>Covenants in Kreditverträgen</b> Prof. Dr. Karl-Wilhelm Giersberg	58
<b>Ein Erbe erfolgreich verteilen – international markante Verhaltensunterschiede</b> Prof. Dr. Marc Piazolo	62
<b>Unternehmensgründung – Ein Vergleich von Studierenden in Deutschland und Polen</b> Prof. Dr. Walter Ruda	68
<b>IV. Veröffentlichungen / Konferenzbeiträge</b>	72
<b>Konferenzbeitrag: „EnFI 2012“</b> Prof. Dr. Sven Ingebrandt	72
<b>Konferenzbeitrag: „Arbeitsgruppe Biomedizinische Messtechnik auf großer Fahrt“</b> Prof. Dr. Sven Ingebrandt	73
<b>Konferenzbeitrag: „Approximation vermessener Reflektanzfunktionen durch nichtlineare Parameterschätzung“</b> Stefan Häfner	74
<b>Konferenzbeitrag: „GEST-Forschungsergebnisse auf mehreren internationalen Konferenzen präsentiert“</b> Prof. Dr. Walter Ruda, Prof. Dr. Thomas A. Martin, M.A. Dipl.-Betriebswirt (FH) Benjamin Danko	76
<b>Lehrbuch: „Empirische Datenanalyse &amp; Marktforschung“</b> Prof. Dr. Marc Piazolo	78
<b>Lehrbuch: Kurzporträt des Beitrages „Mathematik“ zu den „Schneider Bautabellen für Ingenieure“</b> Prof. Dr. Kerstin Rjasanowa	79
<b>Ansprechpartner und Adressen</b>	81

# Einführung

Die Fachhochschule Kaiserslautern versteht sich als Hochschule für angewandte Wissenschaften und Gestaltung. Das Studienangebot umfasst inzwischen fast 50 Studiengänge aus den Ingenieurwissenschaften, Naturwissenschaften, Wirtschaftswissenschaften und der Gestaltung. Mehr als 5.600 Studierende und etwa 150 Professorinnen und Professoren studieren, lehren und forschen zurzeit in Kaiserslautern, Pirmasens und Zweibrücken.

## Aktuelle Entwicklungen in der Lehre

Die Fachhochschule Kaiserslautern gewährt ihren Studierenden neben einem anwendungsnahen Studium in den Bachelor- und Masterstudiengängen mit Praxisphasen im Unternehmen auch umfangreiche Angebote und Beratungen zur Vorbereitung einer unternehmerischen Selbstständigkeit und durch die Integration in F&E-Projekte die Möglichkeit einer forschungsnahen Qualifizierung.

Das Studienangebot der Hochschule wächst stetig. Mit „Angewandter Pharmazie“ und „Medizininformatik“ sind neue Studienrichtungen integriert worden, die das Angebot an Bachelorstudiengängen erweitern und zugleich eng mit vorhandenen Studiengängen wie „Applied Life Science“ und „Medieninformatik“ bzw. „Angewandte Informatik“ verbunden sind. Gleichzeitig entsteht derzeit der berufs begleitende Bachelorstudiengang „IT-Analyst“ auf

dem Gebiet der Informatik ebenso wie die drei berufsbegleitenden Bachelorstudiengänge Prozessingenieurwesen, Automatisierungstechnik und Industrial Engineering in den Ingenieurwissenschaften, die die Studienrichtungen Maschinenbau, Elektrotechnik und Wirtschaftsingenieurwesen abdecken. Gemeinsam mit dem bereits existierenden berufsbegleitenden Bachelorstudiengang „Betriebswirtschaft“ entsteht so mit großer inhaltlicher Breite eine dritte Säule der Hochschullehre, neben den konsekutiven Präsenz- und den berufsbegleitenden Weiterbildungsstudiengängen. Darüber hinaus wird auch das Studienangebot an konsekutiven Masterstudiengängen und Weiterbildungs-Mastergängen ständig weiterentwickelt.

Die Fachhochschule Kaiserslautern hat sich im vergangenen Jahr erfolgreich an den beiden BMBF-Ausschreibungen zum Thema „Sicherung der Qualität in der Lehre“ beteiligt. Daraus sind das Projekt „Förderung individueller

Studienwege“ (FIS) und das Verbundprojekt „Open MINT Labs“ (OML) der Fachhochschulen Kaiserslautern, Trier und Koblenz entstanden. Ebenfalls erfolgreich war die gemeinsame Beteiligung der Fachhochschule und der Technischen Universität Kaiserslautern an der BMBF-Ausschreibung „Offene Hochschule – Aufstieg durch Bildung“. Daraus ist das BMBF-Verbundprojekt „Offene Kompetenzregion Westpfalz“ (OK Westpfalz) der beiden Kaiserslauterer Hochschulen hervorgegangen.

Das Projekt FIS berücksichtigt die individuelle Leistungsfähigkeit der Studierenden. Es entwickelt Maßnahmen für eine intensive Begleitung während des Studiums und zur Erleichterung der Übergänge in das Studium ebenso wie in die Berufstätigkeit. Im Mittelpunkt des Projektes stehen studienbegleitende Betreuungskonzepte mit intensiven Blended-Learning-Vorkursen, Beratungsangeboten zum Studienverlauf in allen Fachbereichen und mit den Beratungserfahrungen abgestimmte

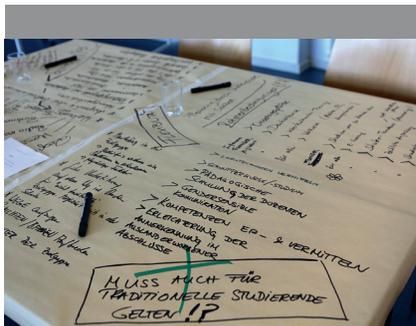


Abb. 1+2: Auftaktworkshop zu den neuen Projekten mit vielen kreativen Ideen Abb. 3: Ministerin für Bildung, Wissenschaft, Weiterbildung und Kultur Doris Ahnen mit ihrem Grußwort bei der Auftaktveranstaltung für das Bildungsnetzwerk Westpfalz

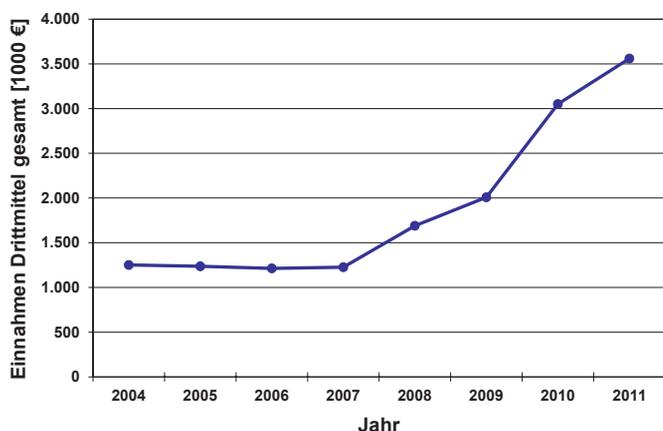


Abb. 4: Gesamtdrittmittel einnahmen seit 2004

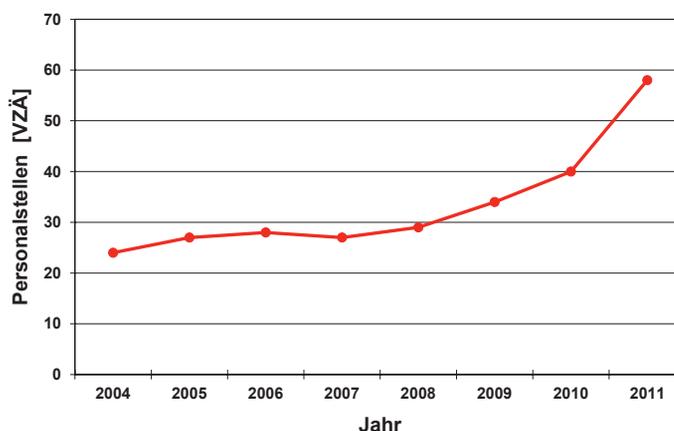


Abb. 5: Personalstellen, dargestellt als Vollzeitäquivalent

Tutorien. Ergänzt werden diese Projektschwerpunkte durch ein Betreuungsangebot für Studienaussteiger, gemeinsam mit hochschulexternen Partnern wie der Handwerkskammer und der IHK Pfalz, durch ein studienbegleitendes Zusatzangebot für besonders engagierte Studierende und durch umfangreiche Personalentwicklungsmaßnahmen für die Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter der Hochschule.

Eine intensive Zusammenarbeit mit Kammern, Arbeitsagenturen und Unternehmen der Region sowie der Ausbau des kooperativen Studienmodells KOSMO sollen die Durchlässigkeit zwischen beruflicher und akademischer Bildung fördern und zur Sicherung des Fachkräftebedarfs in der Region beitragen. In Kooperation mit Bildungsträgern bereitet ein Arbeitspaket des Projektes FIS Schülerinnen und Schüler mit Migrationshintergrund auf das Hochschulstudium vor. Das Projektvolumen von insgesamt 6,2 Millionen Euro bei einer Laufzeit von 5 Jahren ermöglicht der Hochschule auf den genannten Gebieten eine Vielzahl von umfangreichen Maßnahmen, die bisher nicht denkbar gewesen wären.

Im Rahmen des Verbundprojektes **Open MINT Labs** der Fachhochschu-

len Kaiserslautern, Koblenz und Trier werden natur- und ingenieurwissenschaftliche Grundlagenlabore in einem Blended-Learning-Konzept unter besonderer Berücksichtigung des Anwendungsbezugs erarbeitet und in die Lehre eingeführt. Das Gesamtvolumen des Projektes beträgt 6,9 Millionen Euro bei einer Laufzeit von ca. 4,5 Jahren und wird von der Fachhochschule Kaiserslautern koordiniert. Die Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter an den drei beteiligten Hochschulen bilden Arbeitsgruppen in den Bereichen Physik, Chemie/Biologie und Ingenieurwissenschaften (Maschinenbau, Elektrotechnik und Bauingenieurwesen), die jeweils von einem Fachkoordinator betreut werden.

Zusätzlich wird eine Gruppe von Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern aufgebaut, die an allen Hochschulen die Umsetzung der Lehrinhalte in Blended-Learning-Module durchführt. Der Anwendungsbezug soll durch naturwissenschaftliche und technische Beispiele aus den Kooperationsfirmen der beteiligten Hochschulen erreicht werden. An jeder Hochschule wird eine Mitarbeiterin bzw. ein Mitarbeiter bei Unternehmen, die z. B. durch den Wissens- und Technologietransfer mit der Hochschule verbunden sind, geeignete Anwendungsbeispiele identifizieren, die

in die Blended-Learning-Lehrmodule integriert werden.

Die Module selbst bestehen sowohl aus einer State-of-the-Art-Aufbereitung der Laborvorbereitung, einer virtuellen Darstellung der Versuchsdurchführung und einer im E-Learning-Modus aufbereiteten Darstellung der Versuchsauswertung. Auf diese Weise soll der Lernerfolg bei einer nachfolgenden realen Labordurchführung deutlich erhöht werden (auch wenn nur begrenztes Betreuungspersonal zur Verfügung steht), aber auch eine rein virtuelle Durchführung der Laborversuche durch die Studierenden ermöglicht werden (z. B. bei berufs begleitenden Studiengängen).

Der Schwerpunkt des Verbundprojektes **OK Westpfalz** der beiden Kaiserslauterer Hochschulen mit einem Gesamtvolumen von 4,5 Millionen Euro und einer Laufzeit von 3,5 Jahren liegt auf der Einführung und Weiterentwicklung von berufs begleitenden Studiengängen unter besonderer Berücksichtigung neuer Zielgruppen für die Hochschulen und der Kompetenzorientierung in der Lehre. Die Fachhochschule, die dieses Verbundprojekt koordiniert, bearbeitet in dem Projekt die Einführung und Weiterentwicklung von berufsbe-

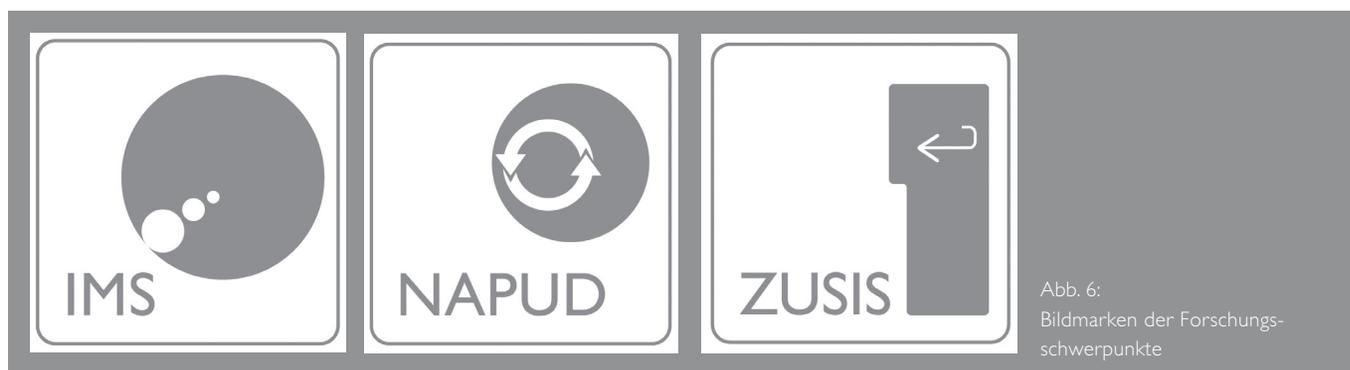


Abb. 6:  
Bildmarken der Forschungs-  
schwerpunkte

gleitenden Bachelorstudiengängen in der Betriebswirtschaft, der Informatik, den Ingenieurwissenschaften und im Bereich „Life Sciences“. Bei der Technischen Universität Kaiserslautern steht die Weiterentwicklung und Einführung von berufsbegleitenden betriebs- und sozialwissenschaftlichen Weiterbildungs-Masterstudiengängen im Mittelpunkt des Projektes. Insbesondere sollen dabei die Bedürfnisse nichttraditioneller Zielgruppen für diese Studiengänge berücksichtigt werden. Dies erfordert beispielsweise neue Lehr- und Lernformen und eine kompetenzorientierte Betrachtung der Studieninhalte. Einen wichtigen Beitrag bildet der Aufbau eines Bildungsnetzwerkes für die Region zur Abstimmung der Kompetenzen in den unterschiedlichen Studien- und Berufsfeldern und zur Sicherung der Durchlässigkeit der Bildungswege.

Die drei Projekte mit einem Gesamtvolumen von insgesamt 10,3 Millionen Euro für die FH Kaiserslautern werden durch das Zentrum für Qualitätssicherung der Johannes-Gutenberg-Universität Mainz (ZQ) wissenschaftlich begleitet. Wir werden in den nächsten Ausgaben über die Ergebnisse der projektbegleitenden Untersuchungen des ZQ Mainz berichten.

## Aktuelle Entwicklungen in der Forschung

6

In vielen Fachgebieten der Hochschule ist in den vergangenen Jahren eine

Zunahme der Forschungsaktivität zu beobachten. In den Berufungsverfahren konnten zum Teil sehr forschungsaktive neue Kolleginnen und Kollegen für die Hochschule gewonnen werden. Ein Senatsausschuss für Forschung mit Vertretern der Fachbereiche, der Forschungsschwerpunkte sowie Experten aus Wissenschaft und Wirtschaft begleitet die Entwicklung mit strategischen Empfehlungen, das Forschungsreferat der Hochschule gibt praktische Unterstützung und Beratung bei der Planung von Forschungsvorhaben sowie der Beantragung von Projektmitteln. Seit dem Jahr 2007 ist ein rapider Anstieg der Gesamtdrittmittelinnahmen zu verzeichnen. Sie haben 2011 einen Stand von 3,56 Mio. € erreicht. Die ca. 60 laufenden Projekte im Jahr 2011 wurden zu etwas mehr als der Hälfte aus öffentlichen Programmen finanziert, die übrigen als Auftragsforschung der Wirtschaft. Bei den öffentlichen Mittelgebern steht das BMBF für unsere Hochschule an erster Stelle, über das Förderprogramm ZIM fließen aber auch zunehmend Forschungsgelder aus dem BMWi an die Hochschule. Mehrere Großgeräte für die Labore konnten unter Kofinanzierung der DFG in den vergangenen Jahren angeschafft werden. Mit den eingeworbenen Projektmitteln wurden insgesamt knapp 80 Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter (58 Vollzeitäquivalente) beschäftigt, fast die Hälfte davon sind Frauen. Dies ist insofern bemerkenswert, als der Frauenanteil bei den Studierenden nur bei 28 % liegt.

## Positive Bilanz der drei angewandten Forschungsschwerpunkte

Die drei im Zuge einer Profilbildung vor Jahren vom Senat der Hochschule eingerichteten und zurzeit im Rahmen der Fachhochschulinitiative durch das rheinland-pfälzische Wissenschaftsministerium (MBWWK) geförderten, angewandten Forschungsschwerpunkte „Integrierte Miniaturisierte Systeme“ (IMS), „Nachhaltige Produkte und Dienstleistungen“ (NAPUD) und „Zuverlässige Software-intensive Systeme“ (ZUSIS) können auf eine positive Entwicklung im vergangenen Jahr zurückblicken.

Diese zeigt sich insbesondere an der zunehmenden Anzahl der forschenden Professorinnen und Professoren in den Schwerpunkten. Allein der Forschungsschwerpunkt IMS konnte einen Zuwachs von sechs auf nunmehr neun Mitglieder verzeichnen, die sich in themenspezifischen Arbeitsgruppen organisieren. Ziel der Zusammenarbeit ist die Entwicklung und Herstellung von miniaturisierten Systemen sowie ihre Einsetzbarkeit. Voraussetzung dafür ist ein synergetisches Zusammenwirken von Natur- und Ingenieurwissenschaften. Anwendungsfelder liegen in den Bereichen Gesundheit, Sicherheit, Haushalt, Fahrzeugtechnik, Informationstechnik u. a. Ein Schwerpunkt der Arbeiten hat sich mit den angewandten Lebenswissenschaften an der Schnittstelle zwischen technischen und biolo-

gischen Systemen herausgebildet, ermöglicht durch die Zusammenarbeit der Arbeitsgruppen aus den Bereichen Mikro-, Nano- und Bio-Technologie. Im Jahr 2011 wurden über 20 öffentlich oder privat-wirtschaftlich finanzierte Projekte mit einem Gesamtvolumen von ca. 1,3 Mio. Euro bearbeitet. Insgesamt 15 kooperative Promotionsvorhaben sind derzeit in diese Projekte eingebunden und werden von den Mitgliedern des Forschungsschwerpunkts betreut.

Der Forschungsschwerpunkt ZUSIS konnte auf einen stabilen Kreis an Mitgliedern zurückgreifen, welche sich auf die Entwicklung konstruktiver Methoden zur Erstellung sicherer, wartbarer, diagnostizierbarer und selbstheilungsfähiger Systeme fokussierten. Nach einer Phase der Neustrukturierung weist der Forschungsschwerpunkt NAPUD nunmehr sieben Mitglieder auf, bei denen sich ein ausgeprägtes Forschungsinteresse an der interdisziplinären Analyse nachhaltiger Stadtentwicklung herauskristallisierte.

Die positive Entwicklung der Angewandten Forschungsschwerpunkte manifestiert sich neben der zunehmenden internen Vernetzung auch durch den verstärkten Aufbau externer, deutschlandweiter und internationaler Kooperationen. So ist der Forschungsschwerpunkt IMS seit dem Jahre 2011 in ein EU-gefördertes Projekt zum Austausch von Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftlern aus Europa und Asien (Kurzname „M6“) integriert, das auf die Entwicklung multifunktionaler miniaturisierter Bauelemente zielt. Seit diesem Jahr ist der Schwerpunkt zudem an einem Initial Training Network zur Förderung von Nachwuchswissenschaftlerinnen und Nachwuchswissenschaftlern rund um die Frühdiagnose von Prostatakrebs beteiligt. Auch der Forschungsschwerpunkt ZUSIS baute seine Kooperationen zu medizinisch-technischen Institutionen (bspw. DRK Mainz,

Rettungsleitstelle Merzig, ASB) weiter aus. Der Forschungsschwerpunkt NAPUD wurde Mitglied in fachspezifischen Netzwerken (z. B. Netzwerk Nachhaltige Ökonomie, FONA-Netzwerk, Netzwerk der Fachhochschulen Deutschlands für eine nachhaltige Entwicklung). Damit ist ein hohes Potenzial neuer Kooperationsmöglichkeiten verbunden.

Eine eigene Homepage für jeden Schwerpunkt, neu erarbeitetes Informationsmaterial in Form von Flyern sowie die Beteiligung an Maßnahmen zur Motivation von Schülerinnen und Schülern für ein MINT-Studium unterstützen die Öffentlichkeitsarbeit der angewandten Forschungsschwerpunkte nach innen und außen und fördern die weitere Entwicklung im Sinne einer zunehmenden Vernetzung und Öffnung hin zu zusätzlichen Zielgruppen.

## Technologietransfer und Vernetzung

Der Wissens- und Technologietransfer sowie die Vernetzung mit der Wirtschaft haben für die Hochschule einen hohen Stellenwert. An den Transferprozessen sind schon allein durch die Betreuung der studentischen Praxisphasen und Abschlussarbeiten sehr viele Professorinnen und Professoren beteiligt. Oft ergeben sich aus diesen Unternehmenskontakten auch weiterführende F&E-Aufträge für die Hochschule. Idealerweise münden diese in eine längerfristige Zusammenarbeit. Besonders kleinere Firmen ohne eigene Entwicklungsabteilung profitieren von dieser Art der Zusammenarbeit, aber auch größere Unternehmen beauftragen die Hochschule mit Entwicklungsaufgaben, die sie selbst kaum oder gar nicht bearbeiten können. Das Referat Wirtschaft und Transfer bildet die zentrale Schnittstelle zwischen Hochschule und Wirtschaft und unterstützt aktiv den Aufbau von Kooperationen. Es ist integriert in ein Technologietransfer-

Netzwerk der rheinland-pfälzischen Hochschulen.

Mit KOSMO bietet die Hochschule ein kooperatives Studienmodell in enger Partnerschaft mit Unternehmen an, das die Möglichkeit bietet, Studierende und Unternehmen der Region frühzeitig in Kontakt zu bringen. Fast 100 Unternehmen sind inzwischen Partner für dieses Studienmodell. Die Zusammenarbeit in der grenzüberschreitenden Großregion Saar-Lor-Lux-Westpfalz wird mit einem Projekt zur Studierendenmobilität und mit einem neuen Interreg-geförderten Verbundvorhaben zur elektrochemischen Werkstoffbearbeitung fortgeführt.

Mit dem Gründungsbüro der TU & FH Kaiserslautern, das 2008 als gemeinsame Betriebseinheit der beiden Kaiserslauterer Hochschulen entstanden ist, wurde eine an den Hochschulen selbst, aber auch über die Region hinaus sichtbare Einrichtung geschaffen. Gefördert mit Mitteln aus dem Europäischen Strukturfonds für regionale Entwicklung (EFRE) und dem rheinland-pfälzischen Wissenschaftsministerium (MBWWK), hat es sich laut „Bundesbericht Forschung und Innovation 2010“ (Zitat) „in kurzer Zeit zu einem zentralen Akteur im Gründungsgeschehen in Rheinland-Pfalz entwickelt“. Ziel der Maßnahmen, die bis Anfang des Jahres 2012 auch über ein bundesgefördertes EXIST-Projekt finanziert werden konnten, ist die Verankerung von Intrapreneurship und Entrepreneurship an den Hochschulen. Im Fokus liegt dabei die Sensibilisierung, Qualifizierung sowie Beratung in der Vorgründungsphase. Mehrere konkrete Gründungsprojekte von Studierenden der FH Kaiserslautern wurden über die vergangenen Jahre begleitet. Gründungen wie OBJECT detect versprechen sich erfolgreich am Markt zu halten.

# Darmmotilität – und er bewegt

Prof. Dr. med. Karl-Herbert Schäfer

Der Magen-Darm-Trakt (MDT) ist ein oft vernachlässigtes Organ, welches seinen Dornröschenschlaf nur dann unterbricht, wenn es akut oder chronisch erkrankt. Dann spüren wir, wie heftig der Darm agieren kann. Aber selbst ohne dass wir seine Aktivitäten spüren, arbeitet der Darm kontinuierlich Tag und Nacht. Die Aktivität des MDT wird sowohl durch die Nahrung als auch durch Medikamente oder entzündliche Darmerkrankungen wie Morbus Crohn oder Colitis beeinflusst. Im Gegensatz zum Herzen gibt es kein verlässliches Gerät, mit dem wir den Darm monitoren können. Ziel des Projektes war es deshalb zu untersuchen, inwieweit die Darmbewegungen erfasst und bewertet werden können. Hierzu wurden sogenannte Ex-vivo-Präparationen verwendet, das heißt, einzelne Darmsegmente von Versuchstieren wurden post mortem oder in Narkose entnommen und in einem Organbad bis zu einigen Stunden untersucht. Zusätzlich wurde die Aktivität des Darmnervensystems mithilfe von Mikroelektrodenarrays und Ca-Imaging evaluiert. Letzteres stellt die Untersuchung der Aktivität der Einzelzelle über die intrazelluläre Calcium-Konzentration dar. Im Rahmen des Projektes wurden u. a. die Auswirkungen von Anästhetika und Ethanol auf die Darmmotilität untersucht.

Der Darm ist ein Organ, welches mit einer Länge von mehreren Metern unseren Körper durchzieht. Er beginnt mit der Speiseröhre und endet mit dem Enddarm, dem sogenannten Rektum. Die verschiedenen Abschnitte des Darmes (Speiseröhre, Magen, Duodenum, Jejunum, Ileum, Coecum und Colon) sind funktionell und morphologisch sehr unterschiedlich, ihr prinzipieller Bauplan ist jedoch gleich. Es finden sich in der Regel zwei Muskelschichten aus sogenannten glatten Muskelzellen. Diese sind einmal in Längsrichtung des Darmes ausgerichtet (Längsmuskulatur) und einmal entlang seiner Zirkumferenz (Ringmuskulatur). Zwischen den Muskelschichten findet sich ein neu-

ronales Netzwerk, der Plexus myentericus. Zusammen mit dem Plexus submucosus bilden sie das enterische Nervensystem, eine Anhäufung von 10 bis 100 Millionen Nervenzellen und damit mehr als im Rückenmark (Abb. 1).

Die Funktion des Darmes liegt einerseits in der Aufnahme und Aufbereitung der Nahrungsbestandteile, andererseits in deren Transport. Diese Transportfunktion ist hauptsächlich der koordinierten Aktion von Ring- und Längsmuskulatur geschuldet. Wie lässt sich die Aktivität dieser Muskulatur bzw. des koordinierenden Nervensystems untersuchen? Dazu bedarf es unterschiedlicher Herangehensweisen.

Die Motilität des Darmes wurde in einem Ex-vivo-Ansatz in einem Organbad untersucht. Hierzu wurden Darmabschnitte von Versuchstieren (Maus und Ratte) entnommen und über mehrere Stunden unter physiologischen Bedingungen in einem Organbad beobachtet. Ein Organbad ist ein Gefäß, welches die Versorgung eines Organs außerhalb des Körpers mit Sauerstoff und Nährstoffen für einen längeren Zeitraum erlaubt. Die Besonderheit des Systems, welches in unserem Labor eingesetzt wird, ist die Perfusion durch die darmeigenen Blutgefäße. Hierzu werden die Darmarterie und -vene im narkotisierten Tier mit einem feinen Schlauch kanüliert, der Darm entnommen, und durch diese Schläuche mit einem Nährmedium versorgt. Diese Technik erlaubt eine längere Perfusionszeit bei besserer Organerhaltung sowie das Einbringen von zu untersuchenden Pharmaka in das Blutgefäßsystem (Abb. 2).

Das Organbad ist mit einer Frontglascheibe ausgestattet, sodass das Abfilmen des sich bewegenden Darms möglich ist. Die Filmaufnahmen können auf einen Rechner überspielt und dort mit einer entsprechenden Software

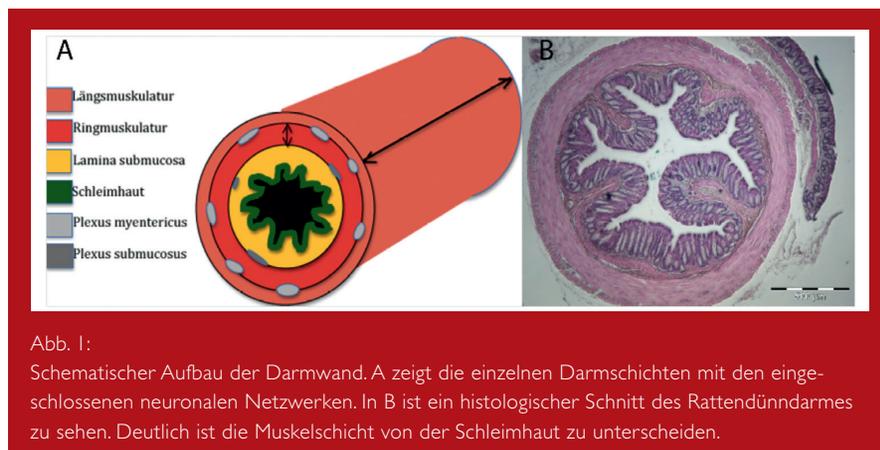


Abb. 1:  
Schematischer Aufbau der Darmwand. A zeigt die einzelnen Darmschichten mit den eingeschlossenen neuronalen Netzwerken. In B ist ein histologischer Schnitt des Rattendünndarms zu sehen. Deutlich ist die Muskelschicht von der Schleimhaut zu unterscheiden.

# egt sich doch ...

Resection and perfusion

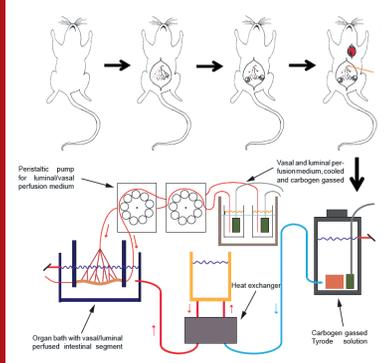


Abb. 2:  
Darstellung der Ex-vivo-Untersuchung perfundierter Darmabschnitte.

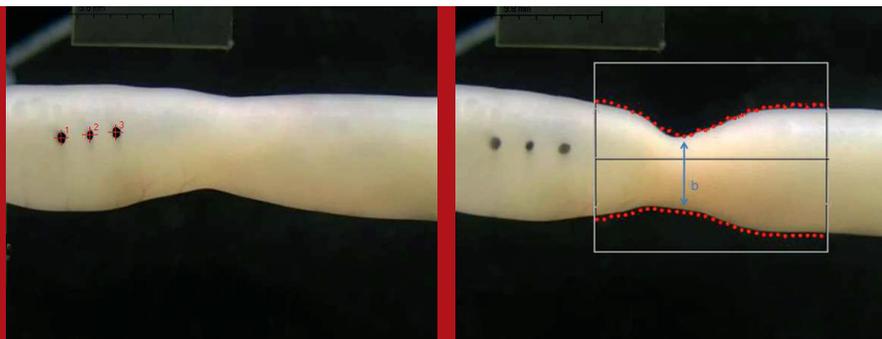


Abb. 3:  
(1) und (2) Ausschnitt des Messfensters im Programm „Motility Mapping 2.1“. (1) Messung von Pendel- und Longitudinalbewegungen der „Dot“- Markierungen auf dem Darmabschnitt. (2) Darmabschnitt mit Messpunkten an der oberen und unteren Begrenzung. (b) Durch Subtraktion des unteren vom oberen Messpunkt eines Punktpaars berechnet „Scilab 5.2“ den Durchmesser an der entsprechenden Stelle. (\*) Messbalken zur Kalibrierung der Messwerte für die Auswertung.

ausgewertet werden. Es lassen sich sowohl die Bewegungen in der longitudinalen als auch der vertikalen Auslenkung auswerten. Die entsprechende Software detektiert und „trackt“ isolierte Punkte, die in einer Linie auf der Darmoberfläche angebracht worden sind. Damit lassen sich die Bewegungen der einzelnen Punkte zueinander und somit die Longitudinalkontraktionen erfassen (Abb. 3). Die Vertikalbewegungen können ebenfalls automatisch erfasst werden. Die Rückwand des Organbads ist dunkel, was einen starken Kontrast zum hellen Darm ergibt. Diese Kontrastlinie ist für die Software erkennbar.

Virtuell werden jetzt jeweils an der oberen und unteren Borderline 32 Punkte angebracht und während der Kontraktionsbewegungen verfolgt.

Die Bewegungen können einerseits für einen bestimmten Zeitraum als „Heatmap“ dargestellt werden oder es werden in einem „Boxplot“ die Ereignisse in einem festgelegten Zeitrahmen zu-

sammengefasst. In der „Heatmap“ lassen sich die Kontraktionen je nach ihrer Stärke in unterschiedlichen Farbtönen darstellen und codieren (Abb. 4).

Während sich in der „Heatmap“ unterschiedliche Verläufe der Kontraktionen über einen bestimmten Zeitraum darstellen lassen, können im „Boxplot“ verschiedene Messungen miteinander verglichen werden. Im Rahmen des Projektes war dies beispielsweise für verschiedene Narkosemittel der Fall. Abb. 5 zeigt deutlich eine Abnahme der Kontraktionsleistung des Darmes

in Abhängigkeit von der Konzentration des Medikaments. Gleiche Effekte zeigen Barbiturate, während Ketamin keinerlei Auswirkungen auf die Darmmotilität des Dünndarmes hat.

Die Messungen am gesamten Darmpräparat lassen keine direkten Schlüsse auf die Wirkungen auf das Darmnervensystem zu. Zusätzliche Untersuchungen wie die Erfassung der elektrischen Aktivität enterischer Nervenzellen über Multielektrodenmessungen oder Calcium-Imaging sind hier hilfreich.

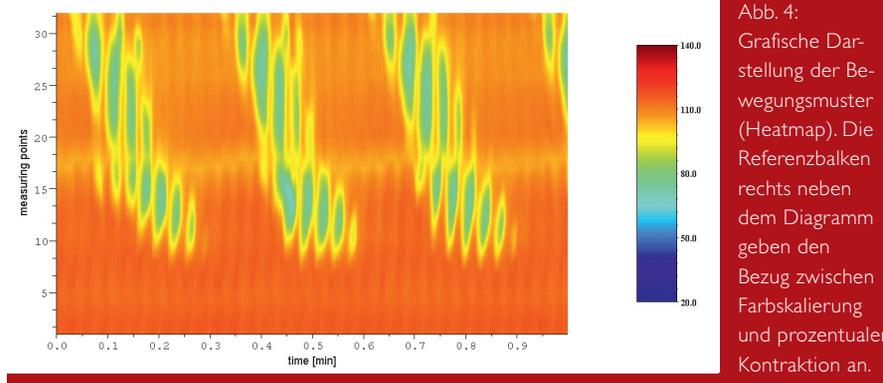


Abb. 4:  
Grafische Darstellung der Bewegungsmuster (Heatmap). Die Referenzbalken rechts neben dem Diagramm geben den Bezug zwischen Farbskalierung und prozentualer Kontraktion an.

Bei der Untersuchung der direkten Effekte von Alkohol auf die Darmmotilität wurden die drei erwähnten Ansätze miteinander korreliert. Die Motilität des Darmes wurde in Abhängigkeit von Ethanolkonzentrationen, wie sie in Bier, Wein oder Spirituosen auftreten können, untersucht. Hier wurden die Effekte des luminalen Alkohols, also der Alkoholmenge, die in den Darm gelangt, untersucht. Es zeigte sich, dass eine zunehmende Alkoholkonzentration zu einer höheren Darmaktivität führte. Zusätzliche Untersuchungen wurden durchgeführt, um zu zeigen, dass diese Veränderungen neuronale Ursachen haben können. Hierzu wurden enterische Nerven- und Gliazellen auf Mikroelektrodenarrays (MEA) wachsen lassen, und die elektrische Aktivität unter dem Einfluss des „Blutalkohols“ getestet. Es zeigte sich eine Steigerung der Aktivität bis zu einer Konzentration von 2 Promille. Danach sank die Aktivität wieder (Abb. 6).

Die Messung des intrazellulären Calciumspiegels lässt die Bewertung einzelner Nervenzellen zu. Hier werden fluoreszierende Farbstoffe verwendet, welche in Abhängigkeit von der Calciumkonzentration heller oder dunkler leuchten. Hohe Calciumspiegel (z. B. bei Aktivierung einer Zelle) bewirken intensiveres Leuchten der Zelle. Diese Helligkeitsverläufe können mit einem speziellen Analysensystem aufgenommen und ausgewertet werden (Abb. 7).

Es lassen sich hinsichtlich der Aktivitäten unterschiedliche Reaktionen einzelner Nervenzellen darstellen. Nervenzellen, die erst nach Applikation von Ethanol aktiv werden (Abb. 8A), Nervenzellen, die nicht aktiv sind und sich auch nicht durch Ethanol stimulieren lassen (Abb. 8B), Nervenzellen, die eine Spontanaktivität haben und diese entweder unter Ethanolgabe steigern (Abb. 8C) oder überhaupt nicht verändern (Abb. 8D).

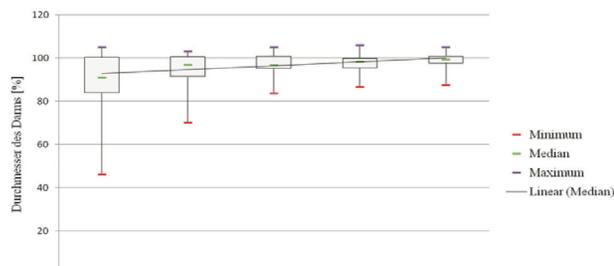


Abb. 5: Darstellung der Verteilung der Kontraktionsstärken (Boxplot) während der Injektion von Propofol in verschiedenen Konzentrationen [Prozentual zum Durchmesser des Darms]. Mit Angabe der minimalen und maximalen Werte sowie der statistischen Werte 1. und 3. Quartile.

Abb. 6: Neuronale Netzwerke des enterischen Nervensystems auf Mikroelektrodenarray (C). Nervenfasern (A) und Gliazellen (B) in der Nähe einer Elektrode. (D) zeigt mehrere Kanäle mit jeweils individuellen Ableitmustern unter aufsteigenden Alkoholkonzentrationen.

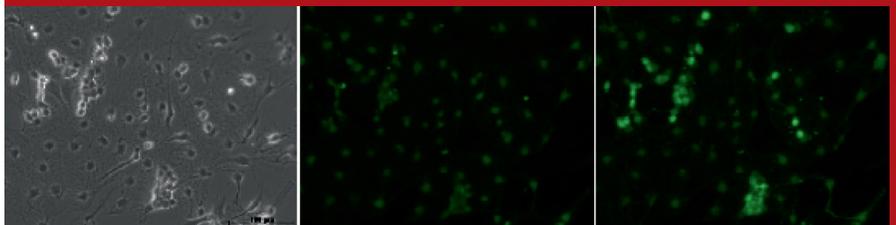
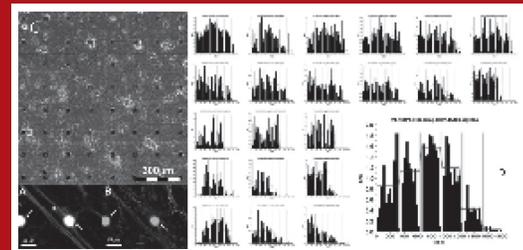


Abb. 7: Calciumimaging in enterischen Neuronen: Das Phasenkontrastbild (links) zeigt Nerven- und Gliazellen. Die Kulturen werden mit einem Calcium-sensitiven Farbstoff gefärbt und anschließend im Mikroskop angeschaut. Die nicht stimulierten Zellen zeigen keine Aktivität (Mitte). Erst nach Stimulation mit Ethanol zeigen einige Nervenzellen einen starken Anstieg der Fluoreszenzfärbung und damit der Calciumkonzentration.

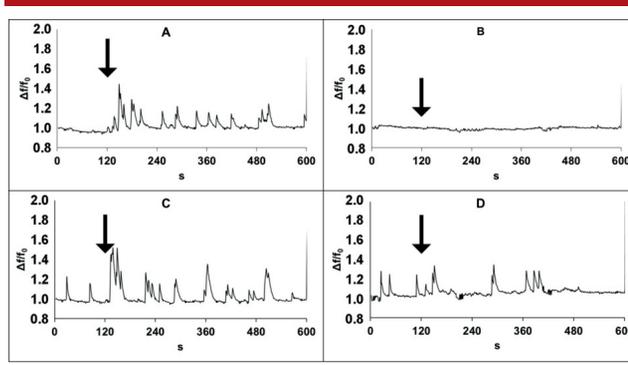


Abb. 8: Calciumverläufe in enterischen Neuronen unter Alkoholstimulation (Pfeil). Es gibt Nervenzellen, die spontan aktiv sind (C, D); und solche, die zunächst keinerlei Aktivität zeigen (A, B). Die Alkoholgabe führt entweder zu einer Steigerung der Aktivität (A, C) oder löst keine Reaktion aus.

Projektleitung: Prof. Karl-Herbert Schäfer  
 Kontakt: [karl-herbert.schaefer@fh-kl.de](mailto:karl-herbert.schaefer@fh-kl.de)  
 Mitarbeiter: Dominik Schreiber, Kerstin Laures, Michael Bischof, Patrick Kolbe, Rebekka Medert, Viktor Jost  
 Projektpartner: Willem Lammers, University of Al Ain, United Emirates  
 Förderung: BMBF-Fachhochschulprogramm  
 Fotos: FH Kaiserslautern



Wir fahren ab  
auf Sicherheit.



Fahrzeugüberwachung mit Sympathie und Sachverstand.

KÜS-Bundesgeschäftsstelle  
Zur KÜS 1 · 66679 Losheim am See  
Tel. +49 (0) 6872 9016-0 · Fax +49 (0) 6872 9016-123  
[www.kues.de](http://www.kues.de) · [info@kues.de](mailto:info@kues.de)

Den KÜS-Partner in Ihrer Nähe finden Sie unter [www.kues.de](http://www.kues.de)



# Stammzellen – Was man nicht

Prof. Dr. med. Karl-Herbert Schäfer

Das Nervensystem besteht aus dem zentralen Nervensystem (ZNS) mit Gehirn und Rückenmark sowie dem peripheren Nervensystem, welches sich aus vielen kleinen, relativ unabhängigen Einheiten zusammensetzt. Hierzu gehören neben den Spinalganglien, dem sogenannten sympathischen Grenzstrang oder den prävertebralen Ganglien des Bauchraums auch das enterische Nervensystem (ENS). Dieses ist in der Wand des Magen-Darm-Traktes (MDT) verortet und durchzieht ihn von der Speiseröhre bis hin zum Enddarm in unterschiedlicher Konfiguration. Das ENS stellt den größten Teil der Neurone und Gliazellen außerhalb des Gehirns dar und enthält mehr Nervenzellen als das Rückenmark. Sein Aufbau ist deutlich komplexer als z. B. der der Spinalganglien und ähnelt eher dem des ZNS. Hierfür spricht auch die Vielzahl der Neurotransmitter, die im ENS vertreten sind: Acetylcholin, Adrenalin/Noradrenalin, Dopamin, GABA und eine Reihe von Neuropeptiden. Insbesondere das aus dem ZNS bekannte Serotonin ist im ENS auch vertreten. 95 % des im Körper vorkommenden Serotonins kommt aus dem MDT. ZNS und ENS stehen daher in einem engen Beziehungsverhältnis. Wir sprechen von der sogenannten „Brain-Gut-Axis“. Wie das ZNS enthält das ENS neurale Stammzellen. Ziel der aktuellen Studie war es, die neuronalen Stammzellen des MDT in Abhängigkeit vom Alter zu charakterisieren. Die Untersuchungen wurden auf der Grundlage eines Mausmodells gewonnen, welches als transgenes Tier den Fluoreszenzfarbstoff GFP zusammen mit dem neuronalen Stammzellmarker Nestin exprimiert.

Stammzellen unterscheiden sich von anderen Zellen durch einige spezifische Charakteristika. Dies sind einerseits das sogenannte „Self-renewal“, die Fähigkeit immer wieder neue Zellen zu produzieren, und andererseits das Potenzial unterschiedliche Zelltypen zu generieren. Blutstammzellen entwickeln sich zu roten und weißen

Blutkörperchen sowie zu Blutplättchen. Neuronale Stammzellen entwickeln sich zu Nerven- und Gliazellen. Allerdings lassen sich sowohl Nerven- als auch Gliazellen wiederum in Untergruppen unterteilen. Nervenzellen unterscheiden sich u. a. durch ihre Botenstoffe (Acetylcholin, GABA, Dopamin) bzw. ihre Funktion (motorisch, sensorisch, Zwischenneuron). Dies gilt für das ZNS, aber genauso auch für den Darm und das ENS. Nervenzellen des ENS bilden in den unterschiedlichen Schichten der Darmwand regelrechte Schaltkreise. Diese Schaltkreise können nur dann funktionieren, wenn die richtigen Nervenzellen zur richtigen Zeit am richtigen Ort entstehen. Dies wirft die Frage auf: Woher kommen die Zellen des Enterischen Nervensystems? Sie bilden sich nicht vor Ort, sondern sind „Nachfahren“ einer kleinen Gruppe von „Pionierzellen“, die sich aus dem primitiven embryonalen Nervensystem, dem sogenannten Neuralrohr, auf den Weg zum Darm machen.

Diese Zellen, ursprünglich nur wenige Hundert, besiedeln den Darm vom

Magen aus und werden lediglich durch eine zweite Gruppe unterstützt, die im distalen Teil des Neuralrohrs seinen Ursprung hat. Aus beiden Zentren wandern diese neuronalen Stammzellen durch den Darm und besiedeln Schritt für Schritt den gesamten MDT (Abb. 1).

Die neuronalen Stammzellen besiedeln nicht nur in horizontaler Richtung (oral-aboral), sondern auch in vertikaler; durch die einzelnen Darmwandschichten. Hier bilden sie die einzelnen Netzwerke, die sich von Spezies zu Spezies unterscheiden. Die Netzwerke bestehen entweder nur aus Nervenfasern oder aus Fasern und sogenannten Ganglien. Die Ganglien stellen Aggregate innerhalb der Netzwerke dar, die Nerven- und Gliazellen beherbergen. Bei der Maus finden sich zwei ganglionäre Netzwerke, der Plexus myentericus und der Plexus submucosus (Abb. 2), wobei der myenterische Plexus in der Muskulatur und der submucöse Plexus unterhalb der Schleimhaut beheimatet ist. Im Gegensatz zu früheren Lehrmeinungen verfügt das Nervensystem auch hinsichtlich der

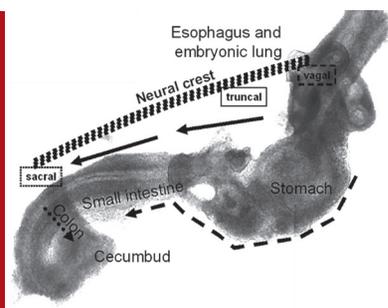


Abb. 1:  
Embryonaler Mausdarm mit den Wanderrouten der neuronalen Stammzellen des MDT. Ein Teil kommt aus dem oberen (vagal), und ein zweiter, deutlich kleinerer Anteil, aus dem distalen (sakral) Neuralrohr. Der obere Anteil wandert vom Magen (Stomach) nach distal, während der untere Anteil vom distalen Dickdarm (Colon) aus nach proximal, also entgegengesetzt, wandert.

# nt im Kopf hat ...

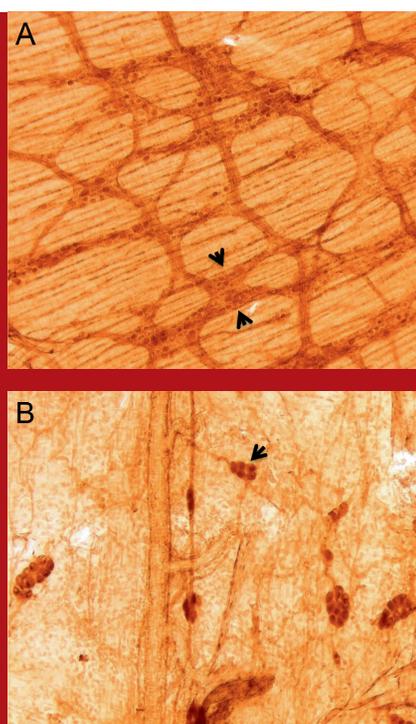


Abb. 2:  
Sogenannte Häutchenpräparate der verschiedenen Darmwandschichten.  
A: Muskelschicht, in der der Plexus myentericus immunhistochemisch dargestellt worden ist.  
B zeigt die Lamina submucosa mit dem Plexus submucosus. Die Pfeile zeigen jeweils auf einzelne Ganglien.

Neubildung von Nervenzellen über eine begrenzte Regenerationsfähigkeit. Neuronale Stammzellen finden sich in bestimmten Bereichen des Gehirns (Ventrikel, Hippocampus) auch beim erwachsenen Menschen bzw. Tier. Diese Stammzellen wären im Falle einer Erkrankung (M. Alzheimer) oder Verletzung (Schlaganfall) potenziell geeignet, abgestorbene Nervenzellen zu ersetzen. Leider reichen die Mengen an Zellen, die zur Verfügung stehen, in der Regel nicht aus, was die Suche nach potenziellen Stammzellquellen

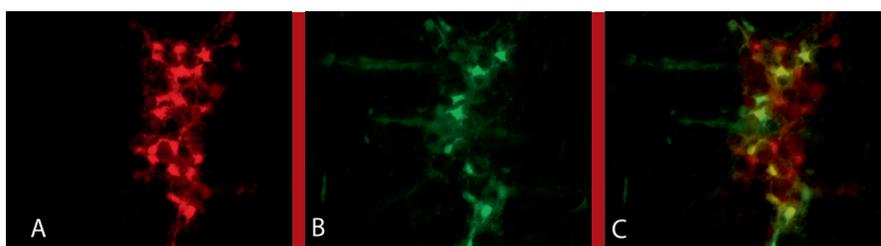


Abb. 3:  
Ganglion des Plexus myentericus einer GFP-Nestin transgenen Maus. Die immunhistochemische Markierung eines glialen Proteins (S100, A) zeigt alle Gliazellen des Ganglions. Das GFP-Signal, und damit das Nestinprotein, ist nur in einem Teil der Gliazellen vertreten (B), was sich ganz deutlich in der Überlagerung der beiden Bilder zeigt (C). Die Doppelmarkierung basiert auf der Kombination einer Immunfärbung für das gliale Protein S100 an GFP-Nestin-exprimierenden Tieren. Zellen, die S100 enthalten, sind rot, die Nestinzellen grün, und Zellen, die beide Proteine enthalten, sind gelb.

für eine etwaige Zelltherapie so interessant macht. Wie sieht das im Darm aus bzw. im enterischen Nervensystem? Das ENS beherbergt zu allen Zeiten seiner Entwicklung eine große Zahl von neuronalen Stammzellen. Diese können einerseits durch bestimmte Markerproteine sichtbar gemacht werden, andererseits lassen sich transgene Tiere generieren, bei denen das grün fluoreszierende Protein GFP an die Expression des Markers gekoppelt ist (z. B. Nestin). Dadurch erscheinen alle Zellen, die diese Proteine zu einem bestimmten Zeitpunkt herstellen, grün fluoreszierend und können leicht von anderen Zellen unterschieden werden (Abb. 3). Diese potenziellen neuronalen Stammzellen finden sich in beiden Plexus der Maus und dort vornehmlich in den Gliazellen.

Die Nutzung der neuronalen Stammzellen setzt voraus, dass diese Zellen isoliert und dann transplantiert werden können. Isolationsprotokolle wurden in der AG Schäfer für embryonale, postnatale und adulte ENS-Zellen entwickelt, nicht nur für Versuchstie-

re, sondern auch für humane Proben. Die Isolierung aus dem adulten, also erwachsenen Darm, entspricht der realen Situation der Patienten, die in fortgeschrittenem Alter an Demenz oder einem Trauma des Nervensystems erkranken.

Es ist möglich, aus allen Darmabschnitten, vom Magen bis hin zum Dickdarm, ENS-Gewebe zu isolieren. Die Isolierung geschieht enzymatisch. Das Darmnervensystem ist im Fall des Plexus myentericus von einer Muskelschicht umschlossen. Diese Muskelzellen werden unter anderem von einer Extrazellulärmatrix (ECM) zusammengehalten, welche viel Kollagen enthält. Das ENS enthält keine ECM, was bedeutet, dass ein Enzym, welches das Kollagen verdaut, keine Auswirkung auf das ENS hat. Es ist daher möglich, ganze Netzwerke aus der Muskelschicht zu isolieren (Abb. 4).

Werden die isolierten Netzwerke unter bestimmten Bedingungen kultiviert, dann vermehren sich die neuronalen Stammzellen besonders stark

und bilden sogenannte Neurosphären (Abb. 5). Diese Neurosphären bestehen aus neuronalen Stammzellen und einzelnen bereits differenzierten Glia- und Nervenzellen.

Die Neurosphären können dissoziiert und als Einzelzellen in Kultur genommen werden (Abb. 6) oder komplett auf Oberflächen aufwachsen. Ziel der Untersuchungen ist es, das Potenzial dieser Zellen zu untersuchen. Unter welchen Bedingungen entstehen wieviele Nerven- und oder Gliazellen? Wie können wir aus wenigen Stammzellen das Maximum an voll funktionierenden Zellen isolieren? Hierbei spielt auch die Charakterisierung der einzelnen Glia- und Nervenzelle eine große Rolle. Es gibt nämlich nicht nur jeweils einen Zelltyp, sondern viele unterschiedliche. Nervenzellen aus dem Großhirn unterscheiden sich von denen aus dem Kleinhirn. Es gibt hemmende und fördernde Nervenzellen, Motorneurone, sensorische Neurone etc. Alle haben unterschiedliche Transmitter. All dies ist bei der Differenzierung von neuronalen Stammzellen zur Zelltherapie zu berücksichtigen. Will man zum Beispiel Nervenzellen zur Behandlung eines Morbus Parkinson transplantieren, dann braucht man Zellen, die den Transmitter (Botenstoff) Dopamin produzieren. Diese finden wir auch im Darmnervensystem. Das heißt, das ENS ist eine hervorragende Quelle für neuronale Stammzellen mit dem Vorteil, dass die Zellen vom Patienten selbst gewonnen werden können und somit keine Abstoßungsreaktionen zu erwarten sind. Bis man einen Morbus Parkinson oder Alzheimer mit neuronalen Stammzellen aus dem Darm behandelt, werden jedoch noch einige Jahre und intensive Forschung notwendig sein.

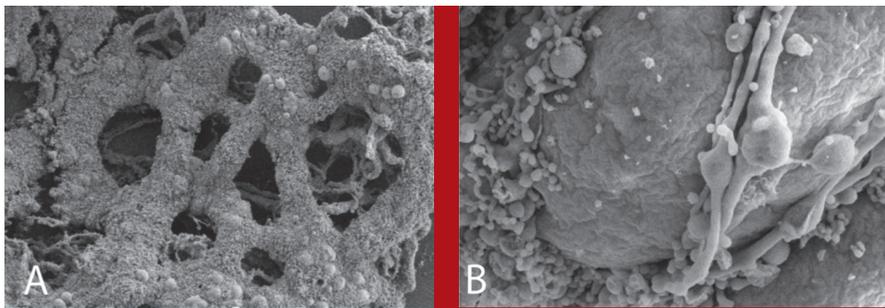


Abb. 4:  
Isolierter Plexus myentericus, rasterelektronenoptische Aufnahme.  
A: Übersicht. B: Detail, Nervenzelle mit Fasern.

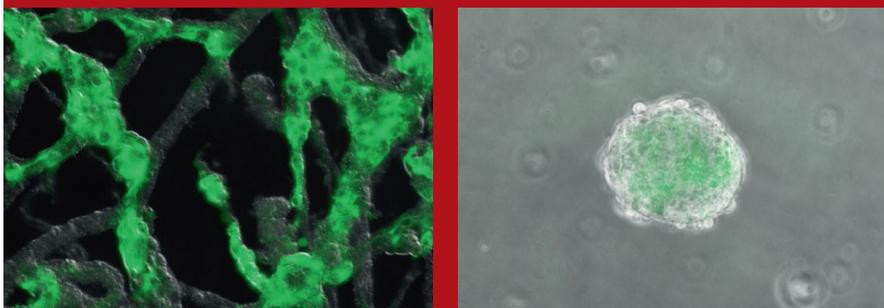


Abb. 5:  
Isolierter myenterischer Plexus mit grün fluoreszierenden Nestin-GFP-Zellen (links). In Kultur entwickeln sich die sogenannten Neurosphären (rechts), welche auch noch Nestin-positive Zellen beinhalten.

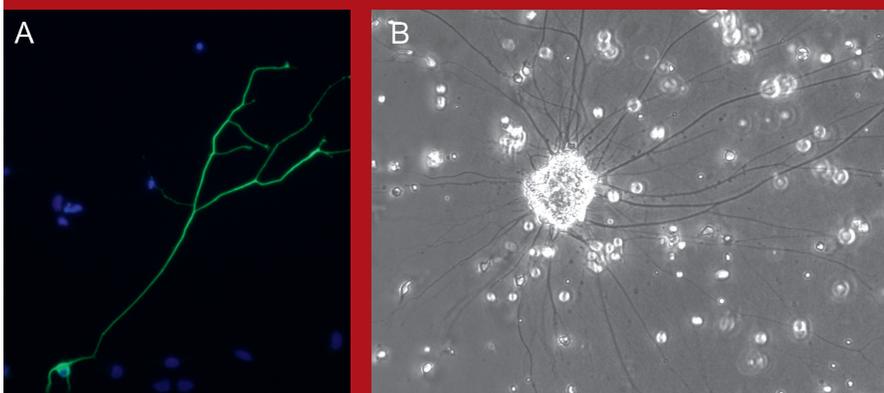


Abb. 6:  
Differenzierung von neuronalen Stammzellen aus dissoziierten (A) und undissoziierten (B) Neurosphären.

Projektleitung:	Prof. Dr. med. Karl-Herbert Schäfer
Kontakt:	<a href="mailto:karl-herbert.schaefer@fh-kl.de">karl-herbert.schaefer@fh-kl.de</a>
Mitarbeiter:	David Grundmann, Franziska Markwart, Rainer Lilischkis
Projektpartner:	Frank Kirchhoff, Physiologie, Uni Homburg,
Förderung:	BMBF-Fachhochschulprogramm
Fotos:	FH Kaiserslautern



## PLT networks GmbH

Wir bündeln unsere umfassende Industrie- und Branchenkompetenz im Bereich der Prozessleittechnik und sind stetig auf der Suche nach kompetenten Mitarbeitern, die in der Automatisierungsbranche schon Erfahrung gesammelt haben oder sammeln möchten.

Wir bieten eine innovative Arbeitsumgebung, in der Sie folgenden Aufgaben gegenüber stehen:

- systemunabhängige Dienstleistung für Planung und Bau leittechnischer Systeme
- Konfiguration und Migration von Leitsystemen
- Integration externer Systeme an Leitsystemen (Schnittstellenanpassung)
- Montage und Schaltschrankbau
- Inbetriebnahme und Wartung
- Systemchecks
- langfristiger Service
- Entwickeln von Applikationssoftware



Tel.: 065 61/94 8330

E-Mail: [info@plt-networks.de](mailto:info@plt-networks.de)

[www.plt-networks.de](http://www.plt-networks.de)

## DER SCHNELLSTE WEG ZU IHREN KUNDEN!

TELEFONMARKETING  
SCHULUNG-TRAINING  
UNTERNEHMENSBERATUNG

**BKP** MARKETING GmbH & Co.KG

TELEFON 06332/878-0  
FAX 06332/878-111  
[WWW.BKP-MARKETING.DE](http://WWW.BKP-MARKETING.DE)  
[BKP@BKP-MARKETING.DE](mailto:BKP@BKP-MARKETING.DE)

ZWEIBRÜCKEN • BERLIN • BARTH



# Die Erhaltung des neuronalen Lipopolysaccharide

Dipl.-Biol. Anne Schuster, Prof. Dr. med. Karl-Herbert Schäfer

Chronisch-entzündliche Darmerkrankungen wie Morbus Crohn und Colitis ulcerosa sind weit verbreitet. Aufgrund der entzündeten Bereiche im Darm können die Darmbakterien leichter durch die Darmwand penetrieren. Die Bakterien umhüllen Lipopolysaccharide, die dann auf das enterische Nervensystem gezielt wirken können. In dieser Studie wurde untersucht, wie die Stammzellen dieses Nervensystems darauf reagieren. Sie versuchen nicht nur ihre Fähigkeit, Nervenzellen und Gliazellen zu generieren, zu schützen, sondern vermehren sich auch. Der Körper bildet ein Backup-System, um die Funktion des Darms auch weiterhin zu gewährleisten. Dieser Effekt könnte medizinisch von großem Nutzen sein.

Darmerkrankungen sind sehr häufig in der Bevölkerung zu finden. In Deutschland leiden derzeit 320.000 Menschen an chronisch-entzündlichen Darmerkrankungen. Dabei sind Männer und Frauen zu gleichen Teilen betroffen. Die beiden häufigsten Formen von chronisch-entzündlichen Darmerkrankungen sind Morbus Crohn und Colitis ulcerosa.

Bei Morbus Crohn können alle Abschnitte des Verdauungstraktes vom Mund zum Anus entzündete Bereiche aufweisen (Abb. 1), wohingegen die

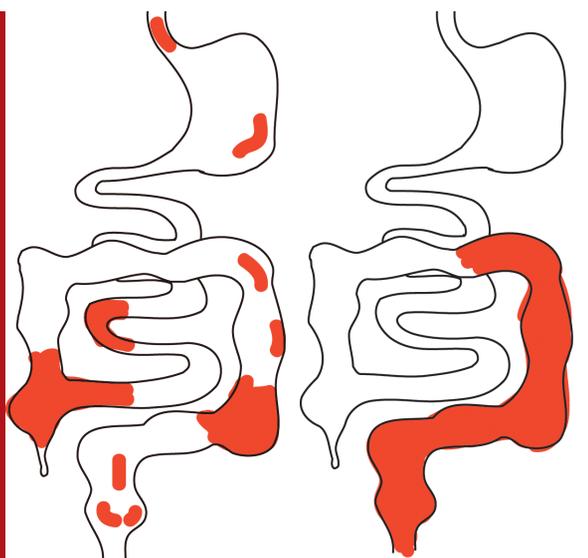
Colitis ulcerosa meist auf den Dickdarm beschränkt ist (Abb. 2). Beide Krankheiten sind sehr schmerzhaft und nur symptomatisch zu behandeln. In diesen entzündeten Bereichen ist die Darmwand stärker permeabel, was den Darmbakterien ermöglicht, in tiefere Schichten des Darmes einzudringen. Zwischen den beiden Muskelschichten des Darmes liegt das enterische Nervensystem. Es hat die Aufgabe, die Verdauung, die Darmmotilität sowie die Sekretion und Absorption von Nährstoffen zu steuern.

Das enterische Nervensystem ist aus zwei miteinander verbundenen Nervengeflechten aufgebaut, dem Auerbach Plexus und dem Meissner Plexus, und besteht aus Nervenzellen, den unterstützenden Gliazellen und den neuronalen Stammzellen. Die Stammzellen stellen ein Backup-System dar, denn aus ihnen können sich ein Leben lang neue Nervenzellen und Gliazellen entwickeln. Bei Morbus-Crohn- und Colitis ulcerosa-Patienten können nun die Bakterien bis hin zum enterischen Nervensystem vordringen (Abb. 3). Diese Bakterien besitzen in ihrer Zellwand Lipopolysaccharide, welche wiederum Entzündungen hervorrufen können. Welchen Einfluss diese Lipopolysaccharide auf das enterische Nervensystem und im Speziellen auf die neuronalen Stammzellen haben, wurde in dieser Studie untersucht. Dazu wurden die Stammzellen mit verschiedenen Lipopolysaccharid-Konzentrationen für eine Zeit von neun Tagen behandelt.

Es zeigte sich, dass die Vermehrung, auch Proliferation genannt, durch die Lipopolysaccharide gesteigert war. Mit ansteigender Konzentration war auch die Proliferationsrate gesteigert und der Durchmesser der aus Stammzellen gebildeten Neurosphäroide war pro-

Abb. 1 (links): Schema des Morbus Crohn. Die eingefärbten Stellen zeigen die entzündeten Bereiche auf.

Abb. 2 (rechts): Schema der Colitis ulcerosa. Die eingefärbte Stelle zeigt den entzündeten Bereich auf.



# Stammzellcharakters durch



Abb. 3:  
Querschnitt des Darms. Bakterien in Grün dargestellt, die beiden Nervenflechte in Rot.

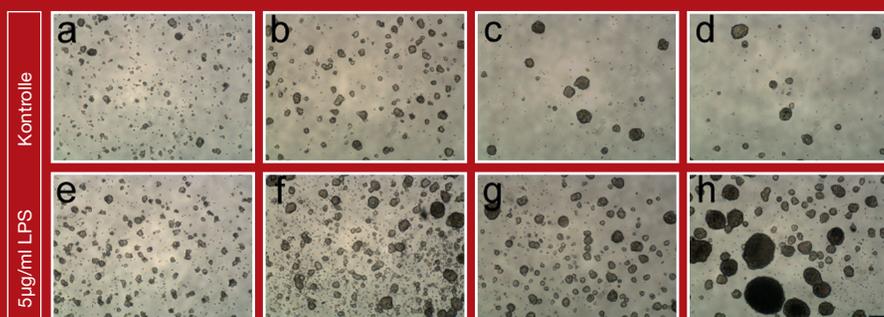


Abb. 4:  
Neurosphäroide geniert aus Stammzellen des Dünndarms. Anzahl und Größe sind drastisch erhöht nach Zugabe von Lipopolysacchariden.

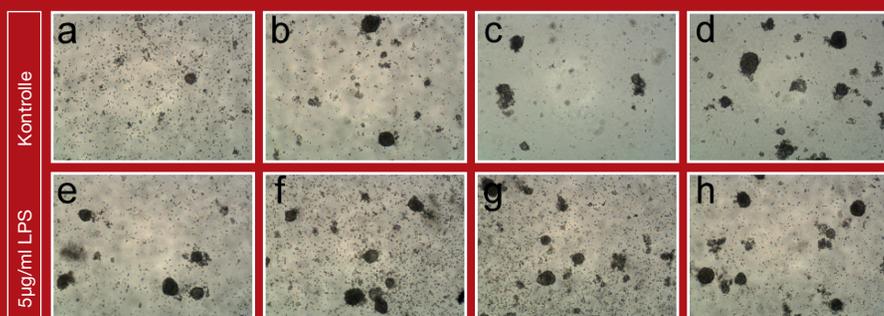


Abb. 5:  
Neurosphäroide geniert aus Stammzellen des Dickdarms. Anzahl und Größe sind drastisch erhöht nach Zugabe von Lipopolysacchariden.

portional zur Konzentration vergrößert. Sowohl Stammzellen des Dünndarms als auch des Dickdarms reagierten mit diesem Effekt auf die Lipopolysaccharide (Abb. 4, Abb. 5). Das nächste Au-

genmerk galt der Tatsache, dass die Stammzellen nach einer gewissen Zeit in Kultur durch einen internen Stimulus zur Differenzierung geleitet wurden. Diese Reaktion konnte jedoch nach

Zugabe der Lipopolysaccharide verzögert werden. Die Stammzellen blieben länger Stammzellen. Sie bildeten keine Nervenläufer, sondern blieben kompakt als Neurosphäroid vorhanden (Abb. 6).

Was passiert nun, wenn die Stammzellen eine längere Zeit den Lipopolysacchariden ausgesetzt sind? Um dies zu untersuchen, wurden neuronale Stammzellen des enterischen Nervensystems zwei Wochen mit einer hohen Dosis an Lipopolysacchariden stimuliert und mithilfe eines Markers für Stammzellen untersucht. Auch wurde ein Augenmerk auf die Nervenzellen gelegt. Es war deutlich zu sehen, dass die Anzahl an Stammzellen im Neurosphäroid größer war, nachdem sie mit Lipopolysacchariden kultiviert wurden, als in Kulturen, die unter normalen Kulturbedingungen gebildet wurden. Die Menge an Nervenzellen war jedoch in den Kontrollkulturen höher als in den stimulierten Kulturen (Abb. 7). Was sagt uns das? Durch die Lipopolysaccharide behalten die Stammzellen länger ihren Stammzellcharakter. Im Hinblick auf die chronisch-entzündlichen Darmerkrankungen Morbus Crohn und Colitis ulcerosa bedeutet dies, dass der Körper eine Vergrößerung des Backup-Systems vornimmt, um bei Bedarf erneut Nervenzellen und Gliazellen aus den vorhandenen Stammzellen zu generieren und die vorher entzündeten Darmabschnitte wieder komplett mit dem enterischen Nervensystem besiedeln zu können. Die gezielte Erhaltung des Stammzellcharakters von neuronalen

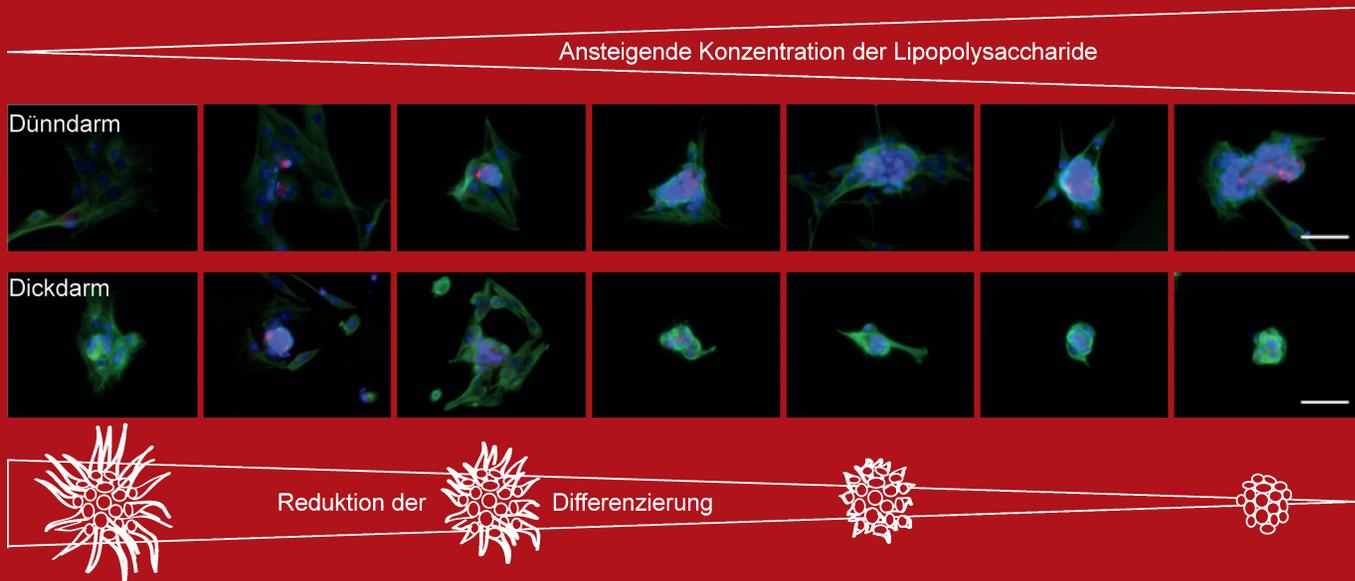


Abb. 6:

Neurosphäroide, geniert aus Stammzellen des Dünndarms und Dickdarms. Mit ansteigender Konzentration der Lipopolysaccharide kam es zu einer Reduktion der Differenzierung.

Stammzellen könnten aber auch in anderen Bereichen der Medizin von Nutzen sein. Aganglionäre Darmkrankheiten wie Morbus Hirschsprung weisen einen Bereich des Darmes auf, der keine normale Innervation mehr erfährt und abstirbt, da die Nervenzellen fehlen.

Eine Transplantation von neuronalen Stammzellen könnte in nicht allzu ferner Zukunft eine Alternative zur chirurgischen Entfernung des betroffenen Darmstücks sein. Bevor die Stammzellen jedoch transplantiert würden, könnten diese mithilfe von Lipopolysacchariden vermehrt werden, um das gewünschte Ergebnis zu optimieren. Ein weiteres Zukunftsprojekt könnte sogar die Transplantation von neuronalen Stammzellen des enterischen Nervensystems in das zentrale Nervensystem, das Gehirn, sein. Neurodegenerative Krankheiten wie Morbus Alzheimer oder Morbus Parkinson könnten durch gezielte Transplantation von Stammzellen verzögert oder sogar geheilt werden.

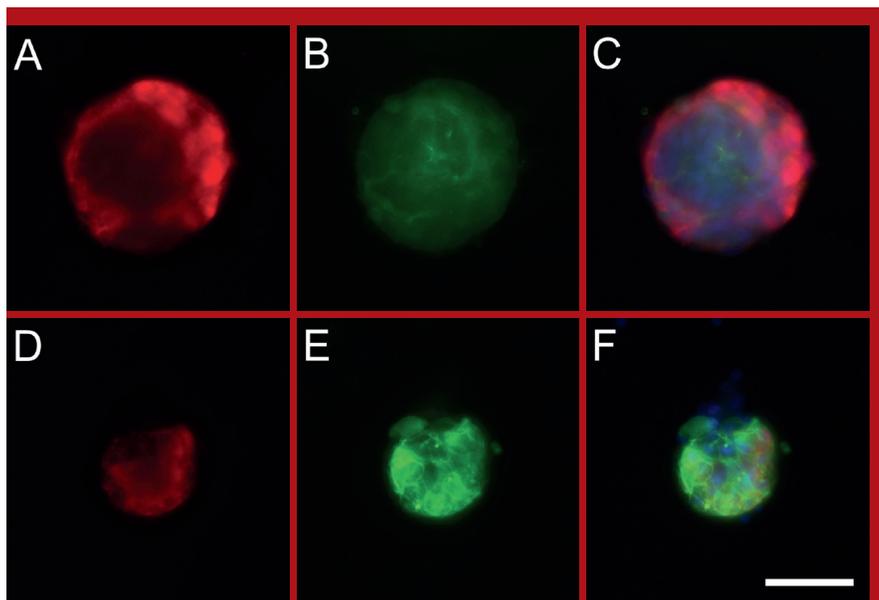


Abb. 7 (links):

Neurosphäroide, geniert aus Stammzellen des Dünndarms. Nervenzellen sind rot markiert, Stammzellen grün und Zellkerne blau. Oben keine Stimulation; unten Kultivierung mit Lipopolysacchariden. Maßstab 50  $\mu\text{m}$ .

Projektleitung:	Prof. Dr. med. Karl-Herbert Schäfer
Kontakt:	<a href="mailto:anne.schuster@fh-kl.de">anne.schuster@fh-kl.de</a>
Mitarbeit:	Tanja Schwab, The Duy Nguyen, Thi Nha Quyen Nguyen
Projektpartner:	Universität des Saarlandes (Manuela Gries, Klaus Faßbender)
Fotos:	FH Kaiserslautern

## entwicklung **liebt** inspiration

Ob Forschung, Instandhaltung oder Engineering – Ingenieure und Ingenieurinnen übernehmen bei uns die verschiedensten Aufgaben mit Leidenschaft und Verantwortung. Denn vom ersten Tag an betreuen und entwickeln Sie bei uns Produktionsanlagen weltweit. Und dabei treibt uns alle das Gleiche an: der gemeinsame Erfolg. Denn wenn Inspiration der Anfang von großen Entwicklungen ist, dann ist es Chemie, die verbindet. Bei BASF. Jetzt informieren und bewerben unter: [www.basf.de/karriere](http://www.basf.de/karriere)



Besucht uns auf Facebook: [www.facebook.com/basfkarriere](http://www.facebook.com/basfkarriere)

 **BASF**

The Chemical Company

# Ultraschalleffekt – Studie zum auf Zellen

Dipl.-Biol. Anne Schuster, Prof. Dr. med. Karl-Herbert Schäfer

In Medizin und Forschung dient Ultraschall als diagnostisches und therapeutisches Hilfsmittel. In dieser Studie wurde untersucht, welchen Einfluss die Ultraschallfrequenz und die Energiedichte auf das Verhalten verschiedener Zelltypen besitzen. Hierfür wurden gesunde Zellen sowie Tumorzellen gewählt. Die nichtmalignen Zellen zeigten eine gesteigerte Proliferation nach Ultraschallbehandlung mit geringer Frequenz und Energiedichte. Diese Erueierung könnte genutzt werden, um die Wundheilung durch Ultraschall weiter zu optimieren. Tumorzellen reagierten im Gegensatz dazu mit einer rückläufigen Vermehrung, was als Ansatzpunkt für Krebstherapien dienen könnte.

Ultraschall wird heutzutage vielseitig in Medizin und Forschung eingesetzt. Nicht nur als diagnostisches Hilfsmittel beim Internisten und bei Schwangerschaftsuntersuchungen, sondern auch als therapeutische Anwendung bei Knochenbrüchen und Wundheilung. Welchen direkten Einfluss der Ultraschall auf die Zellen des Körpers hat, ist bisher nicht bekannt. Trotz eines festgelegten Schwellenwertes für die Energiedichte von  $50 \text{ Ws/cm}^2$ , oberhalb dessen das Gewebe geschädigt wird, bleibt die Frage offen, ob sich die

Zellen aufgrund des Schalles verändern. In dieser Studie konnte gezeigt werden, dass sowohl die Frequenz des Schalles, als auch die Energiedichte einen wesentlichen Effekt auf das Verhalten verschiedener Zellen besitzen. Untersucht wurden Endothel- und Epithelzellen (Abschlussgewebezellen) sowie Tumorzellen (Neuroblastom und Adenokarzinom). Um die Zellen gezielt beschallen zu können, wurde eigens eine Apparatur entwickelt, die das Schallergebnis reproduzierbar macht (Abb. 1). Das erste Augenmerk galt der Beeinflussung der Proliferation, also der Vermehrung der verschiedenen Zellen. Dazu wurde eine Testreihe mit verschiedenen Frequenzen durchgeführt, wobei gezeigt werden konnte, dass nichtmaligne Zellen eine niedrige Frequenz benötigen, um ihre Vermehrung zu steigern, wohingegen Tumorzellen nicht beeinflusst werden. Erst mit einer hohen Frequenz von  $4 \text{ MHz}$  weisen die Tumorzellen eine Reaktion auf die Schallapplikation mit einer gesteigerten Proliferation auf. Der Einfluss der Energiedichte auf das Zellverhalten wurde in einer weiteren Untersuchungsreihe erforscht. Eingesetzt wurden eine Energiedichte von  $50 \text{ Ws/cm}^2$ , was dem Schwellenwert der Gewebeschädigung entspricht, sowie  $25 \text{ Ws/cm}^2$  und eine sehr ge-

ringe Energiedichte von  $3 \text{ Ws/cm}^2$ . Die beiden Tumorzellarten sprachen auf keine der verwendeten Energiedichten an. Erst nach einer Beschallung mit einer 12-fach höheren Energiedichte, nämlich  $600 \text{ Ws/cm}^2$ , reagierten die Tumorzellen mit einer Proliferationssteigerung (Abb. 2). Die Zellen des Abschlussgewebes wiesen keinen weiteren Effekt auf eine solch hohe Energiedichte auf. Eine Ultraschallbehandlung mit einer mittleren Dosis an Energiedichte ( $25 \text{ Ws/cm}^2$ ) zeigte ein anderes Verhalten der Zellen. Die Proliferation der Endo- und Epithelzellen war dramatisch gesteigert (Abb. 3), wohingegen die Tumorzellen eine rückläufige Vermehrung demonstrierten (Abb. 4). Die Medizin hat sich den Effekt der gesteigerten Proliferation der Abschlussgewebezellen schon zunutze gemacht, um offene Wunden schneller heilen zu lassen. Ob diese Zellen denn auch anderweitig verändert werden, wird im Folgenden noch geklärt werden. Sollte die rückläufige Vermehrung von Tumorzellen ebenfalls medizinisch ein Gewinn sein? Eine geringe Energiedichte von  $3 \text{ Ws/cm}^2$  konnte ebenfalls diesen Effekt herbeiführen. Die Abschlussgewebezellen zeigten eine erhöhte Vermehrung bei dieser geringen Dosis (Abb. 5).

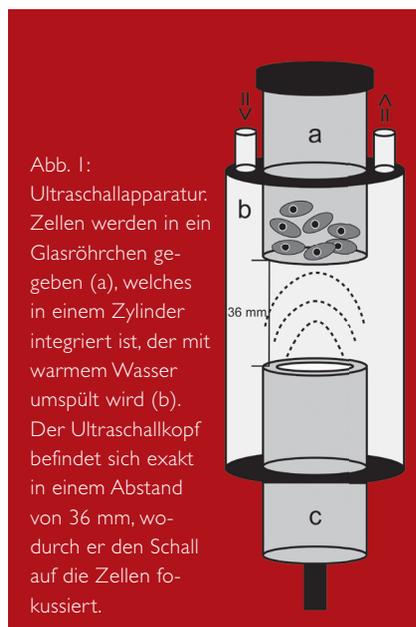


Abb. 1:  
Ultraschallapparatur:  
Zellen werden in ein  
Glasröhrchen ge-  
geben (a), welches  
in einem Zylinder  
integriert ist, der mit  
warmem Wasser  
umspült wird (b).  
Der Ultraschallkopf  
befindet sich exakt  
in einem Abstand  
von 36 mm, wo-  
durch er den Schall  
auf die Zellen fo-  
kussiert.

# Einfluss von Ultraschall

In einem nächsten Schritt wurde untersucht, ob die Zellen sich noch auf eine andere Art und Weise verändern. Verändern sie ihr Aussehen, also die Morphologie, oder gar die Proteinzusammensetzung? Zuerst wurde die stark charakteristische Morphologie der Abschlussgewebezellen unter die Lupe genommen. Dafür wurden spezielle Zellskelettproteine markiert, die typisch für diese Zellen sind. Aktin ist verantwortlich für die Stabilität der Zellen sowie für den Transport von Vesikeln, und Vinculin ist unabkömmlich für die Zell-Zell-Verbindungen, die ein Abschlussgewebe unbedingt haben muss. Die Anordnung beider Proteine wird durch eine Behandlung mit Ultraschall nicht beeinflusst. Die Zellen behalten ihre stabile Morphologie (Abb. 6). Eine Untersuchung der Proteinzusammensetzung ergab, dass nur eine Art an Abschlussgewebezellen, nämlich die Epithelzellen, die Proteinverteilung nach einer Ultraschallbehandlung änderte. Dies wurde in einer sogenannten 2D-DIGE-Analyse geprüft (zweidimensionale Differenzial-Gelelektrophorese). In Abb. 7 ist zu erkennen, wie das Ergebnis einer solchen Untersuchung aussieht. Die verschiedenen Punkte stehen für verschiedene Proteine. Man kann deutlich erkennen, dass es bei den beiden unteren Bildern Punkte gibt, die vor der Behandlung (rechts) noch vorhanden sind, aber nach einer Ultraschallbehandlung (links) nicht mehr oder *vice versa*. Genau dieser Unterschied konnte mithilfe eines Rasterelektronenmikroskops dokumentiert werden. In diesem Mikroskop wird

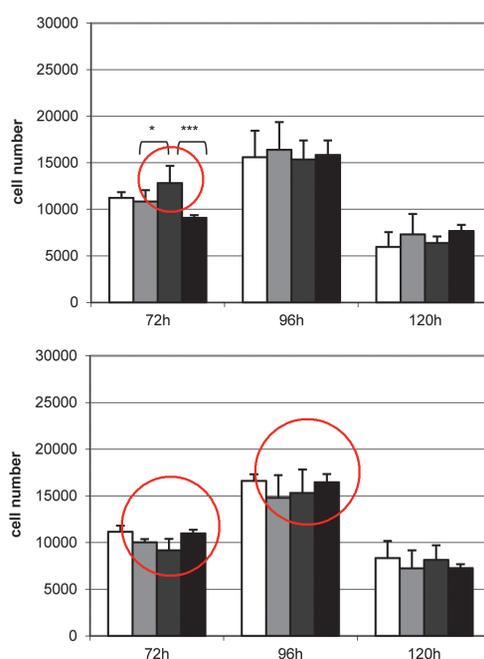


Abb. 2 (links oben):

Nur eine Beschallung mit 600 Ws/cm<sup>2</sup> führte zu einer Proliferationssteigerung der Tumorzellen. x-Achse: Zeit der Kultivierung; y-Achse: Zellzahl.

Abb. 3 (rechts oben)

Die Proliferation der Abschlussgewebezellen war dramatisch gesteigert nach einer Ultraschallbehandlung mit 25 Ws/cm<sup>2</sup> Energiedichte. x-Achse: Zeit der Kultivierung; y-Achse: Zellzahl.

Abb. 4 (links unten):

Die Beschallung der Tumorzellen mit 25 Ws/cm<sup>2</sup> führte zu einer rückläufigen Vermehrung der Zellen. x-Achse: Zeit der Kultivierung; y-Achse: Zellzahl.

Abb. 5 (rechts unten):

Die Proliferation der Abschlussgewebezellen war ebenfalls gesteigert nach einer Ultraschallbehandlung mit 3 Ws/cm<sup>2</sup> Energiedichte. x-Achse: Zeit der Kultivierung; y-Achse: Zellzahl.

die Oberfläche von Proben so stark vergrößert, dass jedes Detail zum Vorschein kommt. Die Epithelzellen wiesen eine verringerte Länge der Filopodien auf. Filopodien sind wichtig bei der Migration von Zellen. Auf diese Weise können sich die Zellen fortbewegen und einander finden, um ein durchgehendes

Abschlussgewebe zu formen. Ebenfalls war die Anzahl der Mikrovilli auf den Zellen reduziert. Mikrovilli sind fadenförmige Zellfortsätze, die zur Oberflächenvergrößerung der Zellen dienen und somit den Stoffaustausch maximieren. Eine genauere Betrachtung der Tumorzellen im Elektronenmikroskop

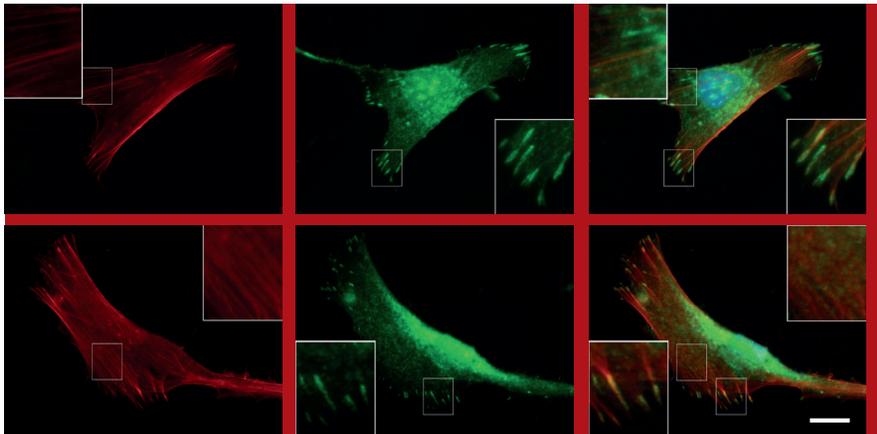


Abb. 6:

Das Aktin-Zellskelett (rot) sowie die Zell-Zell-Verbindungen durch das Protein Vinculin (grün) zeigen keine Unterschiede zwischen einer nicht beschallten Zelle (oben) und einer beschallten Zelle (unten).

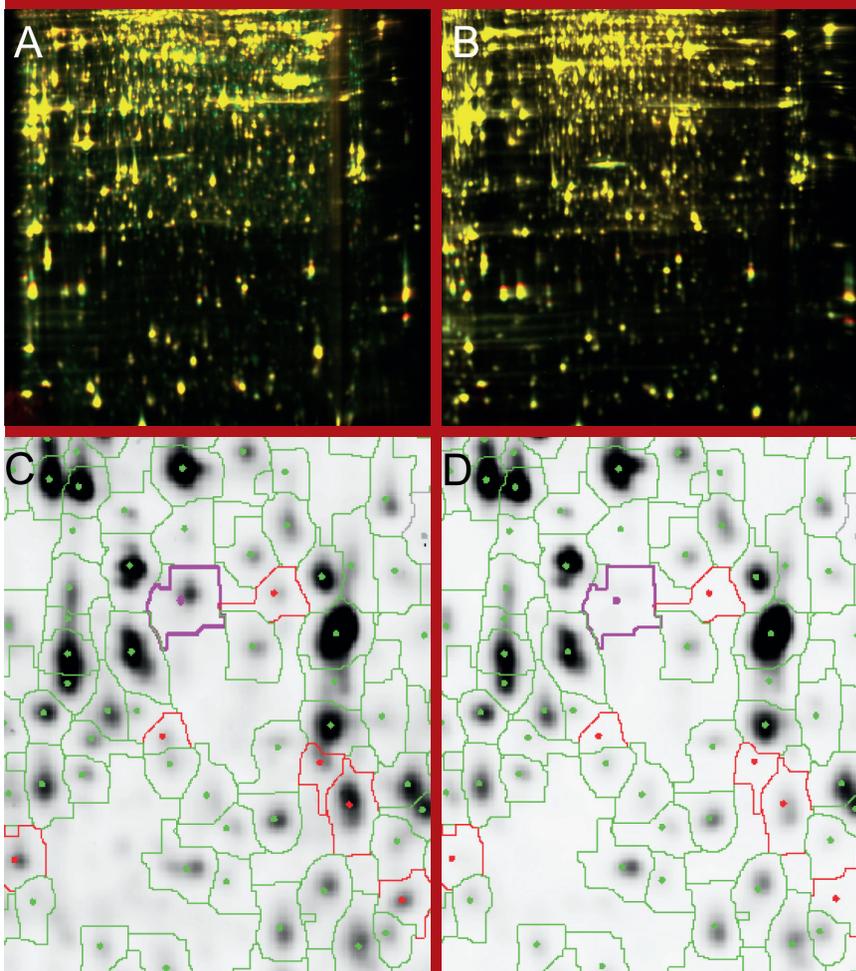


Abb. 7:

2D-DIGE-Proteinanalyse. A zeigt die unterschiedliche Proteinzusammensetzung der Epithelzellen, während B die identische Zusammensetzung der Tumorzellen zeigt. Im unteren Bild erkennt man links die nicht behandelten und rechts die beschallten Epithelzellen. Die farblich markierten Punkte zeigen unterschiedliche Proteinexpressionen an.

zeigte deutlich, dass die Zellen durch eine Behandlung mit Ultraschall zum programmierten Selbstmord getrieben wurden (Apoptose). Anzeichen dafür sind sogenannte apoptotische Ausstülpungen der Zellmembran. Die Anzahl der Zellen mit solchen Ausstülpungen war nach der Ultraschallbehandlung drastisch erhöht.

Ultraschall scheint gezielt Tumorzellen zerstören zu können. In dieser Studie konnte gezeigt werden, dass der Effekt von Ultraschall auf verschiedene Zellarten abhängig ist von der Frequenz und der Energiedichte der Beschallung. Die Vermehrung von Abschlussgewebezellen wie Endothel- und Epithelzellen wurde nach einer Beschallung mit niedrigen Energiedichten dramatisch erhöht. Diese Kombinationen von Frequenz und Energiedichte könnten den therapeutischen Effekt von Ultraschall auf die Wundheilung und Regeneration von Geweben weiter verbessern. Tumorzellen benötigten eine abnormal hohe Energiedichte, um sich schneller zu vermehren. Sie wurden jedoch durch geringere Energiedichten, die noch unterhalb des gewebeschädigenden Schwellenwertes liegen, zum Selbstmord getrieben. Diese Erkenntnis könnte in Zukunft genutzt werden, um das Tumorwachstum zu stoppen und Krebszellen zu eliminieren.

Projektleitung:  
Prof. Dr. med. Karl-Herbert Schäfer

Kontakt: [anne.schuster@fh-kl.de](mailto:anne.schuster@fh-kl.de)

Mitarbeiter: Tanja Schwab, Michael Bischof,  
Markus Klotz

Projektpartner:  
Fraunhofer IBMT St. Ingbert  
(Robert Lemor, Christian Degel)

Förderung: BMBF-Fachhochschulprogramm

Fotos: FH Kaiserslautern

# Dynamisches Wiegen

Wir sind Spezialist in der Entwicklung, Produktion und Integration von ultraschnellen Präzisionswägezellen und Wägesystemen. Unsere Produkte finden ihren Einsatz in allen industriellen Produktionsprozessen.

Am Standort Kaiserslautern beschäftigen wir ca. 350 Mitarbeiter. Zu unseren Kunden im Bereich Wägetechnik zählt die internationale Verpackungsbranche. Im Bereich Kontrollwaagen sind wir in der Food-, Pharma- und Logistikbranche weltweit tätig.

Möchten Sie gerne Ihr erworbenes Know-how in einem attraktiven, zukunftssträchtigen Umfeld anwenden? Dann sind Sie bei uns richtig! Wir sind auf der Suche nach qualifizierten Nachwuchskräften der Ingenieur- und Informationswissenschaften.

- ▶ **Softwareentwicklung** ▶ **Maschinenbau** ▶ **Physik**
- ▶ **Elektrotechnik** ▶ **Mechatronik** ▶ **Projektentwicklung**
- ▶ **Praktika in technischen Bereichen**



**WIPOTEC**  
▲  
W Ä G E T E C H N I K

Wipotec GmbH  
Adam-Hoffmann-Str. 26 | 67657 Kaiserslautern  
T +49.631.34146-0 | F +49.631.34146-8640  
[personal@wipotec.com](mailto:personal@wipotec.com) | [www.wipotec.com](http://www.wipotec.com)

# Elastische Inliner-, Fugen-, Schächte und begehbare Kanäle

Dipl.-Ing. (FH) Artur Gitzen, Prof. Dr.-Ing. Peter Michael Hajek

Schadhafte und undichte Kanalnetze sind aus ökonomischen und ökologischen Gründen zu vermeiden. So müssen z. Zt. ca. 1,1 Mio. Fugen saniert werden. Die Symbiose aus der Erforschung optimaler Sanierungseigenschaften mithilfe wissenschaftlicher Begleitung des Kooperationspartners (FH Kaiserslautern) und die Entwicklung einer optimalen Anbindungs- masse verbunden mit der praxisgerechten Applikationstechnik (Firmen seal-tec und fakatec) soll ein innovatives, nachhaltiges Sanierungsverfahren hervorbringen. Eine neuartige Polyurethan-Silikatharz-Rezeptur ist entsprechend in der Erforschung

Schadhafte Kanalisationen sind wegen möglicher Grundwasserbelastungen der Umwelt (Exfiltration des Schmutzwassers) bzw. der Betriebskostenerhöhungen für die Abwasserentsorgungsunternehmen (Fremdwasserinfiltrationen) nicht zu tolerieren.

In ca. 540.000 Kilometern des bundesdeutschen Kanalisationsnetzes wird die Anzahl schadhafter Fugen im begehbaren Großrohrprofilbereich (Anteil ca. 15 %) entsprechend der Anzahl durchschnittlicher Kanalhaltungen (40 m Länge) bei etwa 13 %-igen Reparaturanteil an Rohrverbindungen aus statistischen 4,1 Schadensfällen je Haltung zu 1,08 Millionen berechnet. Dies entspricht ca. 3,4 Millionen lfd. Meter Rundum-Fuge. Hinzu kommen zahlreiche defekte Inliner- und Schachtkopfanbindungen.

Für Rohrfugen und Inliner-Anbindungen kamen bisher vorwiegend kostengünstige mineralische, teils kunststoffvergütete, schnell erhärtende Mörtel bzw. Leime auf Tonerde-Zementbasis oder aber rein organische, polymere Kunststoffe wie z. B. Epoxidharze als Füll- und Dichtstoffe zum Einsatz. Teilweise unterstützten wasserquellende Kompressions-Gummiprofile die Liner-Ringspalt-Dichtung.

Allen Produktgruppen gemein sind wesentliche Nachteile:

- Zementgebundene Schnellmörtel härten nicht nur starr aus, sondern sie sind auch nicht säurebeständig. Sie können auf Dauer dem chemischen Lösungsangriff der aus Abwasserfaulprozessen und Bakterienkulturen herrührenden, biogenen Schwefelsäurekorrosion BSK (pH-Wert 1) innerhalb der Kanalbauwerke nicht widerstehen.
- Starre organische, polymere Kunststoffsysteme auf mehrkomponentiger Epoxidharzbasis besitzen zwar den in der Abwassertechnik notwendigen Widerstand gegen chemische Angriffe, weisen jedoch, bedingt durch die erforderliche, händische Verarbeitung, ein hochgradig gesundheitsgefährdendes, allergenes Potenzial sowie eine umweltschädliche Verwendung lösemittelhaltiger Reiniger auf.
- Quellprofile bedürfen einer stetigen Wasserbenetzung. Bei Wechselbeanspruchungen treten nicht nur infolge Schrumpfungen immer wieder phasenweise Umläufigkeiten auf, sondern die Quellharzanteile können nach persönlichen Beobachtungen und Versuchserfahrungen des FH-Projektengineurs auch relativ schnell altern. Die Quellprofile verspröden zusehends, verformen sich, Anteile werden bis hin

zur vollständigen Materialauflösung ausgewaschen bzw. ausgespült.

Da meist starre Füll- und Dichtungsmassen verwendet werden, können diese Anbindungsverfahren mangels fehlender Elastizitäten eine dauerhafte Dichtigkeit nicht gewährleisten. Differierende physikalische Materialeigenschaften führen bei Bauteilbewegungen zu immer wiederkehrenden Bauwerksmängeln. Starre Füllmassen in einer reparierten Fuge brechen aus oder lösen sich vom Untergrund ab. Gleiches gilt für Zug-/Scherspannungen aus Inliner-Verkürzungen (Schrumpf vor Ort härtender Harze). Hinzu kommen die durch dynamische Stoßbelastungen aus dem Fahrzeugverkehr geschädigten Beton-/Mörtel-/Asphalt-Einfassungen der Schachtköpfe. Feuchteinfiltrationen führen zu winterlichen Frostschäden.

Hier setzt das FuE-Kooperationsprojekt an (Abb. 1). Im Rahmen des Forschungsvorhabens soll eine voll funktionsfähige, flexibel gestaltete, beständige, Kraft übertragende, umweltschonende, neuartige Füll- und Anbindungs- masse entstehen, die überdies auch noch den Bauabläufen der Sanierungspraxis sowie akzeptablen finanziellen Materialkosten gerecht wird.

# Stachtkopfanbindungen für Realisationen

Es gilt, die optimalen Materialeigenschaften, insbesondere die Haftungs-, Dehnungs- und Kraftübertragungsfähigkeiten, zu erforschen (Aufgabe FH Kaiserslautern), die für elastische Anbindungen optimale Füll- bzw. Übergangsmasse zu entwickeln (Aufgabe Firma seal-tec) sowie ein geeignetes, anwenderfreundliches, sicheres Applikationsverfahren nebst Gerätetechnik aufzubauen bzw. empirisch zu erproben (Aufgabe Firma fakatec). Der innovative Kern besteht in der Entwicklung und dem Einsatz einer Fugentechnik, die die bisher praxisüblichen „starrten“ Materialien mit ihren Folgeschäden aus Bauteilbewegungen vollwertig und konkurrenzfähig ersetzt. Besonderes Augenmerk wird dabei auf die Anforderungsprofile zweier bedeutender Liner-Hersteller gelegt. Hier wären besonders fünf Aspekte hervorzuheben:

- eine schnelle Wasserbelastbarkeit der Fugenmasse von max. 30min., die den gewohnten Baufortschritt ohne aufwendige Wasserhaltung gewährleistet.



**Fachhochschule  
Kaiserslautern**

University of  
Applied Sciences



**fakatec**  
Quality and  
Innovation  
for Pipes



**seal-tec**  
Produkte mit Zukunft

Abb. 1:  
FuE - Kooperationspartner im BMWi-Förderprogramm ZIM

- zu kompensierende Restschrumpfmaße von eventuellen 5-mm-Längenänderungen ohne Materialrisse.
- ausreichende Adhäsion an diversen Untergrundmaterialien zur notwendigen Dehnungsaufnahme ohne Ablösung vom Substrat
- Zulassung des Deutschen Instituts für Bautechnik Berlin gemäß den Zulassungsgrundsätzen für 2K-Fugendichtstoffe in Abwasseranlagen
- konkurrenzfähige Marktpreise

Ein neu konzipiertes hybrides Polyurethanharz (PUR) erfüllt zurzeit zahlreiche projektintern gesteckte Ziele und lässt erwarten, dass die Bemühungen der Kooperationspartner erfolgreich sein könnten. Kurzzeitig sind über 100%ige Dehnung gegenüber der Materialdicke bis zum Riss möglich (Abb. 2–4).

Die Fachhochschule Kaiserslautern hat ein umfangreiches Prüfprogramm mit zahlreichen Labor- und Feldversuchen aufgestellt. Master- bzw. Diplomarbeiten werden in das Projekt eingebunden. Praxisgerechtere Modifikationen an Prüfverfahren und der Eigenbau von geeignetem Equipment sind unumgänglich (Abb. 5–10). Großversuche an maßstabsgerechten Prüfständen, Feldstudien sowie Langzeitbeobachtungen an real sanierten Pilot-Baustellen gehören ebenfalls zum Aufgabenkomplex. Gemäß Fördermittelantrag soll der Forschungsgegenstand sich an den Qualitäten und Anforderungen abwassertechnischer Elastomer-Dichtungen (DIN EN 681) orientieren.

Neben allgemeinen Materialanforderungen wie:



Abb. 2–3:  
Typischer Aufbau einer Ringspalt-Verfüllung (GFK-Liner-Anbindung)  
Mechanisch vorbehandelter Untergrund (Beton) – elastische Fugenmasse PUR – Liner



Abb. 4:  
Zugdehnung 11 mm (Stahlplattendicke) bei  
9-mm-Material-Schichtstärke 2K-PUR



Abb. 5:  
Massenproduktion Prüfkörper DIBt-Fuge

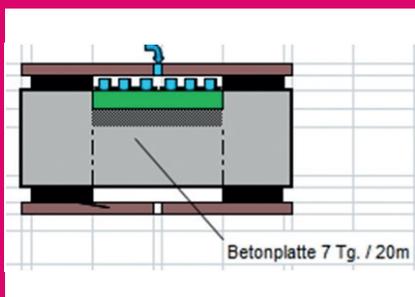


Abb. 6:  
Prüfschema Dichtheit DIBt-Fuge

- Mischbarkeit (Dichten, Klimadaten),
- Verarbeitbarkeit (Viskositäten, Standvermögen, Gelpunkte),
- Beständigkeit (Masse-/Volumenänderungen, Schichtdicken, Homogenitäten, Alterungen)

sowie typisch abwassertechnischen Materialeigenschaften wie:

- Untergrundhaftung (Rautiefen, Adhäsionen auf Beton, Liner-Harzen GFK+Nadelfilz, Steinzeug, PVC-U),
  - Dichtheit (Wasserdruck auf Materialschichten, Fugensimulationen),
  - chemischer Widerstand (Prüfmedien Säuren-Laugen-Peroxide),
  - mikrobiologischer Widerstand (Wurzelfestigkeiten, Klärwerks-Auslagerungen),
  - mechanischer Widerstand (Hochdruckspülversuche, Abriebfestigkeiten),
  - grundwasserhygienische Unbedenklichkeit,
- kommen speziell aus der Elastizität abzuleitende Kenndaten an dem Mischgut zur Untersuchung:
- Härtegrade (IRHD/Shore A),



Abb. 7:  
modifizierte Haftzugprüfung an doppelseitig verklebter Sandwichscheibe (Elastikmasse-Linerharz)



Abb. 8:  
FH-Eigenbau zum Druckverformungsrest (DIN ISO 815)



Abb. 9:  
FH-Eigenbau zu Zugverhalten unter Spannung + Rückstellvermögen (DIN EN ISO 8340/ 7389)

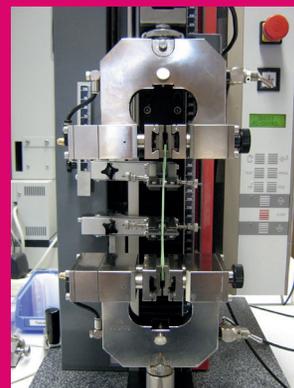


Abb. 10 (rechts):  
Zugversuch an S2-Schulterstab (DIN 53504)

- Zugdehnungen (mit/ohne Vorspannungen),
- Reißdehnungen (bis Bruch),
- Weiterreißen (Öffnen eines glatten Anschnitts),
- Rückstellvermögen (Kleinfugensimulationen nach Vordehnungsstufen),
- Druckverformungsreste (bleibende Deformation nach Vorkompressionsstufen),
- Spannungsrelaxationen (Spannungsänderungen unter konstanter Kompression),
- Schubmodule (Ermittlung Scherverhalten).

Die Untersuchungen erfolgen überwiegend in Serien an verschiedenen Untergründen, Schichtdicken bzw. Prüfaltern. Der Forschungsschwerpunkt

liegt dabei eindeutig auf dem Elastizitätsverhalten.

Als Projektergebnis soll primär ein neuartiges Sanierungsverfahren für Liner-Anbindungen an starre Schachtbauwerke, Schachtringfugen in begehbaren Kanalisationen entstehen, das eine dauerhafte Beseitigung von Schäden zulässt und somit auch unter Langzeitbedingungen eine hervorragende Haltbarkeit und Sicherung des Sanierungserfolges ermöglicht.

Im Januar 2011 wurde das FuE-Vorhaben auf dem „4. Fachtag Kanalsanierung, Rheinland-Pfalz“ der Öffentlichkeit vorgestellt. Wissbegierige konnten sich hier schon näher über das bis Ende Oktober 2013 laufende Projekt informieren.

Projektleitung:	Prof. Dr.-Ing. Peter Michael Hajek
Kontakt:	petermichael.hajek@fh-kl.de
Mitarbeit:	Dipl. Ing. (FH) Artur Gitzen
Projektpartner:	Fa. seal-tec GmbH, 34132 Kassel Fa. fakatec GmbH, 67714 Waldfishbach-Burgalben
Förderung:	BMWi im Programm ZIM
Fotos:	A. Gitzen



**Zertifizierte Kanalanierungs-  
berater und leistungsstarke  
Sanierungsverfahren lösen Ihre  
Kanalierungsprobleme.**

**FAKATEC –  
IHR KANAL-  
SANIERUNG-  
PARTNER**

**fakatec**

QUALITY AND INNOVATION FOR PIPES

**Kanalansanierung:**  
Professionell, flexibel,  
nachhaltig und ohne  
zu graben.

fakatec® GmbH · Hauptstraße 175 · 67714 Waldfishbach-Burgalben  
Tel. 06333 2799-10 · Fax 06333 2799-19

[www.fakatec.de](http://www.fakatec.de)

# Empirische Untersuchung bei St zum Controlling unter besonder

Prof. Dr. Walter Ruda, M. A. Bernhard Dackiw

Die empirische Studie „Rolle und Aufgabenbereiche des Controllers“ wird seit 2003 von Prof. Dr. Walter Ruda durchgeführt. Sie richtet sich sowohl an Studierende als auch an Praktiker aus Unternehmen unterschiedlicher Größe. Zu der Studie wurde 2008 von Prof. Dr. Ruda und Holger Grünhagen, M. A. die Monografie „Das Berufsbild des Controllers im Mittelstand“ veröffentlicht, in der die Ergebnisse der Jahre 2003 bis 2006 vorgestellt wurden. Die Auswertung der Daten wurde 2009 im Rahmen einer Bachelor Thesis fortgeführt. Da 2009 eine Erweiterung des Fragebogens sowie des Teilnehmerkreises erfolgte, ist eine erneute Auswertung sinnvoll, da hiermit neue Erkenntnisse gewonnen werden können. Die Ergebnisse sollen in diversen Controllingfachzeitschriften veröffentlicht und somit einem breiten Fachpublikum zugänglich gemacht werden.

## **Einführung, Problemstellung und Zielsetzungen**

Obwohl zum Controlling mittlerweile eine Reihe von empirischen Studien vorliegt, wird einigen Bereichen nach wie vor nur geringe Aufmerksamkeit zuteil. Das Berufsbild des Controllers zählt hierzu. Die empirische Untersuchung von Prof. Dr. Walter Ruda beschäftigt sich deshalb mit diesem Aspekt des Controllings unter besonderer Berücksichtigung der KMU-typischen Spezika. Das zentrale Forschungsobjekt der Studie ist die Beschreibung der Spezifika des Berufsbildes des Controllers, hierzu werden organisatorische Aspekte, Rolle, Image und Aufgabenfelder des Controllers im Unternehmen sowie notwendige Persönlichkeitsmerkmale zur Erfüllung der Aufgabe untersucht. Die Studie soll einen Beitrag zur Verbesserung des Kenntnisstandes leisten, indem jährlich eine Befragung unter Praktikern und Studierenden durchgeführt wird. Die im Folgenden gezeigten ausgewählten Untersuchungsergebnisse stellen nur einen kleinen Ausschnitt der Auswertung dar, eine umfassende Darstellung der Ergebnisse wird durch Veröffentlichungen in Fachzeitschriften erfolgen.

## **Aufbau der empirischen Untersuchung**

Die empirische Studie wird bei Studierenden und Praktikern durchgeführt. Die Befragung der Studierenden erfolgt an der Fachhochschule Kaiserslautern, Campus Zweibrücken und der Technischen Hochschule Mittelhessen, Campus Friedberg. Hierbei werden Bachelor- und Masterstudierende aus Studiengängen der Fachrichtungen BWL und Ingenieurwesen berücksichtigt, die in Präsenz- und Fernstudiengängen sowohl in Vollzeit als auch berufsbegleitend eingeschrieben sind. Die Teilnehmer aus der Controllingpraxis kommen aus dem Arbeitskreis „Controlling und Finanzen“, RKW Baden-Württemberg, der von Prof. Ruda seit Jahren geleitet und moderiert wird. Die Fragebögen der beiden Untersuchungsgruppen unterscheiden sich in Aufbau und Inhalt. Seit 2003 wurden diese nur verändert, um sinnvolle Ergänzungen einzufügen und somit weiterführende Erkenntnisse gewinnen zu können. Damit konnte eine weitgehend kontinuierliche Datenerhebung gewährleistet werden. Im Zeitraum von 2003 bis 2011 wurden annähernd 700 Studierende und 150 Praktiker befragt.

## **Ausgewählte Ergebnisse der Studie**

An dieser Stelle sollen zwei Aspekte der Auswertung herausgegriffen werden: das Image des Controllers und seine Aufgabenfelder. Das Image des Controllers ist von besonderem Interesse, da hiermit Erkenntnisse zur Akzeptanz des Funktionsbereichs Controlling im Unternehmen gewonnen werden können. Die Akzeptanz trägt in hohem Maß zum Erfolg des Controllings bei, das in der Vergangenheit häufig mit negativen Grundhaltungen der Mitarbeiter aus anderen Funktionsbereichen konfrontiert war. Die Teilnehmer der Studie konnten den Controller anhand der von Weber/Schäffer beschriebenen Images bzw. Rollenbilder beurteilen. Die befragten Praktiker sollten ihr Image bei Kollegen und Vorgesetzten mit den Ausprägungen „trifft zu“, „trifft teilweise zu“ und „trifft nicht zu“ beurteilen (Abb. 1). Es kann festgestellt werden, dass die positiv besetzten Images „Lotse“ und „Steuermann“ von einer großen Mehrheit als zutreffend oder teilweise zutreffend erachtet werden, aber auch die eher negativ einzustufenden Images „Spürhund“ und „Kontrolleur“ sind häufig

# Studierenden und Praktikern einer Berücksichtigung von KMU

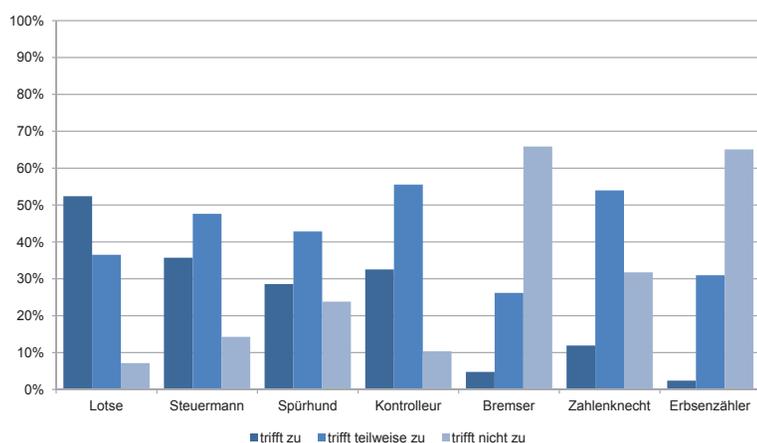


Abb. 1: Controller-Images bei Praktikern

zutreffend. Die weiteren Images sind lediglich teilweise relevant. In Abb. 1 sind alle befragten Unternehmen unabhängig von ihrer Größe erfasst. Alle Images sind in kleinen und mittelgroßen Unternehmen bis auf geringe Abweichungen in ähnlicher Form vorhanden. Beim Vergleich fällt auf, dass „Lotse“ und „Steuermann“ hier wesentlich seltener als zutreffende Images genannt wurden. Das Image mit der höchsten Relevanz ist bei den Großunternehmen das des Kontrolleurs.

der Studierenden seltener vorzufinden, es dominiert, wie bereits erwähnt, das Image des Kontrolleurs. Differenziert nach den beiden Fächergruppen der befragten Studierenden, ergeben sich nur geringe Unterschiede bei den Durchschnittswerten, die Reihenfolge ist deckungsgleich. Bei den Ergebnissen zeigen sich einige Unterschiede zwischen den von den Praktikern im beruflichen Alltag erlebten und den von Studierenden erwarteten Images des Controllers. In der Praxis werden

die Controller überwiegend als positiver Faktor wahrgenommen, die Studierenden sehen das Image des Kontrolleurs als vorrangig an. Ob dies aufgrund der unzutreffenden Gleichsetzung der Begriffe Controller und Kontrolleur geschieht, lässt sich nicht belegen, die Vermutung liegt allerdings nahe. Des Weiteren wäre es von Interesse, ob die Studierenden Kontrolle eher negativ im Sinne von Überwachung oder eher positiv im Sinne von Überprüfung der Planung ansehen.

Das Image des Controllers und seine Aufgabengebiete stehen in engem Zusammenhang. Die konkreten Aufgaben haben großen Einfluss darauf, ob der Controller eher negativ oder eher positiv wahrgenommen wird. Die Befragung zu den Aufgabengebieten erfolgte bei beiden Teilnehmergruppen nach dem gleichen Schema, wie es bereits bei den Images dargelegt wurde.

Bei den Praktikern sind als dominierende Aufgabengebiete Reporting, Abweichungsanalysen und operative

Dieses Image ist auch in der Gruppe der Studierenden vorherrschend. Im Gegensatz zu den Praktikern sollten die Studierenden die Images in eine Reihenfolge von wichtig (1) bis unwichtig (7) bringen. Auch hier belegen die Images „Zahlenknecht“, „Erbsenzähler“ und „Bremser“ mit großem Abstand die hinteren Plätze (Abb. 2). Die anderen Images unterscheiden sich in der Wichtigkeit im Vergleich zu den Praktikern. Das Lotsen-Image ist aus Sicht

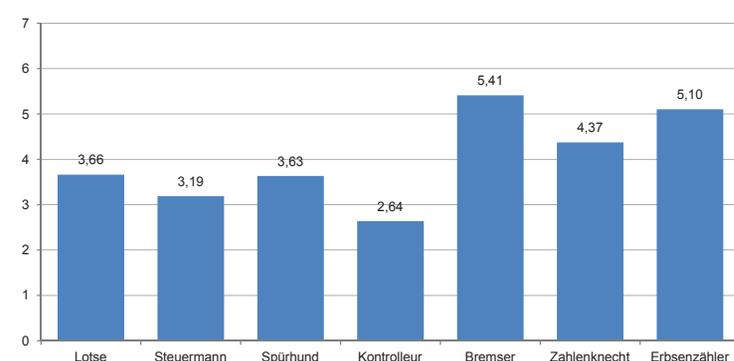


Abb. 2: Controller-Images bei Studierenden (1 wichtig – 7 unwichtig)

## Betriebswirtschaft

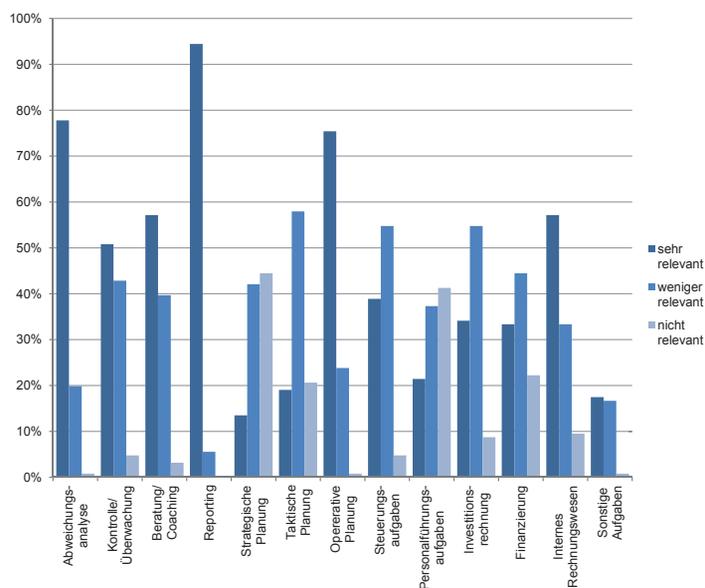


Abb. 3:  
Controller-Aufgaben aus Befragung von Praktikern

Planung zu nennen, unabhängig von der Unternehmensgröße (Abb. 3). Unterschiede ergeben sich bei der Relevanz der anderen Aufgaben. In KMU sind die Aufgabengebiete wesentlich breiter als in großen Unternehmen, was für die geringere Arbeitsteilung spricht. Exemplarisch sind an dieser Stelle Investitions- und Wirtschaftlichkeitsrechnungen, Finanzierungsaufgaben sowie weitere Aufgaben aus dem internen Rechnungswesen zu nennen, die in großen Unternehmen nicht vom Controlling, sondern anderen Abteilungen durchgeführt werden. Auch werden nicht näher spezifizierte sonstige Aufgaben in KMU wesentlich häufiger dem Controller übertragen. Das bei den Studierenden an vorderster Stelle gelegene Image des Kontrolleurs zeigt sich auch bei den Aufgaben des Controllers aus deren Blickwinkel. Zwar befinden sich die von den Praktikern am häufigsten als sehr relevant eingestufteten Aufgaben auf den folgenden Plätzen, jedoch mit deutlichem Abstand zur Kontrolle/Überwachung.

### Zusammenfassung und Ausblick

Controllern wird in ihren Unternehmen, unabhängig von der Größe, eher ein positives als negatives Image zuge-

sprochen. Bei den Aufgabengebieten ergeben sich hingegen Unterschiede. In KMU sind diese vielfältiger als in Großunternehmen, es zeigt sich ein breiteres, aber weniger tiefes Betätigungsfeld. Die Tätigkeit des Controllers in KMU kann somit als abwechslungsreicher, aber auch herausfordernder bezeich-

net werden. Die Studierenden haben teilweise abweichende Erwartungen im Vergleich zur Unternehmenspraxis. Dies zeigt, dass in der Hochschulausbildung in Bezug auf das Controlling noch Verbesserungsbedarf besteht. Durch Kooperationen mit Unternehmen, egal ob KMU oder Großunternehmen, können hier Fortschritte erreicht werden. Wichtig ist hierbei, dass die Unterschiede der Ausgestaltung des Controllings in den einzelnen Größenklassen deutlich werden und dies zu einer für die Unternehmen bedarfsgerechteren Qualifikation der Studierenden führt.

Für die Fortführung und die weitere Auswertung der Studie spricht die Möglichkeit tiefergehender Analysen der Ergebnisse, insbesondere bezogen auf die Entwicklung im Zeitablauf oder den Vergleich der Ergebnisse der Vollzeitstudierenden und der berufsbegleitend Studierenden. Auch die Erweiterung der Fragebögen im moderaten Umfang ist durchaus sinnvoll, um weitere wissenschaftliche Erkenntnisse zu erlangen.

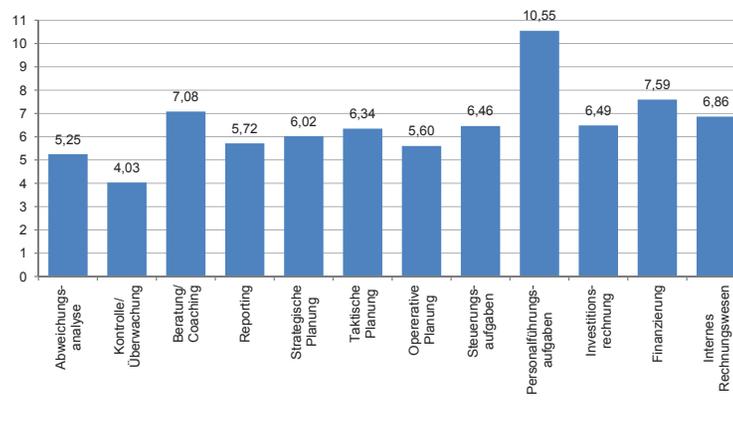


Abb. 4:  
Controller-Aufgaben aus Befragung von Studierenden (1 wichtig – 7 unwichtig)

Projektleitung: Prof. Dr. Walter Ruda  
 Kontakt: [walter.ruda@fh-kl.de](mailto:walter.ruda@fh-kl.de), [bernhard.dackiw@fh-kl.de](mailto:bernhard.dackiw@fh-kl.de)  
 Mitarbeit: M. A. Bernhard Dackiw  
 Partner: Zentrum für Mittelstands- und Gründungsökonomie ZMG

A photograph of a young woman with long, wavy blonde hair, wearing a red headband and a white top. She is smiling and looking towards the camera. The background is a solid red color.

**Mehr  
nett!**

**Wir beraten Sie noch  
ganz persönlich.**

- So kompetent wie Sie es gewohnt sind
- So individuell wie Sie es erwarten
- So unbürokratisch wie möglich

[www.kskl.de](http://www.kskl.de)

 **Kreissparkasse  
Kaiserslautern**

Mehr als eine Bankverbindung.

# Internationale empirische Studie Entrepreneurship-Motivation

Prof. Dr. Walter Ruda, Prof. Dr. Thomas A. Martin, M.A. Dipl.-Betriebswirt (FH)  
Benjamin Danko

Das internationale Forschungsprojekt „Gründungen und Entrepreneurship bei Studierenden“ (GSt-Studie), das vom Zentrum für Mittelstands- und Gründungsökonomie (ZMG) in Zusammenarbeit mit Red Pymes Mercosur, dem „Mittelstands-Netzwerk-Lateinamerika“ seit April 2007 durchgeführt wird, hat zum Ziel, Gründungsneigungen und Entrepreneurship-Merkmale von Studierenden aus verschiedenen Ländern zielgruppendifferenziert zu analysieren, um daraus bedarfsorientierte Handlungsempfehlungen für eine adäquate Konzeptionierung von Gründungsausbildung und Gründungsförderung abzuleiten. Hier werden Ergebnisse aus Befragungen in Deutschland und Osteuropa dargestellt.

## Problembeschreibung und Ziele

Die Globalisierung ist von zunehmendem Wandel geprägt, bei dem kleinere bzw. neu erschaffene Unternehmen mit transparenteren Strukturen, kürzeren Entscheidungswegen und höherer Flexibilität als Großunternehmen den entscheidenden Wettbewerbsvorteil haben, schneller auf neu entstehende rentable Marktnischen zu reagieren und mit modernen Technologien in wenigen Monaten Produkte oder Dienstleistungen zu entwickeln, für die Großunternehmen u. U. mehrere Jahre benötigen (Scarborough/Zimmerer 2006). Dieser Trend begründet den entscheidenden Wettbewerbsvorteil unternehmerischer Betriebe, was den zunehmenden volkswirtschaftlichen Bedarf an Neugründungen aufzeigt. Weiter kompensieren neu geschaffene Unternehmen den durch Produktivitätsgewinne herührenden Personalabbau von Großunternehmen. Die hieraus entstandene Arbeitsplatzunsicherheit in Großunternehmen animiert etliche Individuen, die bisher mit der Unternehmensgründung ein zu hohes Risiko verbanden, zur Schaffung eines eigenen Arbeitsplatzes (Scarborough/Zimmerer 2006). Studierende und Akademiker sind als unmittelbar Arbeitssuchende beson-

ders stark mit der problematischen Arbeitsmarktsituation konfrontiert und gelten gleichzeitig als potenzielle Gründer von Hochpotenzialunternehmen, die auf zukunftssträchtigen Innovationen basieren und dauerhafte sowie hochqualifizierte Arbeitsplätze schaffen (Uebelacker 2005). Jedoch tragen lediglich bis zu vier Prozent der Jungunternehmen entscheidend zum kritischen Anteil neu geschaffener Arbeitsplätze und des Wirtschaftswachstums bei (Autio 2005; Szerb/Imreh 2007). Folglich werden hohe Erwartungen an Studierende gestellt, womit diese Zielgruppe für die Unternehmensgründung als Erwerbsoption zu sensibilisieren und während ihrer Gründungsprozesse mit zweckdienlichen Förderprogrammen zu unterstützen ist.

Die international ausgerichtete GSt-Studie verfolgt das Ziel, die Ausprägung der Gründungsneigung und weiterer unternehmerischer Determinanten in verschiedenen Ländern bei der Zielgruppe der Studierenden zu vergleichen. Entwicklungs- und Schwellenländer verkörpern laut Global Entrepreneurship Monitor (GEM) normalerweise höhere Gründungsaktivitäten als Industrienationen. Da es aller-

dings Ausnahmen wie z. B. in den USA und den europäischen Transformationsländern gibt, sind diese Unterschiede jedoch nicht allein auf das volkswirtschaftliche Wohlstandsniveau zurückzuführen. Internationale Vergleiche von Studierenden ermöglichen die Aufdeckung weiterer unternehmerischer Determinanten, die für eine zweckdienliche Ausgestaltung der studentischen Gründungsförderung in unterschiedlichen Ländern entscheidend sind.

## Forschungsdesign

Ausgehend von einem Literatur-Review, einem theoretischen Bezugsrahmen über die studentische Gründungsneigung, der die grundlegenden Einflussfaktoren der Gründungsintention von Studierenden darstellt (Ruda/Martin/Danko 2009), und dem Gründungsambitionstypen-Modell (Ruda/Martin/Ascúa/Danko 2008), wurde ein standardisierter Fragebogen abgeleitet, um Studierende während Lehrveranstaltungen zu befragen.

Seit 2007 wurden an vier deutschen Hochschulen über 4.400 Fragebögen von Studierenden sowohl grundständiger als auch weiterführender Studiengänge, insbesondere der Be-

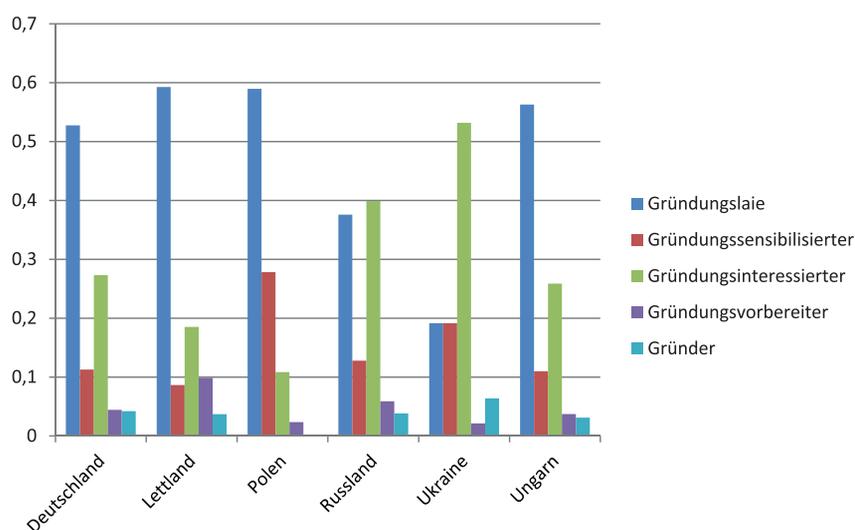
# Die „Gründungsverhalten und von Studierenden“

etriebswirtschaftslehre, der Ingenieurwissenschaften und der Informatik, ausgewertet. Damit umfasst die Stichprobe auch Studierende mit Berufs-, Führungs- und Gründungserfahrung und ferner diejenigen Fachbereiche, deren Studierende bzw. Absolventen die höchste Gründungsneigung bzw. Gründungsaktivität repräsentieren.

Ferner wurden seit 2008 auch Befragungen in weiteren Ländern durchgeführt, sodass die Ergebnisse aus Deutschland mit internationalen Daten verglichen werden können, womit weitere Erkenntnisse ermöglicht werden. Für diesen Beitrag wurden neben den deutschen Daten auch 82 Fragebögen aus Lettland, 216 aus Polen, 401 aus Russland, 50 aus der Ukraine und 1469 aus Ungarn ausgewertet.

## Ausgewählte Ergebnisse

Die Ergebnisse in der Abbildung lassen den höchsten Anteil an Gründungslaien in Lettland erkennen, gefolgt von Polen, Ungarn, Deutschland, Russland und schließlich der Ukraine. Während sich in den ersten vier genannten Ländern die Anteile bei über 50 Prozent bewegen, umfasst die russische Stichprobe 38 Prozent an Gründungslaien und die ukrainische gerade einmal 19 Prozent. Gründungssensibilisierte gibt es am häufigsten in Polen, gefolgt von der Ukraine, Russland, Deutschland, Ungarn und letztlich Lettland. Während der Anteil in Polen mit 28 Prozent relativ hoch ist, in der Ukraine mit 19 Prozent auch noch überdurchschnittlich, bewe-



gen sich die Anteile der Gründungslaien in den restlichen Ländern etwa um die 10 Prozent. Gründungsinteressierte sind am stärksten in der Ukraine zu 53 Prozent vertreten, gefolgt von Russland mit 40 Prozent, Deutschland mit 27 Prozent, Ungarn mit 26 Prozent, Lettland mit 19 Prozent und zuletzt Polen mit lediglich 11 Prozent.

Gründungsvorbereiter finden sich am häufigsten in Lettland wieder, gefolgt von Russland, Deutschland, Ungarn, Polen und schließlich der Ukraine. Während Lettland beinahe die 10-Prozent-Marke erreicht und Russland über fünf Prozent erreicht, existieren in den restlichen Stichproben unter fünf Prozent Gründungsvorbereiter. Die meisten Gründer unter den befragten Studierenden gibt es in der Ukraine mit über sechs Prozent, gefolgt von Deutschland

mit über vier Prozent, Russland sowie Lettland mit annähernd vier Prozent und Ungarn mit knapp über drei Prozent, während das polnische Sample gar keine Gründer umfasst.

## Schlussfolgerungen

Die Ergebnisse zeigen für Deutschland und Ungarn ähnliche Tendenzen bei der Ausprägung der studentischen Gründungsambitionen. Aber auch die Stichproben aus Lettland und Polen werden von den Gründungslaien dominiert, und in Russland erreichen sie immerhin 38 Prozent. Lediglich in der Ukraine ist ein relativ geringer Anteil an Gründungslaien vertreten. Diese Studierenden haben sich bisher noch gar nicht mit der Gründungsthematik auseinandergesetzt, sind der Gründung somit zumindest nicht unbedingt abgeneigt und gelten folglich auch als

potenzielle Gründer – wenn auch erst zukünftig, möglicherweise erst nach einigen Jahren Berufserfahrung. Hierzu ist es allerdings zweckdienlich, dass die Hochschulen als Ausbildungsstätte für die Berufsausübung ihrer Absolventen ihre Studierenden für die Alternative der beruflichen Selbstständigkeit sensibilisieren und unternehmerisches Grundwissen vermitteln, damit mehr Studierende und Akademiker nach potenziellen Geschäftsideen suchen und Fähigkeiten entwickeln können, innovative Ideen zu vermarkten. Das polnische Sample weist den höchsten Anteil an Gründungssensibilisierten aus, das lettische am häufigsten Gründungsvorbereiter und das ukrainische umfasst sowohl die meisten Gründungsinteressierten als auch Gründer. Weitere Datenanalysen ermöglichen Erkenntnisse über die Gründe für bestehende Ähnlichkeiten bzw. Unterschiede zwischen den Ländern, ganz im Sinne von der Möglichkeit, bei der Ausgestaltung der studentischen Gründungsförderung von anderen Nationen und Kulturen lernen zu können.

### Ausgewählte Literatur

Autio, E. (2005): Global Entrepreneurship Monitor – 2005 Report on High-Expectation Entrepreneurship, London Business School, Babson College, London / Babson Park, MA 2005.

Ruda, W. / Martin, Th. A. / Ascúa, R. / Danko, B. (2008): Foundation Propensity and Entrepreneurship Characteristics of Students in Germany, in: ICSB (Hrsg.), *Advancing Small Business and Entrepreneurship: From Research to Results*, 2008 International Council for Small Business World Conference Proceedings, Halifax 2008.

Ruda, W. / Martin, Th. A. / Ascúa, R. / Danko, B. (2009): Análisis de la propensión de los estudiantes universitarios a crear empresas y señales de Entrepreneurship (GEST-Studie) – Una comparación entre los estudiantes alemanes y argentinos, in: Red Pymes, Facultad de Ciencias Económicas – Universidad Nacional del Litoral (Hrsg.), *Memorias de la 14ª Reunión Anual de la Red Pymes Mercosur – “Las Pymes Latinoamericanas y la Crisis Global. Desafíos y Oportunidades”*, Santa Fe, Argentinien 2009.

Ruda, W. / Martin, Th. A. / Danko, B. (2009): Target Group-Specific Design of Student Entrepreneurship Support – A German Example Focusing on Start-Up Motives and Barriers, in: *Acta Polytechnica Hungarica, Journal of Applied Sciences, Special Issue on Management, Enterprise and Benchmarking*, Vol. 6, Nr. 3, 2009, S. 5–22.

Scarborough, N. / Zimmerer, T. (2006): *Effective Small Business Management: An Entrepreneurial Approach*, 8. Aufl., New Jersey 2006.

Szerb, L. / Imreh, S. (2007): Entrepreneurship Education and Entrepreneurial Attitudes of Hungarian Students: An International Comparison, in: Budapest Polytechnic (Hrsg.), *Proceedings of 5th International Conference on Management, Enterprise and Benchmarking, MEB 2007*, Budapest 2007.

Uebelacker, S. (2005): *Gründungsausbildung, Entrepreneurship Education an deutschen Hochschulen und ihre raumrelevanten Strukturen, Inhalte und Effekte*, Wiesbaden 2005.

Projektleitung: Prof. Dr. Walter Ruda  
Kontakt: [walter.ruda@fh-kl.de](mailto:walter.ruda@fh-kl.de), [thomas.martin@fh-kl.de](mailto:thomas.martin@fh-kl.de),  
Mitarbeit: M.A. Dipl.-Betriebswirt (FH) Benjamin Danko  
Projektpartner: Zentrum für Mittelstands- und Gründungsökonomie ZMG  
Red Pymes Mercosur „Mittelstands-Netzwerk-Lateinamerika“

# » UNSERE BAUSTEINE FÜR IHREN ERFOLG «



[www.mediaprint.info](http://www.mediaprint.info)

■ PUBLIKATIONEN ■ INTERNET ■ KARTOGRAFIE ■ MOBILE WEB

mediaprint infoverlag gmbh  
lechstraße 2 | 86415 mering  
telefon 08233 384-0

e-mail [info@mediaprint.info](mailto:info@mediaprint.info)  
internet [www.mediaprint.info](http://www.mediaprint.info)  
[www.total-lokal.de](http://www.total-lokal.de)



mediaprint  
infoverlag

# du.fragmich.net – ein Frage- und Antwort-System im Web 2.0 der FH Kaiserslautern

B. Sc. Martin Weller, Prof. Adrian Müller

Studierende der Informatik entwickelten im Rahmen des thematischen Schwerpunkts ihres Masterstudiums eine interaktive Plattform für Studierende. Du.fragmich.net startete in 2011 als ein Experiment, um neben sozialen Netzwerken wie Facebook oder Google+ die inhaltliche Ausrichtung und die Akzeptanz einer sozialen Frage-Antwort-Seite für die FH Kaiserslautern zu erproben. Die inhaltliche Ausrichtung war: Alle Fragen und Antworten, die sich direkt und auch indirekt mit dem Studieren und dem studentischen Leben befassen, waren willkommen. Wird das System damit von den Nutzern angenommen?

Organisatorisch wurde das Projekt von drei Studierenden im Master Studiengang Informatik betrieben. Technisch basiert „du.fragmich.net“ auf einem Open-Source-System namens „Q2A“ ([www.question2answer.org](http://www.question2answer.org)).

Abb. 1:  
Screenshot du.fragmich.net

Die primäre Zielgruppe von „du.fragmich.net“ waren die Studierenden der FH Kaiserslautern. Weitere wichtige Beteiligte waren die Mitarbeiter und Mitarbeiterinnen der Verwaltung und der Gremien. Fachliche und wissenschaftliche Ansprechpartner – wie Assistentinnen und Assistenten, Professorinnen und Professoren – waren, wenn auch in geringerem Umfang, ebenfalls beteiligt.

## Erster Akzeptanz-Test im Mathematik-Vorkurs

Um das potenzielle Interesse und die prinzipielle Akzeptanz zu prüfen, wurde eine Vorabversion für die Studierenden des Mathematik-Vorkurses am Standort Zweibrücken Anfang Oktober 2010 bereitgestellt.

Die Laufzeit dieser ersten Testphase wurde auf vier Tage festgelegt; damit wurde der Dauer des Mathematik-Vorkurses Rechnung getragen.

Zum Ende dieser Testphase wurde eine Evaluierung des Systems mittels Fragebögen bei den Studienanfängern durchgeführt. Hierbei stellte sich heraus, dass 94 % der Teilnehmenden das System zukünftig nutzen wollen.

## Regulärer Betrieb

Dank des klar positiven Feedbacks aus der Testphase wurde entschieden, das Projekt in einer vergleichbaren Form fortzuführen. Das Projekt wurde agil gesteuert, d.h. die Projektkonzeption

# und-Antwort- kaiserslautern

wurde im Dialog mit den Nutzern des Systems dynamisch weiter entwickelt. Ein besonderes Augenmerk bei der Projektrealisierung lag von Anfang an in der analytischen Begleitung.

Der Web-basierte Analysedienst Google Analytics gab uns die Möglichkeit, die gewonnenen Daten bzgl. des Verhaltens der Nutzer unseres Systems auf verschiedenste Arten, sowohl inhaltlich als auch zeitlich, miteinander in Verbindung zu setzen. Eine erste Analyse konnte schnell aufzeigen, wie und in welchem Maße welche Marketingmaßnahmen effektiv waren.

Bei der späteren ausführlichen Analyse der gewonnenen Daten ist uns folgende Besonderheit aufgefallen: es gibt eine fast doppelt so hohe Besuchszeit pro Besuch bei den wiederkehrenden Nutzern unseres Systems im Vergleich zu den erstmaligen Besuchern. Dies führen wir auf ein hohes Interesse und vor allem einen Mehrwert für die Nutzer unseres Systems zurück.

	Neue Besucher	Wiederkehrende Besuche
Seiten pro Besuch	6,49	7,82
Besuchszeit auf der Webseite	03:09 min	05:33 min

Aufgrund der gewonnenen Daten war es weiterhin möglich zu erkennen, wie die Nutzer auf das System gelangten. Den größten Anteil an den Besuchs-

zahlen hatten mit ca. 72 % bzw. fast 2900 Besuchen die direkten Zugriffe. Allerdings kamen auch fast 13 % bzw. über 500 Besucher durch einen Direktlink auf [du.fragmich.net](http://du.fragmich.net).

Die genaue Verteilung dieser Besucher auf einzelne externe Quellen ist aus folgender Tabelle ersichtlich:

Quelle	Besucher
<a href="http://fh-kl.de">fh-kl.de</a>	279
<a href="http://facebook.com">facebook.com</a>	162
<a href="http://zweibruecken.de">zweibruecken.de</a>	35

Weiterhin zeigt eine genauere Betrachtung der 600 Besucher (ca. 15 % der Zugriffe), welche durch externe Seiten (beispielsweise Suchmaschinen wie Google) ohne unsere aktive Mitarbeit vermittelt wurden, ein interessantes Verhalten. Die Anzahl dieser Nutzer erhöhte sich während des Projektverlaufs konstant. Eine Erklärung scheint zu sein, dass durch die stetig anwachsende Informationsmenge in [du.fragmich.net](http://du.fragmich.net) das System von den Suchmaschinen zunehmend als relevante Informationsquelle („authority page“) anerkannt wurde und bei vielen Themen in den Top-10-Treffern angezeigt wurde. Hier bietet sich ein starkes Potenzial, die Fachhochschule Kaiserslautern im Web 2.0 vielfältig darzustellen.

**Verwendete Marketingstrategien**  
Zur Bekanntmachung des Systems wurden unterschiedliche Marketingkonzepte erprobt. Den Anfang der

Marketingmaßnahmen machte ein klassischer Printmedienartikel, welcher in der *Rheinpfalz* am 22.11.2011 erschien. Dies führte zu einer Verdoppelung der Besucherzahlen in diesem Zeitraum. Der Radiosender *DasDing* erstellte eine Videoreportage zu [du.fragmich.net](http://du.fragmich.net), welche im Dezember auf dem Webportal des Senders sowie auf dessen Facebook-Seite publik gemacht wurde. Diese für das Projekt sehr erfreuliche Berichterstattung hatte erneut einen signifikanten Anstieg der Besucher- sowie Nutzerzahlen zur Folge.

Als langfristig angelegte Marketingmaßnahme wurde eine eigene Facebook-Seite erstellt, auf der aktuelle Informationen mitgeteilt wurden. Diese Seite wurde im Speziellen für Ankündigungen des Teams, Neuigkeiten am System oder die Bekanntmachung der Gewinner unseres Gewinnspiels genutzt. Diese Maßnahme erhöhte die Akzeptanz des Systems bei den Nutzern weiterhin. Zurzeit werden diese Zusammenhänge sowie zeitliche und regionale Muster im Rahmen einer Data-Mining-Projektarbeit im Master-Informatik genauer erforscht.

### Probleme

Ursprünglich war [du.fragmich.net](http://du.fragmich.net) als ein sich selbst verwaltendes System geplant. Hierfür sollten die Nutzer, je nach ihrer Aktivität auf der Plattform, moderierend eingreifen können. Die jeweiligen Möglichkeiten eines Users in Bezug auf die Verwaltung der Plattform sollte mithilfe eines Punktesystems realisiert werden. Dieses Konzept wurde

## Informatik

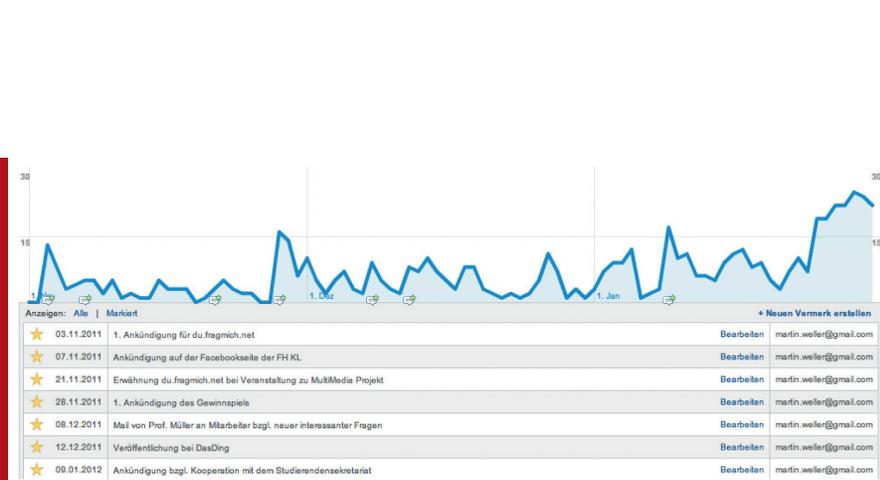


Abb. 2:  
Termine der Marketing-Maßnahmen

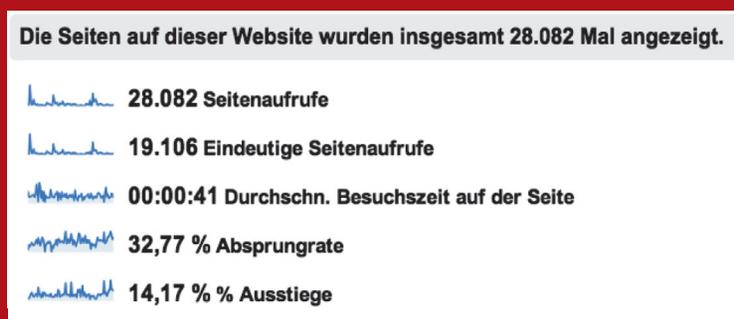


Abb. 3:  
Gewonnene  
Kennzahlen  
während  
der Projekt-  
phase

aufgrund fehlender Akzeptanz bei den Nutzern zugunsten eines moderierten Systems aufgegeben.

### Abschließende Betrachtung

Laut einer aktuellen Studie von Forrester Research („What's The Social

Technographics Profile Of Your Customers?“, Forrester Research, 2010) sind 38 % der potenziellen Zielgruppen in Deutschland bereit, einer Webseite zu folgen, sie zählen also zu den wiederkehrenden Besuchern. Im Vergleich dazu waren bei du.fragmich.net über

42 % der Besucher wiederkehrend. Die Anzahl der aktiv an einem System teilnehmenden Personen beziffert Forrester mit 21 %. Vergleichen wir dies mit der Anzahl der in unserem System registrierten Besucher, so erhalten wir eine Quote von über 17 %. Bezogen auf den Schwerpunkt der Marketingkampagnen (Standort Zweibrücken) schätzen wir deren Aktivierungsrate bei über 30 %.

Damit ist die Ausgangsfrage mit „ja“ zu beantworten: Ein soziales Frage-Antwort-System wird von den Nutzern der FH angenommen.

Nach dem Abschluss des Projekts und der anstehenden Evaluierungen wird du.fragmich.net im Sommer 2012 auslaufen. Erste Auswertungsergebnisse zeigen, dass eine Fokussierung auf kleine, geschlossene Nutzerkreise (wie bspw. die Studierenden eines I. Semesters in einem Studiengang) bei dann geringem Betreuungsaufwand gute bis sehr gute Nutzungswerte erbringen dürften.

**Kontakt:** [adrian.mueller@fh-kl.de](mailto:adrian.mueller@fh-kl.de)

### Neu und wiederkehrend

- Neue Besucher** 57,25 % von insgesamt besuche
- Wiederkehrende Besucher** 42,75 % von insgesamt besuche
- Alle Besuche** 100,00 % von insgesamt besuche

01.11.2011 - 31.01.2012

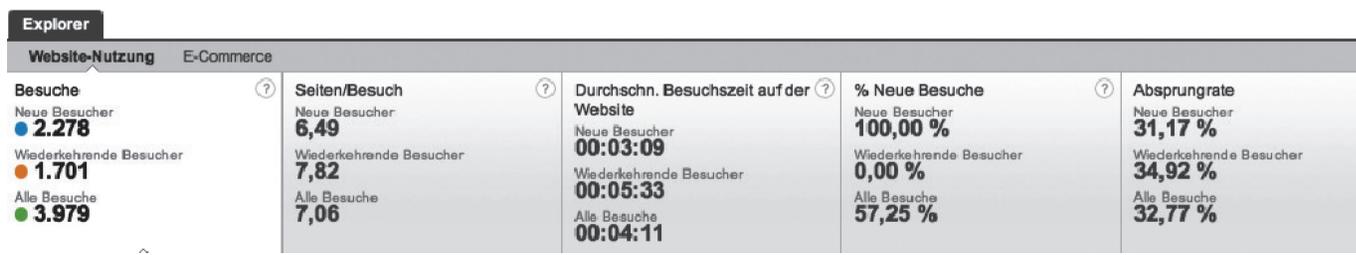


Abb. 4:  
Besuchszahlen von du.fragmich.net

# » Reinklicken und Ihre Kommune mobil erleben «



Sie finden uns unter:

[www.cityapp.de](http://www.cityapp.de)

Wir sind Ihre kompetenten Ansprechpartner.



Als Kooperationspartner der Fachhochschule  
Kaiserslautern bieten wir Ihnen:

- Praxismester bzw. Praktikum
- Bachelor/Master-Thesis
- Kosmo-Studium
- Einstieg mit herausragenden Perspektiven in unseren Fachbereichen und in unserer Kundenbetreuung



Aktiengesellschaft



Cabling-Systems    EMV in Anlagen und Systemen    Wireless Applications

**Cabling & Systems**

Bewerben Sie sich: [personal@ghmt.de](mailto:personal@ghmt.de)  
GHMT AG • In der Kolling 13 • 66450 Bexbach  
Tel.: 06826/9228-0 • [info@ghmt.de](mailto:info@ghmt.de) • [www.ghmt.de](http://www.ghmt.de)



# Erhöhung der elektrischen Leitfähigkeit von Kunststoffen für Composites durch Nanomaterialien

Prof. Dr.-Ing. Jens Schuster

Kohlenstofffaser-Verbundwerkstoffe (CFK) haben von Natur aus eine geringe elektrische Leitfähigkeit. Die Matrix (Epoxydharz) ist ein guter Isolator. Es gibt jedoch Anwendungsgebiete, bei denen die hervorragenden mechanischen Eigenschaften und zusätzlich eine gute elektrische Leitfähigkeit verlangt werden. Innerhalb dieses Projektes wird nun versucht, die elektrische Leitfähigkeit an Verbindungsstellen von einzelnen CFK-Komponenten durch Einbringen von Nanopartikeln und leitfähigen Klebestellen zu erhöhen, um schwere Metall-Verbindungselemente zu vermeiden.

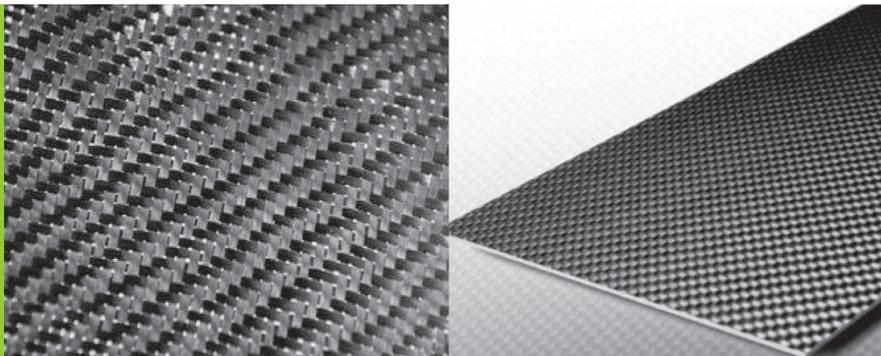


Abb 1:  
Kohlenstoffmatte und fertige CFK-Platte

CFK ist ein leichter, aber zugleich ein leistungsstarker Werkstoff, der hervorragende mechanische Eigenschaften mit sich bringt. Leider gehört eine hohe elektrische Oberflächenleitfähigkeit nicht zu den positiven Eigenschaften der CFK-Werkstoffe. In manchen Anwendungsfällen ist aber eine Abfuhr von statischer Ladung zur Vermeidung von Entladungen unabdingbar und um diese zu gewährleisten, wird in diesem Projekt geforscht.

Die Kohlenstofffasern im CFK-Werkstoff werden als Matten in Epoxydharz als Matrix eingebracht, und nach

einer gewissen Aushärtephase erhält man den fertigen CFK-Werkstoff (siehe Abb. 1).

Gemessen wird der Oberflächenwiderstand. Ist er zu hoch, findet kein Ableiten der Ladung statt. Ist der Widerstand zu gering, ist das Material durchweg leitend, was in Bezug auf elektrische Bauteile ein Problem darstellt. Die hohe Kunst ist es, eine bestimmte Menge Nanotubes so zu dispergieren, dass die Leitfähigkeit des Materials im gewünschten Rahmen liegt und der Vorgang auch reproduzierbar ist (siehe Abb. 2).

Die reine Epoxydplatte mit 0,8 Vol% Carbon Nanotubes hat einen Oberflächenwiderstand von  $0,70 \text{ K}\Omega$  und ist somit leitend (Abb. 3). Innerhalb des Projektes wurde nun weiterhin eine Epoxydharz-Leitsilber-Suspension hergestellt und damit die Epoxydharz/Nanotube-Platten miteinander verklebt.

Bisher wurden CFK-Strukturen mit aufwendig gefertigten Metall-Strukturen verbunden, um eine Erdung der Einzelfragmente zu gewährleisten. (Abb. 4)

Dieser Vorversuch zu einer möglichen späteren Verklebung von größeren Bauteilen hat ergeben, dass mittels einer leitenden Klebeschicht mehrere Bauteile ohne den Einsatz von leitenden Metallteilen durch mit Nanotubes versetzte Komponenten ableitend miteinander verbunden werden können.

Über drei Platten und zwei Klebestellen hinweg erhält man immer noch einen Oberflächenwiderstand von  $1,5 \text{ M}\Omega$  und somit ein ableitendes System. Auf größere Systeme übertragen, könnte so eine zukünftige Lösung zur ableitenden Verbindung von CFK-Bauteilen aussehen.

# Leitfähigkeit von Matrixwerk- den Einsatz leitender

Ladungsabteilung möglich				Ladungsabteilung begrenzt		Ladungsabteilung nicht möglich				
Stoffe nicht aufladbar				Übergangsbereich		Stoffe aufladbar				
leitend		ableitend				isolierend				
$10^4$	$10^5$	$10^6$	$10^7$	$10^8$	$10^9$	$10^{10}$	$10^{11}$	$10^{12}$	$10^{13}$	$10^{14}$

Abb. 2 (oben):  
Oberflächenwiderstand  $R_o$  in  $\Omega$

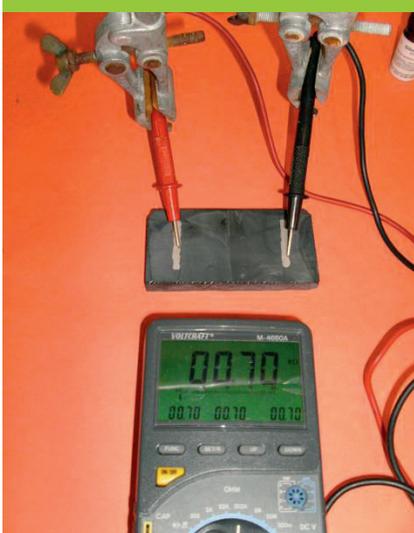


Abb. 3:  
Messen des Oberflächenwiderstandes einer Epoxydplatte mit 0,8 Vol% Carbon Nanotubes

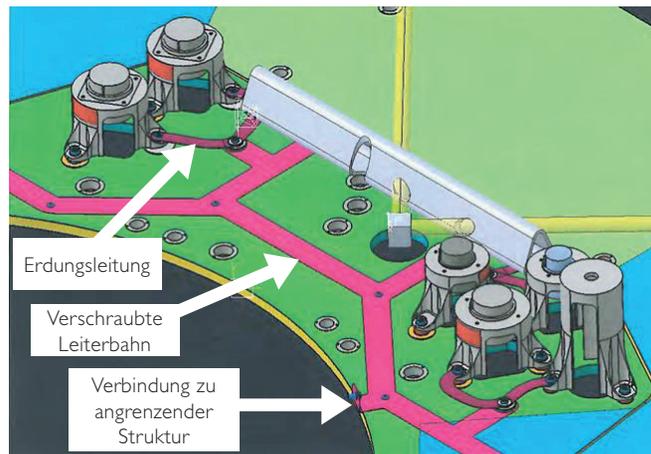


Abb. 4 (links):  
Erdung von  
CFK-Bauteilen



Abb. 5 (rechts):  
Messung des Oberflächenwiderstandes von verklebten Bauteilen

Projektleitung: Prof. Dr.-Ing. Jens Schuster  
Institut für Kunststofftechnik Westpfalz (IKW)  
Kontakt: [jens.schuster@fh-kl.de](mailto:jens.schuster@fh-kl.de)  
Mitarbeit: Dipl.-Ing.(FH) Jens Kiefaber  
Fotos: FH Kaiserslautern

# Digitale Fabrik – Integriertes für die Musterfabrik der FH Ka

Prof. Dr. Reinhard Horn, Prof. Dr. Thomas Kilb, Prof. Dr. Hubert Klein

Seit 1990 entsteht in der Fachrichtung Maschinenbau eine Musterfabrik „Produktion und Logistik“ mit den Software-Insellösungen für CAD „ProE“, CAP und CAM „Index System 200“, CAQ „Zeiss/Marposs“ und PPS „ProAlpha“, die den Studierenden der Studiengänge Maschinenbau und Wirtschaftsingenieurwesen mit Vertiefung Produktionstechnik eine besonders praxisnahe Ausbildung über die verschiedenen Phasen des Fertigungsprozesses hinweg ermöglicht. Die durchgängige Vernetzung und Datenübergabe zwischen den verschiedenen Softwarepaketen liefert Themen für die angewandte Forschung. Probleme bei der Datenübergabe zwischen den einzelnen Softwarepaketen und die Notwendigkeit, die computergestützte Vorbereitung der Produktion durch eine möglichst reale 3D-Simulation aller Fertigungsstufen zu ergänzen, führten 2011 zur Anschaffung einer Product Lifecycle Management (PLM)-Software, die die Entwicklung, Konstruktion und Produktion in einem kompletten Softwarepaket mit zentralen Datenbanken für alle 3D-Modelle der Produkte und Produktionseinrichtungen sowie der notwendigen Logistikinformationen miteinander verbindet.

Die Musterfabrik (Abb. 1) besteht heute aus einem mechanischen Fertigungsbereich mit mehreren CNC-gesteuerten Maschinen, digitaler Werkzeuggeometrie- und Verschleiß-Vermessung und einer flexiblen Fertigungszelle „Index G200“ mit Roboterbeschickung, Paletten-Speicher-Vertaktstrecke und Marposs-Messstation, dem Bereich Qualitätsmanagement mit einer 3-D-Messmaschine „Zeiss“

und einer SPC-Marposs-Messstation in der Flexiblen Fertigungszelle, dem Montagebereich mit 2 bildgesteuerten Kuka-Robotern sowie dem PC-Netzwerk mit 40 PC und den CAD-CAP-CAM-CAQ-PPS-Softwarepaketen.

Ab dem ersten Semester vertiefen Studierende ihre Kenntnisse in Maschinenelementen, Konstruktion und technischer Mechanik in der Musterfabrik.

In Projektarbeiten (6. Sem.) realisieren sie die komplette Arbeitsvorbereitung inklusive CNC-Programmierung sowie die Fertigung eines komplizierten Bauteils. Im Masterstudium werden die virtuelle Produktentwicklung, Produktion und Logistik erlernt.

Die einzelnen Arbeitsschritte eines Fertigungsprozesses in der Musterfabrik sind nachfolgend erläutert.



Abb. 1:  
flexible Fertigungszelle „Index G200“ und Werkzeugvoreinstellgerät

Bisher war die Datenübernahme der Geometrie aus dem CAD ProE (Abb. 3) in das Programmiersystem „Index H200“ sehr umständlich und fehlerbehaftet, da in ProE die Toleranztabelle geladen werden muss und die Konturen von Nennmaß auf Mitte Toleranz eingestellt werden ( $\varnothing 70h7 = \varnothing 69,985 \text{ mm}$  – Abb. 5).

Anschließend muss im 2-D-Zeichenmodus von ProE ein Schnitt mit den Drehkonturen erzeugt und als dxf-Datei exportiert werden. Im CAD-Modul des CNC-Programmiersystems wird nun diese Datei eingelesen, in der Geometrie die sichtbaren Körperkanten

# Product Lifecycle Management Kaiserslautern



Abb. 2:  
flexible Fertigungszelle „Index G200“ und Werkzeugvoreinstellgerät

gelöscht (Abb. 6) und die fertige Drehkontur ins CNC-Programmiersystem importiert (Abb. 7).

Jetzt kann für diese Kontur die Fertigungstechnologie mit NC-Befehlen, Werkzeugen und Schnittwerten programmiert und 2D simuliert werden (Abb. 8). Diese Simulation erkennt nur Werkzeugkollisionen mit dem Werkstück, weshalb mit einer zusätzlichen 3-D-Software „Vericut“ die Kollisionen mit der Maschine überprüft werden müssen (Abb. 9).

Dieser umständliche und fehlerbehaftete Weg vom CAD ins CNC-Programmiersystem mit 3-D-Simulation wird mit der neuen Software DELMIA V6 viel einfacher. Im Catia V6 wird das Teil konstruiert und kann direkt im Modul CNC-Programmierung aufgerufen werden. Die Werkzeugmaschine wird als bewegtes 3-D-Modell geladen, für jeden Bearbeitungsschritt kann das Werkzeug gewählt und die Bearbeitung programmiert werden. Hierbei wird

der Verfahrensweg in 3D mit der Maschine simuliert, sodass Kollisionen oder unwirtschaftliche Leerwege sofort erkannt werden (Abb. 10).

Für die Produktion des Bauteils auf der flexiblen Fertigungszelle „Index G200“ müssen die Werkzeugsoll-Daten über das Netzwerk in das Werkzeugvermessungssystem „Zoller Saturn“ geladen und mit den Ist-Daten überschrieben werden (Abb. 2). Werkzeug-Ist-Daten und NC-Programme werden dann übers Netzwerk in die Maschinensteuerung geladen. Die dimensionelle Prüfung der nach CAD-Daten gefertigten Bauteile erfolgt auf dem 3-D-Koordinatenmessgerät (KMG) Contura G2 von Zeiss.

Um von den CAD-Daten ein lauffähiges CNC-Messprogramm in der Mess- und Auswertesoftware CALYPSO des KMG zu erhalten, bedarf es in der standardmäßigen Installation noch vieler Einzelschritte, die teilweise noch mit einem großen manuellen Aufwand ver-

bunden sind. Die gemessenen Werte werden in einem Messprotokoll ausgegeben, können grafisch mit CAD-Funktionalität dargestellt und bei einer Serienfertigung statistisch ausgewertet werden.

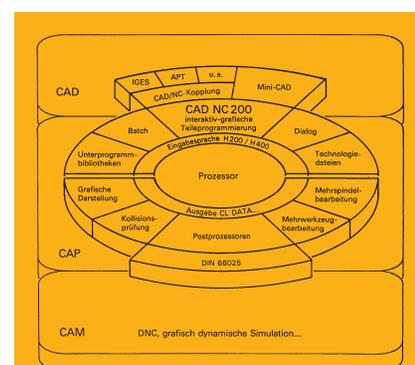


Abb. 3:  
CAP-Software „Index System 200“

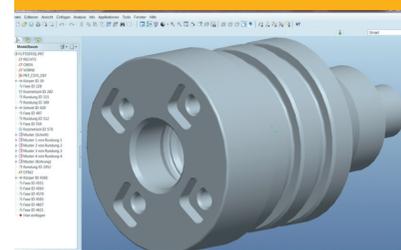


Abb. 4:  
Bauteil aus Projektarbeit CAP in ProE

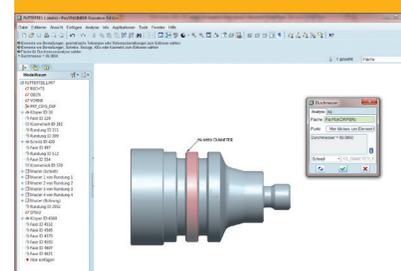


Abb. 5:  
Einstellen von Nennmaß  $\varnothing 70h7$  auf Mitte Toleranz  $\varnothing 69,985$  mm in ProE

Maschinenbau

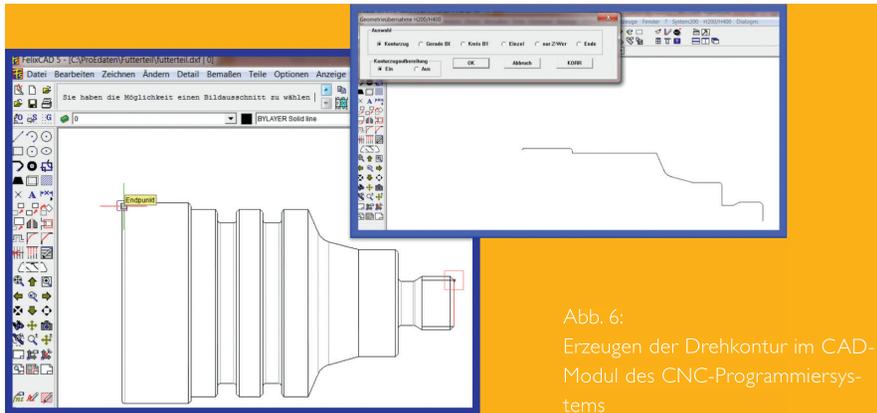


Abb. 6: Erzeugen der Drehkontur im CAD-Modul des CNC-Programmiersystems



Abb. 7 (links): CNC-Programmiersystem mit importierter CAD-Dreh-Kontur



Abb. 8: (rechts) 2-D-Simulation im CNC-Programmiersystem Index H200

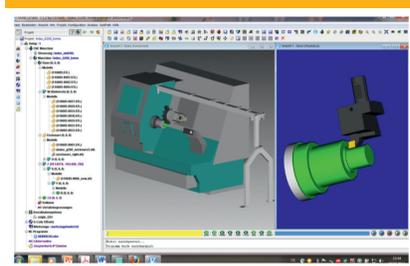


Abb. 9 (links): 3-D-Simulation der CNC-Bearbeitung auf Index G200 mit Vericut 7.1

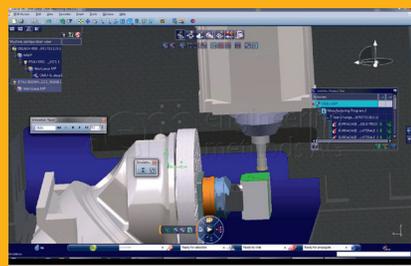


Abb. 10: CNC-Programmierung und gleichzeitige 3-D-Simulation in DELMIA V6



Abb. 12 (links): Module des PLM-Software-Paketes V6 academica

Da die Datenrückführung von CAQ zur Arbeitsvorbereitung oder gar bis ins CAD-System zum Schließen eines Qualitätsregelkreises nur per Messprotokoll und nicht automatisiert möglich ist, wird in einem gemeinsamen Projekt zusammen mit den Partnern AfM Technology GmbH, Aalen, der :em engineering methods AG, Darmstadt und der Fachhochschule Kaiserslautern mit Hilfe der zusätzlichen Software QualityProcessWizard (QPW) von AFM versucht, diese Schrittkette zu optimieren und zu verkürzen. (siehe Abb. 11)

Bei der Systemauswahl wurde sehr großer Wert auf die Durchgängigkeit der Daten und Prozesse gelegt. Daher ist die Wahl auf das Softwarepaket V6 academia, bestehend aus den Paketen CATIA V6 / DELMIA V6 und ENOVIA V6 gefallen (Abb. 12).

Im vergangenen Wintersemester wurden die ersten Lehrveranstaltungen mit der V6-Umgebung erfolgreich durchgeführt. In diesem Jahr werden die noch nicht eingeführten Module ausgiebig evaluiert und in die Lehre der Bachelor- und Master-Studiengänge integriert.

Kontakt: [reinhard.horn@fh-kl.de](mailto:reinhard.horn@fh-kl.de)  
Fotos: FH Kaiserslautern



Abb. 11: Prozessablauf mit „User Defined Features“ UDF, Quelle: AFM



## Mit Perspektive planen

Beste Einstiegschancen für Studierende der Fachrichtungen

- **Elektrotechnik**
- **Maschinenbau**
- **Wirtschaftsingenieurwesen**
- **Informatik**

Als eines der führenden europäischen Unternehmen im Bereich Intralogistik bieten wir Studenten vielseitige Möglichkeiten an: Praxissemester, Werkstudium, Praktikum oder Bachelor-Thesis bzw. verschiedene Modelle des dualen Studiums. Natürlich sind Sie auch als Direkteinsteiger immer willkommen. Alle weiteren Informationen finden Sie auf unserer Homepage.

Haben wir Ihr Interesse geweckt? Dann senden Sie Ihre vollständigen Bewerbungsunterlagen an unsere Personalabteilung.



psb intralogistics GmbH  
Blocksbergstrasse 145  
66955 Pirmasens | Germany

[personal@psb-gmbh.de](mailto:personal@psb-gmbh.de)  
[www.psb-gmbh.de](http://www.psb-gmbh.de)



1887 | **125 Jahre psb** | 2012  
INNOVATIONEN FÜR GENERATIONEN

# Physikalische Charakterisierung magnetisierter Maßverkörperungen für

Dipl.-Ing. (FH) Dominik Mika, Prof. Dr. Hildegard Möbius

Magnetische Gebersysteme weisen gegenüber alternativen Encoder-Technologien wie der optischen Abtastung Anwendungsvorteile unter rauen Umgebungsbedingungen auf. Darüber hinaus bieten magnetische Systeme das Potenzial für erhebliche Kostenvorteile in Herstellung und Betrieb. Allerdings haben magnetische Gebersysteme im Vergleich zu optischen Encodern auch Spezifikationsnachteile, wie beispielsweise eine geringere Auflösung, welche die Einsatzmöglichkeiten einschränken. Im Rahmen von HOMAGE wurden deshalb in robusten und kostengünstigen magnetischen Messsystemen die Eigenschaften entwickelt, die sonst optische Systeme auszeichnen. Die Entwicklung hochpräziser magnetischer Maßverkörperungen war hierbei von besonderer Bedeutung. Als Unterauftragnehmer beschäftigt sich die Fachhochschule Kaiserslautern am Standort Zweibrücken mit der physikalischen Charakterisierung neu entwickelter Maßverkörperungstypen.

## Projektbeschreibung

HOMAGE steht für HOch-performante MAgnetische GEber. Ziel des Verbundprojektes HOMAGE war der Aufbau eines magnetischen Gebersystems, das höchsten Anforderungen entspricht. Um dies umzusetzen, wurde mithilfe verschiedener Industriepartner ein Paket von Optimierungsansätzen zu einem innovativen Gesamtsystem zusammenggeführt.

Neben der Entwicklung hochauflösender Hall-Sensorik (iC-Haus) und energieeffizienter Schrittmotorsteuerungen (Trinamic) sowie der Verwendung neuer einfacher Justagekonzepte (TWK) spielt hierbei die Entwicklung einer hochgenauen magnetischen Maßverkörperung (HighResolution, FH Kaiserslautern – Standort Zweibrücken) eine entscheidende Rolle. Hinsichtlich des Einsatzes der Gebersysteme

unter rauen Umgebungsbedingungen erfolgte am Standort Zweibrücken die Charakterisierung neuer perpendikular magnetisierter Maßverkörperungstypen bezüglich ihrer Genauigkeit und Periodizität.

Dazu wurden die Widerstandsfähigkeit der Körper gegen externe magnetische Streufelder sowie Temperaturverhalten und Medienresistenz untersucht. Die so gewonnenen Resultate sollten zeigen, ob die nach dem neuen perpendikularen Magnetisierungsverfahren hergestellten Körper Vorteile im Vergleich zu den herkömmlich planar magnetisierten Varianten aufweisen. Bei den untersuchten Maßkörpern handelte es sich hauptsächlich um Polscheiben mit Doppelnoniusstrukturen zur Bestimmung der Absolutposition (siehe Abb. 1).

Die Fertigung der Polscheiben erfolgte aus polymergebundenem hartmagnetischem Barium-Hexaferrit, welches mittels eines neuen perpendikularen Verfahrens magnetisiert wurde. Messungen der Koerzitivfeldstärke mittels Vibrationsmagnetometrie zeigten eine Koerzitivfeldstärke von  $H_c = 227 \text{ kA/m}$

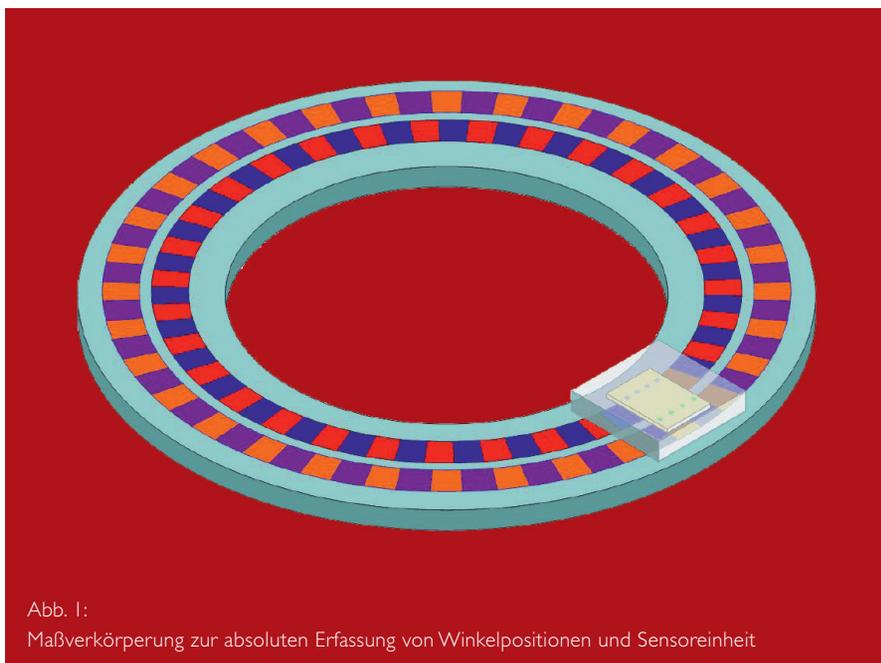


Abb. 1:  
Maßverkörperung zur absoluten Erfassung von Winkelpositionen und Sensoreinheit

# ang perpendicular magneti- ir hochauflösende Drehgeber

(siehe Abb. 2), was in Luft einem Streufeldwert von 285 mT entspricht. Eine Gefahr der Ummagnetisierung durch externe Streufelder ist demnach für die meisten Anwendungen nicht gegeben.

Wie Abb. 3 zeigt, weisen perpendicular magnetisierte Maßkörper im Fernfeld ab 0,5 mm Probenabstand den gleichen Streufeldverlauf auf, den auch planar magnetisierte Körper zeigen. Vorteil des perpendicularen Verfahrens ist allerdings eine höhere Feldstabilität aufgrund der homogeneren Magnetisierung. Planar magnetisierte Maßkörper weisen verfahrensbedingt im Randbereich keine einheitliche Ausrichtung der Elementarmagnete auf und neigen deshalb im Langzeitverhalten zu Magnetisierungsverlusten.

Eine Präparation der Maßkörper mit kolloidalen Ferrofluiden (Abb. 4) ermöglichte eine schnelle Beurteilung der Maßverkörperungen bezüglich Fehlstellen und eine Abschätzung der Periodizität. Nach Abschluss dieser Voruntersuchungen erfolgte eine exakte Messung des Streufeldverlaufs mittels eines hochpräzisen Hall-Sensors durch rotatorische Abtastung der Magnetoberfläche in für die Anwendung typischen Arbeitsabständen.

Die Ergebnisse gaben insbesondere Aufschluss über die erreichbare Periodizität der Polwechsel, was für eine exakte Winkelmessung der Sensorik von hoher Bedeutung ist. Die mittlere Winkeldifferenz zeigte mit 5,627° nur geringe Abweichungen von 0,035 %

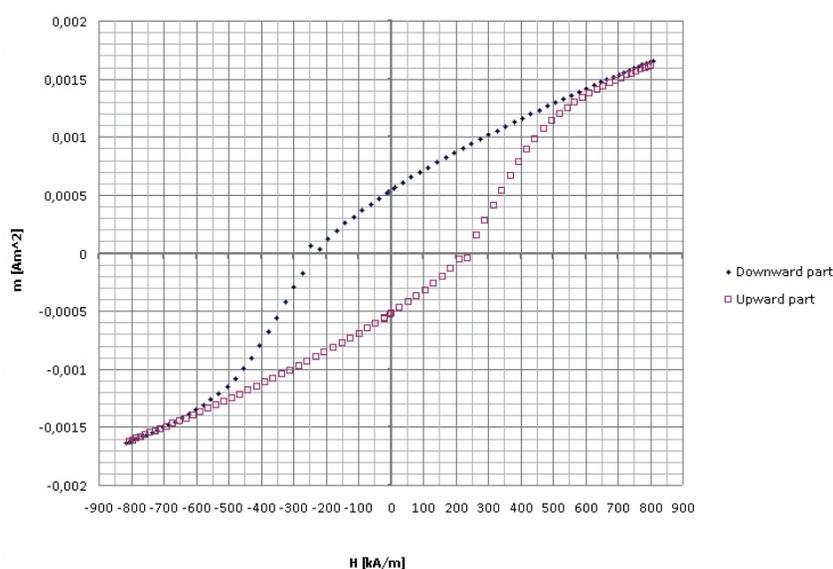


Abb. 2: Magnetische Hystherese einer Barium-Hexaferrit-Probe

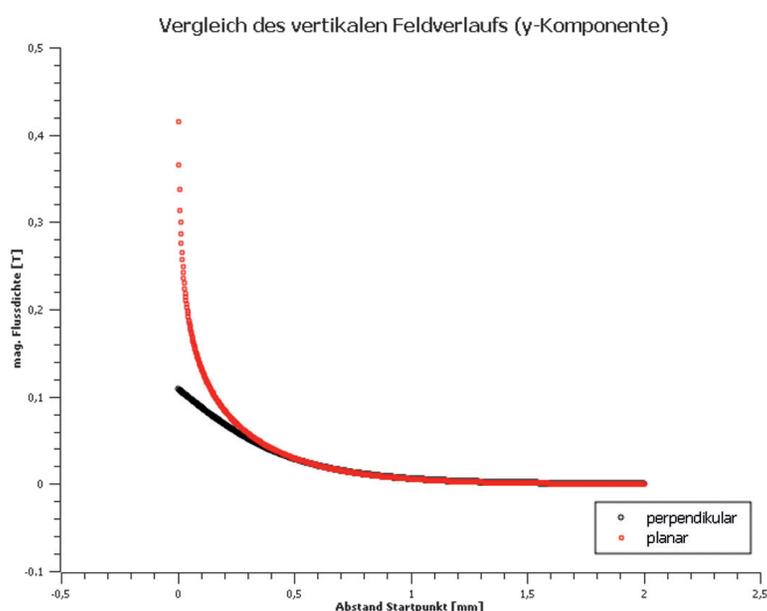


Abb. 3: Feldstärkeverlauf perpendicular und planar magnetisierter Maßkörper

Streifelfeldverlauf Außennonius vs. Abstand

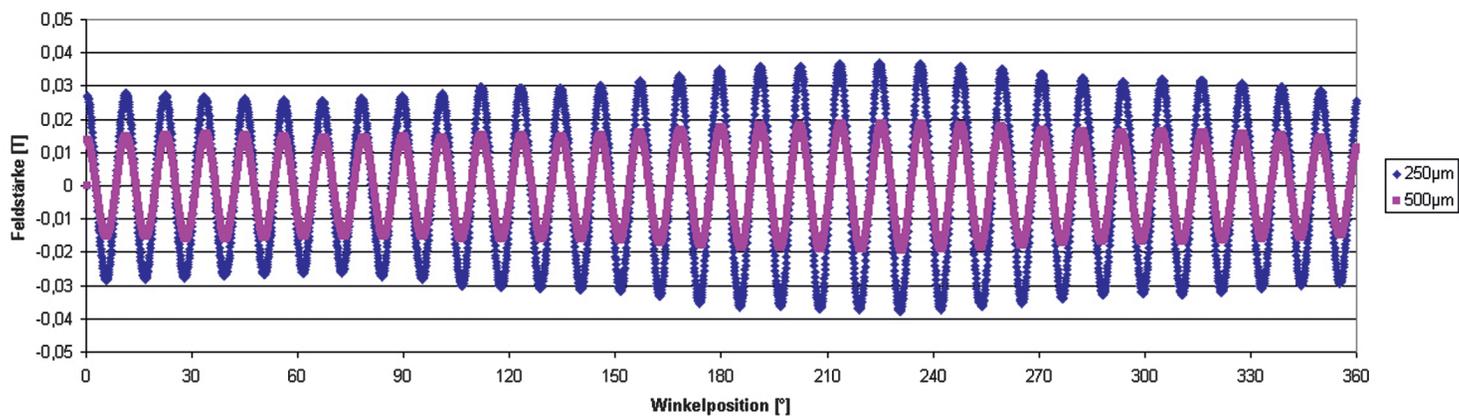


Abb. 5:  
Streifelfeldverlauf des Außennonius einer Polscheibe bei typischen Arbeitsabständen

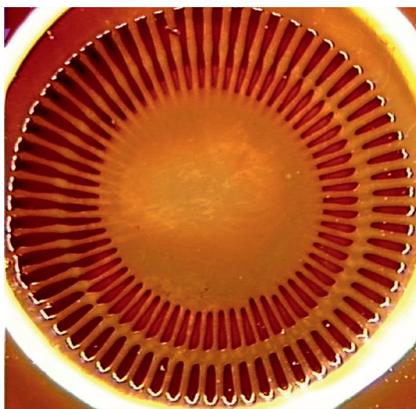


Abb. 4:  
Nach Bitter-Streifen-Methode präparierte  
Polscheibe

vom Sollwert. Die durch mechanischen Höhenschlag und Exzentrizität hervorgerufenen Schwankungen der Feldamplitude lagen im Kompensationsbereich des späteren Sensorsystems.

Langzeitauslagerungen im Klimaschrank zeigten die mechanische und magnetische Maßhaltigkeit der Maßverkörperungen im Temperaturbereich von  $-20^{\circ}\text{C}$  bis  $140^{\circ}\text{C}$ . Des Weiteren konnte eine weitgehende Chemikalienresistenz der Magnetkörper gewährleistet werden.

Nach Abschluss der Untersuchungen der perpendicular magnetisierten Maßkörper konnte eine für die Anwendung ausreichende Fremdfeld-, Temperatur- und Medienresistenz sichergestellt werden. Das Streufeld zeigte im Bereich typischer Arbeitsabstände einen nahezu identischen Verlauf zu planar magnetisierten Körpern. Die Ergebnisse der Periodizitätsmessung ergaben hohe Wiederholungsgenauigkeiten und lieferten dem Hersteller Optimierungsansätze.

Projektleitung:	Prof. Dr. Hildegard Möbius
Kontakt:	<a href="mailto:hildegard.moebius@fh-kl.de">hildegard.moebius@fh-kl.de</a>
Mitarbeit:	Dipl.-Ing. (FH) Dominik Mika
Projektpartner:	iC-Haus, Bodenheim HighResolution GmbH, Kirchheim/Neckar TRINAMIC GmbH & Co., Hamburg TWK, Wedel
Förderung:	Unterauftrag im Rahmen des BMBF-Verbundprojektes HOMAGE
Fotos:	FH Kaiserslautern



# AMR-Sensoren für die Entwicklung Sportausrüstung

Prof. Dr. Antoni Picard

Bei der Entwicklung hochwertigen Sportequipments ist natürlich die Steigerung der Performance das Maß aller Dinge. Jedoch ist es nicht immer trivial, eine direkte Korrelation zwischen der Konstruktion eines Sportgerätes und den unmittelbaren Leistungswerten eines Athleten zu finden. Der Einsatz moderner Sensoren liefert die nötigen Informationen für die zielgerichtete Entwicklung hochwertiger Sportausrüstung.

Über viele Jahre war die Entwicklung moderner Sportgeräte und Sportequipments im Wesentlichen abhängig von der subjektiven Beurteilung erfahrener Tester. Deren persönliches Empfinden musste in geeigneter Weise dem Konstrukteur zurückgemeldet werden und beeinflusste darüber die Optimierung eines Systems oder die Richtung weiterer Entwicklungen. Mit zunehmender Komplexität der Konstruktionen wächst der Wunsch nach objektivierbaren Maßzahlen zur systematischen Analyse konstruktiver oder materialspezifischer Details oder Parametervariationen.

Dies gilt im Besonderen auch für die Entwicklung von anspruchsvollen Laufschuhen sowohl für Profis als auch für ambitionierte Amateure. Die Zeiten

einfacher Gummisohlen und „beliebiger“ Dämpfungselemente sind lange Vergangenheit. Moderne Laufschuhe bestehen aus einer Vielzahl unterschiedlicher, hochwertiger Materialien. Für die Konstruktion der Schuhsohlen werden mit modernen Methoden wie CAD und FEM immer effektivere Lösungen gesucht und gefunden. Der notwendige Aufwand ist beträchtlich, um dem Bedürfnis nach verbesserter Leistung, größerem Komfort und nicht zuletzt auch der Minimierung des Verletzungsrisikos gleichermaßen entsprechen zu können. In vielen Fällen werden optische Methoden eingesetzt. „Motion Capturing“, d. h. die Bewegungserfassung mit einem Set von Hochgeschwindigkeitskameras, hat sich für viele Anwendungen bewährt und gilt gewissermaßen als Standard für

Bewegungsanalysen. Kamerabasierende Systeme stoßen aber insbesondere bei folgenden Randbedingungen an ihre Grenzen:

- wenn statt Laborergebnissen echte Feldmessungen verlangt werden,
- die Messaufgabe eine sehr hohe räumliche Auflösung verlangt oder
- das Messobjekt optisch nicht unmittelbar erfasst werden kann.

Am Standort Zweibrücken der Fachhochschule Kaiserslautern werden seit vielen Jahren mikrotechnische Sensoren genutzt, um die Funktion von Sportschuhen während des Einsatzes, d. h. im Feldversuch, objektiv zu analysieren. Abb. 1 zeigt beispielsweise ein Messsystem zur parallelen Datenaufnahme vieler Sensoren innerhalb eines Schuhs. Die Messgrundlage bilden unsere spe-



Abb. 1:  
Messsystem mit Datenlogger zur Funktionsanalyse eines Laufschuhs



Abb. 2:  
Der Fersenbereich dieses Laufschuhs kann neben der üblichen vertikalen Dämpfungsbewegung eine horizontale Gleitbewegung in x-, y- und z-Achse ausführen.

# Evolution moderner

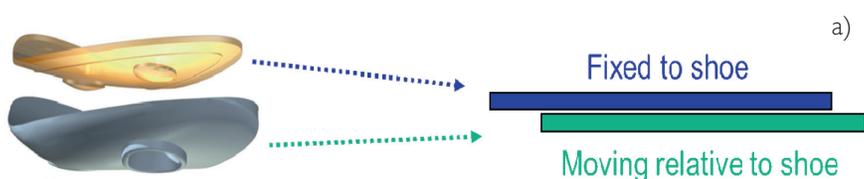
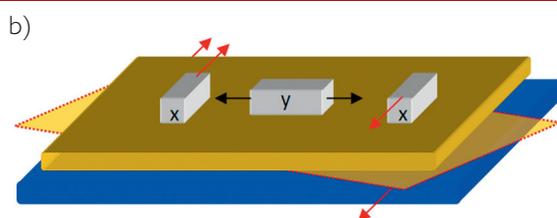


Abb. 3: Die Fersenkonstruktion besteht im Prinzip aus zwei aufeinander gleitenden Platten (a). Die Verschiebung lässt sich mit drei linearen messenden Sensoren eindeutig bestimmen (b).



ziell entwickelten schnellen Datenlogger. Wir sind in der Lage, parallel mehrere digitale und analoge Sensoren mit Sample-Raten von 1 kHz auszuwerten und zu speichern bzw. optional über eine Wifi-Verbindung zu übertragen. Die Messdauer wird nur von der Größe des Li-Ionen-Akkus und der verwendeten Speicherkarte (z. B. 32-GB-SD-Karte) begrenzt. Je nach Messaufgabe werden entsprechende Sensoren ausgewählt und angepasst. Typischerweise kommen z. B. Signale von Beschleunigungs-, Drehraten- oder Kompass-Sensoren zum Einsatz.

In Zusammenarbeit mit einem großen Sportartikelhersteller wurden AMR-Sensoren eingesetzt, um die Bewegungen einer speziellen Fersenkonstruktion zu analysieren. Die Ferse kann bei dieser speziellen Konstruktion nicht nur vertikal nachgeben, sondern auch definiert eine horizontale Bewegung in x-, y- und z-Achse ausführen. Vertikal- und Horizontalbewegung und damit auch die

zugehörigen Dämpfungseigenschaften können somit unabhängig voneinander definiert werden, was zu der hervorragenden Performance des Schuhs beiträgt.

Abb. 2 zeigt die Schuhsohle mit der abgesetzten beweglichen Ferseneinheit. Im Grunde besteht die Ferseneinheit aus zwei aufeinander liegenden, gegeneinander verschiebbaren Platten, wie in Abb. 3 skizziert. Die Verschiebung der Platten zueinander beträgt bis zu 10 mm und findet beim Fersenaufprall innerhalb von nur wenigen Millisekunden statt.

Der eigentliche Vorgang lässt sich von außen nur indirekt beobachten, da die Ferseneinheit im Schuh durch diverse zusätzliche Funktionsschichten verdeckt wird. Eine Messanordnung zur direkten Analyse des Bewegungsvorganges musste entwickelt werden. Die speziellen Herausforderungen für die Wahl des Messsystems waren:

- wenig Platz für den Einbau
- hohe Dynamik beim Aufprall der Ferse
- erforderliche Ortsauflösung im Sub-mm-Bereich
- starke Umgebungseinflüsse wie mechanischer Schock und Verschmutzungsgefahr

Es hat sich gezeigt, dass AMR-Sensoren in Verbindung mit einem magnetischen Maßstab hervorragend geeignet sind, diese Anforderungen zu erfüllen. Drei lineare Positionssensoren erlauben die x-, y- und z-Bewegung eindeutig zu rekonstruieren.

Abb. 4 zeigt die prinzipielle Messanordnung zur relativen Positionsmessung mit AMR-FIXPITCH®-Sensoren der Sensitec GmbH.

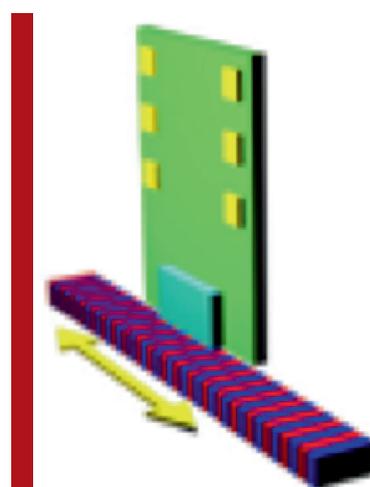


Abb. 4: Das Bild zeigt den prinzipiellen Aufbau einer Messanordnung. Der AMR-Sensor ist hier auf einer relativ großen Platine montiert und tastet das magnetische Wechselfeld des Maßstabes ab. Quelle: Sensitec



Abb. 5 :

links: obere Gleitplatte mit Magnetstreifen; mittig: untere Gleitplatte mit gefrästen Aufnahmen für die AMR-Sensoren; rechts: zusammengesetzte Ferseneinheit mit Sensoren für den Einbau in den Schuh (Blick von unten)

Drei lineare Maßstäbe mit jeweils 5 mm Polllänge wurden unterhalb der Bodenplatte aufgeklebt. Als Faustregel gilt, dass der Abstand der AMR-Sensoren zum Maßstab bis zum 0,5-Fachen der Polllänge relativ unkritisch ist – in unserem Fall also bis zu 2,5 mm. Damit konnten schuhseitig bequem drei AMR-Sensoren oberhalb der oberen Gleitfläche montiert werden. Die Gleitflächen und damit die Funktion der Ferseneinheit blieben vom Einbau der Sensoren unbeeinflusst. Die Größe der AMR-Sensoren betrug lediglich 7,6 mm x 2,8 mm x 1,0 mm, wobei für den Einbau im Fersenbereich die Bauhöhe von 2,8 mm kritisch war. Durch eine speziell gefräste obere Gleitplatte konnten die AMR-Sensoren fixiert und exakt gegenüber den Pol-Maßstäben ausgerichtet werden.

Abb. 5 zeigt die Fersenstruktur und die montierten Sensoren.

Die Datenaufnahme erfolgte mithilfe spezieller 13-Bit-Sinus/Digital-Wandler Bausteine (IC NQ; IC Haus), mit dem die Sinus/Kosinus-Signale gewandelt und um einen Faktor 100 interpoliert wurden. Damit konnte eine nominelle Auflösung von 50 µm bei einer rein linearen Bewegung erreicht werden.

Abb. 6 zeigt die Labview-Oberfläche zur Datenpräsentation.

Fazit: AMR-Sensoren können aufgrund ihrer kompakten und robusten Bauart in Verbindung mit speziellen Pol-Maßstäben zur Messung

sehr schneller Relativbewegungen in Sportschuhen eingesetzt werden. Eingebaut in die Ferseneinheit eines modernen Laufschuhs konnten erstmals

das Bewegungsmuster der Ferseneinheit mit hoher Genauigkeit analysiert und Rückschlüsse für die weiteren Entwicklungen gezogen werden.

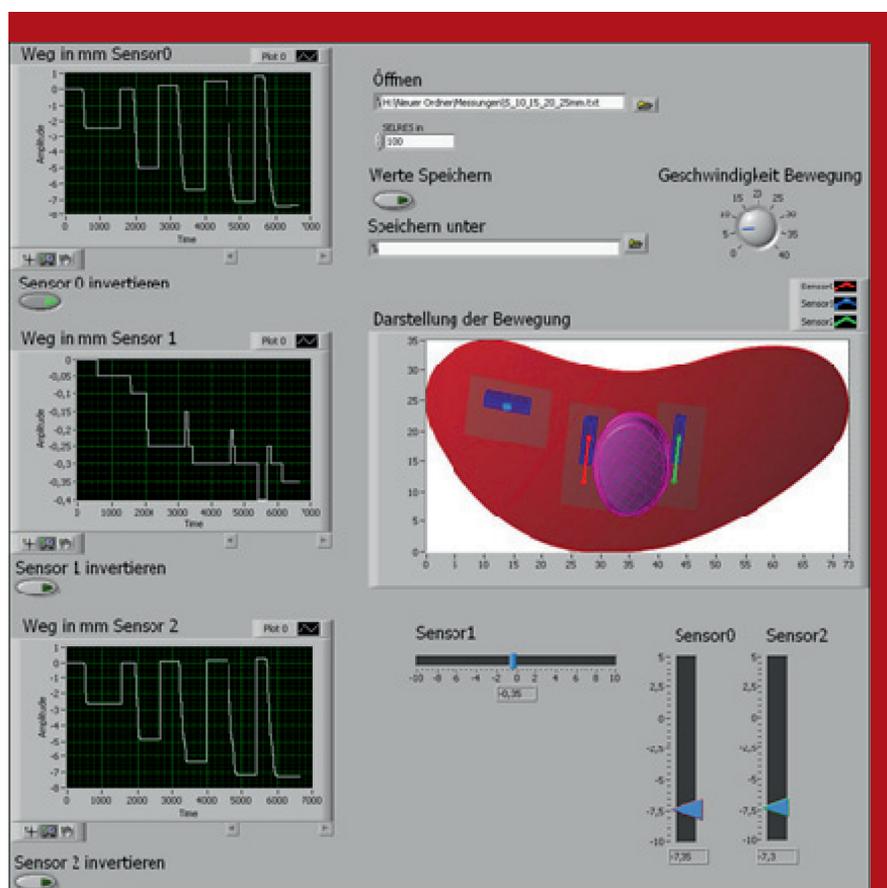


Abb. 6:

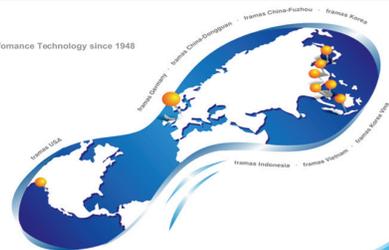
Benutzeroberfläche des Programms zur Auswertung der Messdaten

Projektleitung: Prof. Dr. Antoni Picard  
 Kontakt: antoni.picard@fh-kl.de  
 Mitarbeit: Dipl.-Ing. Jörg Blinn  
 Kooperationspartner: Wirtschaft  
 Bildquellen: FH Kaiserslautern



**Wissenschaft,  
die bewegt**

**fram**as<sup>®</sup> High Performance Technology since 1948  
Kunststofftechnik GmbH



Rodalber Straße 180 info@fram

66953 Pirmasens +49 (63 31) 51 52 0

[www.framas.com](http://www.framas.com)

# Die Nutzung neuronaler Netze zum Auffinden optimaler Repositionspfade für die chirurgische Versorgung von Knochenfrakturen



Prof. Dr. Rainer Fremd  
 Professur für Angewandte Mathematik,  
 Regelungs- und Simulationstechnik  
 Fachbereich Angewandte  
 Ingenieurwissenschaften  
 Kontakt: [rainer.fremd@fh-kl.de](mailto:rainer.fremd@fh-kl.de)

Prof. Dr. Rainer Fremd wurde 1952 in Künzelsau (Baden-Württ.) geboren. Nach dem Abitur am Gymnasium Künzelsau studierte er 1971–1976 Maschinenbau, Studiengang Physikingenieurwesen, an der Universität Stuttgart (Abschluss Dipl.-Ing.). Danach arbeitete er bis 1980 an der gleichen Universität als wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Kernenergetik und Energiesysteme (IKE, Prof. Dr. K.-H. Höcker). Die Promotion zum Dr.-Ing. erfolgte 1981 ebenfalls an der Universität Stuttgart. In den Jahren 1980 bis 1988 war er als Entwicklungsingenieur im Nutzfahrzeugebereich der Daimler-Benz-AG, Stuttgart tätig. Im Frühjahr 1988 folgte er dem Ruf an die Fachhochschule Kaiserslautern.

In der Unfallchirurgie sind sehr häufig Oberschenkelfrakturen operativ zu versorgen. Für die Operationsqualität ist dabei der Weg zur anatomisch korrekten Zusammenführung der Fragmente, der sogenannte „Repositionspfad“, von großer Bedeutung. Der vorliegende Bericht zeigt, dass sogenannte selbstorganisierende Karten (SOM), ein Spezialfall künstlicher neuronaler Netze, zum Auffinden optimaler Repositionspfade sinnvoll genutzt werden können. Weitere Möglichkeiten zur Nutzung von SOMs u. a. innerhalb des Projekts „Computer- und robotergestützte Reposition von Knochenfrakturen“ werden ebenfalls aufgezeigt.

## 1 Problemstellung

In der unfallchirurgischen Praxis tritt sehr häufig das Problem der operativen Versorgung von Oberschenkelfrakturen auf. Sehr wesentlich für die Operationsqualität ist der Weg zur anatomisch korrekten Zusammenführung der Fragmente, der sogenannte „Repositionspfad“ [1]. Der gewählte Repositionspfad sowie der Erfolg der

Reposition, also auch die Schonung der Weichteile, hängen wesentlich von den Erfahrungen und Fähigkeiten sowie der Sorgfalt des Chirurgen ab. Der Bereich der Navigation und Operationsplanung gewinnt in der computer- und roboterassistierten Chirurgie immer mehr an Bedeutung. Mithilfe verbesserter 3-D-Bildgebung und durch den Einsatz von virtuellen Modellen können dem Chirurgen mehr Informationen präoperativ und intraoperativ zur Verfügung gestellt werden. Durch den Einsatz von Navigation und Operationsplanungssoftware kann die Operationsqualität gesteigert und damit das Risiko für Traumata und postoperative Fehlstellungen minimiert werden.

Deshalb wurde zur Bestimmung optimaler Repositionspfade bereits vor längerer Zeit das Forschungsprojekt „Computer- und robotergestützte Reposition von Knochenfrakturen“ begonnen [2]. Es handelt sich dabei um ein gemeinsames Projekt der Klinik für Unfall-, Hand- und Wiederherstellungschirurgie der Universität des Saarlandes (Direktor: Prof. Dr. med. Tim

Pohlemann) und der Fachhochschule Kaiserslautern. Unter anderem wurde innerhalb des Projekts eine Software entwickelt, die eine virtuelle Reposition anhand von CT-Aufnahmen ermöglicht. Abb. 1 zeigt beispielhaft eine Knochenfraktur nach erfolgter Reposition. In diesem Zusammenhang habe ich mich während meines Forschungsfreiemesters insbesondere damit beschäftigt, optimale Repositionspfade unter Verwendung neuronaler Netze aufzufinden.

## 2 Künstliche neuronale Netze, sensormotorische Karten

Künstliche neuronale Netze sind dem Gehirn und Nervensystem von Lebewesen nachempfunden und werden meist durch Software realisiert. Solche Netze bestehen aus einer Zusammenschaltung von Neuronen (Units), die untereinander Informationen austauschen. Input-Units empfangen Signale von Sensoren, Output-Units können Signale an Aktoren weitergeben. Zwischen Input- und Output-Units befinden sich Hidden-Units, die der Sig-

nalverarbeitung dienen. Ähnlich dem Gehirn können neuronale Netze für bestimmte Situationen trainiert und damit bestimmte Verhaltensweisen erlernt werden.

Eine selbstorganisierende Karte (Self Organizing Map, SOM) ist ein spezielles neuronales Netz, das ebenfalls der Arbeitsweise des Gehirns nachempfunden ist. Dort erfolgt die Verarbeitung von Eingangssignalen, z. B. des Sehnervs, in den Neuronen bestimmter Regionen der Großhirnrinde (Cortex). Ähnliche Signale werden in direkt benachbarten Neuronen verarbeitet. Beispielsweise liegen die Neuronen, die das Sehvermögen betreffen, dicht nebeneinander. Dadurch entsteht eine topografische Karte [3], [5], [6].

Selbstorganisierende Karten bestehen aus zwei Schichten von Neuronen, einer Eingabeschicht und der eigentlichen Kartenschicht, die nach ihrem Entwickler auch Kohonenschicht genannt wird. Die einzelnen Eingangssignale  $x_i$  liegen jeweils an einem Neuron  $i$  der Eingabeschicht an. Jedes Neuron der Eingabeschicht ist mit allen Neuronen  $j$  der Kohonenkarte verbunden. Jedem Kohonenneuron  $j$  wird bezüglich des Eingangssignals  $x_i$  ein Gewichtungsfaktor  $w_{ij}$  zugeordnet. Die Eingangssignale  $x_i$  können zum Eingangsvektor  $\underline{x}$  zusammengefasst werden. Ebenso bilden die Gewichtungsfaktoren des Kohonenneurons

$\underline{w}_j$  den Gewichtsvektor  $\underline{w}_j$ . Häufig wird als Kohonenschicht ein zweidimensionales Netz von Neuronen verwendet, wobei die Neuronen in einem quadratischen oder hexagonalen Gitter angeordnet sind [3], [5], [6].

Das Training einer selbstorganisierenden Karte erfolgt nun dadurch, dass mittels der euklidischen Norm für jeden Eingangsvektor  $\underline{x}$  ein Siegerneuron der Kohonenschicht bestimmt wird, dessen Gewichtsvektor  $\underline{w}_j$  am besten mit dem Eingangsvektor  $\underline{x}$  übereinstimmt. Während des Trainingsprozesses werden die Gewichtsvektoren des Siegerneurons und der Neuronen in der näheren Umgebung mittels einer Trainingsfunktion verändert. Diese dient unter anderem dazu, den Radius der Einflussnahme auf Nachbarneuronen mit zunehmendem Lernfortschritt zu reduzieren. Beim Trainingsbeginn wird häufig das gesamte Netz in den Lernprozess einbezogen [7]. Die genannte Vorgehensweise bewirkt, dass Neuronen mit ähnlichen Gewichtsvektoren nach dem Training dicht beieinander liegen [7].

Nach Abschluss des Trainings ermöglicht die Kohonenschicht eine Klassifikation von Daten [2]. Hierzu werden die Eingangsvektoren mit den Gewichtsvektoren der Kohonenneuronen verglichen. Das Neuron mit der besten Übereinstimmung (bmu, best matching

unit) gibt an, zu welcher Datenklasse der betreffende Eingangsvektor gehört. Zum Beispiel kann eine SOM mit den Blattabmessungen von Schwertlilien trainiert werden. Wird dann in der Produktionsphase ein Eingangsvektor mit bestimmten Blattabmessungen an die SOM angelegt, so trifft die SOM eine Aussage über die vorliegende Schwertlilienart [5].

Versieht man eine SOM zusätzlich mit einer Ausgabeschicht, so wird dadurch ermöglicht, auf die Eingangsdaten in geeigneter Weise zu reagieren. Man spricht dann von einer sensormotorischen Karte. Beispielsweise kann damit ein Roboter gesteuert werden [4]. In diesem Fall erhält die Karte Sensordaten als Eingangsdaten und reagiert mit entsprechenden Gewichtswerten als Ausgangsdaten, mit denen die Motoren angesteuert werden. Zuvor muss die Karte durch geeignete Eingangs- und Ausgangsdaten für typische Situationen „trainiert“ werden.

### 3 Die Bestimmung optimaler Repositionspfade mittels sensormotorischer Karte

Das genannte Prinzip kann auch für das Auffinden optimaler Repositionspfade genutzt werden. Hierzu werden die Knochenfragmente in der virtuellen Realität im Sinne einer Reposition automatisch bewegt. Die Bewegungsdaten

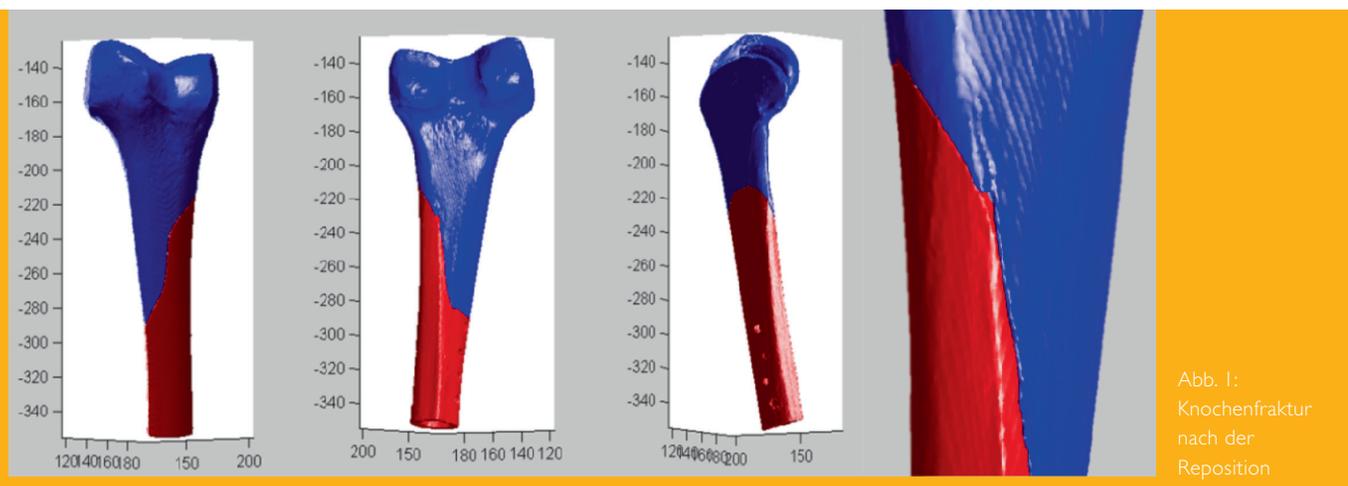
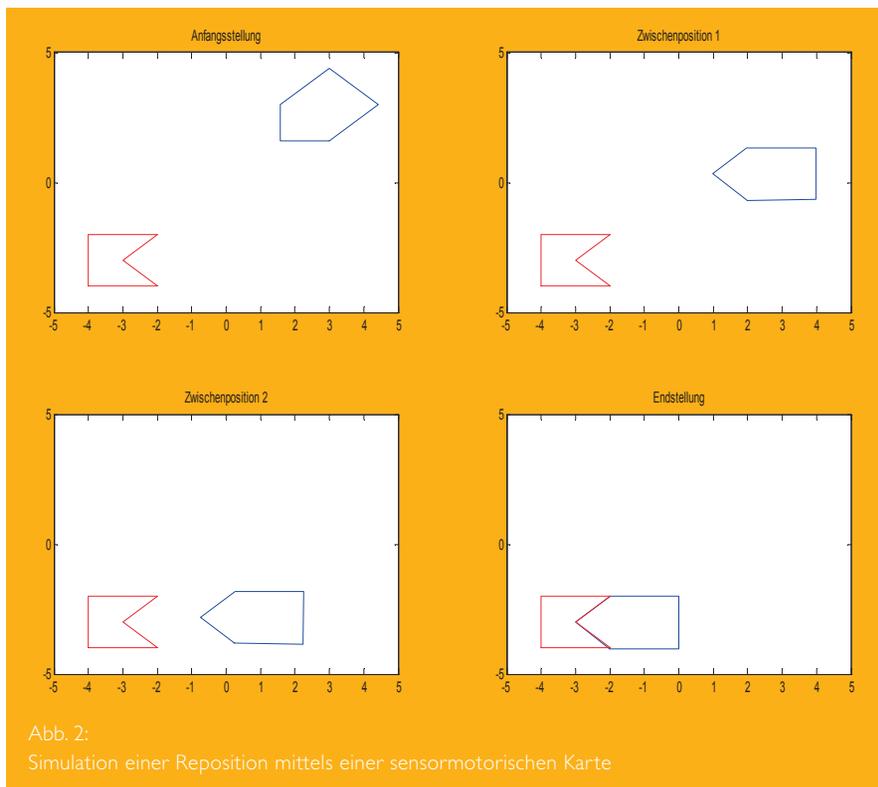


Abb. 1: Knochenfraktur nach der Reposition



und weitere Daten, wie zum Beispiel simulierte Kräfte durch Weichteile, werden an eine sensomotorische Karte übergeben. Diese reagiert dann auf zuvor trainierte typische Situationen, wie z. B. hohe Kräfte, Weichteilberührungen oder Kollisionen der Knochenfragmente. In das Training der Karte, also in das Erlernen, wie in bestimmten Situationen zu reagieren ist, fließt insbesondere das Wissen erfahrener Chirurgen ein. Die so gefundenen Repositionspfade werden aufgezeichnet und gespeichert. Sie können automa-

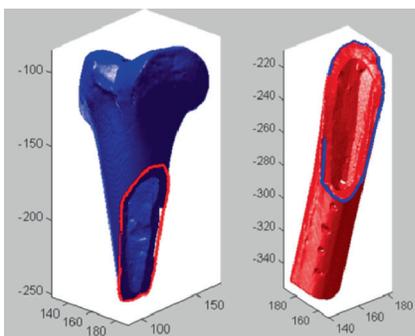


Abb. 3:  
Knochenfragmente in der virtuellen Realität mit eingezeichneten Bruchkanten

tisch nachbearbeitet werden, indem z. B. Irrwege gelöscht oder indem die Pfade mittels Splinefunktionen geglättet werden. Im Folgenden werden erste Arbeiten hierzu vorgestellt. Die Programmierung erfolgte im Simulationssystem MATLAB [8] unter zusätzlicher Verwendung der SOM-Toolbox [5].

Abb. 2 zeigt ein einfaches zweidimensionales Beispiel für eine simulierte Reposition mittels sensomotorischer Karte. Die beiden Figuren symbolisieren die Knochenfragmente. Das blaue Fragment ist beweglich, das rote feststehend. Links oben findet sich die Anfangsstellung der Fragmente, rechts unten die Endstellung. Dazwischen sind zwei Zwischenpositionen angegeben. Im MATLAB-Programm läuft die Reposition als Film ab.

Die sensomotorische Karte wurde so trainiert, dass zunächst die Längsachsen der beiden Fragmente parallel ausgerichtet werden. Anschließend wird das bewegliche Fragment mittels der sensomotorischen Karte zuerst nach un-

ten und dann nach links bewegt, bis die Endstellung erreicht ist. Anhand dieses Beispiels und weiterer Versuche konnte die prinzipielle Machbarkeit einer virtuellen Reposition unter Verwendung einer sensomotorischen Karte gezeigt werden. Zu einem späteren Zeitpunkt wird das entwickelte Programm in die virtuelle 3-D-Repositionssoftware implementiert und weiterentwickelt.

#### 4 Weitere Anwendung einer SOM: Die Bestimmung zusammengehörender Raumkurven

Nachfolgend wird ein Verfahren beschrieben, das entwickelt wurde, um festzustellen, ob zwei Raumkurven in unterschiedlichen räumlichen Lagen zumindest bereichsweise übereinstimmen. Auch hier soll eine SOM-Verwendung finden. Das Verfahren kommt ohne aufwändige Koordinatentransformationen aus. Eine derartige Problemstellung tritt beispielsweise auf, wenn anhand dreidimensionaler CT-Aufnahmen automatisch ermittelt werden soll, wie zwei Fragmente eines Knochenbruchs zusammengehören. Hierzu müssen die Bruchkanten beider Fragmente detektiert und dann durch ein geeignetes Verfahren miteinander verglichen werden.

Die Oberflächen der 3-D-CT-Objekte werden durch Gitternetze aus Dreieckselementen beschrieben. Beispielsweise kann die Kantendetektion anhand der Winkel zwischen den Normalenvektoren der Flächenelemente erfolgen. Die Bruchkante ergibt sich dann als Raumkurve, die aus einem Polygonzug der beteiligten Elementränder besteht. Abb. 3 zeigt zwei zusammengehörnde Knochenfragmente und die detektierten Bruchkanten.

Ein Problem besteht nun darin, dass sich die beiden Bruchkanten in unterschiedlichen räumlichen Lagen befinden, womit für die Bestimmung der Zusammengehörigkeit aufwändige Ko-

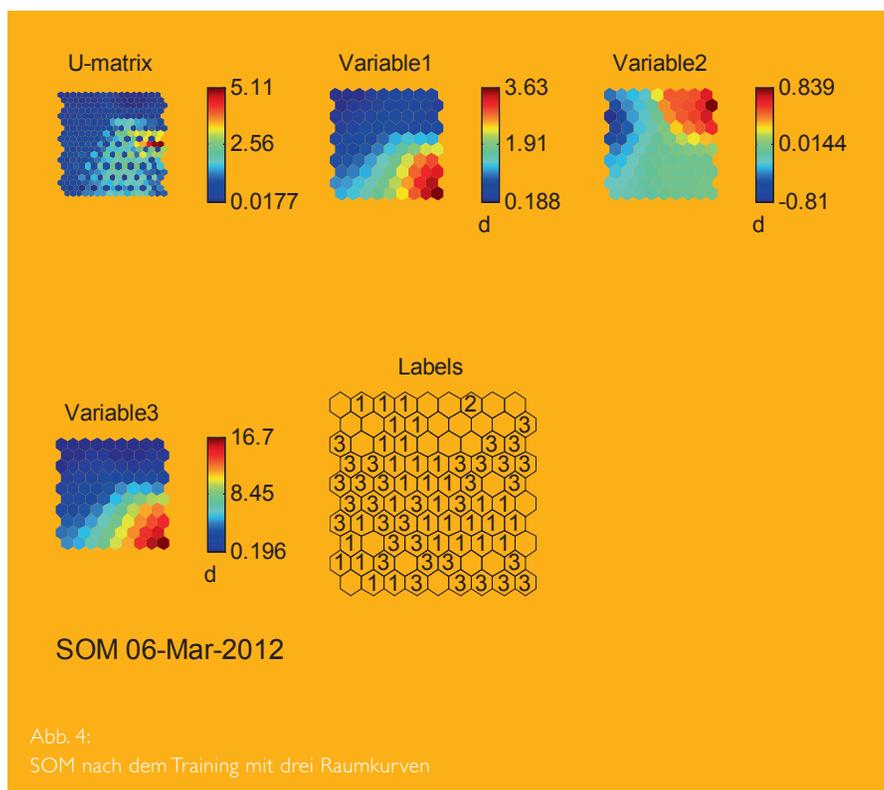


Abb. 4:  
SOM nach dem Training mit drei Raumkurven

ordinatentransformationen erforderlich wären. Dieses Problem kann umgangen werden, wenn zum Vergleich die Krümmungen und Torsionen der Bruchkantenkurven herangezogen werden, da diese lageunabhängig sind [9].

Im Normalfall werden bei der Kantendetektion der Knochenfragmente nicht nur die Bruchkanten gefunden, sondern noch weitere Kanten an der Knochenoberfläche. Diese haben jedoch beim jeweils anderen Knochenfragment keine Entsprechungen. Deshalb können die eigentlichen Bruchkanten unter Ausnutzung der Entsprechungen mittels einer SOM gefunden werden. Dazu wird die SOM mit den Krümmungs- und Torsionswerten der Kanten des einen Knochenfragments trainiert. Dann werden die Daten der Kanten des anderen Fragments auf die SOM gegeben. Die SOM zeigt dann an, bei welchen Kanten Entsprechungen vorhanden sind. Damit kann festgestellt werden, welche Kanten Bruchkanten sind und zueinander gehören. Zum Test des Verfahrens wurden drei Raumkurven

generiert. Dann wurden Teile dieser Kurven herausgeschnitten und räumlich verschoben sowie gegeneinander verdreht. Anschließend wurde die SOM wie beschrieben für drei verschiedene Raumkurven trainiert. Abb. 4 zeigt, welchen Gebieten (Neuronen) der SOM die einzelnen Variablen mit ihren Werten zugeordnet wurden. Insbesondere die mit „Labels“ überschriebene Karte zeigt, welche Neuronen welcher Raumkurve zugeordnet sind. Die Tests ergaben eine sehr gute Erkennung zusammengehöriger Kurven.

Somit ist die Detektion von Bruchkanten und deren Zusammengehörigkeit in der beschriebenen Weise möglich.

## 5 Zusammenfassung

Mit den geschilderten Arbeiten konnte gezeigt werden, dass sensormotorische Karten zum Auffinden optimaler Repositionspfade sinnvoll genutzt werden können. Die Ergebnisse sind vielversprechend. Zusätzlich konnten weitere Möglichkeiten zur Nutzung selbst-orga-

nisierender Karten innerhalb des Projekts „Computer- und robotergestützte Reposition von Knochenfrakturen“ aufgezeigt werden. Insgesamt konnten wertvolle Erkenntnisse zum Einsatz selbstorganisierender und sensormotorischer Karten gewonnen werden, die auch in anderen Zusammenhängen genutzt werden können.

## Literatur

- [1] Kristen, A.; Culemann, U.; Fremd, R.; Pohlemann, T.: *Visualisierung von Repositionspfaden*, Der Unfallchirurg 111 (2008) 6, S. 395–402
- [2] Dipl.-Ing. (FH) Jan Buschbaum, Dr. med. Alexander Kristen, PD Dr. med. Ulf Culemann, Prof. Dr.-Ing. Rainer Fremd, Prof. Dr. med. Tim Pohlemann: *Computer- und roboterassistierte Reposition von Knochenfrakturen*, Fachhochschule Kaiserslautern, Forschungsbericht 2010/2011
- [3] Kohonen, T.: *Automatic formation of topological maps of patterns in a selforganizing system*, Precedings of the 2nd Scandinavian Conference on Image Analysis, 1981
- [4] Thiel, K.: *Steuerung eines mobilen, autonomen Roboters mit selbstorganisierenden Karten*, Diplomarbeit FH Konstanz, 2004 ([opus.bsz-bw.de/htwg/volltexte/2004/78/pdf/Diplomarbeit2.pdf](http://opus.bsz-bw.de/htwg/volltexte/2004/78/pdf/Diplomarbeit2.pdf))
- [5] Vesanto, J., J. Himberg, E. Alhoniemi, J. Parhangangas: *SOM Toolbox for MATLAB 5*, SOM Toolbox Team, Helsinki University of Technology, Finland, ISBN 951-22-4951-0
- [6] Weiß, J.: *Selbstorganisierende Karten*, [www.informatik.uni-ulm.de/ni/Lehre/SS04/ProsemSC/ausarbeitungen/Weisz.pdf](http://www.informatik.uni-ulm.de/ni/Lehre/SS04/ProsemSC/ausarbeitungen/Weisz.pdf)
- [7] Bessas, Y.: *Selbstorganisierende Karten*, [ybl@informatik.uni-ulm.de](mailto:ybl@informatik.uni-ulm.de), Proseminar Neuronale Netze
- [8] [www.mathworks.com](http://www.mathworks.com)
- [9] Leupold u. a.: *Mathematik – ein Studienbuch für Ingenieure*, Bd. 2, Fachbuchverlag Leipzig-Köln, 1995

# Covenants in Kreditverträgen



Prof. Dr. Karl-Wilhelm Giersberg  
Professur für Betriebswirtschaftslehre,  
insbesondere Finanzierung  
Fachbereich Betriebswirtschaft  
[karlwilhelm.giersberg@fh-kl.de](mailto:karlwilhelm.giersberg@fh-kl.de)

Prof. Dr. rer. pol. Karl-Wilhelm Giersberg absolvierte nach einer Ausbildung zum Bankkaufmann ein Studium der Betriebswirtschaftslehre an der Universität Bayreuth. Danach arbeitete er bis zur Promotion im Jahre 1991 an der gleichen Universität als wissenschaftlicher Mitarbeiter am Lehrstuhl für Wirtschaftspolitik bei Prof. Dr. Egon Görgens. Im Anschluss war Herr Professor Giersberg in verschiedenen leitenden Funktionen im Finanzwesen tätig. Im Frühjahr 1997 erhielt er einen Ruf an die Fachhochschule Hildesheim auf eine Professur für Betriebswirtschaftslehre, insbesondere Finanzierung, dem im Herbst 1997 der Ruf an die Fachhochschule Kaiserslautern folgte. Im gleichen Jahre gründete er die ifb Institut für finanzwirtschaftliche Beratung GmbH, für die er seitdem als geschäftsführender Gesellschafter tätig ist. Im Rahmen seiner Beratungstätigkeit hat Prof. Giersberg diverse Beratungsmandate im Bereich Finanzen, Controlling, Rating, Sanierung und Restrukturierung wahrgenommen und verschiedene leitende Positionen im Finanzbereich bekleidet. Er ist Vorsitzender des BDU-Fachverbandes Finanzierung, Präsident des Bundesverbands Kapital für den Mittelstand und Gründungsmitglied der TMA Deutschland e.V.

## Bedeutsame Entwicklungen im Umgang mit Kreditnebenvereinbarungen vor und nach der Krise

Die zurückliegende Wirtschafts- und Finanzkrise hat die Verpflichtungen des Kreditnehmers im Rahmen von Unternehmenskrediten (Covenants) wieder vermehrt in den Fokus der Unternehmensfinanzierung gerückt. Krisenbedingt haben die Banken die Bedeutung von Covenants als „gläubigerschützendes“ Instrumentarium in Kreditverträgen „wiederbelebt“.

Daher ist auch der zuvor vor allem in den USA weit verbreitete Verzicht auf vertragliche Gläubigerschutzmechanismen bzw. deren oberflächliche Anwendung (Covenant lite) weitgehend gestoppt. Mit diesen Themen beschäftigte sich Prof. Giersberg während seines Forschungsfreisemesters. Aus den Ergebnissen entstand eine Veröffentlichung, die auf den derzeitigen Umgang mit Covenants eingeht, aber auch die prinzipiellen Auffassungsunterschiede sowie die Gefahren für die Unternehmensfinanzierung aufzeigt.

## I Merkmale von Covenants aus Kreditgeber- und Kreditnehmersicht

Bei Covenants handelt es sich um vertraglich bindende Zusicherungen bzw. Verpflichtungen des Kreditnehmers über die Laufzeit des Kredits. Sie sollen den gegensätzlichen Interessenslagen beider Parteien Rechnung tragen:

**(1) Der Kreditgeber** möchte das Kreditausfallrisiko reduzieren, indem er möglichst früh Informationen über negative Entwicklungen beim Kreditnehmer erhält. Kreditgeber sind prinzipiell an einer jederzeitigen Kündigungsmöglichkeit des Kredits interessiert. Neben der Berücksichtigung von Bonitäts Gesichtspunkten geht es aber auch um die Möglichkeit, die Bank oder den Kreditgeber strategisch neu auszurichten, andere Interessen zu verfolgen oder auf Zinsänderungen reagieren zu können. Um aus Sicht der Kreditgeber möglichst gut an der Entwicklung der Zinsen partizipieren zu können, sind Zinsfestschreibungen bei sinkender Zinsentwicklung und variable Zinsver-

einbarungen bei steigender Zinsentwicklung für Kreditinstitute vorteilhaft.

**(2) Bei dem Kreditnehmer** ist die Situation genau umgekehrt: Er bevorzugt eine Zinsfestschreibung bei steigender Zinsentwicklung sowie variable Zinsvereinbarungen bei sinkender Zinsentwicklung, um an der jeweiligen Zinsentwicklung partizipieren zu können.

Die unterschiedliche Interessenlage bei den Zinsvereinbarungen ist aber nicht das eigentliche Kernproblem. Dieses ist darin zu sehen, dass mit der Vereinbarung von Covenants gegen das Prinzip der Fristenkongruenz der Finanzierung verstoßen wird, da langfristige Mittel keine langfristigen Mittel sind, wenn der Gegenseite vorzeitige, wenn auch konditionierte Kündigungsrechte eingeräumt werden.

Der Kreditnehmer möchte seine unternehmerische Freiheit erhalten sowie die Unternehmensfinanzierung und seine Liquidität sichern. Zudem zielt er darauf ab, sich vor überraschenden Kreditkündigungen zu schützen.

Die Gläubiger-Schuldner-Beziehung lässt sich auch als Prinzipal-Agent-Beziehung charakterisieren. Diese ist dadurch gekennzeichnet, dass ein Wirtschaftssubjekt (Prinzipal/Gläubiger) einem anderen Wirtschaftssubjekt (Agent/Schuldner) einen Auftrag erteilt. Hierunter ist die Bereitstellung von Geldmitteln für ein Unternehmen zu verstehen.<sup>1</sup> Ein zentraler Gesichtspunkt der Prinzipal-Agent-Theorie ist die Tatsache, dass beide Parteien nur unvollkommene Informationen über das zu erwartende Verhalten ihres jeweiligen Partners besitzen.<sup>2</sup> Anfänglich scheint der Agent eine zumindest zeitweilig unmittelbare Entscheidungs- und Handlungsgewalt über die Finanzmittel zu haben.<sup>3</sup> Während zu Beginn des Vertragsverhältnisses der Gläubiger bereits durch die Bereitstellung der Darlehensvaluta seine Geldleistung vollständig erbracht hat, erbringt der Schuldner seine Gegenleistungen in Geld erst zu einem späteren Zeitpunkt. Diese werden in Form von Zins- und Tilgungszahlungen erbracht. Somit ist es dem Prinzipal gegenüber dem Agenten nicht möglich, bei dessen Nichterfüllung seiner Vertragsvereinbarungen Teilleistungen zurückzuhalten.<sup>4</sup> Durch die Vergabe der Verfügungsgewalten – im Rahmen einer Vertragsbeziehung – sind offensichtlich Gestaltungskompetenzen, Informationen und finanzielle Belastungen zwischen den Vertragspartnern unterschiedlich verteilt.<sup>5</sup>

Covenants sollen den Kreditgebern als Frühwarn- und Kontrollmechanismus helfen, drohende Ausfälle früh zu erkennen und noch gegensteuern zu können. Sie werden auf das jeweilige Unternehmen individuell und somit kreditnehmerspezifisch zugeschnitten. Ihre Relevanz steigt mit zunehmendem Kreditausfallrisiko.

„Interessant ist jedoch, dass die Kreditgeber-Seite davon ausgeht, Covenants würden insbesondere das Geschäftsmodell des Schuldners und die spe-

zifische Markt- und Branchensituation berücksichtigen. Aus der Perspektive der Kreditnehmer werden diese spezifischen Gegebenheiten bei der Festlegung von Covenants in Kreditverträgen jedoch nur unzureichend berücksichtigt.“<sup>6</sup>

## 2 Systematisierung von Covenants

### 2.1 Arten

Gemeinhin lassen sich die Covenants wie folgt unterscheiden:

**(1) General Covenants** sind für die Kreditbeziehung bedeutsame allgemeine Aspekte. Sie lassen sich in positive und negative Covenants unterscheiden. Positive General Covenants sind beispielsweise die Einhaltung von Genehmigungen und Rechnungslegungsstandards sowie der Abschluss von Versicherungen. Als negative General Covenants (d. h. bei diesen Covenants muss eine Offenlegung der Ereignisse gegenüber dem Kreditgeber erfolgen) sind vor allem Ausschüttungen von Gesellschaftsvermögen, wesentliche Investitionen, die Aufnahme neuer, ggf. vorrangiger Verbindlichkeiten sowie die Übernahme von Bürgschaften und Garantien zu nennen.

**(2) Informational Covenants** beziehen sich auf die Offenlegung von internen Unternehmensdaten und Finanzinformationen wie Jahresabschlüsse, Quartalsberichte und betriebswirtschaftliche Auswertungen, Liquiditätspläne, Investitionspläne und Rating-Herabstufungen durch entsprechende Agenturen.

**(3) Als Legal Covenants** werden folgende Vertragsklauseln bezeichnet:

- **Pari Passu:** Gleichrangigkeitserklärung gegenwärtiger und künftiger besicherter und unbesicherter Forderungen.
- **Material Adverse Change Clause:** Vertragsklausel, die dem Kreditgeber Nachbesicherungs- und Kündigungs-

rechte einräumt, wenn sich die wirtschaftlichen oder rechtlichen Verhältnisse des Kreditnehmers wesentlich verschlechtern.

- **Cross-Default Clause:** Drittverzugs-klausel, die dem Kreditgeber ein Kündigungsrecht einräumt, wenn der Kreditnehmer gegenüber Verträgen anderer Gläubiger verstößt. Der Kreditnehmer verpflichtet sich, dem Kreditgeber vertraglich genau festgelegte Informationen zu bestimmten Terminen zur Verfügung zu stellen bzw. ihn über Verstöße zu informieren.

Mit Ausnahme der Cross-Default-Clause sind diese Klauseln schon lange Standard in deutschen Kreditverträgen.

**(4) Vereinbarungen**, die die unternehmerische Freiheit des Kreditnehmers im Sinne des Kreditgebers beeinträchtigen, werden **Financial Covenants** genannt. Diese Kapitalstrukturaufgaben beziehen sich auf Kennziffern des Unternehmens und nennen bestimmte Mindeststandards, die zu erfüllen sind:

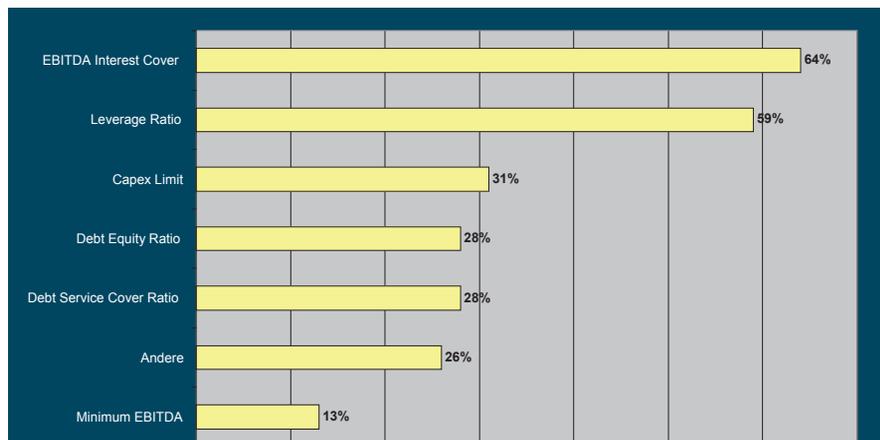
- Im Hinblick auf die Bilanz können spezifische Anforderungen an das Eigenkapital (Eigenkapital-Quote, Net-Worth-Requirements) oder das Fremdkapital (Leverage/Gearing Ratio) festgelegt werden.
- In Bezug auf die Gewinn- und Verlustrechnung kommen Vereinbarungen zu Ertragskennzahlen, EBITDA, Interest Cover, Cash Flow oder Debt Service Cover Ratio in Frage.
- Zur Betrachtung der Liquiditätsentwicklung des Kreditnehmers werden Liquiditätsklauseln, Current Ratio, Investitionen und Capex Limits verwendet.

Am bedeutendsten sind Covenants, die sich auf Ertrags- und Cashflow-Kennzahlen beziehen (vgl. Abb. 1).

### 2.2 Wirkungen

In der Wirkung sind die Covenants sehr unterschiedlich zu beurteilen. So muss

## Forschungsfreiemester



Quelle: Roland Berger

Abb. 1:  
Verwendete Financial Covenants (Quelle: Studie der Roland Berger Strategy Consultants Germany)

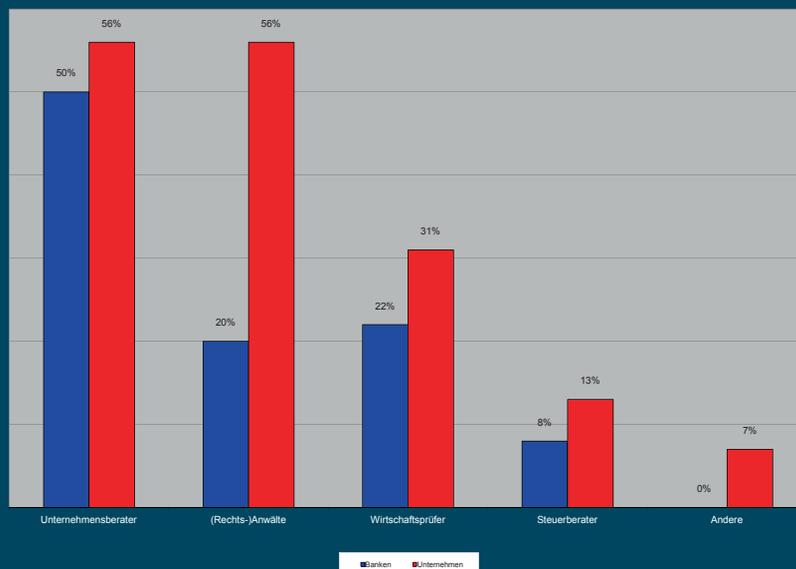


Abb. 2:  
Nutzung externer Berater bei einem Covenant-Bruch<sup>7</sup> (Quelle: Studie der Roland Berger Strategy Consultants Germany)

unterschieden werden, welche Covenants vom Kreditnehmer eigenständig erfüllt werden können und welche de facto fremdbestimmt sind.

Bei ersteren handelt es sich überwiegend um die General und Informationale Covenants, bei Letzteren um die Legal und die Financial Covenants. Insbesondere den Financial Covenants ist aus Sicht des Kreditnehmers ein innewohnender Verstärkungseffekt zu eigen. So reagiert beispielweise die Verschuldungskapazität sehr stark auf Verän-

derungen, da diese Bilanz- und GuV-Anforderungen miteinander verknüpft.

Die Verschuldungskapazität ist gemeinhin als Produkt von EBIT oder EBITDA, multipliziert mit einem Faktor definiert. Letzterer bildet sich aus den Verhältnissen am Kreditmarkt heraus: Vor der Finanzmarktkrise konnten Faktoren von acht beobachtet werden, nach der Krise von zwei; „normal“ ist ein Wert von vier bis sechs.

Beispiel: Angenommen ein Unternehmen hatte vor der Krise (Bank)Verbind-

lichkeiten von 75 Mio. €, ein EBITDA von 30 Mio. € und einen am Markt herausgebildeten Faktor von fünf, so ergibt sich eine rechnerische Verschuldungskapazität von 150 Mio. €. Dies dürfte aus Sicht der Finanzverantwortlichen eine ausreichende Reserve sein. Krisenbedingt reduziert sich das EBITDA auf 15 Mio. € bei einem gleichzeitigen Rückgang des Faktors von fünf auf zwei. Neben der ohnehin schon unangenehmen Situation, dass keine Kreditaufnahmemöglichkeit mehr besteht, kommt es jetzt auch noch zu Verstößen gegen die Kreditbedingungen, wenn der Faktor nicht vertraglich fixiert wurde.

### 3 Rechtsfolgen bei Verletzung

Ein Abweichen von Bestimmungen, die in den Covenants geregelt sind, hat oftmals eine Heilungsperiode (grace period) zur Folge. Hier soll dem Kreditnehmer in einer Nachfrist beispielsweise das Erreichen der vereinbarten Kennzahlen ermöglicht werden. Gelingt dies nicht, so sind

- höhere Kreditmargen,
- Nachbesicherungsrechte und
- ein außerordentliches Kündigungsrecht

seitens des Kreditgebers vorgesehen. Nach deutschem Recht besteht die Gefahr, dass der gesamte Kreditvertrag unwirksam wird, falls einzelne Klauseln in den Covenants unwirksam sind. Nachteilige Situationen für den Kreditnehmer können durch umfassende und sehr eng gefasste Vereinbarungen entstehen, etwa wenn sich der Kreditgeber aktiv in die Geschäftsführung des Kreditnehmers einmischte. In diesem Fall besteht zudem die Gefahr, dass der Kreditgeber wegen Beteiligung an der Geschäftsführung gegenüber Dritten haftbar gemacht wird. Bei Sanierungskrediten befinden sich beide Seiten im Spannungsfeld zwischen unzulässiger Beeinflussung der Geschäftsführung und der erforderlichen strengen Überwachung des erhöhten Kreditrisikos<sup>8</sup>.

## 4 Einsatz von Covenants in der Praxis

### 4.1 Implementierungsprozess

Bei der Implementierung von Covenants greift mehr als die Hälfte der Unternehmen auf externe Berater zurück (vgl. Abb. 2). Dies weist auf zunehmend komplexere Covenant-Strukturen im Kreditvertrag hin.

Im Falle eines Covenant-Bruchs ist ebenfalls die Einschaltung eines externen Beraters für beide Seiten in vielen Fällen vorteilhaft. Die Kosten für deren Einsatz sowie der nicht unerhebliche Überwachungsaufwand der Covenant-Einhaltung sollten in einem angemessenen Verhältnis zu dem Nutzen dieser Maßnahmen stehen. Sie sind zudem in den meisten Fällen vom Unternehmen zu tragen.

### 4.2 Covenants vor ...

Vor der Wirtschafts- und Finanzkrise wurden Covenants kaum – und wenn häufig sehr locker – eingesetzt. Endfälligkeiten wurden mit sog. **Toggles** beglichen: Der Kreditnehmer konnte wählen, ob er die Zinszahlung stunden lässt, indem er sich zu einer höheren Zinszahlung für die Zukunft verpflichtet, bzw. die aufgelaufenen Zinsen endfällig tilgt.

Ferner wurden Financial Covenants auf ein Minimum reduziert bzw. es war eine erhebliche Lockerung bei wichti-

gen Kennzahlen zu verzeichnen (**Covenant Lite**). Auch wurde die Einhaltung von Covenants teilweise nicht geprüft (**Honeymoon**). Darüber hinaus führte eine erstmalige Verletzung von Covenants noch nicht zu einem Kündigungsrecht des Kreditgebers, sondern erst der wiederholte Verstoß zu einem weiteren Testzeitpunkt (**Mulligan Clause**). Als **Equity Cure** wird schließlich ein Vorgang bezeichnet, wenn Gesellschaftermittel nachträglich in beliebiger Höhe zugeführt werden konnten, die dann dem EBITDA zugerechnet wurden.

### 4.3 ... und während bzw. nach der Wirtschaftskrise

Insgesamt zeigt sich, dass während der Finanzkrise mit den Verstößen gegen Covenants seitens der Kapitalgeber maßvoll umgegangen wurde. Nur in wenigen Fällen führten Verstöße auch zu Kreditkündigungen. Allerdings wurden die Verstöße seitens der Kreditgeber zu einer Umgestaltung der Verträge genutzt bzw. neue Kreditaufgaben vereinbart. Oftmals wurden aber auch zusätzliche Gebühren für das Stillhalten oder die Kreditverlängerung erhoben oder die Marge durch die Kreditgeber erhöht.<sup>9</sup>

### 5 Fazit

Je schwieriger die Finanzierung der Unternehmen wird, desto größer ist die

Marktmacht der Kreditgeber und deren Möglichkeit, restriktive Covenants in vertraglichen Vereinbarungen durchsetzen zu können.

Die Kreditnehmer sollten sich bewusst sein, wie gefährlich die Akzeptanz von Covenants für das Unternehmen sein kann, denn diese Vereinbarungen beeinträchtigen die unternehmerische Freiheit des Kreditnehmers im Interesse des Kreditgebers. Häufig werden auch kreditvertragsfremde Aspekte in Covenants geregelt, deren Ablehnung dem Kreditnehmer, je nach Refinanzierungssituation, schwerfällt. „Hängt das Überleben der Gesellschaft maßgeblich von der Finanzierung durch die kreditgebende(n) Bank(en) ab, kann bzw. können diese unter Androhung der Kündigung des Kreditverhältnisses umfangreiche Mitwirkungsrechte – bis hin zur faktischen Übernahme der Unternehmensführung – durchsetzen.“<sup>10</sup>

Dem Kreditnehmer muss bei der Akzeptanz von Covenants, insbesondere solcher, die außerhalb seines Einflussbereichs liegen, bewusst sein, dass er dem Kreditgeber eine „Bombe“ in Bezug auf seine Finanzierungsstruktur in die Hand gibt und ihm dazu auch noch die „Zündschnur“ und das „Feuerzeug“ reicht. Nur weil diesmal maßvoll mit Covenants umgegangen wurde, bedeutet dies nicht, dass es auch künftig so bleiben wird.

<sup>1</sup> Vgl. Oehler/Unser, Finanzwirtschaftliches Risikomanagement, 2001, S. 197.

<sup>2</sup> Vgl. Achtert, Dynamische Darlehensbedingungen mit bonitätsabhängigen Zinsänderungsklauseln und Covenants, 2007, S. 22.

<sup>3</sup> Vgl. Oehler/Unser, Finanzwirtschaftliches Risikomanagement, 2001, S. 197.

<sup>4</sup> Vgl. Achtert, Dynamische Darlehensbedingungen mit bonitätsabhängigen Zinsänderungsklauseln und Covenants, 2007, S. 22-23.

<sup>5</sup> Vgl. Oehler/Unser, Finanzwirtschaftliches Risikomanagement, 2001, S. 197.

<sup>6</sup> Haghani u. a. Financial Covenants in der Unternehmensfinanzierung, Studie der Roland Berger Strategy Consultants Germany, 07/2009, S. 16 und eigene Recherchen.

07/2009, S. 13. Zur Differenzierung zwischen Kreditgeber- und Kreditnehmerperspektive vgl. auch den Beitrag von Mausbach in KSI 6/2009 S. 255 ff.

<sup>7</sup> In Prozent der Nennungen auf Basis der Unternehmen, die bei einem Covenant-Bruch externe Berater engagieren.

<sup>8</sup> Ausführlich zu Sanktionsmaßnahmen bei der Nichteinhaltung von Covenants auch Mausbach, KSI 6/2009 S. 257 ff.

<sup>9</sup> Haghani u. a., Financial Covenants in der Unternehmensfinanzierung, Studie der Roland Berger Strategy Consultants Germany, 07/2009, S. 16 und eigene Recherchen.

<sup>10</sup> Haghani/Voll/Holzamer, Bedeutung und Management von Financial Covenants, Studie der Roland Berger Strategy Consultants Germany, 04/2008, S. 14

# Ein Erbe erfolgreich verteilen – international markante Verhaltensunterschiede



Prof. Dr. Marc Piazolo  
 Professur für VWL, Geld-, Kredit- und  
 Außenwirtschaft  
 Fachbereich Betriebswirtschaft  
[marc.piazolo@fh-kl.de](mailto:marc.piazolo@fh-kl.de)

Master of Arts in Economics (Detroit, USA) und Promotion an der Universität Freiburg. Mehrere Jahre als Senior Economist im Bankenbereich und als Gutachter beim Bundeskanzleramt gearbeitet. 1998 Ruf an die Hochschule. Umfangreiche Engagements in der Selbstverwaltung, u. a. Dekan des Fachbereichs Betriebswirtschaft (2003-2009).

Gastprofessuren sowie Lehraufträge an Partnerhochschulen in den USA, Argentinien und Jordanien. Publikationen in nationalen und internationalen wissenschaftlichen Zeitschriften.

Im Forschungssemester an der University of the Incarnate Word in San Antonio (Texas) führten wir ein internationales Verhaltensexperiment über das Internet und Zeitungen durch. In dem **Ultimatum Bargaining Game** galt es, 1.200 EUR zwischen drei Erben zu verteilen.

Drei zufällig ausgewählte Teilnehmer übernehmen die Rolle der Erben Andy, Berta und Carlos. Sie sollen die 1.200 EUR nach folgender Regel aufteilen: **Andy** macht einen Vorschlag zur Verteilung des Erbes; **Berta** kann sich nun entscheiden, ob sie diesen Vorschlag akzeptiert. Falls sie einverstanden ist, werden die 1.200 EUR gemäß Andys Verteilung den drei Gewinnern überwiesen. Falls jedoch Berta mit dem Vorschlag nicht einverstanden ist, erhalten die drei Ausgelosten keinen Cent und es werden drei neue Teilnehmer ausgelost. **Carlos** hat weder Einfluss auf die Entscheidung von Berta noch auf den Vorschlag von **Andy**.<sup>1</sup> Diese Grundstruktur erweiterten wir um eine zweite Variante, in der die Position des Vorschlagenden erst im Nachhinein per Zufall bestimmt wird. Die Rolle von Andy fällt immer an den Meistbietenden der drei Erben. Mithilfe dieses Verhaltensexperimentes wollen wir folgende Fragen beantworten:

- (1) Wie fair und rational wird Geldvermögen verteilt?
- (2) Inwieweit sehen die Teilnehmer einen bestimmten Verteilungsvorschlag als gerecht an und akzeptieren diesen?
- (3) Gibt es markante Unterschiede zwischen der Verhaltensweise von US-Amerikanern und Europäern?

## Homo Oeconomicus vs. Homo Reciprocans

Grundsätzlich wird in den Wirtschaftswissenschaften unterstellt, dass sich Entscheidungsträger vollkommen rational verhalten. Ob wir Menschen das Konzept eines eigennutzorientierten **Homo Oeconomicus** verinnerlicht haben, lässt sich nur empirisch beantworten. Bisherige Versuche – im Feld oder im Labor – haben gezeigt, dass die Teilnehmer häufig einem auf Reziprozität basierenden Verhaltensmuster (**Homo Reciprocans**) folgen. D. h. sie belohnen freundliches Verhalten und bestrafen unkooperatives Verhalten. Teilweise gilt dies auch, wenn mit der Bestrafung materielle Kosten verbunden sind. In unserem Experiment verzichten Teilnehmer beispielsweise auf einen bestimmten Geldbetrag, wenn sie einen Verteilungsvorschlag ablehnen.

## Charakteristika der Teilnehmer

An dem Gewinnspiel haben sich über 520 Personen beteiligt. Davon konnten wir 509 in die Auswertung aufnehmen: Dies ist die bisher höchste Beteiligung an unseren Internetexperimenten. Der Großteil der Teilnehmer (43 %) wohnt in einem Umkreis von 100 km um Kaiserslautern-Zweibrücken. Ein Fünftel stammt aus dem übrigen Bundesgebiet, während ein knappes Drittel US-Amerikaner sind. Der Altersdurchschnitt aller Teilnehmer liegt bei 30 Jahren – mit einer Spanne von 10 bis 76 Jahren. Etwas mehr als die Hälfte aller Mitspieler studieren an einer Fachhochschule oder Universität. Weniger als ein Drittel aller Teilnehmer ist weiblich, während sich die Verteilung von Ökonomen (Absolventen u. Studenten) und Nicht-Ökonomen genau die Waage hält.

Einige der Teilnehmercharakteristika zwischen **Europa**<sup>2</sup> und den **USA** unterscheiden sich deutlich: so die niedrigere Frauenquote Europas (25 % vs. 51 %), der höhere Anteil an Angestellten in Europa (32 % vs. 20 %), der höhere Bildungsgrad der US-Teilnehmer (27 % mit Master und Promotion vs. 18 %) sowie ihr höherer Anteil an Ökonomen (57 % vs. 47 %). Wenig überraschend liegt der Anteil der Ingenieurwissen-

schaftler bei den europäischen Teilnehmern höher (18 % vs. 4 %). Zusätzlich bearbeiteten alle Teilnehmer einen einfachen IQ-Test und sie gaben ihre Risikobereitschaft an. Die US-Amerikaner sind risikobereiter,<sup>3</sup> sie schnitten jedoch beim IQ-Test weniger gut ab.

### Entscheidungsverhalten aller Teilnehmer

Wir hatten Andy und Berta 18 Verteilungsvorschläge zur Auswahl gestellt. Jeder Teilnehmer sollte als Erstes in die Rolle von Andy schlüpfen und einen einzigen dieser Verteilungsvorschläge auswählen. Danach versetzten sich die Teilnehmer in die Rolle von Berta und beurteilten jeden der Verteilungsvorschläge einzeln – ob sie ihn annehmen oder ablehnen würden. Auf Basis des Annahmeverhaltens von Berta ermitteln wir den erwarteten Auszahlungsbetrag von Andy.

### Entscheidungsverhalten als Andy

Wenn der Teilnehmer weiß, dass er die Rolle von Andy sicher einnimmt, dann wählten mit großem Abstand 42 % aller Teilnehmer die **Gleichverteilung** von 400 EUR pro Erben (Tabelle 1). Diesen Vorschlag könnte man auch als vollkommen fair und gerecht

bezeichnen. Die zweithäufigste Wahl fiel mit 18 % bzw. 11 % auf Verteilungen, die man als die **Koalition(en) der Mächtigen** bezeichnet: Andy und Berta profitieren dabei auf Kosten des einflusslosen Carlos. Darauf folgt mit 8,5 % die Verteilung, die dem vorschlagenden Andy den größtmöglichen Gewinn lässt (1.000 EUR). Dieser Vorschlag kommt dem Konzept des eigennutzorientierten **Homo Oeconomicus** am nächsten.<sup>4</sup>

Allein neun der achtzehn Vorschläge werden gar nicht bzw. nur von maximal 1 % aller Teilnehmer gewählt. Wenig überraschend liegt der durchschnittliche Zuteilungsbetrag für Andy mit 543 EUR rund doppelt so hoch wie für den rechtlosen Carlos (266 EUR) – dieser Betrag ist vergleichbar mit vorgegangenen Experimenten.<sup>5</sup>

### Entscheidungsverhalten als Berta

Fast alle Teilnehmer nehmen als Berta den Vorschlag der **Gleichverteilung** an. Die **Koalition der Mächtigen** wird von 69 % der Teilnehmer akzeptiert. Das Konzept des **Homo Oeconomicus**, lehnen jedoch in der Rolle als Berta drei Viertel aller Teilnehmer ab! Dieses Verhalten ist eigentlich irrational,

denn die Mitspieler verzichten lieber auf 100 EUR, als dass sie den aus ihrer Sicht unfairen Vorschlag von Andy akzeptieren. Alle Vorschläge, bei denen Berta nur 100–200 EUR erhält, werden von mehr als zwei Drittel der Teilnehmer abgelehnt. Trotz der vergleichsweise niedrigen Akzeptanzrate liegt der erwartete Auszahlungsbetrag im Falle der Koalition der Mächtigen mit 414 EUR immer noch am höchsten.<sup>6</sup>

### US-Amerikaner schlagen Gleichverteilung vor – Europäer die Koalition der Mächtigen

In der Rolle des Vorschlagenden ziehen die amerikanischen Teilnehmer die Gleichverteilung wesentlich stärker vor als ihre europäischen Mitspieler (60 % vs. 34 %). Der deutlich höhere Frauenanteil bei den Amerikanern, die im Schnitt gegenüber Männern ebenfalls gleiche Erbanteile bevorzugen, kann dies nur teilweise erklären.<sup>7</sup> Die Europäer schlagen die **Koalition(en) der Mächtigen** in gleich hohem Maße wie die Gleichverteilung vor und immerhin 11 % wählen die eigennutzorientierte Variante des Homo Oeconomicus. In den USA liegt deren Anteil bei mageren 2 % der Teilnehmer. Infolgedessen liegt der durchschnittliche Zuteilungs-

Alle Teilnehmer n = 509	Vorschlag von Andy	Verteilungsschlüssel			Reaktion Bertas		erwartete Auszahlung als Andy (in €)
		Andy	Berta	Carlos	ja	nein	
	0,20 %	0	600	600	78 %	22 %	0
	0,79 %	200	500	500	81 %	19 %	162
<b>Gleichverteilung</b>	<b>42,04 %</b>	400	400	400	95 %	5 %	380
	5,50 %	400	500	300	84 %	16 %	336
	2,75 %	400	600	200	81 %	19 %	324
	0	600	100	500	24 %	76 %	144
	4,52 %	600	300	300	50 %	50 %	300
	10,81 %	600	400	200	64 %	36 %	384
<b>Koalition der Mächtigen</b>	<b>17,87 %</b>	600	500	100	69 %	31 %	414
	0,20 %	800	100	300	24 %	76 %	192
	1,38 %	800	200	200	32 %	68 %	256
	5,30 %	800	300	100	39 %	61 %	312
<b>Homo Oeconomicus</b>	<b>8,65 %</b>	1000	100	100	25 %	75 %	250
<b>Durchschnittlicher Zuteilungsbetrag in €</b>		<b>543</b>	<b>391</b>	<b>266</b>			

Tab. 1:  
Aufteilung von 1.200 EUR auf drei Erben und Akzeptanz der Verteilungsvorschläge

## Forschungsfreiemester

### Andys Verteilungsvorschläge der 1.200 EUR (Anteile in %)

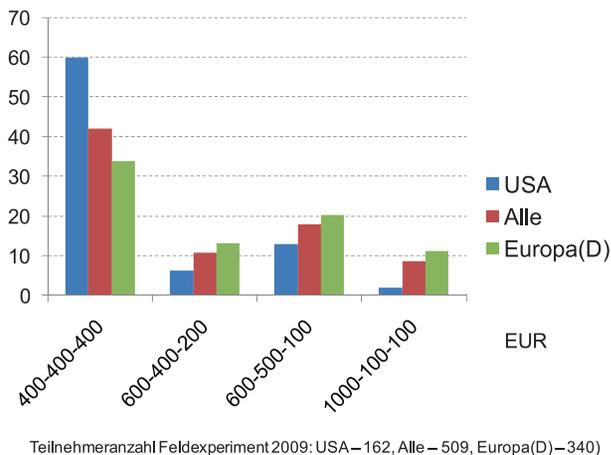


Abb. 1:  
Erbauerteilung  
gemäß dem  
Vorschlagenden  
(Rolle sicher)

betrag der amerikanischen Mitspieler mit 461 EUR zugunsten von Andy signifikant unter demjenigen der europäischen Teilnehmer (576 EUR).

Wenig überraschend schlugen die eigennutzorientierte Verteilungsvariante am häufigsten Wirtschaftswissenschaftler mit 14 % vor. Doch selbst bei den Ökonomen liegen die Anteile für die Gleichverteilung (35 %) und die Koalition(en) der Mächtigen mit 31 % wesentlich höher.

#### Hohe Aversion der Amerikaner gegenüber Ungleichverteilungen

In der Rolle als Berta nehmen nur 109 Mitspieler (21 %) jeden Vertei-

lungsvorschlag an. Ihrer Meinung nach sollte man besser den Mindestbetrag von 100 EUR und eine ungleiche Verteilung akzeptieren, als gar keine Finanzmittel zu erhalten. Konsequenterweise liegt diese Rate bei den Teilnehmern, die sich als Andy für den **Homo Oeconomicus** entschieden hatten, mit 80 % weit höher.

Während sich über ein Viertel der europäischen Teilnehmer rein rational verhalten und jeden Vorschlag akzeptieren, weisen die US-Amerikaner eine sehr hohe Abneigung gegenüber Ungleichverteilungen auf: nur ein Zehntel entscheidet rein rational. Folglich stimmen auch nur 14 % dem Vorschlag Homo

Oeconomicus zu. Selbst die Koalition der Mächtigen, bei der sich Andy und Berta auf Kosten von Carlos bevorzugen, findet bei den US-Teilnehmern keine Mehrheit. Aufgrund dieser geringen Akzeptanzraten ist der erwartete Auszahlungsbetrag für US-Teilnehmer bei der Gleichverteilung (376 EUR) mit Abstand zur Koalition der Mächtigen (294 EUR) am höchsten.

Die Europäer verzeichnen mit 30 % die höchste Akzeptanzrate zugunsten des Homo Oeconomicus, trotzdem liegt der erwartete Auszahlungsbetrag in Europa bei der Koalition der Mächtigen mit 474 EUR – aufgrund der Annahmequote von 79 % – eindeutig am höchsten. Ökonomen verzeichnen die gleiche Akzeptanzrate wie die Europäer zu der eigennutzorientierten Verteilungsvariante, Männer liegen mit 28 % etwas darunter, während Frauen und Nicht-Ökonomen nur zu 20 % diesem Vorschlag zustimmen.

#### Rolle als Vorschlagender per Zufall festgelegt – USA und Europa nähern sich an

In dem zweiten Teil des Experimentes (Tabelle 2) treffen die Teilnehmer die gleichen Entscheidungen unter der Voraussetzung, dass keiner der drei Erben im Voraus weiß, welche Rolle sie in dem Verteilungsspiel einnehmen. Der vorschlagende Andy weiß somit nicht,

ALLE (n = 509) USA (n = 162) EUROPA (n = 340)	Verteilung von 1.200 €			ALLE		USA		EUROPA	
	Andy	Berta	Carlos	Vorschlag Andy	Berta ja	Vorschlag Andy	Berta ja	Vorschlag Andy	Berta ja
Gleichverteilung	400	400	400	73,08 %	97 %	79,01 %	97 %	70,00 %	98 %
	400	500	300	1,96 %	75 %	3,70 %	60 %	1,18 %	82 %
	600	300	300	5,11 %	59 %	2,47 %	39 %	6,47 %	69 %
	600	400	200	5,30 %	56 %	4,94 %	40 %	5,59 %	64 %
Koalition der Mächtigen	600	500	100	4,13 %	48 %	0,62 %	34 %	5,59 %	55 %
Homo Oeconomicus	1000	100	100	3,93 %	27 %	1,85 %	15 %	5,00 %	33 %
ALLE durchschnittlicher Zuteilungsbetrag in €	459	388	353						

Tab. 2:  
Geldaufteilung bei zufälliger Rollenverteilung und Akzeptanz der Vorschläge

**Abhängige Variable: Vorschlag 1.000-100-100 EUR (= 1);  $n_1 = 43$**

**Andere Vorschläge (= 0);  $n_2 = 462$**

	Model I		Model II	
Konstante	-2.44	(0.38) ***	-5.25	(0.65) ***
CRT-Test (0-3)	0.23	(0.08) ***		
Bildungsgrad	0.24	(0.08) ***	0.27	(0.08) ***
Alter (Jahre)	-0.04	(0.01) **		
Beruf	0.17	(0.10) *		
Studienrichtung			0.31	(0.11) ***
Gebot in € für ANDY			0.002	(0.0003) ***
Rationalität (1-18)			0.10	(0.02) ***
USA (= 1)			-0.64	(0.33) *
McFadden $R^2$	0.09		0.39	

Tab. 3: Einflussfaktoren für die Wahl des Homo Oeconomicus (Rolle als Vorschlagender ist festgelegt)

Koeffizient (Standard Fehler) \*, \*\*, \*\*\* Signifikanzniveau 90 %, 95 %, 99 %.

CRT – Cognitive Reflection Test; Rationalität wird mit der Zahl akzeptierter Verteilungsvorschläge in der Rolle als Berta gemessen – 18 gilt als vollkommen rational.

ob er diese Rolle überhaupt zugelost bekommt – er kann auch als Carlos oder Berta enden. Aufgrund dessen erwarten wir eine deutliche Veränderung seines Entscheidungsverhaltens zugunsten der Gleichverteilung. Die empirischen Daten bestätigen dies. Die Unsicherheit in Bezug auf die künftige Rolle lässt den Anteil der Gleichverteilung auf drei Viertel aller Teilnehmer hochschnellen.

Zugleich schmelzen die interkontinentalen Unterschiede im Vorschlagsverhalten bei der Gleichverteilung von 26 Prozentpunkten auf 9 Prozentpunkte. Somit verändern insbesondere die europäischen Teilnehmer ihr Verhalten. Die durchschnittlichen Zuteilungsbeträge gleichen sich ebenfalls stark an. Der Unterschied zwischen Andy und Carlos schrumpfte von 280 EUR auf 100 EUR (vgl. Tab. 1 und 2). Der Durchschnittsbetrag für Berta bleibt in etwa gleich. Die Akzeptanzraten Bertas für die unterschiedlichen Verteilungsvorschläge verändern sich ebenfalls wenig. Es gilt weiterhin, dass Europäer ungleiche Verteilungsvorschläge signifikant häufiger annehmen als Amerikaner. Einzig für Europa weicht der höchste erwartete Auszahlungsbetrag von der Gleichverteilung ab. Für die europäischen

Teilnehmer liegt dieser Betrag bei 414 EUR für den Verteilungsvorschlag 600 – 300 – 300. Im Vergleich zu den beiden Koalitionen der Mächtigen (600 – 400 – 200 bzw. 600 – 500 – 100) bestrafen jedoch auch die Europäer eine verstärkte Ungleichbehandlung des machtlosen Carlos.

### Determinanten für den Vorschlag Homo Oeconomicus

Mithilfe einer ökonometrischen Analyse arbeiteten wir die signifikanten Einflussfaktoren derjenigen heraus, die in der sicheren Rolle als Andy den eigennutzorientierten Verteilungsvorschlag gewählt hatten. Tabelle 3 stellt zwei Modellvarianten vor. Modell I zeigt, dass jüngere, intelligentere, besser ausgebildete und in einem anspruchsvolleren Beruf stehende Teilnehmer stärker zum Homo Oeconomicus neigen. Deutlich größer ist jedoch der Erklärungsgehalt von Modell II (McFadden  $R^2 = 0,39$ ): Wieder votieren besser ausgebildete Teilnehmer für den eigennutzorientierten Vorschlag. Weitere Faktoren sind: eine wirtschaftswissenschaftliche Studienrichtung, rational entscheidende Personen, die gleichzeitig ein höheres Gebot für die Rolle des Andy einreichen. US-amerikanische Teilnehmer lehnen den Vorschlag des Homo Oeconomicus eher ab.<sup>8</sup> Damit bestätigen die beiden Modelle die vorangegangene deskriptive Analyse.

micus eher ab.<sup>8</sup> Damit bestätigen die beiden Modelle die vorangegangene deskriptive Analyse.

### Zusammenfassung

Wir registrierten eine **große Resonanz** auf das Zeitungs- bzw. Internetexperiment – mit über 500 Teilnehmern. Ein Drittel der Teilnehmer kommt aus den USA. Über 40 % der Mitspieler schlagen in der Rolle als Andy die **Gleichverteilung** (je 400 EUR pro Erbe) vor. Darauf folgt das Konzept der **Koalition der Mächtigen** (600 EUR – 500 EUR – 100 EUR) mit 18 %. Nur 8,5 % der Teilnehmer entscheiden sich für den eigennutzorientierten Vorschlag des **Homo Oeconomicus** (1.000 EUR – 100 EUR – 100 EUR). Im Durchschnitt sind die Teilnehmer bereit 251 EUR für die Rolle des Vorschlagenden zu bezahlen.

In ihrer Rolle als Akzeptierende oder Ablehnende (Berta) traten der Gerechtigkeitssinn und die **Fairness** wieder in den Vordergrund. Jeder Vorschlag, der Berta 200 EUR und weniger beschert hätte, wurde von 2/3 bis 3/4 der Teilnehmer abgelehnt. Diese Teilnehmer verzichten lieber auf Geld, statt einer unfairen Verteilung zuzustimmen! Insgesamt verhielt sich gerade mal ein Fünftel der Teilnehmer rein rational und akzeptierte jeden der 18 Verteilungsvorschläge.

Statistisch signifikante Unterschiede liegen vor allem zwischen den US-Amerikanern und den Europäern vor. Während US-Amerikaner als Berta ungleiche Verteilungsvorschläge deutlich häufiger als die Europäer ablehnen, schlagen 60 % von ihnen in der Rolle als Andy die Gleichaufteilung vor. Fast gleich viele Europäer votieren für die Koalition(en) der Mächtigen und der Gleichverteilung.

Die Aversion gegen eine ungleiche Verteilung ist somit bei den amerikanischen Teilnehmern wesentlich stärker

## Forschungsfreiemester

ausgeprägt. Dies unterstreicht auch die ökonometrische Analyse. Ein Ergebnis, welches der Autor eher für die sozialstaatsorientierteren und risikoscheueren Europäer erwartet hatte. In wie weit dabei der hispanische Kulturhintergrund einer Vielzahl der US-Teilnehmern und der große Anteil an US-Studierenden an einer katholischen Hochschule eine Rolle spielt, bleibt noch zu untersuchen.

Gehen die **amerikanischen Teilnehmer** von einer großen Ungleichheitsaversion ihrer US-Mitspieler aus, dann kann die Entscheidung für die Gleichaufteilung

des Erbes als Andy durchaus eigennutzorientiert und damit (indirekt) rational sein. Schließlich ist der erwartete Zuteilungsbetrag aufgrund der hohen Aversion gegenüber den ungleichen Verteilungsvorschlägen bei der Gleichaufteilung mit 376 EUR am höchsten.<sup>9</sup>

Wird die Rollenverteilung der drei Erben erst nach den Entscheidungen per Los zugewiesen, so schnellt der Anteil derjenigen Teilnehmer, die als Andy für die Gleichaufteilung votieren, rapide in die Höhe (>70 %). Gleichzeitig verwischen die amerikanisch-europäischen Unterschiede nahezu.

Die ökonometrische Analyse<sup>10</sup> weist darauf hin, dass junge, rational entscheidende und intelligente Teilnehmer mit einem höheren Bildungsgrad stärker dem eigennutzorientierten Vorschlag des Homo Oeconomicus zuneigen. Gleichzeitig sind diese auch bereit höhere Gebote für die Übernahme der Rolle des Vorschlagenden abzugeben.

Diese Ergebnisse wurden inzwischen auf drei wissenschaftlichen Konferenzen in Budapest, Pittsburgh und Istanbul zur Diskussion gestellt.

### Literatur:

*Falk, A.; Dohmen, Th.; Sunde, U.* Kontrolliert und repräsentativ: Beispiele zur Komplementarität von Labor- und Felddaten, Perspektiven der Wirtschaftspolitik Bd. 10 (2009) Sonderheft 54-74

*Güth, W.* Optimal gelaufen, einfach zufrieden oder unüberlegt gehandelt? Zur Theorie (un)eingeschränkt rationalen Entscheidens, Perspektiven der Wirtschaftspolitik Bd. 10 (2009) Sonderheft 75–100

*Güth, W.; Schmidt, C.; Sutter, M.* Fairness in the Mail and Opportunism in the Internet: A Newspaper Experiment on

Ultimatum Bargaining, German Economic Review Vol. 4 (May 2003) 243-265

*Güth, W., Schmidt, C.; Sutter, M.* Bargaining Outside the Lab – A Newspaper Experiment of a Three Person-Ultimatum Game, Economic Journal Vol. 117 (2007) 449–469

*Holt, Ch. A.* Markets, Games & Strategic Behavior, Pearson Education Boston 2007

*Piazolo, M.* Gerechtigkeit siegt über Eigennutz, Ein Ultimatum Bargaining Game anhand von WM-Tickets, S. 45–58 in: Proceedings, 5th International Conference on Management, Enterprise and Benchmarking MEB 2007, Budapest

*Piazolo, M.* International Experiment on Dividing up an Inheritance Successfully, Teaching Economics: Instruction and Classroom Based Research, 22nd Annual Conference, Robert Morris University, Pittsburgh USA, 17.–19. Februar 2011

*Schmidt, K.M.* The Role of Experiments for the Development of Economic Theories, Perspektiven der Wirtschaftspolitik Bd. 10 (2009) Sonderheft 14–30

*Shane, F.* Cognitive Reflection and Decision Making, Journal of Economic Perspectives Vol. 19 (Fall 2005) 25–42

- <sup>1</sup> Der Aufbau unseres Experimentes ist an Güth et al. (2003) angelehnt. Weitere Beispiele für Ultimatum Bargaining Games finden sich bei Holt (2007).
- <sup>2</sup> 95 % der 340 europäischen Teilnehmer leben in der Bundesrepublik Deutschland.
- <sup>3</sup> Die Teilnehmer schätzen ihre Risikobereitschaft auf einer Skala 1 (risikoavers) bis 5 (risikofreudig) ein. Mit einem Durchschnittswert von 3,4 lag die Risikofreudigkeit der US-Amerikaner statistisch signifikant über derjenigen der Durchschnittseuropäer (2,9). Schon bei Fehr et al. (2002) zeigten sich die Amerikaner systematisch risikobereiter als die Deutschen (in: Falk et al. 2009).
- <sup>4</sup> Bisherige Experimente ergaben einen ähnlich niedrigen Anteil an Stimmen für den Homo Oeconomicus; z. B. 9 % in dem Zeitungsexperiment in Die Zeit mit über 5.000 Teilnehmern (Güth et al. 2007) und 14 % von 381 Teilnehmern bei Piazolo (2007).
- <sup>5</sup> Bei Güth et al. (2005) lag der Zuteilungsbetrag bei umgerechnet 516 EUR, während er bei Piazolo (2007) 552 EUR betrug.
- <sup>6</sup> In dem Feldexperiment 2006 akzeptierten 92 % der 381 Teilnehmer als Berta diesen Verteilungsvorschlag. Der erwartete Zahlungsbetrag betrug damit für den Vorschlagenden 552 EUR (Piazolo 2007).
- <sup>7</sup> Frauen votieren in der Rolle des vorschlagenden Andys zu 53 % für die Gleichverteilung; bei den Männern sind es nur 36 %. Damit liegen auch die Frauen immer noch unterhalb der 60 %-Marke der Amerikaner.
- <sup>8</sup> Weitere Modellvarianten finden sich unter Piazolo (2011).
- <sup>9</sup> Auf dieses Phänomen weist Güth (2009) hin.
- <sup>10</sup> Vgl. Piazolo (2011) Tabellen 4–6.

# Reinklicken und Ihre Kommune mobil erleben [www.total-lokal.de](http://www.total-lokal.de)



Startseite | Kostenloser Eintrag | Ihre Werbung | Kontakt | Impressum | AGB | Datenschutz | Sitemap

Was (Keyword oder Name des Eintrags eingeben) Wo (Adresse, Stadt, Landkreis oder Postleitzahl)

**totallokal**

[Erweiterte Suche](#)

Home | Einträge | Veranstaltungen | Artikel | Angebote | Blog

**ANMELDUNG**

E-Mail Adresse

[Passwort vergessen?](#)

[Anmelden](#)

// Willkommen  
auf total-lokal.de

**KOMMENDE VERANSTALTUNGEN**

 20.03.2011  
19:30 Bamberg  
Tanzkurs

 02.04.2011  
20:00 Bamberg  
Die Liebe sprach: Ich liebe Dich

02.04.2011  
19:00 Bamberg  
Don Juan

02.04.2011  
21:00 Bamberg  
Nachwächterrundgang: Hört Ihr Herrn...

**VERANSTALTUNGEN NACH DATUM**

< März 2011 >

S	M	D	M	D	F	S
		01	02	03	04	05
06	07	08	09	10	11	12
13	14	15	16	17	18	19
20	21	22	23	24	25	26

**WERBEPARTNER**

**mediaprint tv**  
kreativ effektiv webb

**JETZT AUPTAUCHEN**  
Video Website Online-Marketing

Wollen Sie Werbung bei uns machen?

**REGIONALE SUCHE**

Unsere **regionale Suche** ermöglicht es Ihnen ganz unkompliziert Ihre gewünschte **Stadt** oder **Firma** zu finden. Klicken Sie hierfür entweder in die **Karte** oder den entsprechenden **Link**:

- Baden-Württemberg
- Bayern
- Berlin
- Brandenburg
- Bremen
- Hamburg
- Hessen
- Mecklenburg-Vorpommern
- Niedersachsen
- Nordrhein-Westfalen
- Rheinland-Pfalz



**NACH KATEGORIE EINSCHRÄNKEN**

- Alles fürs Kind (606)
- Alles fürs Tier (357)
- Ämter, Behörden (393)
- Auto, Fahrzeuge (1962)
- Bäder, Parkanlagen (669)
- Bauen, Renovieren (13915)
- Beratung, Coaching (2969)
- Beruf, Karriere (1144)
- Computer, Büro (978)
- Einkaufszentren (90)
- Einrichten, Wohnen (2263)
- Energie, Versorgung (934)
- Essen, Trinken (4837)
- Geld, Recht, Versicherung (5506)
- Gesundheit (14600)
- Hotels, Unterkünfte (1873)
- Immobilien, Service (1796)
- Industrie, Technik (1593)
- Kirchen, Friedhöfe (420)

# Unternehmensgründung – Ein Vergleich von Studierenden in Deutschland und Polen



Prof. Dr. Walter Ruda  
 Professur für Betriebswirtschaftslehre,  
 insbesondere Mittelstandsökonomie,  
 Finanz- und Rechnungswesen, Controlling;  
 wissenschaftlicher Direktor des Zentrums  
 für Mittelstands- und Gründungsökonomie (ZMG)  
 Fachbereich Betriebswirtschaft  
 Gastprofessor an den argentinischen  
 Partneruniversitäten in Rafaela und  
 Buenos Aires  
[walter.ruda@fh-kl.de](mailto:walter.ruda@fh-kl.de)

Prof. Dr. Walter Ruda hat nach seinem Studium der Betriebswirtschaftslehre und der Volkswirtschaftslehre an der Universität zu Köln (Dipl.-Kfm, Dipl.-Volksw.) als wissenschaftlicher Assistent am Lehrstuhl BWL, Finanzen und Banken und am Betriebswirtschaftlichen Forschungszentrum Mittelstand an der Universität Bayreuth gearbeitet. Nach seiner Promotion war er im adidas-Konzern tätig. Zum einen als Abteilungsleiter Controlling International im Headquarter und zum anderen als kaufmännischer Geschäftsleiter der erima Sportbekleidungs GmbH. Danach wurde er zum Geschäftsführer beim Maschinenbauunternehmen Winkler GmbH & Co. KG bestellt. Zum WS 1994/95 erhielt er einen Ruf auf eine Professur an die FH Kaiserslautern (Standort Zweibrücken). Gleichzeitig erhielt er Rufe an die Fachhochschulen Köln, Gießen und Bremerhaven. Als Gründungsdekan des Fachbereichs Betriebswirtschaft war er maßgeblich am Aufbau des neuen Standortes beteiligt. Parallel zu der Professur war er zeitweise auch als Vorstand Finanzen, Controlling und Investor Relations der börsennotierten CDV Software Entertainment AG tätig. Darüber hinaus bekleidete er über mehrere Jahre das Amt des Aufsichtsratsvorsitzenden des 1. FC Kaiserslautern.

Im Forschungsfreisemester wurden insbesondere Problemstellungen aus den laufenden Forschungsvorhaben zum Gründungsverhalten von Studierenden und zum Controlling im Mittelstand behandelt. Darüber hinaus wurde das Projekt Sportsponsoring weiterverfolgt. Zu diesem Zweck wurden auf privater Basis verschiedene Universitäten in den USA und in Argentinien besucht. Zum Bereich Sportsponsoring erfolgte darüber hinaus ein Besuch der Copa América in Argentinien. An dieser Stelle werden auszugsweise Ergebnisse aus einem Teilgebiet der GEST-Studie berichtet.

## I Problemstellung und Zielsetzung

Studierende und Akademiker gelten als potenzielle Gründer von Hochpotenzialunternehmen, die auf zukunfts-trächtigen Innovationen basieren und

dauerhafte sowie hochqualifizierte Arbeitsplätze schaffen (Uebelacker 2005). So führen Entrepreneurere innovative Produkte und Dienstleistungen ein, schaffen neue Arbeitsplätze, erschließen ausländische Märkte und verhelfen ihrer heimischen Ökonomie zu einer weltweiten Konkurrenzfähigkeit (Scarborough/Zimmerer 2006). Demzufolge werden hohe Erwartungen an die studentische Zielgruppe gestellt, was es erforderlich macht, Studierende für die Unternehmensgründung als Erwerbسالternative zu sensibilisieren und sie während ihrer Gründungsprozesse mit geeigneten Förderkonzepten zu unterstützen. Die Ausgestaltung der Gründungsförderung sollte hierbei nachfrageorientiert auf dem studentischen Bedarf basieren. Folglich ist eine subjektorientierte Analyse der Studierenden hinsichtlich förderlicher und hinderlicher Bedingungen innerhalb des weitgehend unerforschten

(Vor-)Gründungsprozesses notwendig (Braukmann 2003), um Erkenntnisse über die Konzeption einer zielgruppengerechten und zielgruppendifferenzierten Gründungsförderung abzuleiten (Ruda/Martin/Danko 2009).

Eine derartig abgeleitete Gründungsunterstützung kann allerdings nicht einfach auf andere Länder beziehungsweise Kulturen transformiert und diesen unverändert zugrunde gelegt werden. So üben die wirtschaftspolitische Situation und Entwicklung in den einzelnen Ländern sowie die dort bestehenden kulturellen Besonderheiten, z. B. die Mentalität der Bevölkerung, einen entscheidenden Einfluss auf das Verhalten aus, unternehmerisch tätig zu werden (Scarborough/Zimmerer 2006). Erwartungsgemäß zeigen dem Global Entrepreneurship Monitor (GEM) zufolge auch die beiden in diesem Artikel analysierten Länder im Rahmen der er-

werbstätigen Bevölkerungsgruppe zwischen 18 und 64 Jahren unterschiedliche Total Early-Stage Entrepreneurial Activity Rates (TEA) auf, wobei Polen 9 % erreicht und Deutschland 5,6 % (Bosma/Wennekers/Amorós 2012).

Ziel dieses Beitrages ist es, die Ausprägung der Gründungsambitionen und weiterer unternehmerischer Kriterien in Polen und Deutschland bei der Zielgruppe der Studierenden zu vergleichen. Der GEM bietet zwar einige Informationen über unternehmerische Kriterien in den analysierten Ländern, jedoch nicht explizit bezüglich der studentischen Zielgruppe (Ruda/Martin/Danko/Kurczewska 2012).

## 2 Forschungsdesign

Das Forschungsdesign basiert auf einem Bezugsrahmen zur studentischen und akademischen Gründungsneigung (Ruda/Martin/Danko 2008), der aus einem Literatur-Review abgeleitet wurde und die im Vorfeld der Gründung wesentlichen Bestimmungsgrößen für eine potenziell entstehende Gründungsneigung und Gründungsrealisierung berücksichtigt.

Die in diesem Zusammenhang entwickelten *Gründungsambitionstypen* (Ruda/Martin/Ascúa/Danko 2008) ermöglichen eine nach den unterschiedlichen Ausprägungen der sich im Laufe des Gründungsprozesses potenziell verstärkenden Gründungsneigungen differenzierte Analyse, womit aus den Ergebnissen bedarfs- und zielgruppen-gerechte Handlungsempfehlungen abgeleitet werden können (Ruda/Martin/Danko 2009). Die Gründungsambitionstypen lassen sich wie folgt charakterisieren (Ruda/Martin/Ascúa/Danko 2009): Der *Gründungslaie* hat sich bisher noch gar nicht mit Gründung beschäftigt; der *Gründungssensibilisierte* hat die Gründung noch nicht erwogen; der *Gründungsinteressierte* hat die Gründung bereits erachtet, aber noch nicht

vorbereitet; der *Gründungsvorbereiter* ist schon konkret in der beabsichtigten Gründung engagiert; der *Gründer* hat bereits gegründet.

Mittels eines standardisierten Fragebogens wurden annähernd 900 Studierende an zwei Hochschulen in Deutschland und drei Hochschulen in Polen befragt. Während die deutsche Stichprobe 678 Studierende aus der Betriebswirtschaft, den Ingenieurwissenschaften, der Informatik, der Architektur und der Applied Life Sciences umfasst, basiert das polnische Sample auf 216 Studierenden, insbesondere der Wirtschaftswissenschaften, Internationalen Beziehungen und der Pharmazie. Die Befragungsdurchführung während Lehrveranstaltungen führt einerseits zu hohen Rückläufen und vermeidet andererseits Selbstselektionseffekte, insbesondere von nicht am Thema interessierten Studierenden. Gerade aber Letztere sollten auch analysiert werden, weil dadurch Hinweise entstehen können, auf welche Faktoren das Nichtinteresse zurückzuführen sein kann.

## 3 Ausgewählte Forschungsergebnisse

Das polnische Sample enthält zu drei Vierteln Studierende der Wirtschaftswissenschaften, 11 % der Pharmazie und 14 % aus sonstigen Studiengängen. Demgegenüber umfasst die deutsche Stichprobe mit 39 % am häufigsten Studierende der Ingenieurwissenschaften, gefolgt von 30 % der Betriebswirtschaft, 24 % der Informatik, 4 % der Applied Life Sciences und 3 % der Architektur. Von den in Polen Befragten studieren 80 % vier bis sechs Semester und 14 % mehr als sechs Semester. In Deutschland finden sich in den entsprechenden Semestergruppen 48 % bzw. 12 % und zudem annähernd 6 % in weiterführenden Studiengängen. Der Anteil an Studentinnen liegt in Polen bei 69 % und in Deutschland bei ei-

nem Drittel. Die in Deutschland befragten Studierenden sind tendenziell älter als ihre polnischen Kommilitonen, was neben Unterschieden in der Bildungsstruktur beider Länder zudem durch die in Deutschland befragten Postgraduierten bedingt ist.

Bei der Analyse der Gründungsambitionstypen sind die polnischen Studierenden zu 59 % *Gründungslaie*, 27,8 % *Gründungssensibilisierte*, 10,8 % *Gründungsinteressierte* und 2,4 % *Gründungsvorbereiter*, wobei noch keiner der befragten Studierenden bereits ein Unternehmen gegründet hat. Demgegenüber zeigen die in Deutschland befragten Studierenden mit 56,6 % *Gründungslaie*, 13,0 % *Gründungssensibilisierten*, 24,2 % *Gründungsinteressierten*, 3,8 % *Gründungsvorbereitern* und 2,3 % *Gründern* signifikant höhere Gründungsneigungen als die Befragten aus der polnischen Vergleichsgruppe. So wird auch das *Gründungsklima* im jeweiligen Land der Befragung von 41 % der polnischen Studierenden als eher gründungsfreundlich wahrgenommen, während dies auf fast zwei Drittel ihrer deutschen Vergleichsgruppe zutrifft. Die durchschnittlich angegebene *Gründungswahrscheinlichkeit* in Höhe von 50 % im polnischen Sample liegt allerdings signifikant höher als bei den deutschen Studierenden mit ihren 32 %.

Sowohl von den Studierenden in Polen als auch von ihren deutschen Kollegen ist etwa jeder Zweite eher risikobereit, wobei die deutschen Studierenden eine geringfügig stärkere *Risikoneigung* aufweisen. Mit 39 %, gegenüber lediglich 23 % in Deutschland, geben wesentlich mehr Studierende in Polen an, über eine *Gründungs idee* zu verfügen, was die in Polen höhere *Gründungswahrscheinlichkeit* mitbegründen könnte. Den voraussichtlichen *Gründungszeitpunkt* planen die Studierenden in Deutschland mit durchschnittlich fünf Jahren etwas später ein als ihre polnischen Kommilitonen mit 4,3 Jahren. Zudem

## Forschungsfreiemester

weisen die in Deutschland Befragten mit 28 % deutlich mehr Führungserfahrungen auf als ihre Vergleichsgruppe mit einem Zehntel. Allerdings haben von den deutschen Studierenden 55 % noch nicht auf gründungsrelevante Informationsquellen zugegriffen, was auf lediglich 28 % der polnischen Studierenden zutrifft. Dies ist besonders durch in Polen häufiger genutzte Informationsquellen wie Internet, Freunde, Verwandte, Hochschule und Literatur bedingt. Während etwa jeder zweite Studierende in Deutschland angibt, sein privates Umfeld verfüge über keine Unternehmer, trifft dies auf nur circa ein Drittel des polnischen Samples zu. Die Studierenden in Polen haben folglich auch im privaten Umfeld mehr Berührungspunkte mit Entrepreneurship als ihre deutschen Kommilitonen. Wenig verwunderlich ist es deshalb, dass Letztere mit 64 % stärker zu einer Teamgründung tendieren als die polnischen Studierenden mit 60 %. In Bezug auf den Umfang der selbstständigen Tätigkeit präferieren beide Stichproben zu etwa zwei Dritteln den Vollerwerb.

Hinsichtlich Gründungsmotiven zeigt sich, dass den in Polen befragten Studierenden Selbstverwirklichung, Einkommengenerierung, hohes Einkommen, flexible Arbeitszeiten, Ideenverwirklichung (gleichzeitig die fünf relevantesten Gründungsmotive in der polnischen Stichprobe) und Ansehen wichtiger erscheinen als ihrer deutschen Vergleichsgruppe, für die demgegenüber das Notgründungsmotiv, Autonomie sowie Macht eine höhere Bedeutung haben. Im deutschen Sample ist die Einkommengenerierung am wichtigsten, gefolgt vom Notgründungsmotiv, Selbstverwirklichung sowie Ideenverwirklichung und hohem Einkommen.

Bezüglich Gründungshemmnissen ist auffallend, dass die deutschen Studierenden die meisten Faktoren als stärker gründungshemmend wahrnehmen als ihre Vergleichsgruppe aus Polen. Für

die polnischen Studierenden stellen lediglich fehlendes Eigenkapital, Know-how-Defizit und bürokratische Hürden höhere Gründungsbarrieren dar als in Deutschland. Im deutschen Sample sind fehlendes Eigenkapital, eigenes finanzielles Risiko, fehlendes Fremdkapital, die konjunkturelle Lage sowie fehlende Gründungsideen die fünf relevantesten Gründungs-hemmnisse. Die polnischen Studierenden nennen ebenfalls fehlendes Eigenkapital und fehlendes Fremdkapital als am stärksten gründungshemmend, gefolgt von bürokratischen Hürden, geringem Gewinn und geringem Umsatz sowie eigenem finanziellem Risiko. Die befragten Studierenden in Polen und Deutschland zeigen eine etwa gleich stark ausgeprägte Angst vor dem Scheitern bezüglich einer eigenen Unternehmensgründung. Fehlendes Fremdkapital stellt im deutschen Sample eine größere Gründungshürde dar als im polnischen Sample.

Zusammengefasst scheinen sich die Studierenden in Deutschland normalerweise in späteren Phasen des Gründungsprozesses zu befinden als ihre polnischen Kommilitonen. Diese höhere Gründungsneigung basiert tendenziell stärker auf dem Notgründungsmotiv, während die in Polen befragten Studierenden höhere Gründungswahrscheinlichkeiten angeben, die wohl stärker durch auf Geschäftsideen basierendes chancengetriebenes Unternehmertum – mit potenziell positiven Wirkungen auf volkswirtschaftlichen Wohlstand – bedingt sind. Bei der Ausgestaltung von Gründungsförderprogrammen sind diese jeweiligen Gegebenheiten zu berücksichtigen, um den individuellen Bedarfen zu entsprechen. Allerdings benötigen Studierende beider Länder – wie der hohe Anteil an Gründungslaien, d. h. Personen, die sich noch gar nicht mit der Gründung auseinandersetzt haben, zeigt – die Vermittlung von unternehmerischen Grundkenntnissen und Fähigkeiten, damit sie spätestens während ihres Studiums

für eine potenzielle eigene Gründung sensibilisiert werden und bereits nach Geschäftsideen suchen. Gründungsspezifische Anlaufstellen können hierbei neben der Entrepreneurship Education einen wichtigen Beitrag leisten, da sie spezielle Informationsbedarfe angehender Gründer zu befriedigen fähig sind, die sich nicht innerhalb von Lehrveranstaltungen aufgreifen bzw. decken lassen. Allein eine angemessene Gründungsinfrastruktur ermöglicht ein positives Gründungsklima an Hochschulen, womit die berufliche Selbstständigkeit als attraktive Erwerbsalternative bei den Studierenden präsent wird.

### Literatur

Bosma, N. / Wennekers, S. / Amorós, J. E. (2012): Global Entrepreneurship Monitor. 2011 Extended Report: Entrepreneurs and Entrepreneurial Employees Across the Globe, Global Entrepreneurship Research Association (GERA) 2012.

Braukmann, U. (2003): Zur Gründungsmündigkeit als einer zentralen Zielkategorie der Didaktik der Unternehmensgründung an Hochschulen und Schulen, in: Walterscheid, K. (Hrsg.), Entrepreneurship in Forschung und Lehre – Festschrift für Klaus Anderseck, Frankfurt am Main 2003, S. 187-203.

Brixy, U. / Hundt, C. / Sternberg, R. (2010): Global Entrepreneurship Monitor (GEM) – Länderbericht Deutschland 2009, Hannover / Nürnberg 2010.

Brixy, U. / Hundt, C. / Sternberg, R. / Vorderwülbecke, A. (2011): Global Entrepreneurship Monitor; Unternehmensgründungen im weltweiten Vergleich, Länderbericht Deutschland 2010, Hannover / Nürnberg 2011.

Ruda, W. / Martin, Th. A. / Ascúa, R. / Danko, B. (2008): Foundation Propensity and Entrepreneurship Characteristics of Students in Germany, in: ICSB

(Hrsg.), Proceedings of the 53th World Conference of the International Council for Small Business, Halifax 2008.

Ruda, W. / Martin, Th. A. / Ascúa, R. / Danko, B. (2009): Análisis de la propensión de los estudiantes universitarios a crear empresas y señales de Entrepreneurship (GEST-Studie) – Una comparación entre los estudiantes alemanes y argentinos, in: Red Pymes, Facultad de Ciencias Económicas – Universidad Nacional del Litoral (Hrsg.), Memorias de la 14° Reunión Anual de la Red Pymes Mercosur – “Las Pymes Latinoamericanas y la Crisis Global. Desafíos y Oportunidades”, Santa Fe, Argentinien 2009.

Ruda, W. / Martin, Th. A. / Danko, B. (2008): Essential Attitudes in Founding of New Ventures and Cultivating Entrepreneurship among Students: the German Experience, in: Scientific Papers University of Latvia – Management, Vol. 721, 2009, S. 360-376.

Ruda, W. / Martin, Th. A. / Danko, B. (2009): Target Group-Specific Design of Student Entrepreneurship Support – A German Example Focusing on Start-Up Motives and Barriers, in: Acta Polytechnica Hungarica, Journal of Applied Sciences, Special Issue on Management, Enterprise and Benchmarking, 6. Jg. 2009, Nr. 3, S. 5-22.

Ruda, W. / Martin, Th. A. / Danko, B. / Kurczewska, A. (2012): Existenzgründungsintentionen von Studierenden – Ein Entrepreneurship-Vergleich von Polen und Deutschland, in: MEB 2012, 10th International Conference on Management, Enterprise and Benchmarking, Budapest 2012, S. 27 – 42.

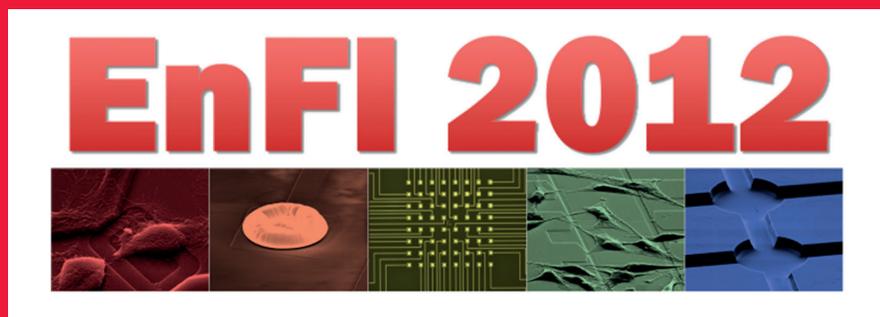
Scarborough, N. / Zimmerer, T. (2006): Effective Small Business Management: An Entrepreneurial Approach, 8. Aufl., New Jersey 2006.

Uebelacker, S. (2005): Gründungsausbildung – Entrepreneurship Education an deutschen Hochschulen und ihre raumrelevanten Strukturen, Inhalte und Effekte, Wiesbaden 2005.



# EnFI 2012

Prof. Dr. Sven Ingebrandt



EnFI steht für „Engineering of Functional Interfaces“. Die internationale Konferenz fand am 16. und 17. Juli 2012 am Campus Zweibrücken statt, Gastgeber war Prof. Dr. Sven Ingebrandt. Im bereits fünften Workshop seiner Art ging es darum, Oberflächeneffekte zu verstehen und zu steuern. Im Mittelpunkt stand deshalb der interdisziplinäre Austausch zu den Themen:

- Nanostrukturen und deren Anwendungen
- Biosensor-Oberflächen
- Grenz- und Oberflächenanalyse
- Implementierung

Im Organisationskomitee engagierten sich neben Prof. Dr. Sven Ingebrandt (Fachhochschule Kaiserslautern) auch Prof. Dr. Theodor Doll (Johannes

Gutenberg-Universität Mainz), Prof. Dr. Michael J. Schöning (Hochschule Aachen), Prof. Dr. Patrick Wagner (Hasselt University) und Dr. Ronald Schnabel (VDI/VDE, Frankfurt).

Den Besuchern wurden Beiträge auf hohem wissenschaftlichem Niveau geboten, ergänzt durch Vorträge der Hauptredner/-innen: Prof. Dr. Cornelia Keck (Fachhochschule Kaiserslautern, Deutschland), Prof. Dr. Yoonkey Nam (Advanced Institute of Science and Technology, Korea), Prof. Dr. Christiane Ziegler (Technische Universität Kaiserslautern, Deutschland) und Dr. Dirk Mayer (Forschungszentrum Jülich, Deutschland). Insgesamt 75 Kurzvorträge sowie eine damit verbundene Posterausstellung von Nachwuchswissenschaftlern/-innen

sorgten für anregende Diskussionen. Ein unabhängiges Komitee verlieh Preise für die drei besten Poster. Eine Auswahl der Beiträge wird als Originalarbeiten oder als Feature-Artikel in einer Sonderausgabe der Zeitschrift Physica Status Solidi veröffentlicht werden.

Für einen reibungslosen Ablauf sorgten Dr. Maryam Weil und weitere Mitglieder der AG Ingebrandt sowie Prof. Dr. Monika Saumer und Helfer des Forschungsschwerpunktes IMS.

Tagungshinweis:



Teilnehmer der EnFI 2012 Konferenz in Zweibrücken

Fotos: FH Kaiserslautern, R. Lilischkis



# Arbeitsgruppe Biomedizinische Messtechnik auf großer Fahrt

Prof. Dr. Sven Ingebrandt

Einige Mitglieder der Arbeitsgruppe Biomedizinische Messtechnik von Prof. Dr. Sven Ingebrandt im Fachbereich Informatik und Mikrosystemtechnik (Standort Zweibrücken) nahmen im Mai 2012 an der größten internationalen Konferenz im Bereich der Biosensorik, der **Biosensors 2012** vom 15. bis 18. Mai in Cancun, Mexiko, teil (<http://www.biosensors-congress.elsevier.com/>).

In insgesamt sechs Posterbeiträgen wurden die aktuellen Forschungsergebnisse der Arbeitsgruppe präsentiert. Für die beiden mitgereisten Doktoranden Dieter Koppenhöfer und Anna Susloparova war dies die erste große internationale Konferenz mit über 1000 Teilnehmern. Sie wurden von Prof. Ingebrandt und drei erfahrenen, promovierten Wissenschaftlern der Arbeitsgruppe begleitet. Die Beiträge aus Zweibrücken stießen auf große

Resonanz. Beide Doktoranden ergriffen die Chance und reichten ihre Arbeiten als vollwertige Publikation beim renommierten Fachjournal „**Biosensors and Bioelectronics**“ ein, das alle zwei Jahre eine Spezialausgabe zur Biosensor-Konferenz abdruckt. Thematisch geht es bei diesen Arbeiten um die elektronische Detektion der Wirkung von Anti-Krebsmedikamenten auf Tumorzellen (A. Susloparova, D. Koppenhöfer, X.T. Vu, M. Weil, S. Ingebrandt, Impedance spectroscopy with field-effect transistor arrays for the analysis of anti-cancer drug action on individual cells, *Biosensors and Bioelectronics*, <http://dx.doi.org/10.1016/j.bios.2012.06.006>) und von Nanopartikeln, die z. B. in Feinstäuben vorkommen, auf Zellen der Lungenwand (D. Koppenhöfer, A. Susloparova, D. Docter, R. H. Stauber, S. Ingebrandt\*, Monitoring nanoparticle induced cell death in H441 cells using field-effect transistors. *Biosen-*

sors and Bioelectronics, <http://dx.doi.org/10.1016/j.bios.2012.06.031>).

Dies ist nach drei Jahren der Aufbauarbeit ein toller Erfolg für die noch junge Arbeitsgruppe und ein Beweis für die international anerkannte, qualitativ hochwertige Forschungsarbeit an der Fachhochschule Kaiserslautern im Fachbereich Informatik und Mikrosystemtechnik. Mittlerweile ist die Arbeitsgruppe auf sechs Doktoranden und vier promovierte Wissenschaftler angewachsen. Die Forschungsarbeiten werden durch das Bundesministerium für Bildung und Forschung, durch die Europäische Union im 7. Rahmenprogramm und durch direkte Kooperationsprojekte mit Industriepartnern gefördert. Die Arbeiten sind in die Aktivitäten des Forschungsschwerpunktes Integrierte Miniaturisierte Systeme (IMS) eingebettet.



Abb. 1 (links): Mitarbeiter der AG Biomedizinische Messtechnik im Gartenbereich des Konferenzhotels. Von links nach rechts: Dr. Xuan-Thang Vu, Anna Susloparova, Dr. Maryam Weil, Dieter Koppenhöfer, Dr. Jessica Ka-Yan Law, Prof. Dr. Sven Ingebrandt

Abb. 2 (rechts): Mitarbeiter der AG Biomedizinische Messtechnik während der Posterpräsentation

# Approximation vermessener Reflektanzfunktionen durch nichtlineare Parameterschätzung

Stefan Häfner

**Abstract:** Seit einigen Jahren existieren Reflektanzfunktionen vermessener Materialien. In dieser Arbeit sollen Techniken der nichtlinearen Ausgleichsrechnung herangezogen werden, um Parameter analytischer Beleuchtungsmodelle so zu wählen, dass diese den vermessenen Materialien weitestgehend entsprechen.

Dieser Beitrag über die Abschlussarbeit von Stefan Häfner wurde bei den Informatiktagen 2011, B-IT in Bonn vorgestellt. Betreuer der Arbeit war Prof. Dr. Manfred Brill.

## 1 Einleitung

Seit einigen Jahren werden insbesondere bei qualitativ hochwertigen Produktrenderings in der Automobilindustrie vermessene Reflektanzfunktionen verwendet. Diese Daten haben ihren Ursprung in reellen Materialien, die mit entsprechenden Geräten wie z. B. einem Goniospektrometer vermessen wurden. Vorteil dieses Verfahrens ist eine realistischere Darstellung im gerenderten Bild, nachteilig sind der erhöhte Speicherbedarf und die Unveränderbarkeit vermessener Materialien. In dieser Arbeit wird der Ansatz verfolgt, die Messdaten mittels analytischer Beleuchtungsmodelle zu approximieren. Dieser Ansatz ist nicht neu, es existieren eine Reihe von Arbeiten, die die nichtlineare Parameterschätzung bei Beleuchtungsmodellen anwenden ([LFTG97, NDM05]).

Diese Arbeit beschreibt die Integration der Parameterschätzung in das OpenBRDF API, das eine neutrale Schnitt-

stelle zwischen Messdaten und Renderer realisiert ([ABLI0]).

## 2 Grundlagen von Reflektanzfunktionen

Bidirektionale Reflektanzverteilungsfunktionen (BRDFs) treffen bei ihrer Verwendung eine Aussage über das Reflexionsverhalten einer Oberfläche, bezogen auf das eingestrahlte Licht ([ESK96]). Genauer gesagt, geben sie die Verteilung der Reflexion des einfallenden Lichtes an. Diese mindestens vierdimensionalen Funktionen bilden die eingegebenen Parameter in einen Farbraum, bspw. RGB oder XYZ ab. Die *Eingabeparameter* sind der Elevationswinkel  $\theta_i$  und Azimutwinkel  $\varphi_i$  des einstrahlenden Lichtes sowie Elevationswinkel  $\theta_o$  und Azimutwinkel  $\varphi_o$  einer Betrachtungsrichtung. Zur Vereinfachung werden die Winkelpaare häufig zu  $\omega_i$  aus  $\theta_i, \varphi_i$  und analog zu  $\omega_o$  zusammengefasst ([BB05]). BRDFs sind als das Verhältnis von ausgehender Strahlungsenergie  $L_o$  und dem Winkelpaar in  $\omega_o$ , zu der auf die Oberfläche auftreffende Strahlungsdichte  $E_i$  und dem Winkelpaar in  $\omega_i$  definiert. Man schreibt:

$$f_r(\theta_i, \varphi_i, \theta_o, \varphi_o) = f_r(\omega_i, \omega_o) = \frac{L_o(\omega_o)}{E_i(\omega_i) \cdot \cos(\theta_i)}$$

Damit physikalisch korrekte Werte generiert werden, müssen Reflektanzfunktionen zwei Eigenschaften erfüllen. Zum einen muss der Energieerhaltungssatz gelten. Dies bedeutet, grob formuliert, dass eine Oberfläche nicht mehr Licht, summiert über alle Richtungen der Hemisphäre, reflektieren kann, als von einer Lichtquelle auf sie eingestrahlt

wird. Auf der anderen Seite muss die Helmholtz-Reziprozität gegeben sein:

$$f_r(\omega_i, \omega_o) = f_r(\omega_o, \omega_i).$$

Ein Beispiel einer physikalisch nicht plausiblen, analytischen Reflektanzfunktion ist in Gleichung 2 dargestellt. Es handelt sich um den spekularen Phong Term in Verbindung mit dem diffusen Lambert-Modell.

$$I = I_{\text{lambert}} + I_{\text{phong}} = \rho_d \cdot \cos(\theta_i) + \rho_s \cdot \cos^n(\alpha)$$

Der Winkel  $\alpha$  ist der Winkel zwischen der Betrachtungsrichtung und der optimalen Reflexionsrichtung des einfallenden Lichtes.  $\rho_d$  und  $\rho_s$  definieren die Farbigkeiten der beiden Terme. Der Exponent  $n$  trifft eine Aussage über Rauheit des modellierten Materials. Dieser Exponent ist ein Beispiel für einen Parameter, der nichtlinear in ein Beleuchtungsmodell eingeht, und der Grund für die Verwendung nichtlinearer Ausgleichsalgorithmen.

## 3 Durchführung der Parameterapproximation

Zur Durchführung der Parameterapproximation wurde, dem Vorbild von Lafortune et al. in [LFTG97] folgend, das Verfahren von Levenberg und Marquardt verwendet ([Lev44, Mar63]). Dieses und ähnliche Verfahren arbeiten iterativ in Richtung einer Lösung des nichtlinearen Ausgleichproblems, ausgehend von einer initialen Schätzung der gesuchten Parameter. Das Konvergenzverhalten dieser Verfahren hängt sehr stark von diesen Startwerten ab, da es sich um lokale Optimierer handelt ([MNT04]). Entsprechend können bei

verschiedenen Startwerten verschiedene Lösungen unterschiedlicher Qualität gefunden werden. Die Tatsache, dass eine vermessene Reflektanzfunktion i.d.R. durch eine diffuse und mindestens eine spekulare, analytische Funktion approximiert werden muss, macht es notwendig, einige Überlegungen bezüglich des Aufbaus der Parameterapproximation anzustellen.

Die durchgeführten Untersuchungen zeigen, dass die Algorithmen zur nichtlinearen Optimierung deutlich langsamer und instabiler werden, je mehr Parameter approximiert werden müssen. Darüber hinaus muss die Schätzung der Startparameter bereits nahe am zu findenden Optimum liegen. Aus diesem Grund wurde im Rahmen dieser Arbeit ein Verfahren entwickelt, das die zu schätzenden Parameter in mehreren Schritten approximiert.

Das Verfahren macht sich die Additivität der Beleuchtungsmodelle zunutze: Ausgehend von einer vermessenen Reflektanzfunktion  $U$  sowie zwei zu approximierenden Funktionen  $F_1$  und  $F_2$ , kann nach einem ersten Optimierungsschritt angenommen werden, dass  $F_1$  etwa  $U$  entspricht. Es ist davon auszugehen, dass nach diesem Schritt eine Differenz zwischen den beiden Funktionen besteht. Diese Differenz wird in einer Nachiteration durch  $F_2$  approximiert:  $U - F_1 \approx F_2$ .

Die Reihenfolge der Optimierungsschritte spielt in der Anwendung eine Rolle, was Abbildung 1 verdeutlicht. Das Material der linken Kugel wurde zuerst durch den spekularen Ashikhmin-Shirley-Term ([AS00]) approximiert und im zweiten Schritt durch den diffusen Lambert-Term (siehe Gleichung 2). Das Material der rechten Kugel wurde in vertauschter Reihenfolge approximiert. Dieser Freiheitsgrad muss bei der Zusammenstellung der Optimierungsschritte berücksichtigt werden.



Abb. 1:  
Ergebnis bei gleichen Optimierungsschritten in unterschiedlicher Reihenfolge.

#### 4 Fazit und Ausblick

Der vorgestellte Ansatz ermöglicht es, die Parameter analytischer Reflektanzfunktionen so zu approximieren, sodass das Resultat weitestgehend einem vermessenen Material entspricht.

Die erstellten Ergebnisse sind von guter Qualität, wie Abbildung 2 in einem Beispiel, unter Verwendung von zwei spekularen Ward-Dür-Termen (neue Formulierung aus [GD10]) und dem Lambert-Modell, verdeutlicht. Zur Erzielung guter Ergebnisse ist es notwendig, ausreichend gute Startparameter zu erstellen und eine konsistente Reihenfolge von Optimierungsvorgängen aufzustellen. Um diesen Vorgang zu unterstützen, muss die im Rahmen der Arbeit erstellte Software zur Definition der Parameterapproximation ausgebaut und optimiert werden.

#### 5 Danksagung

Diese Arbeit wurde vom Bundesministerium für Bildung und Forschung im Rahmen von FHprofUnt im Projekt OpenBRDF unterstützt. Ferner gilt Matusik et al. Dank für die Bereitstellung der MERL-Materialien ([MPBM03]).

**Kontakt:** [manfred.brill@fh-kl.de](mailto:manfred.brill@fh-kl.de)

#### Literatur

[ABL10] Alberternst, Sebastian, Brill, Manfred und Laininger, Markus. OpenBRDF – An Open Toolkit for Reflection and Transmittance Distribution Functions. In *High Performance Graphics*, 2010. Postersession.

[AS00] Ashikhmin, Michael und Shirley, Peter. An anisotropic phong BRDF model. *J. Graph. Tools*, 5(2):25–32, 2000.

[BB05] Bender, Michael und Brill, Manfred. *Computergrafik – ein anwendungsbezogenes Lehrbuch*, 2. Auflage. Hanser, 2005.

[ESK96] Encarnacao, Jose L., Straßer, Wolfgang und Klein, Reinhard. Graphische Datenverarbeitung, in 2 Bdn., Bd.1, *Gerätetechnik, Programmierung und Anwendung graphischer Systeme*. Oldenbourg, 1996.

[GD10] Geisler-Moroder, David und Dür, Arne. A New Ward BRDF Model with Bounded Albedo. In *Eurographics Symposium on Rendering 2010*, 2010.

[Lev44] Levenberg, Kenneth. A Method for the Solution of Certain Non-Linear Problems in Least Square. *The Quarterly of Applied Mathematics*, 2:164–168, 1944.

[LFTG97] Eric P. F. Lafortune, Sing-Choong Foo, Kenneth E. Torrance und Donald P. Greenberg. Non-linear approximation of reflectance functions. In *SIGGRAPH 1997*, Seiten 117–126. ACM Press/Addison-Wesley Publishing Co., 1997.

[Mar63] Marquardt, Donald. An Algorithm for Least-Squares Estimation of Nonlinear Parameters. *SIAM Journal on Applied Mathematics*, 11:431–441, 1963.

[MNT04] Madsen, K., Nielsen, H. B. und Tingleff, O. Methods for Non-Linear Least Square Problems. Course Notes, April 2004.

[MPBM03] Matusik, Wojciech, Pfister, Hans-Peter, Brand, Matt und McMillan, Leonard. A datadriven reflectance model. In *SIGGRAPH '03*, Seiten 759–769. ACM, 2003.

[NDM05] Ngan, Addy, Durand, Fredo und Matusik, Wojciech. Experimental Analysis of BRDF Models. In *Eurographics Symposium on Rendering (2005)*, 2005.

# GESt-Forschungsergebnisse auf mehreren internationalen Konferenzen präsentiert

**Prof. Dr. Walter Ruda, Prof. Dr. Thomas A. Martin,  
M.A. Diplom-Betriebswirt (FH) Benjamin Danko**

Im Rahmen der von Prof. Dr. Walter Ruda geleiteten GESt-Studie (Gründung und Entrepreneurship bei Studierenden), die in Zusammenarbeit mit dem Zentrum für Mittelstands- und Gründungsökonomie (ZMG) Kaiserslautern-Zweibrücken-Ludwigshafen-Rafaella durchgeführt wird, wurden seit 2008 verschiedene Forschungsergebnisse auf mehreren internationalen Konferenzen präsentiert.

So entstanden 2008 Veröffentlichungen im Rahmen des World Entrepreneurship Summit (WES) in London und der International Council for Small Business (ICSB) World Conference in Halifax. 2009 schlossen sich Publikationen für die „Eurasia Business and Economics Society“ (EBES) in Istanbul, „Management, Enterprise and Benchmarking“ (MEB) in Budapest, „ICSB“ in Seoul, „Red Pymes Mercosur“ (Mittelstandnetzwerk Lateinamerika) in Santa Fe, Argentinien und für das G-Forum in Leipzig an, gefolgt von Beiträgen in 2010, namentlich EBES in Istanbul, MEB in Budapest, ICSB in Cincinnati, Ohio und Red Pymes in Mendoza.

Auch in 2011 und 2012 wurden Konferenzbeiträge des Forschungsteams um Prof. Dr. Walter Ruda, Prof. Dr. Thomas A. Martin, Prof. Dr. Rubén Ascúa von den Partnerhochschulen in Buenos Aires und Rafaella, Prof. Dr. Wolfgang Gerstlberger von der University of Southern Denmark sowie Benjamin Danko, Masterabsolvent der Graduate School of Management Zweibrücken positiv begutachtet.

Im Rahmen der GESt-Studie werden

Studierende in diversen Ländern zu „unternehmerischen Kriterien“ wie Motiven, Hürden und Unterstützungsbedürfnissen im Gründungskontext befragt, um Erkenntnisse über den Vorgründungsprozess und den zielgruppengerechten und zielgruppendifferenzierten Ausgestaltungsbedarf von Gründungsförderprogrammen in einem internationalen Kontext zu erlangen.

Auf der 2nd International Conference on Small Businesses and Entrepreneurship, 2011 in Nikosia, Nord-Zypern präsentierte Prof. Dr. Ruda den gemeinsam mit den Professoren Dr. Martin, Dr. Ascúa und Dr. Gerstlberger sowie Benjamin Danko entstandenen Beitrag „Effects of the Economic Crisis on Engineering and Informatics Students' Entrepreneurial Criteria“. Der im Vorfeld positiv begutachtete Beitrag wurde in die Konferenz-Proceedings aufgenommen. Der Beitrag basiert auf einer Datenbasis von 854 Studierenden, die vor der Wirtschaftskrise, und 810 Studierenden, die während der Krise befragt wurden. Beide Stichproben umfassen Studierende der Ingenieurwissenschaften und der Informatik an vier deutschen Hochschulen. Interessanterweise zeigten die Studierenden vor der Krise ein größeres Interesse an einer Gründung und waren besser informiert als die Studierenden während der Krise. Der Vortrag stieß auf hohes Interesse bei den Konferenz-Teilnehmern, zumal (studentische) Unternehmensgründungen positive Effekte auf wirtschaftliches Wachstum, Strukturwandel und damit auch auf Beschäftigung ausüben. In diesem

Zusammenhang kommt insbesondere den Hochschulen eine äußerst wichtige Funktion als „Gründungs-Promotor“ zu. Aus Inventionen werden Innovationen, die vermehrt von Studierenden und Akademikern erschlossen und weiterentwickelt werden. Der Besuch dieser Konferenz diente auch dazu, die internationalen Kontakte weiter auszuweiten.

Auf dem „I Congreso Internacional de la Red de Integración Latinoamericana“, 2011 in Santa Fe, Argentinien präsentierte Prof. Dr. Ascúa den Beitrag „Señales de entrepreneurship a partir de una comparación entre muestras de estudiantes alemanes y argentinos“, der zusammen mit Prof. Dr. Ruda, Prof. Dr. Martin und Benjamin Danko entstanden ist und in den Konferenz-Proceedings abgedruckt wurde. Prof. Dr. Ascúa lehrt an der Universidad Tecnológica Nacional – Facultad Regional Rafaella, an der Universidad Nacional de General Sarmiento in Buenos Aires sowie an der Universidad Nacional del Litoral in Santa Fe, Argentinien und zudem als Gastprofessor im Master „International Finance and Entrepreneurship“ des Fachbereichs Betriebswirtschaft der FH Kaiserslautern. Neben seinen beiden Funktionen als Präsident von Red Pymes Mercosur (Mittelstandnetzwerk in Lateinamerika) und ICSB Argentina (Affiliate des ICSB) wurde Prof. Dr. Ascúa kürzlich zum Senior Vice-President, Marketing des ICSB gewählt. Zudem leitet Prof. Dr. Ascúa den argentinischen Forschungsstandort des ZMG. Auf der 9th International Conference on Management, Enterprise and

Benchmarking (MEB), 2011 in Budapest präsentierte Prof. Dr. Ruda den mit seinen Koautoren Prof. Dr. Martin, Prof. Dr. Wolfgang Arnold von der Technischen Hochschule Mittelhessen und Benjamin Danko entstandenen Forschungsbeitrag „Einflussfaktoren auf Gründungsdispositionen und Entrepreneurship-Merkmalen von Studierenden – Ein Vergleich von Russland und Deutschland“. Mit Unterstützung russischsprachiger Zweibrücker Studentinnen konnte die Umfrage an zehn Hochschulen in Russland durchgeführt werden. In Russland ist die Motivation zur Gründung eines eigenen Unternehmens bei Studierenden stärker als in Deutschland. Dies ist jedoch auch auf wirtschaftliche Sachzwänge zurückzuführen. Während die Studierenden länderübergreifend fehlendes Eigenkapital als größte Schwierigkeit einstufen, fühlen sich die Deutschen gut qualifiziert ein Unternehmen zu führen. In Russland sind die Studierenden wenig überzeugt, dass ihr Studium sie für das Management eines eigenen Unternehmens vorbereitet. In Folge dessen werden in Russland zwar schneller Unternehmen gegründet, aber deren Erfolgsquote ist dann auch geringer als in Deutschland.

Auf der ICSB World Conference 2011 in Stockholm präsentierte Benjamin Danko den zusammen mit den Professoren Dr. Ruda, Dr. Martin, Dr. Ascúa und Dr. Gerstlberger erarbeiteten Beitrag „Comparing Entrepreneurial Criteria of Students in Germany and China within the Pre-start-up Process“. Die Ergebnisse verdeutlichen u. a., dass die chinesischen Studierenden stärker aus dem Selbstverwirklichungsmotiv heraus gründen möchten, während ihre Kommilitonen aus Deutschland stärker vom „Notgründungsmotiv“ getrieben werden. Trotz der deutlich positiver ausgeprägten Gründungsförderinfrastruktur hierzulande können die Studierenden in Deutschland im Ländervergleich mit China ferner als deutlich gründungsängstlicher eingestuft werden. Diesen

kulturbedingten Gründungsbarrieren in Deutschland kann insbesondere durch die Ausgestaltung bedarfsgerechter Gründungsförderprogramme begegnet werden – mit positiven Wirkungen auf die Generierung von Geschäftsideen sowie deren Vermarktung. Der Beitrag fand, nicht zuletzt vor dem Aufstieg Chinas zur Wirtschafts-Weltmacht, sehr große Beachtung. China hat mittlerweile Deutschland den imagerächtigen Rang als Exportweltmeister abgelassen. Auf der 14th McGill International Entrepreneurship Conference, 2011 in Odense, Dänemark präsentierte Benjamin Danko den zusammen mit den Professoren Dr. Ruda, Dr. Martin, Dr. Ascúa und Dr. Gerstlberger entstandenen Forschungsbeitrag „Influencing Factors of the Economic Crisis on Business Students' Entrepreneurial Characteristics – An Example from Germany“. Über 600 BWL-Studierende wurden vor der Wirtschaftskrise und mehr als 300 BWL-Studierende wurden während der Wirtschaftskrise an deutschen Hochschulen befragt. Die Zielgruppe der Betriebswirtschaftslehre ist besonders relevant, da Studierende bzw. Absolventen dieses Studienganges nicht nur zweckinduzierte Innovationen hervorbringen, sondern auch im Rahmen der am erfolgreichsten eingestuftem komplementären Teamgründungen positiv zum Wirtschaftswachstum beitragen und hochqualifizierte Arbeitsplätze für weitere Akademiker schaffen. Gerade in konjunkturell schwierigen Zeiten „flüchten“ in Deutschland viele in die berufliche Selbstständigkeit. Dieses stärkere Notgründungsmotiv zeigen auch die während der Krise befragten Studierenden, allerdings auch geringere Gründungsaktivitäten und einen später antizipierten Gründungszeitpunkt. Zwar schätzen sie das Gründungsklima besser ein als die vor der Krise Befragten, verfügen aber seltener über Geschäftsideen und haben sich seltener mit dem Unternehmertum konkret auseinandergesetzt. Die Aufgabe der Hochschulen ist es, ihre Studierenden

für das Thema zu sensibilisieren und ihnen mit Unterstützungsangeboten den potenziellen Weg in die eigene Unternehmensgründung zu erleichtern, was sich förderlich auf das chancengetriebene Unternehmertum und somit auf den volkswirtschaftlichen Wohlstand auswirkt.

Auf der 10th International Conference on Management, Enterprise and Benchmarking (MEB), 2012 in Budapest präsentierte Prof. Dr. Ruda das mit seinen Koautoren Prof. Dr. Martin, Benjamin Danko und Dr. Agnieszka Kurczekskas von der Universität Lodz entstandene Forschungspapier „Existenzgründungsintentionen von Studierenden – Ein Entrepreneurship-Vergleich von Polen und Deutschland. Der Beitrag basiert auf annähernd 700 Fragebögen aus Deutschland und über 200 aus Polen. Den Ergebnissen zufolge sind die Studierenden in Deutschland gründungsgeneigter als ihre polnischen Kommilitonen. Dennoch prognostizieren die Studierenden in Polen normalerweise eine höhere Gründungswahrscheinlichkeit, die auch auf das in diesem Land höhere Vorhandensein von Gründungsideen zurückführbar ist, genauso wie auf das stärkere Motiv, im Rahmen einer selbständigen Tätigkeit eigene Ideen umzusetzen. Trotz der von den Studierenden in Deutschland normalerweise stärker wahrgenommenen Gründungshürden, betrachten sie das nationale Gründungsklima positiver als die Studierenden in Polen, sind allerdings auch stärker vom Notgründungsmotiv getrieben. Allerdings sind nicht nur in Deutschland die Studierenden verstärkt an die Option der beruflichen Selbstständigkeit bzw. an das chancengetriebene Unternehmertum heranzuführen, bedenkt man doch den hohen Anteil an Gründungslaien, die sich noch gar nicht mit dem Thema Gründung auseinandergesetzt haben, in beiden Ländern.

**Kontakt:** [walter.ruda@fh-kl.de](mailto:walter.ruda@fh-kl.de)

# Lehrbuch

## Empirische Datenanalyse & Marktforschung

Prof. Dr. Marc Piazolo

Mit diesem Lehrbuch wird eine Brücke zwischen der Marktforschung einerseits und der empirischen Datenanalyse andererseits geschlagen. Es erschien im März 2011 bei BoD, Norderstedt und richtet sich sowohl an Praktiker als auch an Studierende.

Als Praktiker wollen Sie neue Produkte oder Dienstleistungen am Markt platzieren – oder erfahren, wie die Wünsche ihrer Kunden ausfallen. Die Alternative zu konventionellen Marktforschungsinstituten ist eine eigene Marktuntersuchung. Welche Metho-

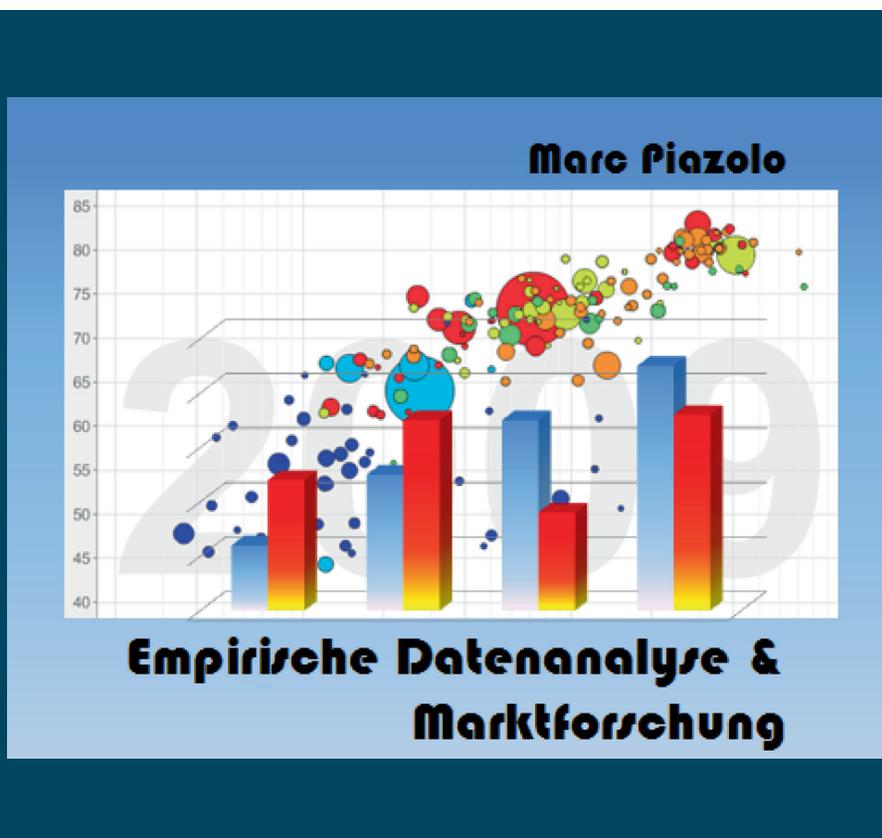
den Ihnen dabei zur Verfügung stehen und worauf Sie bei der Durchführung und Interpretation der Ergebnisse achten müssen, erfahren Sie in der ersten Hälfte der Publikation.

Für Studierende im Fach Statistik bietet der zweite Teil eine anschauliche und praxisnahe Einführung in die Welt der Zahlen. Es enthält viele Beispiele, Übungsaufgaben sowie Anleitungen für Berechnungen in dem Tabellenkalkulationsprogramm Excel. Der Schwerpunkt liegt dabei in der beschreibenden Statistik inklusive der Regressionsanalyse.

Das Lehrbuch ist als Grundlage für das Selbststudium konzipiert. Dabei kommt dem Autor die langjährige Erfahrung als Dozent in Fernstudiengängen zugute.

Ebenfalls in 2011 wurde die erweiterte 2. Auflage von *Statistik für Wirtschaftswissenschaftler*, Verlag Versicherungswirtschaft, Karlsruhe veröffentlicht. Dieses – deutlich umfangreichere – Lehrbuch richtet sich an Studierende und Interessierte, die sich eingehender mit der deskriptiven und induktiven Statistik beschäftigen wollen.

**Kontakt:** [marc.piazolo@fh-kl.de](mailto:marc.piazolo@fh-kl.de)



# Lehrbuch – Kurzporträt des Beitrages „Mathematik“ zu den „Schneider Bautabellen für Ingenieure“

Prof. Dr. Kerstin Rjasanowa

## Schneider Bautabellen für Ingenieure

Mit Berechnungshinweisen und Beispielen

Herausgeber: Alfons Goris

20. Auflage 2012

Werner Verlag

ISBN 978-3-8041-5251-9

Erschienen :

2012 Wolters Kluwer Deutschland GmbH, Köln



Für mich war es eine große Ehre, den Beitrag „Mathematik“ für die 20. Auflage der „Schneider Bautabellen für Ingenieure“ anzufertigen. Dieses Buch ist seit fast 40 Jahren als Standardwerk für Bauingenieure und Architekten etabliert und stellt ein Kompendium der Grundlagen und Teilgebiete des Bauingenieurwesens dar. In übersichtlicher und einheitlicher Weise sind die wesentlichen und aktuellen Inhalte des breiten Fächerspektrums des Bauwesens dargestellt und durchgängig an Beispielen erläutert, sodass sowohl der Baupraxis als auch den Hochschulen ein anwendungsorientiertes Nachschlagewerk zur Verfügung steht. Umso größer ist für jeden Autor die Verantwortung, die Inhalte der Teilbeiträge aktuell und sinnvoll auszuwählen, in ansprechender Form einprägsam darzustellen und an wesentlichen Beispielen zu illustrieren. Aus meiner über 17-jährigen Vorlesungspraxis zur Mathematik für Bauingenieure an der Fachhochschule

Kaiserslautern habe ich während der Erstellung des Manuskriptes viele Erfahrungen verwendet, aber trotzdem die Aktualität der Inhalte und Beispiele ständig hinterfragt und mich nicht zuletzt auch um eine übersichtliche, wo möglich tabellarische, Darstellung bemüht, die sich in das Gesamtwerk gut einfügt.

Der Beitrag „Mathematik“ ist in die Abschnitte Grundlagen, Lineare Algebra, Vektorrechnung und Analytische Geometrie, Differenzialrechnung, Integralrechnung, Differenzialgleichungen und Wahrscheinlichkeitsrechnung, Statistik untergliedert. Alle Abschnitte enthalten zur Illustration der Theorie praktische Berechnungsbeispiele.

Im Abschnitt **Grundlagen** sind wesentliche trigonometrische und geometrische Formeln, einige grundlegende Regeln zum Rechnen mit reellen Zahlen und oft vorkommende elemen-

tare Funktionen mit ihren Graphen und Eigenschaften enthalten. Sowohl eine Vorstellung über trigonometrische Berechnungen gehört zum Handwerkzeug des Bauingenieurs als auch die Kenntnis über Umfang, Flächeninhalt, Schwerpunkt und Flächenmomente ersten Grades ebener Flächen sowie Volumen und Oberfläche von Körpern.

Der Abschnitt **Lineare Algebra** ist dem Rechnen mit Vektoren und Matrizen, wichtigen Eigenschaften von Matrizen, Determinanten und dem Lösen linearer Gleichungssysteme gewidmet, was für viele Anwendungsaufgaben des Bauingenieurwesens erforderlich ist. Da die Formulierung der Gleichungssysteme und Algorithmen zu ihrer Lösung mit Matrizen, Vektoren und Determinanten erfolgt, ist der sichere Umgang mit diesen Objekten notwendig und das Rechnen damit als technische Voraussetzung anzusehen.

Im Abschnitt **Vektorrechnung und Analytische Geometrie** sind grundlegende Begriffe der Vektorrechnung, ebene und räumliche Koordinatensysteme und darauf basierend Berechnungen der Analytischen Geometrie der Ebene und des Raumes dargestellt. Das Bauingenieurwesen beruht fast in allen seinen Bereichen auf geometrischen Gegebenheiten und Berechnungen, so dass diesem Abschnitt eine besondere Bedeutung zukommt.

Der Abschnitt **Differenzialrechnung** enthält den Begriff der Ableitung einer Funktion einer Veränderlichen und verschiedene Anwendungen. Die Begriffe Differenzenquotient, Ableitung, höhere Ableitung und Differenzial sind in aller Knappheit erklärt und oft benötigte Ableitungen elementarer Funktionen sowie Ableitungsregeln in Tabellen zusammengestellt.

Der Abschnitt **Integralrechnung** untergliedert sich in das unbestimmte, das bestimmte Integral und in Anwendungen. Erklärt wird der Begriff des unbestimmten und des bestimmten Integrals und die Verwendung des unbestimmten Integrals bei der Berechnung bestimmter Integrale. Eine Tabelle von unbestimmten Standardintegralen sowie von Integrationsregeln vervollständigt die knappe theoretische Übersicht. Größerer Raum ist der numerischen Integration (mit Anwendung der praktikablen Berechnung von Klothoiden) sowie der Berechnung von Flächen, Kurvenlängen, Momenten und Schwerpunkten in der Ebene und von Rotationskörpern mit eindimensionalen bestimmten Integralen eingeräumt.

Der Abschnitt **Differenzialgleichungen** beschäftigt sich mit im Bauingenieurwesen oft vorkommenden Gleichungstypen: Differenzialgleichungen erster Ordnung, Lineare Differenzialgleichungen höherer Ordnung mit konstanten Koeffizienten und Anwendungen. Dargestellt ist die Methode

der Trennung der Variablen sowie ein Algorithmus zur Lösung linearer Differenzialgleichungen erster Ordnung mit variablen Koeffizienten, bei denen die Methode der Trennung der Variablen und die Methode der Variation der Konstanten zum Einsatz kommt.

Der Abschnitt **Wahrscheinlichkeitsrechnung, Statistik** ist untergliedert in die Grundbegriffe der Wahrscheinlichkeitsrechnung, Zufallsvariablen und deren Verteilungen, Verteilungen von Funktionen von Zufallsvariablen, statistische Schätzverfahren und statistische Prüfverfahren. Wichtige Grundbegriffe der Wahrscheinlichkeitsrechnung und Berechnungen von Wahrscheinlichkeiten als Voraussetzung für das Verständnis der Statistik sind knapp und übersichtlich in einer Tabelle enthalten, ergänzt durch ein Beispiel. Der grundlegende Begriff der Verteilungsfunktion einer Zufallsvariable ist erklärt. Für oft verwendete spezielle diskrete und

stetige Verteilungen sind deren Eigenschaften, Verteilungsdichte, -funktion sowie Erwartungswert und Varianz in Tabellen angegeben.

Bei der Konzeption des Beitrages Mathematik hatte ich eine sehr offene und konstruktive Diskussion mit dem Herausgeber Prof. A. Goris, der extra dazu nach Kaiserslautern gekommen war. Bei ihm möchte ich mich herzlich bedanken für die geduligen und sachkundigen Hinweise und Ratschläge auch während der gesamten Entstehungsphase. Nicht zuletzt gilt mein Dank den Studierenden im ersten Masterstudiengang des Studiengangs Bauingenieurwesen der Fachhochschule Kaiserslautern, die eine Durchsicht und das Nachrechnen der Beispiele der meisten Abschnitte vornahmen und mich in ebenso offenen Diskussionsrunden zu Veränderungen und Verbesserungen anregten.

**Kontakt:** kerstin.rjasanowa@fh-kl.de

2.24 Mathematik

### 5.3 Anwendungen

Fläche	Bogenlänge, Sektor	Rotationskörper

**Flächeninhalt, Bogenlänge**

Koordinaten	Fläche F	Sektor F <sub>S</sub>	Bogenlänge l
$y = f(x), x_1 < x_2$ $y = f(x), x_1 < x_2$ $y = f(x), x_1 < x_2$	$\int_{x_1}^{x_2}  y  dx$ $\frac{1}{2} \int_{x_1}^{x_2} (x^2 - y^2) dx$ $\int_{x_1}^{x_2} \sqrt{1 + y'^2} dx$	$\frac{1}{2} \int_{x_1}^{x_2} (x^2 - y^2) dx$ $\int_{x_1}^{x_2} \sqrt{1 + y'^2} dx$	$\int_{x_1}^{x_2} \sqrt{1 + y'^2} dx$

**Rotationskörper**

Der Index  $x$  bzw.  $y$  gibt die Rotationsachse an.  $\varphi = \arcsin$  Umkehrfunktion von  $\sin$ .  
 $x_1 < x_2, y_1 < y_2, z_1 < z_2, y_1 < y_2, z_1 < z_2, y_1 < y_2, z_1 < z_2$

Volumen	Mantelfläche
$V = \pi \int_{x_1}^{x_2} y^2 dx$ $V_S = \pi \int_{x_1}^{x_2} y^2  dx $ $V_0 = \pi \int_{x_1}^{x_2} \varphi^2  y  dx$	$O_1 = 2\pi \int_{x_1}^{x_2}  y  \sqrt{1 + y'^2} dx$ $O_2 = 2\pi \int_{x_1}^{x_2} \varphi  y  \sqrt{1 + \varphi'^2} dy$

**Momente, Koordinaten des Schwerpunktes**

Der Index  $x$  bzw.  $y$  gibt die Bezugsachse an.  $x_1, y_1$  - Koordinaten des Schwerpunktes der Fläche, der Kurve bzw. des Rotationskörpers bei der Rotation um die  $x$ -Achse,  $x_1 < x_2$

Moment	Flächenmoment 1. Grades	Statisches Moment	Statisches Moment
$M_x = \int_{x_1}^{x_2} x y^2 dx$ $M_y = \int_{x_1}^{x_2} x^2 y dx$	$S_x = M_y/F$ $S_y = M_x/F$	$S_x = M_y/V$ $S_y = M_x/V$	$S_x = M_y/V$ $S_y = M_x/V$

**Beispiel:**  
 Gegeben ist die Funktion  $y = f(x) = \sin(x)$  mit  $x \in [0, \pi/2]$ . Gesucht ist der Inhalt der Fläche  $F$  zwischen dem Graphen von  $f$  und der  $x$ -Achse, ihr Schwerpunkt und das Volumen des Rotationskörpers bei der Rotation von  $F$  um die  $x$ -Achse (vgl. Abschnitt 3.2).

### Differenzialgleichungen

2.27

Alternativ Ansatz mit Variation der Konstanten:  $y_{inh} = c_1 \cos(x) + c_2 \sin(x)$ . Gleichungssystem für  $c_1$  und  $c_2$ :  
 $\begin{pmatrix} \cos(x) & \sin(x) \\ -\sin(x) & \cos(x) \end{pmatrix} \begin{pmatrix} c_1 \\ c_2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \end{pmatrix}$

Lösung:  $c_1 = \frac{1}{2}, c_2 = -\frac{1}{2}$ . Integration:  $c_1(x) = -\frac{1}{2} \cos(x), c_2(x) = \frac{1}{2} \sin(x)$ . Partikuläre Lösung:  $y_{part} = -\frac{1}{2} \cos(x) + \frac{1}{2} \sin(x)$ .

Allgemeine Lösung der Bestimmungsgleichung:  $y_{inh} = y_{inh} + y_{part} = c_1 \cos(x) + c_2 \sin(x) - \frac{1}{2} \cos(x) + \frac{1}{2} \sin(x)$ .  $c_1, c_2 \in \mathbb{R}$ .

### 6.3 Anwendungen

#### Randbedingungen für die Biegelinie eines Balkens

Lagerart, $w = \text{Durchbiegung}$	Randbed.	Lagerart, $w = \text{Durchbiegung}$	Randbed.
festes oder verschiebliches Auflager	$w = 0$	festes oder verschiebliches Auflager	$M_x = 0$
fest, geradlinig eingespannt	$w = 0$	fest, unter Winkel $\varphi_0$ eingespannt	$w = 0$
frei, ohne Last	$w'' = 0$	frei, Moment $M_0$ , Kraft $F_0$	$M_x = -M_0/(EI)$ $w'' = -F_0/(EI)$

**Knickkraft nach Euler am Stab**  
 Ein beidseitig gelenkig gelagerter Stab der Länge  $l$  mit konstanter Biegesteifigkeit  $EI$  erhält eine Druckbelastung  $N$ . Gesucht ist die Kraft  $N = N_k$  (Knickkraft nach Euler), bei der das seitliche Ausknicken des Stabes einsetzt.

**Randwertaufgabe für die Biegelinie  $w$ :**  
 $w'' + k^2 w = 0, 0 < x < l$   
 $w(0) = 0, w(l) = 0$   
 $k = \sqrt{N/(EI)}$

**Charakteristische Gleichung**  
 Allgemeine Lösung:  
 $w(x) = c_1 \cos(kx) + c_2 \sin(kx)$   
 Konstanten  $c_1, c_2$  aus Randbedingungen  
 $x = 0: c_1 = 0, x = l: c_2 \sin(kl) = 0$   
 $c_2 \neq 0$  nur dann, wenn  $\sin(kl) = 0$   
 $kl = n\pi, n = 0, \pm 1, \pm 2, \dots$ , d. h.  $k = n\pi/l$   
 Knickkraft nach Euler:  
 $N_k = n^2 \pi^2 EI / l^2$   
 Gleichung der zugehörigen Biegelinie:  
 $w(x) = c_2 \sin(n\pi x / l), c_2 \in \mathbb{R}, n = 1, 2, \dots$

Da  $c_2$  eine beliebige reelle Zahl ist, ist es lediglich möglich, die Form des gebogenen Stabes zu bestimmen, nicht aber seine tatsächliche Durchbiegung. Von praktischer Bedeutung ist die Knickkraft  $N_k = n^2 \pi^2 EI / l^2$  für  $n = 1$ , da diese bereits zum Versagen des Stabes führt.

**Biegelinie eines Balkens**  
 Ein beidseitig gelenkig gelagerter Balken der Länge  $l$  mit konstanter Biegesteifigkeit  $EI$  ist mit konstanter Strecklast  $q_0$  belastet. Gesucht ist die Gleichung der Biegelinie  $w$ .

**Randwertaufgabe für die Biegelinie  $w$ :**  
 $EI w'''' = q_0, 0 < x < l$   
 $w(0) = 0, w(l) = 0$   
 $w'(0) = 0, w'(l) = 0$

**Charakteristische Gleichung**  
 Allgemeine Lösung (homogen):  
 $w(x) = c_1 + c_2 x + c_3 x^2 + c_4 x^3$   
 Partikuläre Lösung der Bestimmungsgleichung:  
 $w_{inh}(x) = q_0 x^4 / (24EI)$   
 Allgemeine Lösung der Bestimmungsgleichung:  
 $w(x) = c_1 + c_2 x + c_3 x^2 + c_4 x^3 + q_0 x^4 / (24EI)$   
 Konstanten  $c_1, c_2, c_3, c_4$  aus den Randbedingungen:  
 $x = 0: c_1 = 0, c_2 = 0$   
 $x = l: c_4 = -q_0 l / 12, c_3 = q_0 l^2 / 24$   
 Gleichung der Biegelinie:  
 $w(x) = q_0 (l^3 x^2 - 2l x^3 + x^4) / (24EI)$

Bild 1: Aus dem Abschnitt Integralrechnung

Bild 2: Aus dem Abschnitt Differenzialgleichungen

# Ansprechpartner und Adressen

## Präsident

Prof. Dr. Konrad Wolf  
Morlauterer Str. 31  
67657 Kaiserslautern

## Vizepräsident

Prof. Dr. Hans-Joachim Schmidt  
Morlauterer Str. 31  
67657 Kaiserslautern

## Kanzler

Rudolf Becker  
Morlauterer Straße 31  
67657 Kaiserslautern

## Dekane der Fachbereiche

### Angewandte Ingenieurwissenschaften

Prof. Dr. Thomas Reiner, Morlauterer Straße 31, 67657 Kaiserslautern

### Angewandte Logistik- und Polymerwissenschaften

Prof. Dr. Ludwig Peetz, Carl-Schurz-Straße 1, 66953 Pirmasens

### Bauen + Gestalten

Prof. Gregor M. Rutrecht, Schoenstraße 6, 67659 Kaiserslautern

### Betriebswirtschaftslehre

Prof. Dr. Gunter Kürble, Amerikastraße 1, 66482 Zweibrücken

### Informatik und Mikrosystemtechnik

Prof. Dr. Oliver Müller, Amerikastraße 1, 66482 Zweibrücken

### Referat Forschung und Projektkoordination

Dr. Susanne Schohl, Morlauterer Straße 31, 67657 Kaiserslautern

### Referat Wirtschaft und Transfer

Dipl.-Ing. Anja Weber, Morlauterer Straße 31, 67657 Kaiserslautern

