

Forschungsbericht

2016



Herausgegeben in Zusammenarbeit mit:



reine
Produktivität

Herding
FILTERTECHNIK



**FILTERANLAGEN // SINTERLAMELLENFILTER
SYSTEMLÖSUNGEN // SICHERHEITSTECHNIK
ZUBEHÖR // SERVICE**

Herding® FILTERTECHNIK

herding.de

Herding GmbH Filtertechnik // August-Borsig-Str. 3 // 92224 Amberg // Deutschland
Tel.: +49 9621 630-0 // Fax: +49 9621 630-120 // Mail: info@herding.de

Liebe Leserin, lieber Leser,

die OTH Amberg-Weiden gestaltet Zukunft. In der Lehre bilden wir die Fachkräfte von morgen aus und in der Forschung finden wir Antworten auf künftige Herausforderungen. Das machen wir gemeinsam mit Partnern aus der Wirtschaft. So stellen wir sicher: Unsere Absolventinnen und Absolventen sind bestens für die Anforderungen in modernen Unternehmen gerüstet, mit unseren Forschungsergebnissen schaffen wir Mehrwert für die beteiligten Unternehmen. Unsere Forschungsphilosophie lässt sich folgendermaßen charakterisieren:

Wir forschen anwendungs- und lösungsorientiert.

Wir sind eine Hochschule für angewandte Wissenschaften. Wir forschen nicht im luftleeren Raum – unser Know-how fließt direkt in die Entwicklung und Verbesserung von Produkten und Dienstleistungen. Dafür arbeiten wir eng mit renommierten regionalen, nationalen und internationalen Unternehmen zusammen. Diese profitieren von unserer Fachkompetenz und unserer Innovationskraft durch einen effizienten Forschungs- und Technologietransfer.

Wir forschen vernetzt und kooperativ.

Aus der Region für die Region, aus der Praxis für die Praxis – dieser Gründungsauftrag ist unserer Hochschule in die Wiege gelegt worden. Um ihn bestmöglich zu erfüllen, knüpfen wir starke Netzwerke.

So wurde im Rahmen der Jahreskonferenz der Lernenden Energieeffizienz-Netzwerke (LEEN) am 29. September 2015 das „Energieeffizienz-Netzwerk für Unternehmen in Bayern“ als eines von bundesweit sechs LEEN-Netzwerken und einziges Netzwerk in Bayern durch das Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit ausgezeichnet. Die Besonderheit des Netzwerks liegt darin, dass in ihm das Institut für Energietechnik an der OTH Amberg-Weiden (IfE) als Netzwerktträger und auch als energietechnischer Berater fungiert. Ziel des LEEN-Netzwerks ist es, durch eine umfangreiche energetische Bewertung sowie einen regelmäßigen Erfahrungsaustausch Einsparungen von Energiekosten und die Steigerung der Energieeffizienz in den teilnehmenden bayerischen Unternehmen auf den Weg zu bringen.

Unser Technologie-Campus (ATC und WTC) nimmt eine Schlüsselrolle bei der Verzahnung von Wissenschaft und Wirtschaft ein: Hier bringen wir Unternehmerinnen und Unternehmer, Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler sowie Studierende an einem Standort zusammen, um Kräfte und Know-how zu bündeln. Hier wird Tag für Tag Forschung und Entwicklung intensiv gelebt – sie sind die Keimzelle für zukünftige Innovationen.

Eine besonders enge Partnerschaft verbindet uns mit den derzeit 28 Unternehmen des PartnerCircles. Gemeinsam fördern wir gezielt die praxisorientierte Ausbildung der Studierenden und schaffen ein schlagkräftiges Netzwerk zwischen Hochschule und regionaler Wirtschaft. Mit dem Konzept Innovative LernOrte (ILO) bringen wir Studierende und attraktive Studienlandschaften zusammen. Dafür arbeiten wir mit ausgewählten Unternehmen, kommunalen Einrichtungen, Klöstern und örtlichen Bildungseinrichtungen zusammen – Partner, die sich durch eine außergewöhnliche Lernumgebung, speziell ausgestattete Labore, attraktive Räumlichkeiten oder personelle Kompetenzen auszeichnen.

Seit 2013 kooperiert die OTH Amberg-Weiden eng mit unserem Verbundpartner, der OTH Regensburg. Gemeinsam entwickeln wir Lehre, Weiterbildung und Forschung fort und setzen damit Akzente in der ostbayerischen Hochschullandschaft. Im Rahmen der Zusammenarbeit wurden elf Forschungscluster definiert und mit Leben, also konkreten Forschungsprojekten, erfüllt.

Wir forschen für die Zukunft.

Als Hochschule sehen wir uns in der Verantwortung, unseren Beitrag für eine positive gesellschaftliche, ökologische und ökonomische Entwicklung zu leisten. Dieser Verantwortung werden wir in mehrfacher Weise gerecht. Wir unterstützen die regionale Wirtschaft durch Wissens- und Technologietransfer, unsere hervorragend ausgebildeten Absolventinnen und Absolventen stärken die Unternehmen in der Region. So bleibt der Wirtschaftsstandort Ostbayern jetzt und in Zukunft attraktiv!

Neben einer fundierten fachwissenschaftlichen Ausbildung lernen unsere Studierenden auch als Führungskräfte verantwortungsbewusst mit sozialen und ökologischen Fragestellungen umzugehen. Die Aktivitäten hierzu

bündelt das Institut für Nachhaltigkeit in Technik und Wirtschaft. Es arbeitet an der hochschulweiten Integration von Nachhaltigkeitskonzepten in die Handlungsfelder Lehre, Forschung und Hochschulprojekte.

Noch Zukunftsmusik, aber in Hörweite: Mit dem Kompetenzzentrum für Kraft-Wärme-Kopplung in Amberg und dem geplanten E-House in Weiden, in dem ein Kompetenzzentrum für E-Commerce entstehen soll, treiben wir zwei Forschungsthemen voran, die in den kommenden Jahren stark an Bedeutung gewinnen werden.

Das Kompetenzzentrum für Kraft-Wärme-Kopplung, ein vom Bayerischen Staatsministerium für Bildung und Kultus, Wissenschaft und Kunst gefördertes Projekt, bündelt seit 2012 die Forschungsaktivitäten im Bereich der KWK-Technologien. Die Handlungsfelder des Kompetenzzentrums sind die Steigerung der Energieeffizienz und Minderung der Emissionen von KWK-Systemen, die Nutzung biogener Energieträger für KWK-Prozesse, die bedarfsgerechte und flexible Einbindung von KWK-Anlagen in Energiesysteme und die Erforschung und Entwicklung innovativer KWK-Konzepte. Das neue KWK-Gebäude in Amberg wird im Frühjahr 2016 fertiggestellt.

Am OTH-Standort Weiden wurde das „Institut für Medizintechnik“ gegründet. Das IfMZ ist eine wissenschaftliche Forschungseinrichtung und verbindet als zentrale Schnittstelle interdisziplinär alle hochschulbezogenen Aktivitäten zwischen Forschung, Lehre und Industrie auf dem Gebiet der Medizintechnik. Dem Institut steht eine große Bandbreite an Kompetenzen aus den Fachgebieten der Medizin, Molekularbiologie und Technik zur Verfügung. Das IfMZ verzahnt Fragestellungen aus der angewandten medizintechnischen Forschung mit der praxisbezogenen Ausbildung hoch qualifizierter Fachkräfte für das zukunftsweisende Segment der Medizintechnik. Dabei kooperiert das Institut mit zahlreichen Unternehmen aus der medizintechnischen Industrie, Krankenhäusern, Facharztpraxen sowie externen Forschungseinrichtungen.

Prof. Dr. Andrea Klug

Präsidentin der Ostbayerischen Technischen Hochschule Amberg-Weiden

Prof. Dr. Alfred Höß

Vizepräsident der Ostbayerischen Technischen Hochschule Amberg-Weiden
Wissenschaftlicher Leiter des
Instituts für Angewandte Forschung (IAF)

Wir forschen zur Sicherung von Aktualität und Qualität der Lehre.

Die Ergebnisse aus angewandter Forschung und dem Wissenstransfer fließen konsequent in die Lehre, z. B. im Rahmen von Vorlesungen, Projekt- oder Abschlussarbeiten. Hierdurch garantieren wir unseren Studentinnen und Studenten eine Ausbildung auf dem aktuellen Stand in Wissenschaft und Technik. Erfreulich ist die steigende Anzahl bei uns ausgebildeter Studentinnen und Studenten, die nach ihrem Bachelor-/Masterabschluss im Rahmen an der OTH-AW laufender Forschungsprojekte eine kooperative Promotion anstreben.

Die OTH Amberg-Weiden stellt den Unternehmen vor Ort über unsere bisher 4.600 Absolventinnen und Absolventen hoch qualifiziertes Nachwuchspotenzial zur Verfügung. Etwa 80 Prozent von ihnen bleiben in der Region und sind bei hier ansässigen Unternehmen beschäftigt oder selbstständig.

Aktuell studieren an beiden Standorten unserer Hochschule rund 3.500 junge Frauen und Männer in 21 akkreditierten Bachelor- und Master-Studiengängen. Sie werden unterrichtet von 84 Professorinnen und Professoren und von 91 Lehrbeauftragten, die aus der Praxis kommen. Seit September 2015 sind wir zur Systemakkreditierung zugelassen. Es bestehen Kooperationen mit 54 Partnerhochschulen in 28 Ländern.

Wir belegen regelmäßig Spitzenplätze in Hochschulrankings. Besonders positiv hervorgehoben werden neben der hohen Qualität der Lehre, der guten Ausstattung von Laboren und Bibliotheken das Lernen in kleinen Gruppen, die partnerschaftliche Studienatmosphäre einschließlich des persönlichen Gesprächs mit den Lehrenden, vor allem auch die enge Zusammenarbeit mit der Wirtschaft, die sich u. a. in vielen interessanten Forschungsprojekten widerspiegelt. Einige ausgewählte Beispiele möchten wir Ihnen in diesem Bericht vorstellen.

Ltd. RD Ludwig von Stern

Kanzler der Ostbayerischen Technischen Hochschule Amberg-Weiden
1. Vorsitzender des Technologie-Campus
an der Ostbayerischen Technischen Hochschule Amberg-Weiden e. V.

Prof. Dr.-Ing. Markus Brautsch

Technologietransferbeauftragter
der Ostbayerischen Technischen Hochschule Amberg-Weiden

Dear Reader,

The OTH Amberg-Weiden shapes the future. Our teaching is dedicated to the education of the specialists of tomorrow; our research is aimed at finding the answers to future challenges. We do this in collaboration with our industry partners. Thus we ensure two things: firstly, that our graduates are optimally prepared to meet the requirements of modern companies, and, secondly, that our research results create additional value for the companies involved. Our research philosophy can be characterized as follows:

Our research is both application and solutions-oriented.

We are a university of applied sciences. We do not work in isolation – our know-how contributes directly to the development and improvement of products and services. To do this, we work in close collaboration with renowned regional, national and international businesses, which in turn will benefit from our expertise and our innovative strength through an efficient transfer of research and technology.

Our research is carried out in close cooperation within tightly coupled networks.

From the region for the region, from practice for practice – this is the mission we have been committed to since the University's inception. To accomplish this mission, we are building strong networks.

At the annual conference of Learning Energy Efficiency Networks (LEEN) taking place on 29 September 2015, the Energy Efficiency Network for Companies in Bavaria was one of six LEEN Networks nationwide and the only network in Bavaria to be awarded a prize by the Federal Ministry for the Environment, Nature Conservation, Building and Nuclear Safety. What distinguishes this network is the fact that the Institute for Energy Technology of the OTH Amberg-Weiden (IfE) acts as its funding body as well as its energy consultant. LEEN's goal is to pave the way for energy saving and increase in energy efficiency through comprehensive energy assessment as well as a regular exchange of experience.

Our Technology Campus (ATC in Amberg and WTC in Weiden) plays a key role in connecting science and business: This is where we bring entrepreneurs and scientists as well as students together to pool strengths and know-how. This is where research and development is actively practised day by day – these are the hubs for future innovation.

We have a particularly close relationship with the 28 current member companies of the PartnerCircle. Together, we systematically promote practice-oriented education,

thus creating a strong network between our university and regional businesses. Our concept of innovative learning locations (ILO) aims to bring students and attractive learning locations together. To achieve this, we cooperate closely with selected companies, municipal institutions, monasteries and local education institutions – partners who are distinguished by their extraordinary learning environments, specifically equipped laboratories, attractive facilities or skilled personnel.

Since 2013, the OTH Amberg-Weiden has cooperated closely with its joint partner, the OTH Regensburg. Together, we continually improve teaching, further education and research, thus shaping the academic landscape in Eastern Bavaria. Within the scope of this cooperation, eleven research clusters have been defined and brought to life, i.e. converted into specific research projects.

Our research is future-oriented.

As a university, we consider it our responsibility to make a contribution to a positive social, ecological and economic development. We assume this responsibility in many respects.

We support regional businesses through knowledge and technology transfer. With our excellently educated graduates we strengthen the companies in the region, making East Bavaria an attractive business location – now and in the future.

Apart from gaining sound specialist knowledge, our graduates learn to deal responsibly with social and ecological issues as future executives. The corresponding activities are bundled by our Institute for Sustainability in Technology and Business, which is responsible for integrating concepts of sustainability into the areas of research, teaching and university projects.

Still a vision, but almost within reach: With the Centre of Excellence for Combined Heat and Power in Amberg and the planned E-House in Weiden, home to the future Centre of Excellence for E-Commerce, we are promoting two research topics which will considerably gain in importance within the next few years.

The Centre of Excellence for Combined Heat and Power, a project funded by the Bavarian State Ministry for Education, Science and the Arts, was established in 2012 to pool the research activities in the field of CHP technologies. Its activities involve both the increase in energy efficiency and decrease in emissions of CHP systems, the use of biogenic energy sources for CHP processes, the tailor-made and flexible integration of CHP systems into energy systems, as well as the research and development of innovative CHP concepts. The new CHP Centre in Amberg will be completed in spring 2016.

The OTH's Weiden-Campus houses the Institute for Medical Engineering (IfMZ), a scientific research facility that operates as a central interface to combine all university-related interdisciplinary activities between research, teaching and industry in the area of medical engineering. The institute draws on a variety of competencies from the fields of medicine, molecular biology and engineering, combining applied research in medical technology with the application-oriented education of highly qualified specialists for the innovative segment of medical engineering. In this context, the IfMZ works in close cooperation with numerous enterprises from the medical-technical industry, as well as with hospitals, medical practices and external research institutes.

Prof. Dr. Andrea Klug

President of the Ostbayerische Technische Hochschule Amberg-Weiden

Prof. Dr. Alfred Höß

Vice-President of the Ostbayerische Technische Hochschule Amberg-Weiden/
Scientific Director of the Institute of Applied Research (IAF)

Our research safeguards up-to-date and high-quality teaching.

The results of applied research and knowledge transfer contribute directly to our teaching, for example within the scope of lectures, projects or final papers. Thus we are able to guarantee our students a state-of-the-art education in science and technology. It is particularly gratifying that an increasing number of OTH graduates seek to pursue a doctoral degree in one of the OTH's cooperative doctoral programmes.

With its more than 4,600 graduates so far, the OTH Amberg-Weiden provides local companies with highly qualified young professionals. About 80% of them stay in the region, either as employees of local companies or self-employed.

Currently, there are approximately 3,500 young men and women enrolled in 21 accredited Bachelor and Master Programmes. They are taught by 84 professors and 91 adjunct faculty members with professional experience. In September 2015, the OTH was admitted to the system accreditation process. There are currently cooperations with 54 partner universities in 28 countries.

We constantly secure top places in university rankings. The respondents particularly mention the high quality of teaching, the well-equipped laboratories and libraries, learning in small groups, the cooperative study environment including the close contact between students and faculty, and, above all, the close cooperation with industry, which manifests itself in the many interesting research projects presented in this report.

Ltd. RD Ludwig von Stern

Chancellor of the Ostbayerische Technische Hochschule Amberg-Weiden
Chairman of the Technology Campus at the Ostbayerischen Technischen Hochschule Amberg-Weiden e. V.

Prof. Dr.-Ing. Markus Brautsch

Commissioner for Technology Transfer at the Ostbayerische Technische Hochschule Amberg-Weiden

DEPRAG



Als internationales Unternehmen sind wir zuverlässiger Partner der produzierenden Industrie – vorwiegend in den Bereichen Elektrotechnik, Automobilzulieferer, Maschinenbau und Telekommunikation. Aus der Position einer weltweit geschätzten Familienfirma entwickeln und fertigen wir in Amberg hochqualitative Produkte der Schraubtechnik, Druckluftmotoren und -werkzeuge, komplette Montageanlagen sowie Systeme zur Energierückgewinnung (GET).

Seit Gründung der Hochschule Amberg-Weiden sind wir Partner in vielen gemeinsamen Projekten. Diese erfolgreiche Zusammenarbeit werden wir auch in Zukunft fortsetzen.

Vielleicht sogar mit Ihnen? Zur Verstärkung unseres Teams suchen wir vielseitig interessierte und engagierte

Nachwuchs-Ingenieure (m/w)

aus den Fachbereichen Maschinenbau, Elektrotechnik, Medien und Informatik, BWL oder Wirtschaftsingenieurwesen.

Starten Sie jetzt Ihre Karriere! Nähere Informationen über aktuelle Stellenanzeigen und Praktikumsmöglichkeiten finden Sie auf unserer Homepage www.deprag.com!

Wir freuen uns auf Ihre Bewerbung!

DEPRAG SCHULZ GMBH u. CO.
Carl-Schulz-Platz 1 · 92224 Amberg
Tel. 09621 371-0 · Fax 09621 371-120
info@deprag.de · www.deprag.com



Schraubtechnik

Automation

Druckluftmotoren

Druckluftwerkzeuge

**FLACHGLAS
WERNBERG**



Unsere Welt ist Glas!

FLACHGLAS Wernberg ist einer der führenden Glasveredler Europas und Teil der Flachglas Gruppe.

Seit über 70 Jahren entwickeln, fertigen und liefern wir an verschiedenen Standorten in Deutschland und der Schweiz multifunktionale Gläser und Spezialverglasungen für den Baubereich, für Schienenfahrzeuge und für Schiffe.

Neben Know-how und Erfahrung gibt es vor allem eins, was unseren Erfolg erklärt:
Die Leidenschaft für Glas.

FLACHGLAS Wernberg GmbH - Telefon 09604 - 480
info@flachglas.de - www.flachglas.de

RAUM FÜR DEINE ZUKUNFT!



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

Weitere Infos und aktuelle Jobangebote unter

www.fee.de/jobs

BAYERN'S
BEST 50
PREISTRÄGER

2014 | 2011 | 2008 | 2003



F.EE

F.EE GmbH | Udo Starck | Personalabteilung
In der Seugh 10 | 92431 Neunburg v. W.
Tel.: 09672 5060 | bewerbung@fee.de
www.fee.de | www.facebook.com/fee.neunburg

Inhaltsverzeichnis

Vorwort..... 1

Fakultät Betriebswirtschaft

Sind Indexpolizen rentabel? – Eine Analyse unterschiedlicher Modellvarianten8

Prof. Michael Hauer
Dipl.-Betriebsw. (FH) Manuel Lang
Michael Staffe, M. Sc.

Implementierung und Bewertung der Anwendung internationaler Leitfäden für soziale, ökologische und ökonomische Verantwortung..... 15

Alexander Herzner, M. Sc.

Kundenintegration im industriellen Servicegeschäft – eine empirische Untersuchung..... 19

Thomas Igl
Prof. Dr. Günter Schicker
Prof. Dr. Johann Strassl

Bargeldlos oder bar jeglichen Verstands? Was die Abschaffung des Bargeldes bringt oder eben gerade nicht.....30

Prof. Dr. Malte Krüger
Prof. Dr. Franz Seitz

Determinanten des Studienerfolgs: Eine empirische Untersuchung für die Studiengänge Maschinenbau, Medienproduktion und -technik sowie Umwelttechnik35

Prof. Dr. Horst Rottmann
Dipl.-Sozialwirt (Univ.) Bernd Rager

Fakultät Elektrotechnik, Medien und Informatik

Setting up a Multi-core Computing System for Cryptanalytic Problems and Evaluation of Password Cracking Algorithms..... 47

Tilo Fischer
Prof. Dr. Andreas Aßmuth

Saturation Effects at Combined Power and Data Transfer 55

Andreas Fuchs, M. Eng.
Prof. Dr.-Ing. Hans-Peter Schmidt
Stefan Fuchs, M. Eng.

Real Time Ethernet and Synchronizing with Inhomogeneous Physical Layers: CAT5 and Unshielded Twisted Single Pair Cabling 60

Stefan Fuchs, M. Eng.
Prof. Dr.-Ing. Hans-Peter Schmidt

Wundernetz – gemeinsam unterwegs 65

Prof. Dr. Dieter Meiller
Prof. Karlheinz Müller
Hildegard Legat

eDAS – Holistic Energy Management for 3rd and 4th Generation of Electric Vehicles..... 68

Josef Schmid, M. Sc.
Andreas Waigel, M. Sc.
Prof. Dr.-Ing. Alfred Höß

Entwicklung eines neuartigen Verfahrens zur Mikro-KWK mit biogenen Energieträgern.....73

Prof. Dr.-Ing. Stefan Beer
Daniel Pöcher, M. Eng.
Dipl.-Ing. (FH) Daniel Hummel
Ludwig Kinzler, B. Eng

Medizintechnik – Polymere und ihre mikrospritzgießtechnische Verarbeitung.....78

Prof. Dr.-Ing. Tim Jüntgen

Simulation von wärmegeführten KWK-Mehrmodulanlagen.....83

Matthias Koppmann, M. Eng.
Raphael Lechner, M. Sc.
Prof. Dr.-Ing. Markus Brautsch

Selbstentladung und Leckstromverhalten elektrochemischer Speicher: Impedanzspektroskopie im Langzeitversuch.....90

Prof. Dr. Peter Kurzweil
Prof. Dr. Mikhail Chamonine
Anton Udalzew, B. Eng.

Laserstrukturierte Funktionsschichten für elektrochemische Energiespeicher auf Basis redoxaktiver Metalloxide95

Prof. Dr. Peter Kurzweil
Prof. Dr.-Ing. Jürgen Koch

Entwicklung eines innovativen Konzepts zur Abgasnachverstromung99

Dipl.-Ing. (FH) Nicholas O’Connell
Raphael Lechner, M. Sc.
Prof. Dr.-Ing. Markus Brautsch

Die Klassifikation technischer Schutzrechte – Klassifizieren Patentämter unterschiedlich? 104

Prof. Dr. Ursula Versch
Dipl.-Ing. (FH) Michael Beyer

Hygiene und Medizintechnik – Analyse des Potenzials der Infektionsprävention durch technische Maßnahmen 112

Dr. rer. nat. Sebastian Buhl
Nicole Eschenbecher
Kristin Albrecht
Simon Woppert, B. Eng.
Sabine Hentschel, B. Eng.
Benjamin Rußwurm, B. Eng.
Prof. Dr. med. Clemens Bulitta

Empirische Studie: „Die Bedeutung von Ausstellermarken aus Sicht von Fachbesuchern von B2B-Messen“ 119

Prof. Ralph E. Hartleben

Interaktive Kabel- und Schlauchsimulation 124

Prof. Dr. Franz Magerl
Dipl.-Ing. (FH) Martin Hofmann

Chances in the functional connectivity of pain related brain areas during mental stress 130

Prof. Dr. Ralf Ringler
Prof. Dr. Clemens Forster

Europäische Potenziale am Beispiel länderübergreifender Kooperationsprojekte und auf Hochschulebene 134

Prof. Dr. Frank Schäfer

Inserentenverzeichnis 143

Impressum..... 144

Sind Indexpoli- centabel? – Eine Analyse unterschiedlicher Modellvarianten

Prof. Michael Hauer
Dipl.-Betriebsw. (FH) Manuel Lang
Michael Staffe, M. Sc.

Zusammenfassung

Das Angebot an indexgebundenen Rentenversicherungen (Indexpoli-
centabel) hat in den letzten Jahren stark zuge-
nommen. Versicherer haben erkannt, dass potenzielle
Versicherungsnehmer zunehmend Rentenversicherungs-
produkte bevorzugen, deren Renditeentwicklung nicht
von den erwirtschafteten Überschüssen des Versicherers
abhängen. Vielmehr besteht der Bedarf in Produktlö-
sungen, die eine Partizipation an der Kursentwicklung
eines Index zulassen. Es lässt sich jedoch beobachten,
dass sich die auf dem Rentenversicherungsmarkt etab-
lierten indexgebundenen Rentenversicherungen in
ihrer Struktur und ihren Renditechancen im erheblichen
Maße unterscheiden. Aufgrund dessen widmen wir uns
in unserem Forschungsbericht intensiv der Betrachtung
vorhandener Produktkonzepte und deren Renditeeigen-
schaften. Dazu wurde ein umfassender Marktvergleich
durchgeführt, in dem alle derzeit am Markt befindlichen
Tarife (zwölf) analysiert wurden. Es kann festgestellt
werden, dass die Renditeaussichten von indexgebun-
denen Rentenversicherungen klassischen Tarifen über-
legen sein können. Stark abhängig ist dies jedoch vom
Kursverlauf und den Parametern für die teilweise Gewinn-
und Verlustpartizipation.

Schlüsselwörter: Index, Indexpoli-
centabel, Cap, Floor, Index-
quote, indexgebundene Rentenversicherung

Abstract

The supply of index-linked annuity insurances has
increased significantly in the last few years. Insurance
providers have realized that potential insureds
increasingly prefer pension schemes, which development
in yield are not depended to the generated surpluses of
the insurer. Rather, there is a demand for product
solutions, which permit the participation on the market
trend of an index. However, it can be observed that the
established index-linked annuity insurance differ
significantly in their structure and their yield
opportunities. Due to this in our research report we look
so closely at existing product concepts and their return
characteristics. For this purpose a comprehensive
comparison of the market was conducted with an analysis
of all insurance policies (twelve), which are currently on
the market. It can be noted, that the yield expectations of
index-linked annuity insurance could be even superior of
classical insurance tariffs. However, this depends on the
price performance and the parameters for the
participation in return and loss.

Key words: index, index policy, Cap, Floor, index rate,
index-linked annuity insurance

1 Indexgebundene Rentenversicherungen

Das erste Produkt mit der Bezeichnung *IndexSelect*
im Bereich indexgebundener Rentenversicherungen
wurde 2007 durch die Allianz eingeführt. Seitdem haben
11 weitere Versicherer Indexpoli-
centabel entwickelt, die sich in
ihren Bestandteilen weitestgehend unterscheiden.

Grundsätzlich kann der Inhaber einer Indexpoli-
centabel zwischen der Partizipation an einem Index oder der

Überschussbeteiligung des Versicherers wählen. Erzielt
der Index am Ende des Indexjahres Verluste, bleibt das
Vertragsguthaben unberührt. Werden dagegen durch
Kurssteigerungen Gewinne generiert, wird die maximale
Gewinnbeteiligung während des Indexjahres zu den
Bewertungszeitpunkten durch eine Renditebeschrän-
kung reduziert. Das jährlich angesparte Kapital wird dem
Vertragsguthaben gutgeschrieben und zum jeweiligen
Indexstichtag gesichert.¹

Die häufigste Methode einer Renditebeschränkung, die im Markt zu beobachten ist, ist die Deckelung der monatlichen Renditen durch eine Renditeobergrenze, den sogenannten Cap. Dieser wird in Abhängigkeit vom Kapitalmarkt und der jeweiligen Überschussdeklaration des Versicherungsunternehmens vor Beginn eines jeden Indexjahres festgelegt. Der Cap bestimmt die Höhe der maximalen Partizipation am Index pro Monat. Steigt der Index in dieser Periode um mehr als die Höhe des Caps, partizipiert der Versicherungsnehmer maximal in der Höhe dieser Renditeobergrenze. Die maßgebliche Jahresrendite für die Indexpartizipation errechnet sich schließlich durch Aufsummierung aller Monatsrenditen im Indexjahr. Negative Renditen gehen dabei vollständig ein, positive begrenzt durch den Cap.

Eine weitere Methode zur Berechnung der maßgeblichen Rendite, die aktuell am Markt zu beobachten ist, ist die Reduzierung der monatlichen positiven Renditen des Index durch sog. Indexquoten. Auch hier legt der Versicherer diese in Abhängigkeit vom Kapitalmarkt und von der jeweiligen Überschussdeklaration vor Beginn eines jeden Indexjahres fest. Die maßgebliche Jahresrendite für die Indexpartizipation errechnet sich schließlich durch Aufsummierung aller Monatsrenditen im Indexjahr. Negative Renditen gehen dabei vollständig ein, positive anteilig gemäß der festgelegten Indexquote. Es erfolgt im Gegensatz zum Cap keine absolut, sondern eine relative Begrenzung positiver monatlicher Renditen.

Ist die jeweilige Jahresrendite – ermittelt als Summe der Monatsrenditen – negativ, so wird diese in der Regel auf null gesetzt. Folglich sind Verluste ausgeschlossen und das Vertragsguthaben bleibt auf dem Stand vom Vorjahr. Vergleiche hierzu auch Abbildung 1.

	günstige Entwicklung (Juni 2012 – Mai 2013)			schlechte Entwicklung (Juni 2011 – Mai 2012)		
	Index	Cap (4 %)	Index- quote (75 %)	Index	Cap (4 %)	Index- quote (75 %)
Juni	6,88 %	4,00 %	5,16 %	-0,47 %	-0,47 %	-0,47 %
Juli	2,69 %	2,69 %	2,02 %	-6,25 %	-6,25 %	-6,25 %
August	4,94 %	4,00 %	3,71 %	-13,79 %	-13,79 %	-13,79 %
September	0,56 %	0,56 %	0,42 %	-5,32 %	-5,32 %	-5,32 %
Oktober	2,01 %	2,01 %	1,51 %	9,43 %	4,00 %	7,07 %
November	2,86 %	2,86 %	2,15 %	-2,30 %	-2,30 %	-2,30 %
Dezember	2,36 %	2,36 %	1,77 %	-0,60 %	-0,60 %	-0,60 %
Januar	2,54 %	2,54 %	1,91 %	4,32 %	4,00 %	3,24 %
Februar	-2,57 %	-2,57 %	-2,57 %	3,95 %	3,95 %	2,96 %
März	-0,36 %	-0,36 %	-0,36 %	-1,39 %	-1,39 %	-1,39 %
April	3,35 %	3,35 %	2,51 %	-6,90 %	-6,90 %	-6,90 %
Mai	2,13 %	2,13 %	1,59 %	-8,13 %	-8,13 %	-8,13 %
Rendite p. a.	30,71 %	23,57 %	19,81 %	-25,96 %	-33,19 % → 0,00 %	-31,86 % → 0,00 %

Abbildung 1: Beispielhafte Darstellung der Funktionsweise der Indexbeteiligung bei einer Renditeobergrenze (Cap) bzw. einer Indexquote

In einer erweiterten Betrachtung kann jedoch festgestellt werden, dass sich Indexpolizen in weiteren Faktoren voneinander unterscheiden. Neben der Anwendung unterjähriger Renditebeschränkungen gibt es Versicherungen, die jährliche Partizipationsbeschränkung in Form einer Quote, einer Rate oder eines Caps enthalten. Zudem bietet ein Versicherer eine Garantieverzinsung für sein Indexprodukt. Der Überblick in Tabelle 1 zeigt gegenwärtige Versicherungstarife und deren Indexmodelle.

Tabelle 1: Partizipationsmöglichkeiten und Indizes

Versicherer (Produkt)	Finanzierung der Index- partizipation	Auswahl der zur Verfügung stehenden Indizes
Allianz (IndexSelect)	Cap p. m.	EURO STOXX 50
AXA (Relax Rente Classic)	Cap p. m. und Partizipations- quote bei Bedarf	Europa Aktienindex mit ISC basierend auf dem EURO STOXX 50
Condor (INDEX-Rente)	Cap p. m.	EURO STOXX 50
Generali (Rente Chance Plus)	Cap p. a. Partizipationsrate p. a.	EURO STOXX 50
HDI (TwoTrust Selekt)	Steuerung der Par- tizipation innerhalb des Index	MultiSelekt Konzept ²
LV 1871 (Rente Index Plus)	Cap p. m. (Garantie- verzinsung)	EURO STOXX 50
Nürnberger (DAX-Rente)	Cap p. m.	DAX DAX Risk Control 20
R+V (IndexInvest)	Cap p. m.	EURO STOXX 50
SV Versicherung (IndexGarant)	Cap p. m.	EURO STOXX 50 VolIndexPerform
VGH (VGH Rente Garant)	Cap p. m.	VGH Sachwerteindex
Volkswahl Bund (Klassik modern)	Indexquote p. m.	DAX EURO STOXX 50
Zurich (Vorsorgegarantie Plus)	Partizipationsrate p. a.	STOXX Global Select Dividend 100 Net Total Return Risk Control 7,50 % Excess Return Index

Die in Tabelle 1 aufgeführten Produkte lassen sich aufgrund ihrer unterschiedlichen strukturellen Eigenschaften nur begrenzt vergleichen. Das liegt jedoch nicht ausschließlich an den unterschiedlichen Formen von Partizipationsmöglichkeiten, sondern insbesondere an den unterschiedlichen Indizes. Während ein Großteil der Anbieter eine Partizipation am EURO STOXX 50 oder am DAX ermöglichen, setzen wiederum andere Versicherungsgeber häufig auf risikogesteuerte Indizes.³ Eine Bewertung der Renditeerwartung der jeweiligen Indexmodelle ist damit nur im Kontext zur jeweiligen Renditebeschränkung in Verbindung mit dem zugrundeliegenden Basisindex möglich.

Bei der Festlegung der jährlichen Höhe der Partizipationsbeschränkung von Indexpolizen ist zu beachten, dass

dieser Bestandteil des Produkts maßgeblich von der jährlich berechneten Deklaration des jeweiligen Versicherers und der Erwartungshaltung über die zukünftige Wertentwicklung des Basisindex abhängt.⁴ Die Beschränkung an positiven Renditen für Indexpolice ist bei der Renditebewertung derartiger Produkte von zentraler Bedeutung. Die Ermittlung bzw. der Preisbildungsprozess von Indexpolice erfolgt in der Praxis anhand von komplexen Kapitalmarktmodellen, die die Volatilitätsstruktur eines betrachteten Index nachbilden können. Aus Vereinfachungsgründen werden in diesem Forschungsbericht für Analysezwecke zum großen Teil vereinfachte Annahmen (z. B. konstante Renditebeschränkung) gewählt, um die Zusammenhänge und Besonderheiten unterschiedlicher Indexmodelle zu beleuchten. Für komplexere Untersuchungen wird in einer späteren Stufe ein Kapitalmarktmodell für Simulationszwecke berücksichtigt.

Die Renditeerwartung von Indexpolice ist bislang wenig untersucht. Diese Arbeit befasst sich daher mit der Frage, welche Performanceaussichten Indexpolice, die durch Versicherungsunternehmen in Deutschland vertrieben werden, besitzen, und betrachtet dabei auch unterschiedliche Varianten und deren unterschiedliche Eigenschaften bezüglich der Renditeerwartung.

2 Datenbasis und Untersuchung

Für die nachfolgende Untersuchung werden historische Zeitreihen verschiedener Indizes auf Monatsbasis verwendet. Im Fokus der Betrachtung stehen für einen Zeitraum von Ende 1986 bis Mai 2015 Monatsdaten des DAX und des EURO STOXX 50. Daneben werden Informationen zu indexgebundenen Rentenversicherungen berücksichtigt, die durch Versicherer in der Vergangenheit veröffentlicht oder auf Anfrage bereitgestellt wurden.

Renditeerwartung indexgebundener Rentenversicherung (Back-Testing)

Zunächst wird betrachtet, wie sich die Renditeaussichten in Abhängigkeit unterschiedlicher Indizes und Indexmodelle unterscheiden. Unter Annahme eines jährlichen Kapitalerhalts und eines konstanten monatlichen Caps in Höhe von 3,5 Prozent kann festgestellt werden, dass Indexpolice in dem betrachteten Zeitraum in etwa 43 Prozent aller Fälle (Indexstichtage: Januar) keine Gewinne erzielt hätten. Abbildung 2 zeigt weiter an, dass in den übrigen Jahren meist hohe Renditen generiert wurden. Die fiktive Indexpolice hätte bei ständiger Partizipation am Index einen Gewinn von durchschnittlich sechs Prozent je Jahr erreicht. Unter identischen Bedingungen würden mit einer quotalen Beschränkung (Indexquote) von 75 Prozent p. m. die renditelosen Jahre ca. 39 Prozent ausmachen. Durchschnittlich hätte ein Anleger mit dieser Variante der Renditebeschränkung eine Rendite von 7,5 Prozent erreicht.

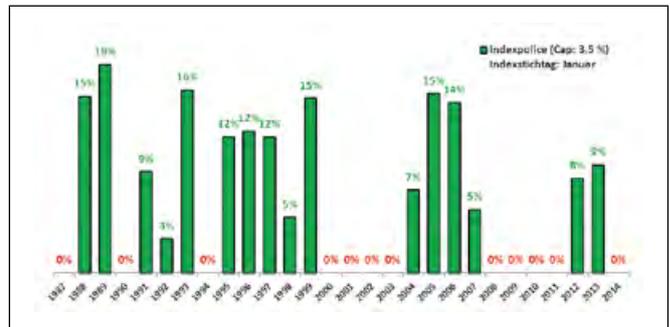


Abbildung 2: Maßgebliche Rendite von Indexpolice bei einem Cap von 3,5 Prozent – EURO STOXX 50

Unter Verwendung eines Caps in gleicher Höhe kann für den DAX ein ähnliches Ergebnis nachgewiesen werden im Vergleich zum EURO STOXX 50. Bei Anwendung einer monatlichen Indexquote (75 Prozent) auf den DAX zeigt sich, dass nur in etwa 36 Prozent keine positive Rendite erreicht wurde, und die Durchschnittsrendite beträgt 9,5 Prozent. Damit wird klar, dass Indexmodelle nur zusammen mit dem jeweils betrachteten Index sinnvoll bewertet werden können.

Wesentlich ist zudem, welche kausalen Folgen durch variable Anpassungen der Renditebeschränkungen entstehen. Dazu lässt sich mit rollierenden Zwölf-Jahres-Durchschnittswerten nachweisen, welche Effekte durch veränderte Renditebeschränkungen auf die Renditehöhe entstehen. Demnach zeigt sich für eine Steigerung der Höhe des Caps um 0,5 Prozentpunkte, dass sich die Rendite für die betrachtete Indexpolice um etwa ein Prozent erhöht. Dieses Verhalten ist sowohl bei dem EURO STOXX 50 als auch dem DAX zu beobachten. Erhöht sich dagegen die Indexquote um zehn Prozentpunkte, geht mit dieser Steigerung eine Renditeerhöhung von etwa zwei Prozent einher. Betrachtet wurden wiederum bereits erwähnte Indizes.

In einem Vergleich zwischen der Wertentwicklung von Indizes und der Renditeaussicht von Indexpolice kann zudem gezeigt werden, ob eine Indexpolice mit Cap auf Grundlage von Vergangenheitswerten dazu in der Lage gewesen wäre, den Index zu schlagen. Unter der Annahme, dass der monatliche Cap konstant 3,5 Prozent betragen hätte, ist bei einer Rückbetrachtung (1987 bis 2014) des EURO STOXX 50 ersichtlich, dass die Indexpolice trotz beschränkter Gewinnpartizipation eine höhere durchschnittliche Rendite als der betrachtete Index selbst erreicht hätte. Die Durchschnittsrendite für den Zeitraum 1987 bis 2014 betrug für die Indexpolice ca. 6 Prozent und für den Basisindex ca. 4,6 Prozent. Bei der Betrachtung des DAX mit der Verwendung des gleichen Caps von 3,5 Prozent und identischer Betrachtungszeiträume zeigt sich hingegen ein gegensätzliches Ergebnis. Hier war stets der Index profitabler als die dazugehörige Indexpolice. Demnach ist die Durchschnittsrendite für den Zeitraum 1987 bis 2014 mit ca. 5,9 Prozent für die Indexpolice niedriger als die Rendite des DAX in Höhe von durchschnittlich

ca. 7,1 Prozent. Mit diesen Ergebnissen wird klar, dass obwohl die durchschnittliche Indexrendite mit einer Cap-Höhe von 3,5 Prozent auf den EURO STOXX 50 (ca. 6 Prozent) und dem DAX (ca. 5,9 Prozent) für den längsten Betrachtungszeitraum (1987 bis 2014) relativ ähnlich ist, sich das Bewertungsurteil über die Profitabilität aus Renditesicht im Vergleich zum jeweiligen Basisindex verändert.

3 Vergleichbarkeit verschiedener Indexmodelle

Um eine Vergleichbarkeit unterschiedlicher Indexmodelle herzustellen, wird nachfolgend die Rendite als konstante Größe angenommen. Als Benchmark dient eine fiktive Indexpolice mit Cap auf den EURO STOXX 50 für unterschiedliche Anfangszeitpunkte (1987 und 2010) und Cap-Höhen 2,5, 3,0, 3,5 und 4,0 Prozent). Die für die 12 Indexstichtage (Januar bis Dezember) erreichten Renditen mit dem jeweiligen konstanten Cap werden anhand von Anpassungen des Caps für den DAX nachgebildet und auf jährlicher Basis gemittelt. Tabelle 2 zeigt den Mittelwert für die 12 Indexstichtage der durchschnittlichen Cap-Höhen für die verschiedenen Betrachtungszeiträume. Langfristig (1987 bis 2014) wären in etwa identische Caps sowohl auf den EURO STOXX 50 als auch auf den DAX nötig gewesen, damit eine gleiche Performance erzielt worden wäre. Kurzfristig (2010 bis 2014) sind hingegen zum Teil deutliche Abweichungen zu beobachten. Das liegt an der besseren Performance des DAX gegenüber den EURO STOXX 50 in den letzten Jahren.

Tabelle 2: Vergleich Cap (EURO STOXX 50) vs. Cap (DAX)

EURO STOXX 50 Zeitraum	Cap DAX	
	2010 – 2014	1987 – 2014
Cap 2,5 %	1,8 %	2,5 %
Cap 3,0 %	2,1 %	3,0 %
Cap 3,5 %	2,4 %	3,4 %
Cap 4,0 %	2,7 %	3,8 %

Lesebeispiel für Tabelle 2:

Bei einem Cap von 3,4 Prozent auf den DAX resultierte in etwa die gleiche durchschnittliche Rendite p. a. wie bei einem Cap von 3,5 Prozent auf den EURO STOXX 50 im Betrachtungszeitraum 1987 bis 2014.

Bei dem Vergleich des Caps mit einer Indexquote bezogen auf den EURO STOXX 50 zeigt sich, dass in der Vergangenheitsbetrachtung (1987 bis 2014) eine Indexquote von ca. 74 Prozent einem Cap von 4,0 Prozent entsprochen hätte. Im langfristigen Mittel wäre hingegen eine Indexquote von ca. 66 Prozent auf den DAX nötig gewesen, damit eine identische Rendite resultiert wäre wie bei einem Cap von 4,0 Prozent auf den EURO STOXX 50.

Es zeigte sich bereits, dass das gewählte Indexmodell die Renditechance maßgeblich beeinflussen kann. Nachvollziehbar ist, dass Indexmodelle mit Cap-Verfahren

während schwächeren Volatilitätsphasen (Volatilität p. a. unter 15 Prozent) in den meisten Fällen eine höhere maßgebliche Rendite p. a. erreichen. In Jahren mit moderater Volatilität (Volatilität p. a. von 15 bis 25 Prozent) hingegen scheint die Beschränkung mittels Indexquoten gegenüber dem Cap-Verfahren vorteilhafter. Abbildung 3 stellt den erläuterten Zusammenhang verschiedener Indexmodelle für den EURO STOXX 50 dar, der gleichermaßen auch für Indexpolice mit dem Basisindex DAX gilt. In Phasen mit einer sehr hohen Schwankungsintensität lässt sich zudem zeigen, dass Indexpolice mit Indexquoten selten und Indexpolice mit Caps noch seltener positive Renditen erzielen. Um den Effekt wahrscheinlicher Nullrenditen in Zeiten volatiler Marktphasen zu reduzieren, bieten mittlerweile einige Versicherer volatilitätsgesteuerte Indizes an. Dadurch wird versucht, die Schwankungen konstant auf einem vorher festgelegten Niveau zu halten, um möglichst wenige Nullrenditen zu erzeugen.

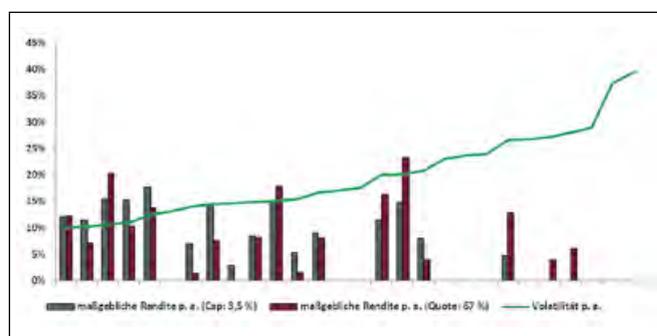


Abbildung 3: Abhängigkeit der maßgeblichen Rendite für unterschiedliche Indexmodelle (Cap, Indexquote) von der Volatilität – EURO STOXX 50 (1987 – 2014)

4 Simulationsmodell

Neben den bisher vorgestellten deskriptiven Eigenschaften von Indexpolice in Bezug auf verschiedene Indexmodelle und Indizes weisen derartige Produkte weitere Besonderheiten auf. Die einzelnen Komponenten von Indexpolice setzen sich aus einer Reihe von Forward-Start-Optionen zusammen.⁶ Durch eine Aneinanderreihung mehrerer Caps und Floors lässt sich demnach das Auszahlungsprofil einer Cliquet-Option (häufigstes Modell der Versicherer) anhand der Gleichung (1)⁷ darstellen,

$$X = N * \min \left(\max \left(\sum_{i=1}^n \max(f, \min(c, R_i)), F \right), C \right), \quad (1)$$

wobei der globale (lokale) Floor F (f) und der globale (lokale) Cap C (c) den jeweiligen minimalen bzw. maximalen Return in der jeweiligen Periode $\Delta t_i = t_i - t_{i-1}$ mit t_i ($i = 1, \dots, n$) darstellen und N die Kontraktgröße ist.

$$R_i := \frac{S_{t_i} - S_{t_{i-1}}}{S_{t_{i-1}}}$$

stellt die Rendite des zugrundeliegenden Underlying S_{t_i} im Zeitraum Δt_i dar.⁸ Je nach Versicherungsunternehmen

kann der funktionale Zusammenhang variieren. Im Kontext existierender indexgebundener Rentenversicherungen werden hauptsächlich auf jährlicher Basis konstante monatliche Caps c und ein globaler Floor ($F = 0$) verwendet. Jedoch werden mit einem globalen Cap seltener auch die Renditen am Periodenende begrenzt. Weiterhin sind auf dem Markt mittlerweile Modifikationen von Cliquet-Optionen zu beobachten. Neben lokalen und globalen Caps werden alternativ auch Quoten (Indexquoten) eingesetzt. Auf diese Weise werden die positiven Renditen nicht in ihrer Höhe begrenzt, sondern stattdessen im quotalen Verhältnis gekürzt. Die Auszahlung der modifizierten Cliquet-Option (X_{mod}) mit Kapitalerhalt und monatlicher Indexquote (q) lässt sich anhand der Gleichung (2) bestimmen.

$$X_{mod} = N * \max\left(\sum_{i=1}^{12} \min(R_i, R_i * q), 0\right) \quad (2)$$

Der Preis von Optionen mit diesen Ausgestaltungsmerkmalen ist von verschiedenen Kapitalmarktfaktoren wie z. B. der Volatilitätsstruktur, dem risikolosen Zinssatz und der Dividendenrendite abhängig. Je nach Ausgestaltung der Cliquet-Option in Verbindung mit dem zugrundeliegenden Basisindex ist der Einfluss obiger genannter Parameter unterschiedlich. Allgemein gültige Aussagen bezüglich der Einflüsse verschiedener Marktparameter auf das jeweilige Indexmodell lassen sich somit nicht ohne Weiteres treffen.

Im Sinne eines Simulationsmodells zur weiteren Analyse der Eigenschaften von Indexpolizen wurde für die nachfolgenden Untersuchungszwecke ein Kapitalmarktmodell unterstellt, mit diesem sich zusätzliche Merkmale von Cliquet-Optionen aufzeigen und die Unterschiede zwischen verschiedenen Parametereinstellungen (z. B. Cap vs. Indexquote) verdeutlichen lassen. Aufgrund der vielseitigen Eigenschaften und leichten Handhabbarkeit wurde das klassische Black-Scholes-Modell⁹ gewählt. Für die Modellierung des Basiswertes (z. B. ein Index) wird die geometrische Brownsche Bewegung verwendet:

$$dS_t = \mu S_t dt + \sigma S_t dW_t \quad (3)$$

Dabei ist μ die erwartete Rendite des Basiswertes. Die Volatilität wird mit σ bezeichnet und ist ebenfalls konstant. W ist ein Wiener Prozess. Die Lösung dieser Gleichung besitzt folgende Form:

$$S_t = S_0 e^{\left(\mu - \frac{\sigma^2}{2}\right)t + \sigma W_t} \quad (4)$$

In Verbindung mit der Gleichung (1) lässt sich der Payoff einer Cliquet-Option bestimmen, wobei die Rendite folgend definiert ist:

$$R_i := \frac{S_{t_i} - S_{t_{i-1}}}{S_{t_{i-1}}} \quad (5)$$

Aufgrund der Annahme einer konstanten Volatilität sollten im Folgenden keine Aussagen über die absolute Höhe der

erwarteten Renditen der unterschiedlichen Indexmodelle getroffen werden.

Das Auszahlungsprofil einer Cliquet-Option mit Kapitalerhalt (globaler Floor = 0 Prozent) und einem monatlichen Cap von 3,5 Prozent zeigt, dass in knapp 70 Prozent aller Fälle die Option out-of-the-money endet, d. h. es wird keine Rendite erwirtschaftet. In den anderen Fällen hingegen sind durchaus bis zu 40 Prozent p. a. möglich. Die Anzahl der Simulationsdurchgänge beträgt 50.000. Für den Driftparameter (μ) wurden 6 Prozent pro Jahr und für die Volatilität (σ) 20 Prozent angenommen. Abbildung 4 zeigt die Verteilung für eine Cliquet-Option mit Kapitalerhalt (globaler Floor = 0 Prozent) und einem monatlichen Cap von 3,5 Prozent. Für Cliquet-Option mit Kapitalerhalt (globaler Floor = 0 Prozent) und einer monatlichen Indexquote von 75 Prozent ergibt sich dagegen, dass der Anteil an Jahren mit einer Rendite von null p. a. ca. 54 Prozent beträgt. Andererseits sind jedoch auch Renditen von über 50 Prozent möglich.

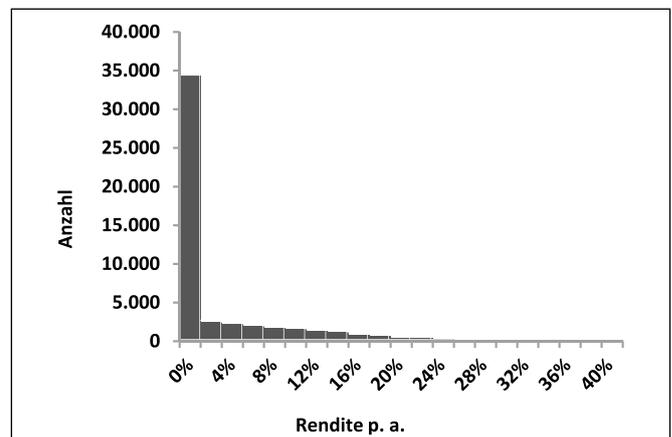


Abbildung 4: Auszahlungsprofil einer Cliquet-Option mit Kapitalerhalt (Floor global = 0 %) und Cap lokal = 3,5 %; Driftparameter $\mu = 6$ % und Volatilität $\sigma = 20$ %; $N = 50.000$

Diese zum Teil starke Einseitigkeit der Auszahlungsprofile (sehr viele Jahre mit einer Nullrendite) kann insbesondere für aufeinanderfolgende Jahre, in denen die Optionen mehrmals lediglich den Kapitalerhalt erwirtschaften, zu einer erhöhten Kündigungsquote aus Kundensicht führen, auch wenn über eine längere Laufzeit durchaus lukrative Renditen erzielt werden können. Dagegen zeigt sich für beide Indexmodelle, dass die Wahrscheinlichkeit einer durchschnittlichen Nullrendite p. a. bei einer Laufzeit von 20 Jahren gegen null geht. Dies zeigt, dass eine ständige Partizipation am Index sinnvoll ist. Abbildung 5 verdeutlicht dies für eine Cliquet-Option mit Kapitalerhalt (globaler Floor = 0 Prozent) und einem monatlichen Cap von 3,5 Prozent.

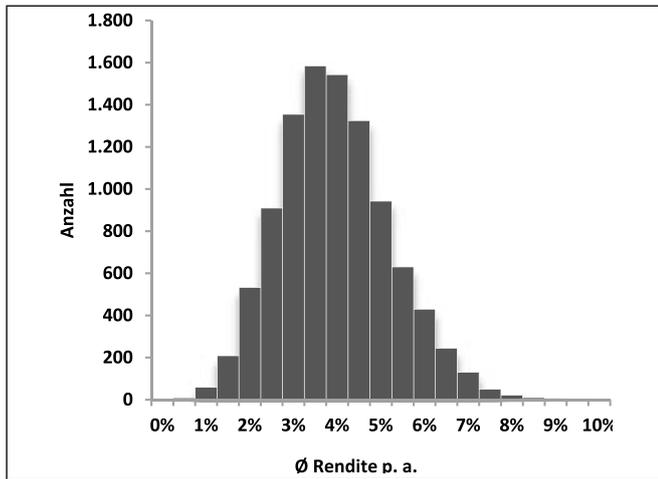


Abbildung 5: Auszahlungsprofil einer Cliquet-Option mit Kapitalerhalt (Floor global = 0 %) und Cap lokal = 3,5 % bei einer Laufzeit von 20 Jahren; Driftparameter $\mu = 6\%$ und Volatilität $\sigma = 15\%$; $N = 10.000$

5 Schlussfolgerungen

Indexpolizen bieten ein hohes Maß an Sicherheit in Form von Garantiezusagen in Verbindung mit der Chance auf vergleichsweise hohe Renditen im Vergleich zur durchschnittlichen Verzinsung klassischer Policen. Festzustellen ist, dass sich die auf dem Rentenversicherungsmarkt angebotenen Indexpolizen in ihrer Ausgestaltung zunehmend unterscheiden und dadurch vermehrt die Vergleichbarkeit eingeschränkt wird.

Im Rahmen dieses Forschungsberichts wurden die Performanceaussichten von indexgebundenen Rentenversicherungen mit unterschiedlichen Indexmodellen untersucht. Anhand von Back-Testing-Verfahren hat sich gezeigt, dass die durchschnittliche maßgebliche Rendite von Indexpolizen pro Jahr stark variiert, je nachdem welcher Index, welche Art der Partizipation, welche Höhe der Partizipationsbeschränkung, welcher Indexstichtag sowie welcher Betrachtungszeitraum unterstellt wird. Unter Berücksichtigung der Rendite aus rollierenden

Zwölf-Jahres-Zeiträumen wurde nachgewiesen, dass eine Veränderung des Caps um 0,5 Prozent zu einer Veränderung der Rendite um ein Prozent geführt hätte. Für Indexquoten gilt unter gleichen Voraussetzungen, dass eine Anpassung der Indexquote um zehn Prozentpunkte die durchschnittliche maßgebliche Rendite p. a. von Indexpolizen um ca. zwei Prozentpunkte verändert. Dieses Ergebnis ist sowohl beim EURO STOXX 50 als auch beim DAX zu beobachten.

Bei einer langfristigen Rückbetrachtung (1987 bis 2014) hat sich gezeigt, dass die Caps auf den EURO STOXX 50 bzw. auf den DAX in etwa gleich hoch hätten sein müssen, um eine identische Rendite p. a. zu erzielen. Bei einer kurzfristigen Betrachtung können jedoch erhebliche Unterschiede zwischen den Cap-Höhen beider Indizes entstehen. Betrachtet man dagegen Indexquoten, so ist ersichtlich, dass diese bezogen auf den DAX stets geringer sind als die Indexquoten auf den EURO STOXX 50.

Die Renditeaussichten von Indexpolizen stehen in einem direkten Zusammenhang mit der Volatilität des zugrundeliegenden Index. Je höher die Schwankungsbreite, desto unwahrscheinlicher war es, dass Indexpolizen eine positive maßgebliche Rendite p. a. erzielt haben. Weiterhin ist zu beobachten, dass in Jahren, in denen der Index nur geringen Schwankungen unterlag, das Cap-Verfahren Vorteile gegenüber der Beschränkung mit Indexquoten aufwies. In Zeiten moderater Volatilität war das Gegenteil zu beobachten.

Cliquet-Optionen mit Kapitalerhalt und einer monatlichen Renditebeschränkung haben die Eigenschaft, je nach Höhe der Volatilität des zugrundeliegenden Index, mit einer hohen Wahrscheinlichkeit Jahre mit einer Nullrendite zu erzeugen. Es ist jedoch zu beachten, dass den vielen Jahren mit einer Nullrendite auch einige Jahre mit sehr hohen Renditen gegenüberstehen. Dies führt dazu, dass bei längeren Laufzeiten der Policen durchaus angemessene durchschnittliche Renditen je Jahr erreicht werden, vorausgesetzt ist eine stetige Beteiligung am Index. Dies verdeutlicht wiederum die Wichtigkeit einer ständigen Partizipation am Index.

Fußnoten

1. Vgl. Hauer et al. (2014), S. 6.
2. Aktuelle Zusammensetzung (Stand 01.06.2015): Dax, EURO STOXX 50, S&P 500, Nikkei 225, FTSE 100, SMI.
3. Für Informationen zur Konstruktion und zur Berechnungsweise von Risk Control Indizes sei auf folgende Literatur verwiesen: STOXX (2014), S. 35ff. oder Deutsche Börse (2), S. 37ff.
4. Vgl. map-report (2012), S. 4 und Statista (2015). Bei der Deklaration handelt es sich um die jährliche Gewinnbeteiligung an den Überschüssen, die den Versicherten zusteht. Diese werden durch den Versicherer zu Beginn des Jahres festgelegt.
5. Stark volatile Marktphasen deuten darauf hin, dass in diesen Jahren der Index selbst eine negative Rendite aufweist.
6. Vgl. Deutsches Risk (2002) S. 28.
7. Vgl. den Iseger & Oldenkamp (2005), S. 2. und Wilmott (2002), S. 78.
8. Vgl. Bernard & Li (2013), S. 354f.
9. Vgl. Hull (2009), S. 348 ff.

Literaturverzeichnis

- Bernard, C., & Li, W. V. (2013). Pricing and Hedging of Cliquet Options and locally-Capped Contracts. *SIAM Journal on Financial Mathematics* Vol. 4, Nr. 1, S. 353 – 371.
- den Iseger, P., & Oldenkamp, E. (2005). Cliquet Options: Pricing and greeks in deterministic and stochastik volatility models.
- Deutsche Börse. (2013). *Guide to the Strategy Indices of Deutsche Börse*. Frankfurt: Deutsche Börse AG.
- Deutsches Risk. (Dezember 2002). Die Kunst der Preisbildung von Cliquet-Optionen. *Deutsches Risk*, S. 28 – 30.
- Hauer, M., Lang, M., & Staffe, M. (2014). *INDEXPOLICEN: EINE ALTERNATIVE IM NIEDRIGZINSUMFELD?* (Bd. 3). Altenstadt/WN: Institut für Vorsorge und Finanzplanung.
- Hull, J. C. (2009). *Optionen, Futures und andere Derivate* (7. Aufl.). München: Pearson Studium.
- map-report. (2012). *Rating Deutscher Lebensversicherer 20. Auflage*. Artlenburg.
- Statista. (2015). *Laufende Verzinsung der Lebensversicherer in Deutschland in den Jahren 2000 bis 2014*. Abgerufen am 29. Juli 2015 von Statista: <http://de.statista.com/statistik/daten/studie/168461/umfrage/ueberschussbeteiligung-der-lebensversicherer-seit-1995/>
- STOXX. (2014). *STOXX Strategy Index Guide*. STOXX.
- Wilmott. (2002). Cliquet Options and Volatility Models. *Wilmott Magazine*, S. 78 – 83.

Kontakt:



Prof. Michael Hauer

Honorarprofessor an der
Ostbayerischen Technischen
Hochschule (OTH) Amberg-Weiden

Institut für Vorsorge und
Finanzplanung GmbH
Geschäftsführer
Auf der Haide 1
92665 Altenstadt/WN

michael.hauer@vorsorge-finanzplanung.de



Dipl.-Betriebsw. (FH) Manuel Lang

Institut für Vorsorge und
Finanzplanung GmbH
Senior Spezialist
Auf der Haide 1
92665 Altenstadt/WN

manuel.lang@vorsorge-finanzplanung.de



Michael Staffe, M. Sc.

Institut für Vorsorge und
Finanzplanung GmbH
Spezialist
Auf der Haide 1
92665 Altenstadt/WN

michael.staffe@vorsorge-finanzplanung.de

Implementierung und Bewertung der Anwendung internationaler Leitfäden für soziale, ökologische und ökonomische Verantwortung in Organisationen

Zusammenfassung

Seit der UN-Konferenz über Umwelt und Entwicklung (UNCED) in Rio de Janeiro 1992 gehört das Konzept einer nachhaltigen Entwicklung zu den Leitprinzipien der Vereinten Nationen. Seitdem begann ein strategischer Umsetzungsprozess, der aktuell zu den Sustainable Development Goals (2015) führte. Für die spezifischen Themen des privatwirtschaftlichen Sektors existieren vielfältige Rahmenwerke, wie der UN Global Compact (2000), die ISO 26000 sowie die OECD Guidelines for Multinational Enterprises. Diese Rahmenwerke bieten jedoch nur normative Leitplanken und Raum zur Entwicklung eigener Umsetzungsstrategien. Für das operative Geschäft der Unternehmen besteht die Herausforderung darin, den Nutzen entsprechender Bemühungen zu messen, zu bewerten und zu verbessern.

In diesem Beitrag wird der aktuelle Stand zur Entwicklung eines Reifegradmodells vorgestellt, welches sich dieses Problems annimmt.

Abstract

Sustainable Development is a guiding principle for society since the big Conference on Environment and Development (UNCED) in Rio de Janeiro in 1992. This was the starting point for a strategic process for transformation ending in the latest Sustainable Development Goals (2015). Numerous guidelines (e. g. the UN Global Compact, the ISO 26000 or the OECD Guidelines) exist for multinational enterprises addressing these topics. These guidelines offer a framework for responsible management but do not present advice on how to implement and measure them. For enterprises it is difficult to measure and assess the benefit of sustainability management to find possibilities for improvement for their engagement.

This paper shows the latest research results to develop a maturity model for solving this issue.

1 Warum nachhaltige Reife notwendig ist

Die Notwendigkeit der Messung und Bewertung von Maßnahmen hinsichtlich der Themenfelder Soziales, Umwelt und Governance liegt in der Tatsache, dass diese Bereiche zwar Teil des unternehmerischen Handelns sind, jedoch höchst unterschiedlich geleitet, organisiert und weiterentwickelt werden (UN Global Compact, (2015)).

Eine strategische nachhaltige Ausrichtung des Unternehmens beginnt mit der Vision und der Mission, also dem „Wer wir sind“ und „Was wir tun“. In der alltäglichen Praxis fällt es Unternehmen nicht selten schwer, entsprechende Identifikationsmerkmale in eine passende Strategie zu übersetzen und mit Prozessen zu kennzeichnen (Porter, Kramer (2006)).

Unternehmen greifen zwar die Begrifflichkeit „Unternehmerische Verantwortung“ oder „soziale Verantwortung von Unternehmen“, kurz CSR, auf und zeigen unterschiedlichste Aktivitäten in diesem Bereich. Gelingt es jedoch nicht, diese im Rahmen einer CSR-Strategie umzusetzen, besteht das Risiko, dass diese Aktivitäten vom Kerngeschäft entkoppelte Einzelmaßnahmen bleiben (D`heur (2014), Porter, Kramer (2006)).

In den letzten Jahren stieg die Zahl entsprechender Nachhaltigkeitsberichte, in denen Unternehmen ihre CSR-Maßnahmen kommunizieren, an. Nur in wenigen Ausnahmefällen gelingt es, aus diesen Berichten den tatsächlichen Nutzen der Maßnahmen, den Nutzen einer CSR-Strategie oder gar einer nachhaltigen Geschäftsstrategie abzulesen.

Neben den mittlerweile existierenden internationalen (UN Global Compact, ISO 26000, OECD Guidelines for Multinational Enterprises), nationalen (Deutscher Nachhaltigkeitskodex) sowie branchenspezifischen (Fairtrade, Global Organic Textile Standard etc.) Standardisierungsbemühungen ist das Angebot an speziellen Zertifizierungen und weitergehenden Normierungen unüberschaubar (Porter, Kramer (2006)). Viele davon erarbeiten Kriterien, denen sich das Unternehmen freiwillig verpflichten und orientieren kann, oder geben eine Auswahl geeigneter Maßnahmen vor. Der Entwurf eines integrativen, an den internationalen Vorgaben praxisnah entwickelten Nachhaltigkeitsmanagements fehlt bisher (Herzner (2013)).

2 Potenziale durch eine nachhaltige Organisationsausrichtung

Sich als Organisation verstärkt mit den Interessen der Stakeholder und den Themen der Nachhaltigkeit zu beschäftigen, birgt erhebliche Potenziale.

Zu nennen sind die Möglichkeiten, das Geschäftsmodell zu optimieren, Produkte und Prozesse zu verbessern und die Produktivität zu steigern sowie neue Ideen als Basis für Innovationen zu generieren. Aus diesem Potpourri von Potenzialen ergibt sich letztendlich für die Organisation die Möglichkeit, einen Wettbewerbsvorteil zu erzielen (Porter, Kramer (2012)).

Unternehmen, die sich bereits an einem internationalen Rahmenwerk orientieren, sind zum Teil zu einem Fortschrittsbericht verpflichtet (z. B. UN Global Compact). Hinzu kommt seitens der EU die Vorgabe, bis 2017 eine Berichtserstattung über soziale und ökologische Themen in nationales Recht zu überführen. Aufgrund dessen erscheint es vorteilhaft, wenn die Vision, die Strategie und die Prozesse hinsichtlich der Berücksichtigung dieser Rahmenwerke überprüft werden, Verbesserungspotenziale identifiziert und Lösungsvorschläge aufgezeigt werden können.

3 Vier Schritte zum nachhaltigen Nutzen

Für eine Weiterentwicklung einzelner CSR-Aktivitäten zu einer Nachhaltigkeitsstrategie und für eine Integration dieser Strategie in das Geschäftsmodell kristallisieren sich in diesem Projekt folgende Thesen heraus:

Die Organisation schafft einen fortwährenden Nutzen, indem sie eine Vision entwickelt, in der sie alle relevanten Stakeholder in einen organisierten, kritischen Kommunikationsprozess einbindet. In diesem mit Erstellung der Unternehmensvision analytisch vorbereiteten und themenorientiert ausgerichteten Dialog können die Stakeholder **aktiv** eingebunden und gemeinsame Wissenspotenziale genutzt werden.

In einem zweiten Schritt verwandelt die Organisation die Vision in messbare strategische Ziele. Für eine verlässliche Umsetzung unter Berücksichtigung ethisch-normativer Werte sind Zielsetzungen nicht im Sinne eines „Management by Objectives“ zu verstehen. Entsprechend sind Organisationsstrukturen und Anreizsysteme zu schaffen, die eine Umsetzung der Vision ermöglichen (Pfläging (2006); Pfläging (2009)). Wichtig ist, dass diese Ziele entsprechend ausgewogen (monetär, nicht monetär, an relevante Stakeholder angepasst) und messbar sind (Kaplan, Norton (1992)).

Die Strategie wird anschließend mithilfe von Prozessen implementiert und umgesetzt. Nur durch konkrete Prozesse können die nachhaltigen Themen als integraler Bestandteil des operativen Geschäfts auch umgesetzt und berücksichtigt werden (Lorentsich, Walker (2012), Lommer (2010)).

Im Anschluss der prozessualen Implementation erfolgt die Leistungsmessung dieser Prozesse. Gleichzeitig gilt es, die Auswirkungen für die Stakeholder sichtbar zu machen. Idealerweise lässt sich ein positiver Mehrwert für alle an der Organisation beteiligten Akteure feststellen.

4 Unterstützung durch das Sustainable Maturity (SuMa) Model für nachhaltigen Nutzen

Das „Sustainable Maturity Model“ (nachhaltiges Reifegradmodell) bewertet in speziellen Assessments, inwiefern in der Organisationsvision sowohl alle Stakeholder als auch die Hauptthemen von internationalen Rahmenwerken (Menschenrechte, Arbeitsnormen, Umweltschutz und Governance) berücksichtigt werden. Dabei sind Anknüpfungspunkte an die genannten internationalen Rahmenwerke bis hin zu den Berichtserstattungsinstrumenten (besonders GRI-G4) gegeben (vgl. Abbildung 1: Die vier contentual areas).

Über alle integrierten Organisationsbereiche hinweg wird bewertet (vgl. Abbildung 1: Die Maturitydimensions), ob und wie gut die Organisation einen Mehrwert für ihre Stakeholder schafft (vgl. Die drei Maturitylevel). Dabei spielen Ausgewogenheit und Langfristigkeit eine wichtige Rolle. Zudem zeigt das Modell Möglichkeiten zur Produktivitäts- und Innovationssteigerung und stellt sicher, dass trotz gesellschaftliche und ethische Aspekte die Schaffung von Wettbewerbsvorteilen möglich ist. Weiterhin wird angestrebt, das SuMa-Modell in vorhandene Instrumente wie den Balanced Scorecard und EFQM einzufügen, um deren Spektren zu erweitern.

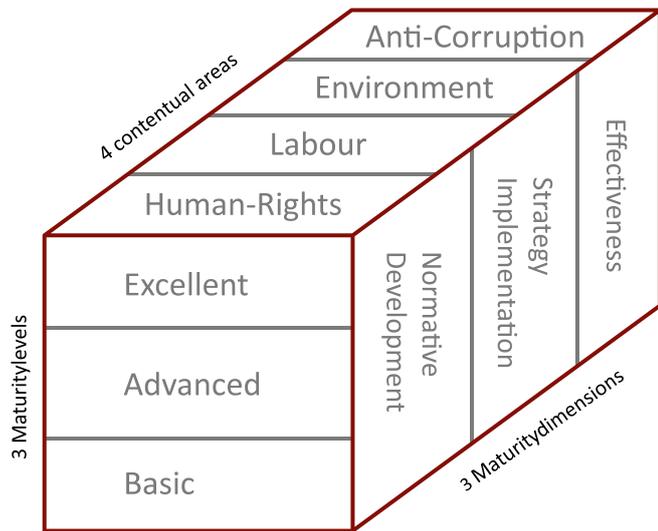


Abbildung 1: Der Aufbau des SuMa-Modells

5 Ausblick und weitere Forschung

Das hochschulinterne Institut für Nachhaltigkeit in Technik und Wirtschaft will nach Abschluss der theoretischen Vorarbeiten zum Modell externe Bewertungen von Organisationen durchführen. In der darauffolgenden Forschungsphase steht deshalb der Praxistransfer im Vordergrund, der die Umsetzung des SuMa-Modells in Organisationen verfolgt.

Literaturverzeichnis

- D'heur, M. (2014): *shared.value.chain: Profitables Wachstum durch nachhaltig gemeinsame Wertschöpfung*, in: *CSR und Value Chain Management Profitables Wachstum durch nachhaltig gemeinsame Wertschöpfung*, (Hrsg:) D'heur, M., SpringerGabler, Berlin, Heidelberg, S. 1-122.
- Herzner, A. (2013): *Managementansätze sozialer, ökologischer und ökonomischer Nachhaltigkeit: State of the Art*, in: *Weidener Diskussionspapiere*. No. 34.
- Kaplan, R.S./Norton, D. (1992): *The Balanced Scorecard – Messures that Drive Performance*, in: *Harvard Business Review*. Jg. January – February, S. 71 – 80.
- Lommer, J. (2010): *Durch Werte- und Prozessmanagement zur Selbstorganisation*, in: *Corporate Governance, Risk Management und Compliance*, (Hrsg:) Keuper, F./Neumann, F., Gabler, Wiesbaden, S. 237 – 266.
- Lorentsich, B./Walker, T. (2012): *Vom integrierten zum integrativen CSR-Managementansatz*, in: *Corporate Social Responsibility*, (Hrsg:) Schneider, A./Schmidpeter, R., Springer Gabler, Berlin, Heidelberg, S. 299 – 316.
- Pfläging, N. (2006): *Führen mit flexiblen Zielen*, Campus Verlag, Frankfurt
- Pfläging, N. (2009): *Die 12 neuen Gesetze der Führung*, Campus Verlag, Frankfurt
- Porter, M./Kramer, M. (2006): *Strategy & Society: The Link Between Competitive Advantage and Corporate Social Responsibility*, in: *Harvard Business Review*. No. 84 (12), S. 78 – 93.
- Porter, M./Kramer, M. (2012): *Shared Value: Die Brücke von Corporate Social Responsibility zu Corporate Strategy*, in: *Corporate Social Responsibility*, (Hrsg:) Schneider, A./Schmidpeter, R., SpringerGabler, Wiesbaden, Berlin, S. 137 – 153.
- The United Nations Global Compact, Impact. Transforming Business, Changing the world. New York 2015.

Kontakt:



Alexander Herzner, M. Sc.

Ostbayerische Technische
Hochschule (OTH) Amberg-Weiden
Institut für Nachhaltigkeit in Technik und Wirtschaft
Hetzenrichter Weg 15
92637 Weiden

a.herzner@oth-aw.de

An dem Projekt sind ferner Herr Dr. Bernhard Bleyer,
Herr Dr. Christian Forstner und Herr Prof. Dr. Wolfgang Renninger
von der Ostbayerischen Technischen Hochschule (OTH)
Amberg-Weiden beteiligt.

Kundenintegration im industriellen Servicegeschäft – eine empirische Untersuchung

Zusammenfassung

Die Integration des Kunden in das Servicegeschäft ist für zahlreiche Industrieunternehmen lohnenswert und verspricht steigende Umsätze sowie eine verbesserte Profitabilität. Der Kunde kann dabei in allen Phasen des Service-Lebenszyklus aktiv eingebunden werden und seine Ideen einbringen, sei es bei der Entwicklung einer Service-Strategie, der Gestaltung neuer Dienstleistungen oder in der Betriebs- bzw. Nutzungsphase. Die vielfältigen Möglichkeiten der Integration von Kunden in das Servicegeschäft werden skizziert und strukturiert. Eine empirische Datenanalyse auf Basis von mehr als 500 befragten Industrieunternehmen zeigt die Vorteile der Kundenintegration auf und verdeutlicht zugleich, dass trotz überzeugender positiver Effekte die Potenziale in den Industrieunternehmen häufig noch ungenutzt bleiben.

Schlüsselwörter: Produzierende Unternehmen, Service, Kundenintegration, Service-Strategie, Service-Entwicklung, Service-Betrieb, Service-Lebenszyklus, Empirie.

Abstract

Literature shows that industrial companies can increase service sales, service profitability and customer satisfaction when adapting appropriate methods for customer integration. Due to different integration methods customers can be involved into every single stage of the service lifecycle: service strategy, service innovation and service operations. Therefore a framework is presented collecting and structuring customer integration methods alongside the service lifecycle. Based on a quantitative study the status quo of customer integration in 500 German-speaking countries is discussed. Empirical data show that incorporating customers in the service business improves performance and results in higher profitability. Nevertheless a majority of companies does not yet fully realize the potential of customer integration.

Einführung

Kundenorientierung und die Integration der Kunden in unternehmensinterne Prozesse spielt seit Jahren eine zentrale Rolle im Servicegeschäft von Industrieunternehmen. Ursachen hierfür sind vor allem die gestiegene Erwartungshaltung der Kunden in Bezug auf individuelle Lösungsangebote sowie die Notwendigkeit der Unternehmen, sich über das Servicegeschäft von den Wettbewerbern zu differenzieren (Engelhardt/Reckenfelderbäumer, 2006, S. 217). Die Bedeutung der Kundenorientierung im Servicegeschäft und die Integration des Kunden in die eigenen Prozesse betonen Unternehmen und Wissenschaft und plädieren dabei für eine stärkere Einbindung des Kunden in die Entwicklung und die

Wertschöpfung der Kunden (Ramaswamy 1996; Kleinaltenkamp et al., 2009; Prahalad & Ramaswamy, 2000; Wecht 2005).

Kundenintegration wird in der Praxis oftmals mit anderen Termini, wie zum Beispiel „Kundeninteraktion“ oder „Wertschöpfung durch den Kunden“, gleichgesetzt (Kurzmann/Reinecke, 2009, S. 198). Darüber hinaus existieren in der Literatur zahlreiche Ansätze, um den Begriff der „Kundenintegration“ zu definieren. Eine verbreitete Definition beschreibt die Kundenintegration als Beteiligung des Kunden an der Leistungserstellung des (Dienstleistungs-) Anbieters (Engelhardt, 1989). Es handelt sich dabei um eine „Form der Input-Throughput-Output-Folge“ (Kleinaltenkamp/Bach/Griese, 2009, S. 39),

welche eine notwendige Bedingung darstellt, um kundenindividuelle Leistungen zu erbringen. Der Kunde stellt externe Faktoren für den Leistungserstellungsprozess zur Verfügung und beeinflusst diesen auf diese Weise. Als externe Faktoren kommen dabei der Kunde selbst, Objekte oder Informationen, welche zeitlich begrenzt mit den Produktionsfaktoren des Anbieters kombiniert werden, infrage (Engelhardt/Kleinaltenkamp/Reckenfelderbäumer, 1993, S. 401; Bruhn/Stauss, 2009, S. 10). Dadurch verlässt der Kunde seine herkömmliche Rolle als Verbraucher und wandelt sich zum Wertschöpfungspartner, also zum „co-creator of value“ (Pralhad/Ramaswamy, 2000, S. 80). Die Integration des Kunden findet aber nicht ausschließlich im Leistungserstellungsprozess statt. Auch bei (Dienstleistungs-) Innovationsprozessen und bei strategischen Prozessen, wie beispielsweise dem Relationship Marketing, ist eine Beteiligung des Kunden möglich (Bruhn/Stauss, 2009, S. 3 – 33). Damit spielt die Integration des Kunden in allen Phasen des Service-Lebenszyklus (Leistungserstellung/Servicebetrieb, Innovationsprozess/Serviceentwicklung und Strategieprozess/Service-Strategie) eine wichtige Rolle.

Es finden sich in der Literatur mehrere Erklärungsversuche, welche Rollen und damit verbundenen Aktivitäten die Kunden bei der Integration ausführen. Wegen der Bereitstellung von externen Faktoren und des damit verbundenen aktiven Eingreifens in den Leistungserstellungsprozess wird der Kunde häufig als Co-Produzent bezeichnet (Meyer/Blümelhuber/Pfeiffer, 2000, S. 53; Kleinaltenkamp/Bach/Griese, 2009, S. 50). Als solcher liefert er Informationen, stellt Objekte zur Verfügung oder greift physisch in die Leistungserstellung ein, indem er Aufgaben selbstständig ausführt. Dadurch wird der Kunde zum Mitarbeiter oder „partial employee“ (Kelley/Donnelly/Skinner, 1990, S. 316). Auch bei der Innovation von Dienstleistungen nimmt der Kunde aktive Rollen ein. Um eine gelungene Neuentwicklung einer Serviceleistung sicherzustellen, muss der Anbieter an das implizite Wissen, die sogenannten „sticky information“ des Kunden gelangen (v. Hippel, 1998, S. 629). Diese Informationen umfassen die Ideen, Anforderungen und Wünsche des Kunden und schaffen die Grundlage für eine erfolgreiche Serviceentwicklung. Durch seine aktive Mitarbeit als Innovator wird der Kunde daher zum Co-Designer oder Co-Creator (Meyer/Blümelhuber/Pfeiffer, 2000, S. 55; Bruhn/Stauss, 2009, S. 12). Einen Schritt weiter gehen Normann und Corsten, indem sie den Kunden als „Prosumer“, also als Produzent und zugleich Konsument bezeichnen (Normann, 1987, S. 15; Corsten, 1990, S. 177). Neben den operativen und innovativen Funktionen des Kunden kann dieser auch auf strategische Prozesse Einfluss nehmen. In der Literatur werden hier vor allem Marketingprozesse genannt. Kunden, welche die Serviceentwicklung bereits mitgestaltet haben, fungieren demnach als Pre-Tester, Testimonials oder Referenzkunden zur besseren Vermarktung der neuen Serviceleistungen (Schüller, 2008; Geigenmüller/Leischnig, 2009,

S. 416). Eine besonders wertvolle Rolle für Industrieunternehmen können dabei Stammkunden spielen, die aufgrund ihrer langjährigen Erfahrung ihr Know-how in Form von Beratungsleistungen für strategische Prozesse einbringen können (Kurzmann/Reinecke, 2009, S. 201). Die genannten Kundenrollen bringen zudem auch unterschiedliche Arten der Beteiligung des Kunden mit sich. In der Literatur gliedern sich diese in passive und aktive Beteiligungsarten. Darüber hinaus wird zwischen physischer, intellektueller und emotionaler Beteiligung der Kunden unterschieden (Langeard, 1981, S. 235). Als physischer Beitrag zur Integration wird dabei die körperliche Anwesenheit des Kunden während der Leistungserstellung bezeichnet. Intellektuelle Beiträge zielen auf die Lieferung, Verarbeitung und Speicherung von Informationen ab und emotionale Beteiligung wird erreicht, wenn der Kunde sich mit der erbrachten Leistung identifizieren kann (Bruhn/Stauss, 2009, S. 13).

Kundenintegration – empirische Erkenntnisse

Ausgangspunkt für die im Folgenden dargestellten Untersuchungsergebnisse war die Frage, ob und in welchem Umfang Kundenintegration bereits in der Unternehmenspraxis umgesetzt wird. Wie werden Kunden im Unternehmensalltag in die Wertschöpfungsprozesse integriert? Welche Unterschiede gibt es zwischen „Best Practice“-Unternehmen und Unternehmen, die eine geringe Service-reife aufweisen? Lohnt sich die Integration des Kunden in das Servicegeschäft wirklich und woran lässt sich der Nutzen erkennen? Die Suche nach Antworten auf diese Fragen mithilfe empirischer Daten steht im Mittelpunkt der nachfolgenden Ausführungen.

Die empirischen Analysen und Ergebnisse basieren auf einer quantitativen Erhebung des Instituts für industrielles Service Management (S4I). Das An-Institut der Ostbayerischen Technischen Hochschule Amberg-Weiden wurde im Jahr 2011 gegründet und beschäftigt sich mit der Professionalisierung des Servicegeschäfts in der Industrie. In der quantitativen Untersuchung mit dem Titel „Wie professionell ist das Servicegeschäft in der Industrie?“ wurden von Juli 2011 bis Januar 2012 mithilfe eines standardisierten Fragebogens 503 Unternehmen aus Deutschland, Österreich und der Schweiz untersucht. Der Fragebogen adressierte Führungskräfte aus den Branchen der elektronischen Fertigung, Automobilproduktion, Verarbeitungs- und Abfülltechnik, Energietechnik und medizinische Gerätetechnik (Strassl/Schicker, 2012).

Es wurde ein Modell entwickelt, um die Professionalität des Servicegeschäfts von Industrieunternehmen systematisch und wissenschaftlich zu untersuchen und daraus das Servicegeschäft und die damit verbundenen Aspekte zu verbessern. Das Modell basiert auf aktuellen wissenschaftlichen Erkenntnissen und wurde durch Vorstudien und zahlreiche Experteninterviews verfeinert und validiert. Ziel der Modellbildung ist es, den Reifegrad

im industriellen Servicegeschäft umfassend abzubilden und ein verständliches und anwendbares Werkzeug für die Praxis zu entwickeln. Die Servicereife kommt in einem Indexwert zum Ausdruck. Je höher der Indexwert ist, desto professioneller ist das Servicegeschäft einzuschätzen. Aus 503 teilnehmenden Unternehmen lässt sich von 108 Unternehmen ein repräsentativer Reifegrad bestimmen. Je nach Reifegrad werden die Unternehmen in drei Kategorien eingeteilt:

- „Service Champions“ sind die Unternehmen im vierten Quartil der Reifegradverteilung.
- „Service Practitioners“ sind die Unternehmen im zweiten und dritten Quartil der Reifegradverteilung.
- „Service Experimenters“ sind die Unternehmen im ersten Quartil der Reifegradverteilung.

Die Untersuchung zeigt, dass sich Unternehmen der Industrie in Bezug auf deren Professionalität im Servicegeschäft signifikant unterscheiden. Service Champions sind profitabler, somit zahlt sich Professionalität im Servicegeschäft aus. Service Champions unterscheiden sich von den Unternehmen, die weniger professionell agieren, darin, dass sie ihre Serviceleistungen besser strategisch planen, neue Serviceleistungen besser entwickeln und diese Serviceleistungen besser umsetzen. Dabei heben sich die Unternehmen in sechs Themenbereichen signifikant von weniger professionellen Unternehmen ab. Einer dieser Bereiche adressiert die Integration des Kunden in allen Phasen des Service-Lebenszyklus.

Von den mehr als 500 Befragten postulieren etwa 80 Prozent der Unternehmen eine Strategie der Kundenpartnerschaft für sich bzw. mehr als die Hälfte streben eine Kombination aus Kundenpartnerschaft und Produktführerschaft als strategische Stoßrichtung an. Der strategische Anspruch der Unternehmen, sich primär durch eine Kundenpartnerschaft zu differenzieren, stimmt jedoch nicht mit der gelebten Realität und den dazu gemachten Aussagen der Unternehmen im Rahmen der Studie überein. Welche Fakten stützen diese provokante These?

Nachfolgend werden die Unterschiede bei der Einbindung des Kunden in das Servicegeschäft differenziert nach Service Champions, Service Practitioners sowie Service Experimenters dargestellt. Dabei fällt auf, dass Unternehmen bei der Einbindung von Kunden in ihr Servicegeschäft zahlreiche Defizite aufweisen. Erfolgreiche Serviceunternehmen unterscheiden sich von weniger erfolgreichen demnach vor allem durch vier konkrete Aspekte: Für Service Champions gehört das Sammeln und Verarbeiten von Kundenfeedback im Rahmen eines implementierten Reklamationsprozesses zum „daily business“. Über vier Fünftel der Service Champions nutzen den Reklamationsprozess als wichtiges Instrument, um die Meinung der Kunden einzuholen. Weniger reife Industrieunternehmen sind hingegen deutlich im Hintertreffen. Nur

knapp die Hälfte der Service Practitioners und weniger als ein Drittel der Service Experimenters erfassen systematisch Kundenfeedback im Rahmen eines etablierten Reklamationsprozesses.

Auch Kundenbefragungen zu den angebotenen Serviceleistungen sind bei mehr als zwei Drittel der Service Champions üblich. Bei den Service Experimenters hingegen führen gerade einmal 15 Prozent regelmäßig Kundenbefragungen durch.

Ein ähnliches Bild zeigt sich bei der Entwicklung neuer Serviceleistungen. Knapp zwei Drittel der Service Champions legen quantitativ messbar fest, welche Erwartungen die Kunden an die neue Serviceleistung haben. Der Anteil bei den weniger reifen Service Experimenters liegt bei gerade einmal 26 Prozent. Gerade die frühzeitige Beschäftigung damit, welchen Wert Unternehmen durch neue Serviceleistungen für ihre Kunden erreichen wollen und wie sie dies für den Kunden nachweisbar gestalten können, ist eine der wesentlichen Erfolgsfaktoren bei der Entwicklung neuer Serviceleistungen (Ramaswamy, 1996). Selbst bei den Service Champions binden nur etwas mehr als die Hälfte der befragten Unternehmen (59 Prozent) die Kunden aktiv in die Entwicklung von neuen Serviceleistungen ein. Nur 22 Prozent der Service Practitioners und vier Prozent der Service Experimenters geben an, Kunden von der Idee bis zur Implementierung in die Serviceentwicklung zu integrieren.

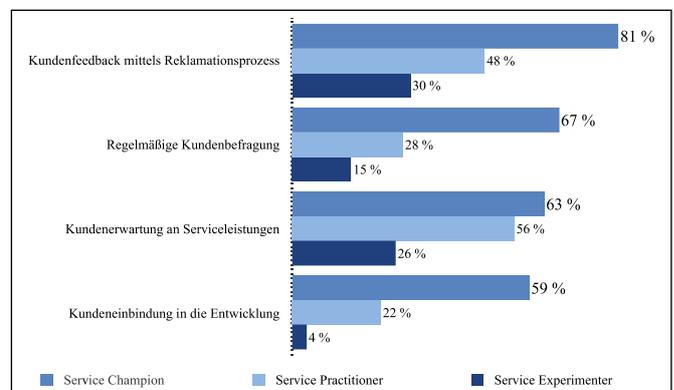


Abbildung 1: Kundenintegration in der Praxis

Aber auch insgesamt – unabhängig von der Servicereife der Unternehmen – sind die Ergebnisse ernüchternd. Nur drei Prozent der befragten Unternehmen (7 von 217) führen alle vier der oben genannten Kundenintegrationsmaßnahmen durch. In Anbetracht der dominierenden Strategie der Kundenpartnerschaft bei den befragten Unternehmen sind diese Ergebnisse nur schwer nachvollziehbar, teils widersprüchlich und zeigen weiteren Untersuchungsbedarf auf. Daher werden im Folgenden drei Hypothesen zum Nutzen der Kundenintegration untersucht.

Hypothese 1 (H1): Unternehmen, die Kunden in den gesamten Innovationsprozess integrieren, erzielen höhere Umsatzanteile mit neuen Serviceleistungen. Ein in der Literatur häufig diskutiertes Thema ist die Integration des Kunden in den Innovationsprozess. Der Kunde wird dabei als wichtige Ressource und Innovationstreiber betrachtet (Prahalad/Ramaswamy, 2000, S. 79 – 88). Durch seine aktive Mitarbeit als Co-Designer und selbstständiger Innovator bringt der Kunde während des gesamten Innovationsprozesses seine Ideen ein. Unternehmen sparen auf diese Weise Zeit- und Entwicklungsaufwand. Gleichzeitig stellt der Anbieter sicher, nur solche Services zu entwickeln, die vom Kunden auch nachgefragt werden. Als Resultat der Innovationen verspricht sich der Anbieter zudem Umsatz- und Gewinnsteigerungen (Bullinger, 1990, S. 22; Lay/Kirner/Jäger, 2007, S. 9f). Für die Überprüfung dieser Hypothese können insgesamt 150 Datensätze ausgewertet werden. Über 40 Prozent der Unternehmen geben dabei an, dass sie ihre Kunden nicht in die Entwicklung neuer Services einbeziehen. 30 Prozent der Befragten hingegen integrieren ihre Kunden intensiv während des gesamten Innovationsprozesses. Stellt man diese Ergebnisse nun dem Umsatzanteil neuer Serviceleistungen am gesamten Service-Umsatz gegenüber, ergibt sich folgendes Bild.

Nicht einmal 12 Prozent der Unternehmen, die ihre Kunden nicht oder kaum in die Entwicklung neuer Services einbinden, erzielen mit ihren neuen Serviceleistungen einen Umsatzanteil von über zehn Prozent am gesamten Serviceumsatz. Ein deutlich besseres Ergebnis erzielen hingegen die Unternehmen, die ihre Kunden intensiv in den Innovationsprozess integrieren. Hier geben insgesamt 49 Prozent der Befragten an, einen Umsatzanteil von über zehn Prozent mit ihren neuen Serviceleistungen zu erwirtschaften. 11,1 Prozent erzielen dabei sogar über die Hälfte des Gesamtumsatzes mit neu entwickelten Services. Unternehmen, die Kunden in den gesamten Innovationsprozess integrieren, erzielen damit nachweisbar höhere Umsatzanteile mit neuen Serviceleistungen.

Hypothese 2 (H2): Unternehmen, die regelmäßig Kundenbefragungen zu den angebotenen Serviceleistungen durchführen, sind profitabler als der Wettbewerb. Ein mögliches Mittel, um Informationen über das Dienstleistungsportfolio einzuholen, ist die Befragung der Kunden. Mithilfe von Fragebögen/Umfragen, Checklisten oder Feedbacksystem können Kunden die angebotenen Serviceleistungen aufwandsarm und zielgerichtet beurteilen. Der Anbieter erhält dadurch Erkenntnisse über die Anliegen der Kunden und Schwachstellen in seinem Serviceportfolio. Die entsprechenden Leistungslücken können anschließend vom Anbieter gezielt geschlossen werden. Die Qualität der Services wird dadurch positiv beeinflusst und die Kundenzufriedenheit steigt (Kurzmann/Reinecke, 2009, S. 199; Bruhn/Stauss, 2009, S. 6f).

Zur Prüfung dieser Hypothese werden die Datensätze von 154 Unternehmen untersucht. Dabei ist festzustellen, dass 46,8 Prozent keine regelmäßigen Kundenbefragungen zu ihren Serviceleistungen durchführen. 33,1 Prozent der Unternehmen hingegen befragen ihre Kunden regelmäßig zu ihrem Serviceportfolio. Diese Werte wurden nun der Frage nach der Profitabilität der Unternehmen gegenübergestellt.

Tabelle 2 zeigt die Profitabilität der Unternehmen sowohl bei Durchführung als auch bei Verzicht auf Kundenbefragungen. 54,2 Prozent der Unternehmen, die keine Kundenbefragungen durchführen, sind in etwa gleich profitabel zu ihrem Wettbewerb. Nur ein Drittel dieser Unternehmen profitabler als der Wettbewerb. Anders sieht das Ergebnis bei den Unternehmen, die Befragungen durchführen, aus. Hier geben 43,1 Prozent an, gleichermaßen profitabel wie der Wettbewerb zu sein. Mit insgesamt 45,1 Prozent ist jedoch fast die Hälfte aller Befragten profitabler als der Wettbewerb. Die Analyse stützt die Vermutung, dass regelmäßige Kundenbefragungen zu den angebotenen Serviceleistungen die Profitabilität des Unternehmens positiv beeinflussen.

Hypothese 3 (H3): Unternehmen, die ihre neu entwickelten Serviceleistungen vor der Markteinführung testen, sind im Vergleich zum Wettbewerb profitabler. Da der Kunde während des gesamten Innovationsprozesses integriert werden kann, nimmt dieser auch eine Rolle bei der Test- und Vermarktungsphase ein. Als Testperson kann der Kunde aktiv prüfen, ob die Neuentwicklung seinen Anforderungen entspricht. Vom Kunden können Schwachstellen identifiziert und mit dem Anbieter zusammen Verbesserungsvorschläge erarbeitet werden (Bruhn/Stauss, 2009, S. 20). Den Produkttests durch Pilot- und Referenzkunden ist deshalb ein hoher Stellenwert zuzuschreiben, da sie dazu beitragen, Neuentwicklungen vor der endgültigen Markteinführung ausführlich zu prüfen und zu bewerten (Bretschneider/Leimeister/Krcmar, 2009, S. 8; Veßhoff/Freiling, 2009, S. 147). Der Anbieter hat die Möglichkeit, Änderungen vorzunehmen, um für Akzeptanz und einen reibungslosen Ablauf der Leistungserstellung zu sorgen. Dies, so die Hypothese, dürfte auch positive Auswirkungen auf die Profitabilität des Unternehmens haben.

Für die Analyse werden die Antworten von 157 Studienteilnehmern herangezogen. Dabei stellt sich heraus, dass über die Hälfte der Teilnehmer ihre neu entwickelten Serviceleistungen vor der Markteinführung nicht durch Pilotkunden oder Prototypen testen. Ein Viertel der Unternehmen führt regelmäßig Service-Tests vor der Markteinführung durch. Wie sich die Durchführung von Service-Tests auf die Profitabilität der Unternehmen auswirkt, zeigt Tabelle 3.

Nur etwa ein Drittel der Unternehmen, die keine Service-Tests durchführen, sind profitabler als die Konkurrenz.

Betrachtet man die Unternehmen, welche Tests durchführen, so stellt man fest, dass 45 Prozent der Befragten angeben, profitabler als der Wettbewerb zu sein. Auch hier erzielen also die Unternehmen, welche ihre Kunden in das Servicegeschäft integrieren, bessere Ergebnisse. Es lohnt sich, Serviceleistungen vor der endgültigen Markteinführung durch Kunden testen zu lassen. Die Hypothese kann daher bestätigt werden.

Zwischenfazit: Die Analyse der Daten hat gezeigt, dass die Profitabilität der Unternehmen von mehreren Faktoren abhängig ist. Die Integration der Kunden spielt dabei eine zentrale Rolle. Der Nutzen der Kundenintegration lässt sich mithilfe der empirischen Daten ebenfalls tendenziell aufzeigen, wenngleich rein statistisch monokausale Zusammenhänge zwischen der Kundenintegration und der Profitabilität von Unternehmen nicht belegbar sind. Trotz überzeugender Argumente und nachweisbarer Vorteile sind zahlreiche Industrieunternehmen jedoch kundenphob, was Dienstleistungen angeht. Alle scheinen zu wissen, was Kunden erwarten, jedoch existiert eine (gewisse) Scheu, Kunden (tatsächlich) systematisch und regelmäßig einzubinden. Wertvolle Erkenntnisse gehen so unwiederbringlich verloren und Servicepotenziale bleiben in erheblichem Maße ungenutzt.

Methoden der Kundenintegration im Service-Lebenszyklus

Nachdem die Bedeutung einer intensiven Einbindung von Kunden in das Servicegeschäft sowohl theoretisch als auch empirisch herausgearbeitet wurde, stellt sich die Frage, wie diese Integration konkret ausgestaltet werden kann. Im Folgenden werden daher Methoden und Maßnahmen beschrieben, wie Kunden in den verschiedenen Phasen des Service-Lebenszyklus eingebunden werden können.

Kundenintegration im Leistungserstellungsprozess:

Als Co-Produzent nimmt der Kunde, wie oben erläutert, Einfluss auf die Leistungserbringung, indem er einzelne Prozessschritte und Handlungen komplett oder teilweise übernimmt (Geigenmüller/Leischnig, 2009, S. 409). Zur Einordnung der unterschiedlichen Kundenbeiträge und somit zur Kategorisierung der Methoden liefern Kelley, Donnelly und Skinner einen hilfreichen Ansatz. Sie unterscheiden zwischen „information“ und „effort“ (Kelley/Donnelly/Skinner, 1990, S. 315). Der Kunde muss einerseits Informationen an den Anbieter liefern und andererseits einen gewissen Grad an Aufwand betreiben, indem er Serviceleistungen selbstständig ausführt. Bei der Informationsgewinnung liegt der Fokus des Anbieters vor allem darauf, Kundenwünsche und -bedürfnisse zu identifizieren, individuelle Anforderungen kennenzulernen und Wissenslücken auszugleichen (Bieger, 2007, S. 145; Veßhoff/Freiling, 2009, S. 139; Bruhn/Stauss, 2009, S. 7). Der Anbieter erhält Hinweise auf Schwachstellen in seinem Serviceportfolio und kann entsprechende

Gegenmaßnahmen einleiten. Qualitätslücken können geschlossen und die Kundenzufriedenheit kann erhöht werden.

Unter den Begriff „effort“ fallen alle Methoden, die zur Vorbereitung und Übernahme von Aufgaben durch den Kunden dienen. Eines der wichtigsten Ziele ist dabei die Erhöhung der Prozesseffizienz und eine damit verbundene Kosteneinsparung (Kurzmann/Reinecke, 2009, S. 199). Mithilfe automatisierter Service-Technologien und elektronischer Medien lassen sich einzelne Prozesse durch den Kunden leicht und zielgerichtet ausführen, wodurch sowohl Zeit- als auch Kosteneinsparungen realisiert werden können (Büttgen, 2009, S. 65; Kurzmann/Reinecke, 2009, S. 201). Präventive Fehlervermeidung durch Kundens Schulungen oder Vorgangsbeschreibungen tragen ebenfalls zur Steigerung der Qualität und Produktivität bei. Darüber hinaus wird erhebliches Know-how auf Kundenseite aufgebaut, wodurch Wechselbarrieren aufgebaut werden und der Kunde noch stärker an das Unternehmen gebunden wird (v. Wangenheim/Holzmüller, 2005, S. 259; Engelhardt/ Reckenfelderbäumer, 2006, S. 237ff; Bruhn/Stauss, 2009, S. 7; Bieger, 2007, S. 305). Eine Kategorisierung der unterschiedlichen Ziele liefern Meffert und Bruhn (Meffert/Bruhn, 2009, S. 142ff):

- Ökonomische Ziele: Profitabilitätsziele auf einzelne Kunden(-segmente), Reduktion der Transaktionskosten
- Psychologische Ziele: Qualitätswahrnehmung, Kundenzufriedenheit
- Verhaltensbezogene Ziele: Wiederkauf, Cross-Selling, Weiterempfehlung

Abbildung 2 zeigt die Integrationsmethoden im Leistungserstellungsprozess mit den dazugehörigen Zielen und Kundenrollen.

Ziele	Ausgleich von Wissenslücken über Präferenzen und Qualitätsvorstellungen der Kunden	Wissenstransfer, Hilfestellung für Kunden einschließlich Verbesserung der Servicequalität	Schwachstellen identifizieren, Fehlervermeidung und Produktivitätssteigerung	Kostensenkung und Zeitersparnis durch verbesserte Prozesseffizienz, Kundenzufriedenheit durch individuelle Lösungen	Fehlervermeidung und Qualitätssteigerung durch Know-how Zuwachs beim Kunden, Vertrauen schaffen und Kundenbindung erhöhen
Kundenrollen	Fremdbestimmter Informationslieferant	Selbstbestimmter Dialogpartner	Selbstbestimmte Interaktion mit Anbieter	Co-Produzent: Selbständige Interaktion	Kunde als gleichberechtigter Interaktionspartner
Methoden	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Umfragen ✓ Checklisten ✓ Fragebögen ✓ Interviews ✓ Panels 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Medieneinsatz (Help Desk, Foren, Communities) ✓ Feedbacksysteme ✓ Beschwerdemanagement 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Mystery Shopping ✓ (Soll-)Blueprints 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ E-Commerce Tools ✓ Konfigurator ✓ Selbstbedienungskonzepte ✓ Baukastensysteme 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Schulungen ✓ Mentoren
	<div style="display: flex; justify-content: space-between; align-items: center;"> Passiv Aktivitätsgrad des Kunden → Aktiv </div>				

Abbildung 2: Kundenintegrationsmethoden im Leistungserstellungsprozess

Kundenintegration im Innovationsprozess: Die Idee, dass der Wert gemeinsam mit dem Kunden geschaffen wird, unterliegt der impliziten Annahme, dass Kunden bereits während des Entwicklungsprozesses integriert sind und die Dienstleistung gemeinsam schaffen. Eine grundlegende Frage während des Dienstleistungsentwicklungsprozesses ist, welcher Wert wie während des Betriebs für

Kunden und Dienstleister geschaffen wird. Somit hängt der Erfolg des Leistungsversprechens von der Fähigkeit ab, den (zukünftigen) Akt der gemeinsamen Wertschaffung während des Betriebs zu verstehen. Wir verstehen Kunden als Ressource in einem Wertesetzwerk und somit erscheint die Integration der Kunden während der Dienstleistungsentwicklung attraktiv (Strassl/Schicker/Grasser, 2015).

Unternehmen, die Kunden während der Dienstleistungsentwicklung integrieren, sammeln Wissen von und über Kunden(-prozesse). Bo Edvardsson (Edvardsson et al., 2010) unterscheidet (wenigstens) zwei Arten von Wissen: Anwendungswissen bezieht sich auf tatsächliche Situationen des Wissens, Schwierigkeiten, Ideen, Gelegenheiten, Verhalten und Emotionen. Technikwissen bezieht sich auf die Ressourcen, mit denen aktuelle oder zukünftige Dienstleistungen umgesetzt werden.

Auch Carbonells Untersuchungen bestätigen, dass die Verwendung von Kundeninformationen zu neuen oder besseren Dienstleistungen führen und somit die Marktperformanz erhöhen kann (Carbonell, 2009), vorwiegend dadurch, dass Erwartungen zum Ausdruck gebracht werden können oder systematisch moderiert werden. Die enge Zusammenarbeit mit Kunden während der Entwicklung von Dienstleistungen verschafft ein besseres Verständnis der Herausforderungen und Bedarfe der Kunden und kann letztendlich zu neuen Geschäftsmöglichkeiten führen.

Ein wichtiger Grund für die Einbeziehung von Kunden in den Innovationsprozess von Dienstleistungen ist es, die sogenannten „sticky information“ zu gewinnen, um darauf basierend bestehende Dienstleistungen zu verbessern oder neue Dienstleistungen zu entwickeln (vgl. oben). „Die konsequente Ausrichtung der Innovationsaktivitäten auf eine proaktive Rolle einzelner Kunden“ ist dabei ein zentrales Erfolgskriterium (Reichwald/Ihl/Seifert, 2005, S. 266). Wie sich der Innovationsprozess aufteilen lässt, wird in der Literatur von zahlreichen Autoren beschrieben (u. a. Bruhn/Stauss, 2009, S. 19ff; Herstatt/Verworn, 2007, S. 9; Bretschneider/Leimeister/Krcmar, 2009, S. 3; Wecht, 2005, S. 28ff). In der ersten Phase des Innovationsprozesses geht es demnach um die Generierung und Bewertung neuer Ideen. Die zweite Phase umfasst das Dienstleistungsdesign zusammen mit dem Prototypenbau. In der abschließenden Phase werden die neu entwickelten Dienstleistungen getestet und mithilfe der Kunden vermarktet. In allen Phasen stehen dem Anbieter unterschiedliche Methoden zur Verfügung, um den Kunden einzubinden. Der Kunde dient als Innovationstreiber und kann sein Wissen und seine Ideen zielgerichtet einbringen. Durch diesen Wissenstransfer entfallen für den Anbieter hohe Kosten- und Zeitaufwände durch Forschungs- und Entwicklungsarbeiten (Reichwald/Ihl/Seifert, 2005, S. 266). Der Kunde dient dem Anbieter demnach als wertvolle Ressource, dessen Wissen und

Fähigkeiten er sich beschaffen kann. Gleichzeitig werden dadurch strategische Ziele wie Kundenbindung, Differenzierung vom Wettbewerb und die Verbesserung der Geschäftsbeziehung zum Kunden durch maßgeschneiderte Lösungen leichter erreichbar (Veßhoff/Freiling, 2009, S. 139; v. Wangenheim/Holz Müller, 2005, S. 259). Für die spätere Leistungserstellung bietet die Mitarbeit der Kunden im Innovationsprozess ebenfalls einen Vorteil, da neue Serviceleistungen bereits bekannt sind und vom Kunden schneller und leichter adaptiert werden. Abbildung 3 zeigt die Integrationsmethoden des Innovationsprozesses, die Ziele und Kundenrollen im Überblick.

Ziele	Gezielte Erschließung von Kundenbedürfnissen	Langfristige Erfüllung sich verändernder Kundenbedürfnisse und Qualitätsansprüche	Einsparen von Vermarktungsaufwänden	Nutzung von implizitem Kundenwissen und Einsparen hoher Forschungs- und Entwicklungskosten
Kundenrollen	Fremdbestimmter Informationslieferant	Selbstbestimmter Informationslieferant und Dialogpartner	Selbstständiger Anwender und Vermarktungshelfer	Co-Designer/Co-Creator: Gleichberechtigter Mitarbeiter und selbstständiger Innovator
Methoden	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Beobachtungen/Produktklinik ✓ Befragungen/Umfragen ✓ Quality Function Deployment 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Beschwerdemanagement ✓ Ideenwettbewerb ✓ Fokusgruppen ✓ Service Blueprints 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Pre-Tester ✓ Pilot- und Referenzkunden 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Lead-User für (Kreativ-) Workshops und Innovationszirkel ✓ Toolkits ✓ organisations- und funktionsübergreifende Entwicklungsteams
	<div style="display: flex; justify-content: space-between; align-items: center;"> Passiv Aktivitätsgrad des Kunden → Aktiv </div>			

Abbildung 3: Kundenintegrationsmethoden im Innovationsprozess

Kundenintegration bei der Entwicklung der Service-Strategie: Neben den operativen und innovativen Prozessen spielt die Einbeziehung des Kunden auch bei der strategischen Ausrichtung des Servicegeschäfts eine wesentliche Rolle. Entscheidungen in Bezug auf die Kundenintegration, die auf strategischer Ebene getroffen werden, haben vielfältige Auswirkungen auf die Durchführung und den Erfolg der Innovationsprozesse sowie der Leistungserstellung.

Eine wichtige Rolle spielt dabei die Wahl einer Externalisierungs- oder Internalisierungsstrategie (Corsten, 1990, S. 179). Es ist demnach zu klären, welche Leistungskomponenten auf den Kunden übertragen und welche vom Anbieter oder dessen Mitarbeitern selbst ausgeführt werden. Anhand von Kundenbefragungen ist zu untersuchen, ob Kunden zur Übernahme von Aufgaben bereit und ob die dafür notwendigen Kompetenzen vorhanden sind. Eine Analyse der Servicebedürfnisse der Kunden zeigt schließlich unterschiedliche Bündlungsstrategien und daraus resultierend verschiedene Möglichkeiten der Bedürfnisbefriedigung für verschiedene Kundensegmente auf (Engelhardt/Reckenfelderbäumer, 2006, S. 252):

- Unbundling: separates Anbieten und Fakturieren der Serviceleistungen
- Pure Bundling: komplette Servicepakete ohne Einfluss auf deren Zusammenstellung
- Mixed Bundling: Wahl zwischen fertigen Servicepaketen oder selbstständiger Zusammensetzung einzelner Serviceleistungen

Der Kunde erhält somit die Möglichkeit, die von ihm benötigten Serviceleistungen selbstständig auszuwählen. Einen ähnlichen Ansatz liefert die Strategie des Service Mass Customization, wodurch ebenfalls kundenindividuelle Servicepakete angeboten werden können (Reiß/Beck, 1995, S. 24 – 27). Auch das Relationship Marketing, insbesondere die Kommunikations-, Preis- und Leistungs politik, bieten Möglichkeiten zur Einbindung des Kunden. So können zum Beispiel durch den Einsatz von Referenzkunden, durch Gratisleistungen oder Kundens Schulungen Kunden besser einbezogen und an das Unternehmen gebunden werden (Bruhn/Stauss, 2009, S. 22f). Aber auch das bewusste Schaffen von Abhängigkeiten oder – positiver formuliert – Gebundenheit stellt eine Möglichkeit dar, den Kunden zu integrieren. Meyer und Oevermann unterscheiden folgende Bindungsformen (Meyer/Oevermann, 1995, Sp. 1341):

- Technische Gebundenheit (z. B. Einsatz spezifischer Maschinen)
- Vertragliche Gebundenheit (z. B. Serviceverträge, Garantien)
- Ökonomische Gebundenheit (z. B. Wechselbarrieren wie Rabatte)

Organisatorische Grundvoraussetzungen zur Kundenintegration, wie etwa das passende Personal oder ein geeignetes Kundenumfeld, tragen ebenfalls zum Erfolg bei. Die Kundenkontaktpunkte sollten daher vom Anbieter aktiv gesteuert und interaktiv gestaltet werden (Kurzmann/Reinecke, 2009, S. 200). Abbildung 4 zeigt Methoden zur Integration der Kunden in die Strategieentwicklung im Überblick.

Ziele	Langfristige Kundenbindung und Vertrauen schaffen	Kosteneinsparungen durch Priorisierung der angebotenen Serviceleistungen	Kundenbindung in allen Phasen des Kundenlebenszyklus schaffen
Kundenrollen	Vertragspartner, auf Anbieter angewiesener Kunde	Berater und Informationslieferant	Testimonial/Referenzkunde, Anwender und Testperson
Methoden	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Gebundenheit (vertraglich, technisch, ökonomisch) schaffen ✓ Customer Touchpoint Management 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Befragungen z. B. über Serviceportfolio und Bündelungsstrategien 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Aktive Kommunikations-, Preis- und Leistungs politik
	Passiv Aktiv Aktivitätsgrad des Kunden		

Abbildung 4: Kundenintegrationsmethoden in der Service-Strategie

Wie gezeigt liefert die wissenschaftliche Literatur zahlreiche Antworten auf die Frage, wie Kunden in das Servicegeschäft einbezogen werden können. In allen Phasen des Service-Lebenszyklus ergeben sich Optionen, Kunden aktiv in die Unternehmens- und Serviceabläufe zu integrieren und dadurch das Servicegeschäft noch professioneller zu gestalten. Im Anhang werden alle Integrationsmethoden entlang des Service-Lebenszyklus mit den zugehörigen Quellenverweisen aufgelistet, um eine vertiefte Beschäftigung mit der Thematik zu erleichtern.

Zusammenfassung

Die Literaturrecherche sowie die Analysen haben gezeigt, dass die Einbeziehung der Kunden im industriellen Servicegeschäft für Unternehmen zahlreiche Vorteile bietet. Der Nutzen einer intensiven Integration des Kunden in die verschiedenen Phasen des Service-Lebenszyklus ist evident, dies belegen nicht zuletzt die Daten der S4I-Studie. Unternehmen mit einer höheren Service-reife (Service Champions) sind profitabler. Sie setzen Methoden der Kundenintegration (wie z. B. Kundenbefragungen oder Tests) in deutlich stärkerem Maße ein als die übrigen Unternehmen. Darüber hinaus ist der Anteil neuer Dienstleistungen am Gesamtumsatz nachweisbar höher, wenn Kunden intensiv in die Entwicklung von Services integriert werden.

Die Untersuchung hat jedoch auch gezeigt, dass bei der Umsetzung dieser Erkenntnisse in die Praxis, über alle Reifegradtypen hinweg, erheblicher Nachholbedarf besteht. Obwohl die Kundenpartnerschaft als strategische Ausrichtung von der überwiegenden Mehrzahl der befragten Unternehmen gewählt wurde und so die Integration der Kunden in die eigenen Wertschöpfungsprozesse eine logische Konsequenz dieser Strategiewahl zu sein scheint, wird das unternehmerische Handeln diesem Anspruch in der Realität nur unzureichend gerecht. Selbst obligatorisch erscheinende Kundenintegrations-Maßnahmen wie die Kundenbefragung oder ein Test mit Pilotkunden vor der Serviceeinführung sind eher die Ausnahme als die Regel. Dabei stünden den Unternehmen zahlreiche bewährte und praxisadäquate Methoden zur Verfügung, ihre Kunden entlang aller Phasen des Service-Lebenszyklus zu integrieren, sich so als Kundenpartner strategisch zu positionieren und dadurch Wettbewerbsvorteile zu erlangen. Zentrale Handlungsfelder, um die Integration der Kunden voranzutreiben, sind dabei der Innovationsprozess, die Überwachung des Dienstleistungsportfolios sowie die Test- und Vermarktungsphase bei der Einführung von Dienstleistungen. Werden hier die richtigen Methoden konsequent und systematisch angewendet, macht sich dies im Service-Umsatz und in der Profitabilität der Unternehmen positiv bemerkbar.

Literaturverzeichnis

1. Bieger, T., 2007, Dienstleistungs-Management, 4. Aufl., Bern.
2. Bretschneider, U./Leimeister, J./Krcmar, H., 2009, Methoden der Kundenintegration in den Innovationsprozess: Eine Bestandsaufnahme, München.
3. Bruhn, M., 2008, Relationship Marketing. Das Management von Kundenbeziehungen, München.
4. Bruhn, M./Stauss, B., 2009, Kundenintegration im Dienstleistungsmanagement – Eine Einführung in die theoretischen und praktischen Problemstellungen, in: Bruhn, Manfred/Stauss, Bernd (Hrsg.), Kundenintegration, Wiesbaden, S. 3 – 33.
5. Bullinger, H.-J., 1990, IAO-Studie: F&E heute – Industrielle Forschung und Entwicklung in der Bundesrepublik Deutschland, München.
6. Büttgen, M., 2009, Beteiligung von Konsumenten an der Dienstleistungserstellung: Last oder Lust? – Eine motivations- und dissonanztheoretische Analyse, in: Bruhn, M./Stauss, B. (Hrsg.), Kundenintegration, Wiesbaden, S. 63 – 89.
7. Carbonell, P./Rodríguez-Escudero, A.I./Pujari, D., 2009, Customer Involvement in New Service Development: An Examination of Antecedents and Outcomes, *Journal of Product Innovation Management*, 26 (5), S. 536 – 50.
8. Corsten, H., 1990, Betriebswirtschaftslehre der Dienstleistungsunternehmen, Oldenbourg Wissenschaftsverlag, München.
9. Edvardsson, B./Edvardsson, P./Kristensson, P./Magnusson, P./Sundström, E.; 2010, Customer integration in service development and innovation methods and a new framework, *Karlstad University Studies* 2010:35, Karlstad University, Faculty of Economic Sciences, Communication and IT.
10. Engelhardt, W. H., 1989, Dienstleistungsorientiertes Marketing. Antwort auf die Herausforderung durch neue Technologien, in: Adam, D./Backhaus, K./Meffert, H./Wagner, H. (Hrsg.), *Integration und Flexibilität: eine Herausforderung für die allgemeine Betriebswirtschaftslehre*, Wiesbaden, S. 269 – 288.
11. Engelhardt, W. H./Kleinaltenkamp, M./Reckenfelderbäumer, M., 1993, Leistungsbündel als Absatzobjekte – Ein Ansatz zur Überwindung der Dichotomie von Sach- und Dienstleistungen, in: *zfbf*, 45. Jg., S. 395 – 426.
12. Engelhardt, W. H./Reckenfelderbäumer, M., 2006, Industrielles Service-Management, in: Kleinaltenkamp, M./Plinke W./Jacob F./Söllner A. (Hrsg.), *Markt- und Produktmanagement*, 2. Aufl., Wiesbaden, S. 209 – 318.
13. Geigenmüller, A./Leischnig, A., 2009, Wirkungen aktiver Kundenbeteiligung in personenbezogenen Dienstleistungen – Implikationen für Strategien des Consumer Empowerment, in: Bruhn, M./Stauss, B. (Hrsg.), *Kundenintegration*, Wiesbaden, S. 403 – 421.
14. Herstatt, C./Verworn, B., 2007, Bedeutung und Charakteristika der frühen Phasen des Innovationsprozesses, in: Herstatt, C./Verworn, B. (Hrsg.), *Management der frühen Innovationsphasen*, 2. Aufl., Wiesbaden, S. 3 – 19.
15. Kelley, S./Donnelly Jr., J./Skinner, S., 1990, Customer Participation in Service Production and Delivery, in: *Journal of Retailing*, Vol. 66, S. 315 – 335.
16. Kleinaltenkamp, M./Bach, T./Griese, I., 2009, Der Kundenintegrationsbegriff im (Dienstleistungs-) Marketing, in: Bruhn, M./Stauss, B. (Hrsg.), *Kundenintegration*, Wiesbaden, S. 36 – 62.
17. Kunz, W./Mangold, M., 2003, Segmentierungsmodell für die Kundenintegration in Dienstleistungsinnovationsprozesse – Eine Anreiz-Beitragstheoretische Analyse, München.
18. Kurzmann, H./Reinecke, S., 2009, Kundenintegration zwischen Kooperation und Delegation – Konzepte und Relevanz aus Managementsicht, in: Bruhn, M./Stauss, B. (Hrsg.), *Kundenintegration*, Wiesbaden, S. 194 – 212.
19. Langeard, E., 1981, Grundfragen des Dienstleistungsmarketings, in: *Marketing Zeitschrift für Forschung und Praxis*, 3. Jg., S. 223 – 240.
20. Lay, G./Kirner, E./Jäger, A., 2007, Service-Innovationen in der Industrie – Innovatorenquote, Umsatzrelevanz und Wachstumspotenziale, Fraunhofer Institut für System- und Innovationsforschung, PI-Mitteilung Nr. 43.
21. Meffert, H./Bruhn, M., 2009, *Dienstleistungsmarketing Grundlagen – Konzepte – Methoden*, 6. Aufl., Wiesbaden.
22. Meyer, A./Oevermann, D., 1995, Kundenbindung, in: Tietz, B. (Hrsg.), *Handwörterbuch des Marketing*, 2. Aufl., Stuttgart, Sp. 1340 – 1351.
23. Meyer, A./Blümelhuber, C./Pfeiffer, M., 2000, Der Kunde als Co-Produzent und Co-Designer – oder: die Bedeutung der Kundenintegration für die Qualitätspolitik von Dienstleistungsanbietern, in: Bruhn, M./Stauss, B. (Hrsg.), *Dienstleistungsqualität*, 3. Aufl., Wiesbaden, S. 49 – 70.
24. Normann, R., 1987, *Dienstleistungsunternehmen*, Hamburg.

25. Prahalad, C. K./Ramaswamy, V., 2000, Coopting Customer Competence, in: Harvard Business Review, Vol. 78, S. 79 – 87.
26. Ramaswamy, R., 1996, Design and management of service processes, Addison-Wesley, Reading, MT.
27. Reichwald, R./Ihl, C./Seifert, S., 2005, Kundenintegration in den Dienstleistungsprozess, in: Hermann, T./Kleinbeck, U./Krcmar, H. (Hrsg.), Konzepte für das Service Engineering, Heidelberg, S. 263 – 282.
28. Reiß, M./Beck, T., 1995, Kostenverträglichen Service anbieten, in: Gablers Magazin, 9. Jg., S. 24 – 27.
29. Schüller, A., 2008, Kundenintegration: Wie die Kunden das Unternehmen führen, München.
30. Schicker, G./Strassl, J., 2014, Forschungsbericht 2014, Wie professionell ist das Servicegeschäft in der Industrie? Ostbayerische Technische Hochschule Amberg-Weiden, Amberg-Weiden, S. 19 – 24.
31. Strassl, J./Schicker, G., 2012, Der richtige Weg zur mehr Professionalität: Wie professionell ist das Servicegeschäft in der Industrie? Institut für industrielles Service Management, Service For Industry, Weiden i.d. OPf.
32. Strassl, J./Schicker, G., 2014, Wie erzielen Unternehmen herausragende Serviceleistungen mit höheren Gewinnen?, OTH im Dialog: Weidener Diskussionspapiere (No. 38).
33. Strassl, J./Schicker, G./Grasser, C., 2015, Giving ideas a chance – systematic development of services in manufacturing industry, OTH im Dialog: Weidener Diskussionspapiere (No. 47).
34. Treacy, M./Wiersema, F., 1993, Customer Intimacy and Other Value Disciplines, in: Harvard Business Review, Vol. 71, S. 84 – 93.
35. Veßhoff, J./Freiling, J., 2009, Kundenintegration im Innovationsprozess – Eine kompetenztheoretische Analyse, in: Bruhn, M./Stauss, B. (Hrsg.), Kundenintegration, Wiesbaden, S. 135 – 155.
36. Von Hippel, E., 1998, Economics of product development by users: The impact of ‘sticky’ local information, in: Management Science, Vol. 44, S. 629 – 644.
37. Von Wangenheim, F./Holzmüller, H., 2005, Gestaltung von Dienstleistungen – Gutstheoretische und kundenorientierte Determinanten, in: Hermann, T./Kleinbeck, U./Krcmar, H. (Hrsg.), Konzepte für das Service Engineering, Heidelberg, S. 247 – 260.
38. Wecht, C. 2005, Frühe aktive Kundenintegration in den Innovationsprozess, Dissertation Nr. 3117, Universität St. Gallen, Alwa & Deil Druckerei GmbH, Wien

Tabelle 1: Umsatzanteile neuer Serviceleistungen

		Der Umsatzanteil neuer Serviceleistungen am gesamten Service-Umsatz ist...					Gesamt
		< 5 %	5 - 9 %	10 - 24 %	25 - 50 %	> 50 %	
Kunden werden intensiv in die Entwicklung neuer Services eingebunden	1 Trifft nicht zu	8,0 %	5,3 %	0,7 %	0,0 %	0,0 %	14,0 %
	2	14,0 %	8,7 %	2,0 %	1,3 %	0,7 %	26,7 %
	3	8,0 %	12,0 %	6,0 %	2,0 %	1,3 %	29,3 %
	4	4,0 %	6,7 %	6,7 %	1,3 %	2,0 %	20,7 %
	5 Trifft voll zu	2,0 %	2,7 %	2,7 %	0,7 %	1,3 %	9,3 %
Gesamt		36,0 %	35,3 %	18,0 %	5,3 %	5,3 %	100,0 %

Legende: < 10 % 10 - 20 % 21 - 30 % > 30 %

Tabelle 2: Kundenbefragungen und Profitabilität

		Ihr Unternehmen ist im Vergleich zum Wettbewerb...					Gesamt
		deutlich weniger profitabel	etwas weniger profitabel	in etwa gleich profitabel	etwas profitabler	deutlich profitabler	
Kundenbefragungen zu den angebotenen Serviceleistungen werden regelmäßig durchgeführt	1 Trifft nicht zu	1,3 %	1,3 %	8,4 %	6,5 %	1,9 %	19,5 %
	2	1,9 %	1,3 %	16,9 %	5,8 %	1,3 %	27,3 %
	3	0,0 %	1,9 %	12,3 %	4,5 %	1,3 %	20,1 %
	4	0,0 %	2,6 %	6,5 %	5,2 %	1,3 %	15,6 %
	5 Trifft voll zu	0,0 %	1,3 %	7,8 %	7,1 %	1,3 %	17,5 %
Gesamt		3,2 %	8,4 %	51,9 %	29,2 %	7,1 %	100,0 %

Legende: < 10 % 10 - 20 % 21 - 35 % > 35 %

Tabelle 3: Tests vor Markteinführung und Profitabilität

		Ihr Unternehmen ist im Vergleich zum Wettbewerb...					Gesamt
		deutlich weniger profitabel	etwas weniger profitabel	in etwa gleich profitabel	etwas profitabler	deutlich profitabler	
Neue Serviceleistungen werden vor der Markteinführung regelmäßig getestet (z. B. Prototypen, Pilotkunden, Befragungen)	1 Trifft nicht zu	1,3 %	3,2 %	12,7 %	5,7 %	2,5 %	25,5 %
	2	1,9 %	2,5 %	12,7 %	5,7 %	2,5 %	25,5 %
	3	1,3 %	0,6 %	13,4 %	8,3 %	0,0 %	23,6 %
	4	0,0 %	2,5 %	8,3 %	5,1 %	2,5 %	18,5 %
	5 Trifft voll zu	0,0 %	0,0 %	3,2 %	3,2 %	0,6 %	7,0 %
Gesamt		4,5 %	8,9 %	50,3 %	28,0 %	8,3 %	100,0 %

Legende: < 10 % 10 - 20 % 21 - 35 % > 35 %

Anhang / Übersicht: Kundenintegration im Service-Lebenszyklus

Service-Innovation	Service-Innovation	Leistungserstellungsprozess / Servicebetrieb
Vertragliche, technische, ökonomische Gebundenheit (Meyer/Oevermann, 1995, Sp. 1341) Customer Touchpoint Management (Kurzmann/Reinecke, 2009, S. 200) Befragungen über Bündelungsstrategien (Engelhardt/Reckenfelderbäumer, 2006, S. 252) Service Mass Customization (Reiß/Beck, 1995, S. 25) Aktive Kommunikations-, Preis-, Leistungs politik (Bruhn/Stauss, 2009, S. 22)	Kundenbeobachtungen (Kunz/Mangold, 2003, S. 7) Produktklinik (Bretschneider/Leimeister/Krcmar, 2009, S. 8) Befragungen/Umfragen (Schüller, 2008; Kunz/Mangold, 2003, S. 7) Quality Function Deployment (Bretschneider/Leimeister/Krcmar, 2009, S. 6) Beschwerdemanagement (Meffert/Bruhn, 2009, S. 106) Ideenwettbewerb (Bretschneider/Leimeister/Krcmar, 2009, S. 3) Fokusgruppen (Kurzmann/Reinecke, 2009, S. 201) (Service) Blueprints (Bruhn/Stauss, 2009, S. 17) Pre-Tests, Pilot-/Referenzkunde (Bruhn/Stauss, 2009, S. 20; Schüller, 2008; Geigenmüller/Leischnig, 2009, S. 416; Veßhoff/Freiling, 2009, S. 147; Bretschneider/Leimeister/Krcmar, 2009, S. 9) (Kreativ-)Workshops, Innovationszirkel (Kunz/Mangold, 2003, S. 9f) Lead-User-Ansatz (Wecht, 2005, S. 18; Veßhoff/Freiling, 2009, S. 146; Kurzmann/Reinecke, 2009, S. 195) Toolkits (Kunz/Mangold, 2003, S. 10; Wecht, 2005, S. 20) Funktionsübergreifende Entwicklungsteams (Bruhn/Stauss, 2009, S. 20; Veßhoff/Freiling, 2009, S. 147)	Fragebogen, Checklisten (Geigenmüller/Leischnig, 2009, S. 416) Umfragen (Schüller, 2008; Kunz/Mangold, 2003, S. 8; Bruhn/Stauss, 2009, S. 16) Interviews und Panels (Kurzmann/Reinecke, 2009, S. 199; Meffert/Bruhn, 2009, S. 108) Communities, Help Desk Foren (Bieger, 2007, S. 137; Kunz/Mangold, 2003, S. 9; Schüller, 2008) Feedbacksysteme (Geigenmüller/Leischnig, 2009, S. 409; Schüller, 2008) Beschwerde- und Reklamationsmanagement (Meffert/Bruhn, 2009, S. 108; v. Wangenheim/Holz Müller, 2005, S. 255) Mystery Shopping (Bruhn/Stauss, 2009, S. 16; Kurzmann/Reinecke, 2009, S. 200) Soll-Blueprints (Kurzmann/Reinecke, 2009, S. 200f) E-Commerce Tools (Veßhoff/Freiling, 2009, S. 149) Konfigurator (Büttgen, 2009, S. 65) Baukastensysteme (Kurzmann/Reinecke, 2009, S. 200) (Kommunikations-)Medien (Bruhn/Stauss, 2009, S. 12f; Reichwald/Ihl/Seifert, 2005, S. 278) Self-Service-Technologien (Büttgen, 2009, S. 69; Kurzmann/Reinecke, 2009, S. 201; Bruhn/Stauss, 2009, S. 13) Anwender-/Kompetenzschulungen (v. Wangenheim/Holz Müller, 2005, S. 258; Bruhn/Stauss, 2009, S. 22) Mentor (v. Wangenheim/Holz Müller, 2005, S. 257)

Kontakt:



Thomas Igl

NTT DATA Deutschland GmbH
 Business Consultant
 Hans-Döllgast-Straße 26
 80807 München

thomas.igl@nttdata.com



Prof. Dr. Günter Schicker

Ostbayerische Technische
 Hochschule (OTH) Amberg-Weiden
 Fakultät Betriebswirtschaft
 Institut für Industrielles
 Dienstleistungsmanagement
 Hetzenrichter Weg 15
 92637 Weiden

g.schicker@oth-aw.de



Prof. Dr. Johann Strassl

Ostbayerische Technische
 Hochschule (OTH) Amberg-Weiden
 Fakultät Betriebswirtschaft
 Institut für Industrielles
 Dienstleistungsmanagement
 Hetzenrichter Weg 15
 92637 Weiden

j.strassl@oth-aw.de

Bargeldlos oder bar jeglichen Verstands? Was die Abschaffung des Bargeldes bringt oder eben gerade nicht

Prof. Dr. Malte Krüger
Prof. Dr. Franz Seitz

Zusammenfassung

Der vorliegende Beitrag beschäftigt sich mit der Frage, ob es aus theoretischen, empirischen, praktikablen und operationalen Gründen sinnvoll ist, Bargeld abzuschaffen. Dabei wird speziell auf die Effektivität der Geldpolitik an der Nullzinsgrenze, die Vermeidung schattenwirtschaftlicher Aktivitäten, die speziellen Eigenschaften von Bargeld und die Rolle von Anonymität und Schutz der Privatsphäre eingegangen. Die Autoren kommen zu dem Ergebnis, dass eine Abschaffung von Bargeld mehr Nach- als Vorteile für eine Volkswirtschaft mit sich bringt. Zu einem effizienten Zahlungsmittelmix gehört zwangsläufig auch Bargeld.

Der amerikanische Ökonom Kenneth Rogoff und andere schlagen vor, das Bargeld abzuschaffen (oder unattraktiv zu machen), um die Schattenwirtschaft einzudämmen und die Effektivität der Geldpolitik bei Negativzinsen zu erhöhen (siehe Rogoff, 2014 und stellvertretend für weitere Autoren Kimball, 2013; Buiters, 2009).¹ Spätestens nach dem Spiegel-Interview mit dem Wirtschaftsweisen Peter Bofinger ist die Diskussion inzwischen auch in der deutschen Öffentlichkeit angelangt (Der Spiegel, 2015). Die Vorschläge hören sich in der Theorie alle ganz gut an und sind vor dem Hintergrund der Existenz moderner unbarer Zahlungsinstrumente auch auf den ersten Blick attraktiv. Aber in der Praxis ergeben sich dadurch vielschichtige Probleme. Zunächst einmal wären die Auswirkungen einer solchen Maßnahme sicherlich begrenzt, wenn nur in einem Währungsraum Bargeld abgeschafft würde. Wenn wir uns zum Beispiel in der Eurozone zu diesem Schritt entschließen sollten und gleichzeitig der Schweizer Franken und der US-Dollar weiterhin in Münzen und Scheinen erhältlich sind, dann werden sich die Bewohner des Euro-Währungsgebiets ausländisches Bargeld verschaffen. Rogoffs Vorstellung macht also allenfalls dann Sinn, wenn sich international zumindest die Länder mit den wichtigsten Weltwährungen

Abstract

The present paper asks whether it might be useful to get rid of cash with a focus on theoretical, empirical, practical and operational aspects. Especially, we analyze the role of cash for the effectiveness of monetary policy at the zero lower bound, its role for activities in the shadow economy, the special characteristics of cash and the role of anonymity and privacy. We conclude that the abolition of cash would entail net costs for an economy. An efficient mix of payment instruments should necessarily include cash.

(US-Dollar, Schweizer Franken, Japanischer Yen, Britisches Pfund) zu einem solchen Schritt durchbringen würden. Aber selbst in einem solchen äußerst unrealistischen Fall ist zu bezweifeln, dass sich die erhofften positiven Effekte einstellen. Gleichzeitig sind die sprichwörtlichen „Risiken und Nebenwirkungen“ zu beachten.

1 Das geldpolitische Argument

Wenn das Bargeld abgeschafft ist, werden die Leute bei Negativzinsen versuchen, auf andere Aktiva auszuweichen. So kann man sich vorstellen, dass dann die Nachfrage nach Gold und anderen Edelmetallen deutlich ansteigt. Auch Immobilien würden vermutlich sehr gefragt sein. Dort könnte es zu ausgeprägten Preisblasen kommen und die nächste Finanzkrise stünde vor der Tür. Zudem wäre danach zu fragen, ob es den Leuten nicht gelingen kann, auf Alternativen auszuweichen, die ihnen auf alle Fälle eine Nullverzinsung garantieren. So ist es jederzeit möglich, auf Gutscheine überzugehen, Schecks zu verwenden und zunächst nicht einzulösen, Steuervorauszahlungen zu leisten oder Kredite vorzeitig zurückzubezahlen. Auch sollten Verhaltensänderungen und ausgelöste Anreize zu „Finanzinnovationen“, um die

Beschränkung zu umgehen, auf alle Fälle mit berücksichtigt werden. Die Bevölkerung sieht sich ja einer Situation gegenüber, in welcher durch die Null- bzw. Negativzinspolitik der Sparer und die Volkswirtschaft insgesamt negativ betroffen sind (siehe z. B. Rösl & Tödter, 2015). Und durch staatliche Intervention soll nun das Medium abgeschafft werden, mit dem man sich gegen diese Politik, zumindest teilweise, zur Wehr setzen kann. Die Anreize für Ausweichreaktionen bzw. Arbitragemöglichkeiten werden dabei umso größer sein, je länger die Negativzinsphase anhält und je stärker sie ausfällt.

2 Das Schattenwirtschaftsargument

Auch bei dem Schattenwirtschafts- bzw. Schwarzgeldargument gilt zunächst einmal, dass dieser Effekt nur sehr begrenzt auftreten würde, wenn ein Währungsgebiet isoliert einen solchen Schritt vornimmt. Die Schattenwirtschaft würde dann vermehrt auf andere Währungen ausweichen. Weiterhin sollte bedacht werden, dass einerseits illegale Aktivitäten nicht nur mit Bargeld abgewickelt werden² und andererseits der größte Teil der mit Bargeld finanzierten Transaktionen legaler Natur sind. Zudem enthält die Schattenwirtschaft auch Elemente eines „Sicherheitsventils“. Der moderne Staat erweist sich als äußerst produktiv im Erfinden immer neuer und komplizierter Regularien. Dies führt vielfach zu einer erheblichen Verteuerung bei der Produktion von Gütern und Dienstleistungen. Es ist daher zumindest nachvollziehbar, wenn einige Aktivitäten in die Schattenwirtschaft auswandern. Hier wäre die beste politische Antwort nicht die Abschaffung des Bargelds, sondern eine Entrümpelung des gesetzlichen Rahmens.

3 Privatsphäre und gläserner Bürger

Unter einem mehr generellen Blickwinkel wäre auch nach dem enormen Kontrollpotenzial zu fragen, das sich in einer Welt mit rein elektronischem Zahlungsverkehr ergeben würde. In diesem Zusammenhang wurde auch schon vom „Orwell’schen Albtraum“ gesprochen (Goodhart & Krueger, 2001, 10). In modernen vernetzten und computerisierten Gesellschaften ist der Mensch bereits in weitem Maße kontrollierbar: durch Aktivitäten im Internet, durch die Videoüberwachung öffentlicher Plätze, durch die Nutzung von Mobiltelefonen und durch die Verwendung vielfältiger elektronischer Zahlungsmittel. Bis dato sind die Zahlungsdaten jedoch höchst unvollkommen, da die meisten Zahlungen in bar stattfinden und daher von Dritten nicht nachvollziehbar sind. Krüger & Seitz (2014, 27) schätzen, dass es im Jahr 2011 32 Mrd. Bartransaktionen in Deutschland gegeben hat. Damit kommt jeder Deutsche im statistischen Durchschnitt auf beachtliche 400 Bartransaktionen.³ Diese Schätzung stellt eher eine Untergrenze dar. Würden alle diese Transaktionen elektronisch abgewickelt und damit potenziell offen für eine Überwachung, dann hätten wir den gläsernen Bürger. Eine Privatsphäre im eigentlichen Sinne des Wortes

gäbe es nicht mehr. Der Verlust der Anonymität („cash is privacy“, Kahn et al., 2005) wird dazu führen, dass weniger legale (!) Transaktionen getätigt werden und es zu Ausweichreaktionen kommt. Diese führen zu Effizienzverlusten und Zusatzlasten („deadweight losses“), die über die reine Abschaffung des Bargelds hinausgehen. Diese wirken analog der Effekte verzerrender Steuern. Es wird auf alle Fälle ohne Bargeld zu weniger Transaktionen kommen. Darauf deutet auch der Umstand hin, dass Bargeld selbst im Distanzhandel eine gewisse Rolle spielt. Das Modell „Bestellung im Internet – Abholung im Laden“ (mit Barzahlungsalternative) genießt zunehmende Popularität (selbst Amazon plant, stationäre Läden zu eröffnen) und Initiativen wie www.barzahlen.de bieten neue Möglichkeiten für Barzahlungen im E-Commerce.

In einer Welt ohne Bargeld würden auch die Zentralbankbilanzen erheblich kürzer ausfallen. Es würden weniger zinstragende Aktiva gehalten und die Gewinne der Zentralbanken wären geringer als heute. Möglicherweise könnten die Notenbanken dann nicht mehr genug Erlöse zur Deckung der eigenen Kosten erwirtschaften und wären somit abhängig von Zuwendungen ihrer jeweiligen Regierung. Hierdurch kann sich eine potenzielle Gefahr für die Unabhängigkeit der Zentralbanken ergeben.

4 Bargeldeigenschaften

Bargeld hat Eigenschaften, die es sehr schwer machen, einen perfekten elektronischen Ersatz zu entwickeln. Es ist anonym nutzbar, es kann ohne jede weitere Beteiligung von Dienstleistern verwendet werden, Zahlender und Zahlungsempfänger müssen nicht in irgendeiner Form „online“ sein, es kann für kleine und große Beträge genutzt werden, die Zahlung ist einfach, bequem und schnell, die Zahlung ist definitiv und final (sie kann nicht rückgängig gemacht werden) und Bargeld ist relativ fälschungssicher.⁴ Ein elektronisches Zahlungsmittel, das alle diese Eigenschaften besitzt, gibt es zurzeit nicht. Würde es erfunden, dann wäre es ein Traum für alle, die in der Schattenwirtschaft aktiv sind – von Terroristen ganz zu schweigen. Es ist jedoch höchst unwahrscheinlich, dass es ein solches Zahlungsmittel je geben wird.

Die Sicherheitsprobleme, die sich bei einem Übergang zu einer komplett bargeldlosen Welt ergeben würden, werden vielfach ebenfalls nicht ausreichend gewürdigt. Dies beruht darauf, dass unterschätzt wird, wie intensiv und vielfältig Bargeld immer noch genutzt wird und was eine flächendeckende Einführung elektronischer Zahlungssysteme bedeutet. Vor allem würde ja nicht nur dazu gehören, dass wir alle mit einem solchen System bezahlen können – wir müssen auch alle in der Lage sein, in diesem System Zahlungen zu empfangen. „Alle“ schließt dabei Leute mit herabgesetzten kognitiven Fähigkeiten genauso ein wie notorische Trickbetrüger. Wenn es kein Bargeld mehr gibt, dann muss – abgesehen von Kleinkindern und entmündigten Personen – wirklich

jeder bargeldlose Zahlungen leisten und empfangen können. Damit alle es nutzen können, muss ein solches System sehr einfach sein. Und damit die Zahlungen reibungslos klappen, sollte es auch offline funktionieren, das heißt ohne Verbindung zu einer Bank oder einem sonstigen Zahlungsdienstleister. Die Offline-Fähigkeit ist zum einen dringend notwendig als Fallback-Lösung, wenn die Kommunikationsnetze nicht funktionieren sollten, und zum anderen, weil ein System mit 100 % Online-Autorisierung vermutlich äußerst kostspielig wäre. Einfach, offline-fähig, anonym und möglichst bequem in der Nutzung ist in Kombination bisher nur durch Bargeld realisierbar. Es gibt zwar immer wieder Versuche, derartige Systeme anzubieten. Allerdings gelingt es nur begrenzt, diese Kombination zu verwirklichen. Beispielsweise ist Bitcoin weder besonders einfach zu nutzen noch bequem (bis zur Bestätigung, dass es sich tatsächlich um originäre Bitcoins handelt, muss der Zahlungsempfänger mehrere Minuten warten).⁵ Zudem sind Zweifel daran laut geworden, dass es tatsächlich unmöglich ist, nachzufolgen, wer Bitcoin-Zahlungen vorgenommen hat (Koshy et al., 2014).

Bei Bitcoins hat sich bereits gezeigt, dass es in diesem Zusammenhang nicht nur um die Sicherheit der Technologie, sondern auch um Diebstahl geht (Reißmann, 2014). Bitcoin-Eigentümer müssen entweder ihrer eigenen Hardware (PC, Notebook, Tablet, Smartphone und der dort installierten Software) trauen und/oder Dienstleistern, die die Bitcoins „aufbewahren“ und verwalten. Es mag eingewendet werden, dass ein System wie Bitcoin ja noch jung ist und die Sicherheitsprobleme über die Zeit beherrschbar werden. Es ist jedoch ein Trugschluss zu glauben, dass Zahlungssysteme aus dem Sicherheitsproblem praktisch herauswachsen können. Denn auch die Anreize für Angriffe von Betrügern nehmen zu, wenn ein System wächst. Beispielsweise zeigen die Daten der EZB (2014, 16), dass der Kartenbetrug gerade in den beiden größten Kartenmärkten Europas, England und Frankreich, mit im Jahr 2013 jeweils 181 bzw. 137 Kartenzahlungen pro Kopf, relativ hoch ist. Mit über 0,06 % des Zahlungsvolumens sind die Ausfälle in diesen beiden Ländern weit höher als zum Beispiel in Deutschland oder Belgien (Schäden von weniger als 0,03 %), in denen Karten nicht so intensiv genutzt werden (Kartenzahlungen pro Kopf: 45 bzw. 119). Damit steht zu befürchten, dass gerade ein allgemeines elektronisches Zahlungsmittel, das als Bargeldersatz etabliert ist, in besonderem Maße Angriffen von Kriminellen ausgesetzt wäre. Ein solches System wäre auch schon deshalb besonders attraktiv für Betrüger, weil man diese nicht einfach von seiner Nutzung ausschließen kann. Wenn das Bargeld einmal abgeschafft ist, dann wird der Zugang zu elektronischen Zahlungssystemen sozusagen „Menschenrecht“.

5 Bargeld und Krisen

Ein Aspekt, der ebenfalls wenig Beachtung findet, ist die Rolle des Bargelds in Krisen. Üblicherweise steigt im Zuge von Finanzkrisen die Nachfrage nach Bargeld an. So zahlte die Deutsche Bundesbank allein im Oktober 2008 (dem Monat der Lehman-Insolvenz) Bargeld in Höhe von 11,4 Mrd. Euro aus – das meiste davon in hohen Stückelungen (Deutsche Bundesbank, 2009, 56f.). Ein solcher „Run“ auf die Banken wird meist als Gefahr für das Finanzsystem angesehen. Umgekehrt gilt jedoch auch, dass es für die Bankkunden sehr beruhigend sein kann, wenn sie feststellen, dass sie tatsächlich an „ihr Geld“ kommen. In einem System mit rein elektronischer Währung wäre es für die Nicht-Banken möglicherweise unmöglich, Gelder aus dem Banksystem abzurufen, ein Umstand, der sich krisenverschärfend auswirken könnte. Auch bei Zahlungsverkehrsproblemen (aufgrund von technischen Störungen, Streiks etc.) kann das Vorhandensein von Bargeld noch ein gewisses Maß an Zahlungen ermöglichen. In einem rein elektronischen System stünde man unter Umständen sogar ohne Zahlungsmittel da.

Schließlich sollte auch nicht vergessen werden, dass die stabilen großen Währungen (vor allem der US-Dollar und der Euro) auch in instabilen und weniger entwickelten Ländern nachgefragt werden und dort einen stabilisierenden Effekt ausüben. Dieser positive externe Effekt würde mit der „Verbannung“ von Bargeld zwangsläufig ebenfalls entfallen.

Insgesamt lässt sich also konstatieren, dass eine Politik, die auf die Abschaffung von Bargeld abzielt, erstens riskant und gefährlich ist, da damit die adressierten Probleme letztlich nicht gelöst werden können. Zweitens ist der Vorschlag nicht praktikabel, da dafür eine fast weltweite Abschaffung des Bargelds nötig wäre. Und drittens ist die Idee nicht implementierbar, solange der Sicherheitsaspekt nicht gelöst ist. Sollte das Bargeld trotz dieser Probleme abgeschafft werden, dann ist ein Ausweichen auf alternative, nichtelektronische Zahlungsinstrumente zu erwarten. In einer freiheitlichen marktwirtschaftlichen Ordnung ist die Idee, den Bürgern vorzuschreiben, mit welchem Zahlungsmittel sie bezahlen sollen, ein Fremdkörper. In diesem Sinne ist alleine Bargeld wirklich „geprägte Freiheit“. Man kann sich des Eindrucks nicht erwehren, dass die Abschaffung von Bargeld für einige Marktakteure und Politiker ein willkommener Vorschlag ist, um von den eigentlichen Ursachen der damit angeblich zu lösenden Probleme (Schattenwirtschaft, Nullzinspolitik) abzulenken. Ganz allgemein lässt sich zudem einwenden, dass hier relativ leichtfertig eine altbewährte Institution abgeschafft werden soll, die sich über Jahrhunderte bewährt hat. Bevor man einen solchen Schritt macht, sollte doch erst geprüft werden, ob es nicht andere und bessere Lösungen gibt.

Fußnoten

1. Weniger radikal ist der Vorschlag, Noten mit hoher Denomination abzuschaffen (vgl. Rogoff (1998); van Hove (2007))
2. In diesem Zusammenhang ist es bezeichnend, dass sich wesentliche Teile der Anti-Geldwäsche-Maßnahmen und der Anti-Terror-Finanzierungs-Regeln auf unbare Zahlungsinstrumente beziehen. Siehe hierzu die Vorschläge der Financial Action Task Force „FATF“ (www.fatf-gafi.org).
3. Dem standen 2011 nur 36 Kartenzahlungen gegenüber.
4. Die durch Falschgeld entstandene Schadenssumme betrug in Deutschland im Jahr 2014 3,3 Mio. Euro und machte damit nur einen Bruchteil der durch Kartenbetrug verursachten Schäden aus (Deutsche Bundesbank, 2015).
5. Die durchschnittliche Dauer der Bestätigung einer Bitcoin-Zahlung kann abgerufen werden unter <https://block-chain.info/de/charts/avg-confirmation-time>.

Literaturverzeichnis

- Buiter, W. M. (2009), Negative Nominal Interest Rates: Three Ways to Overcome the Zero Lower Bound, NBER Working Paper 15118, Juni.
- Der Spiegel 21/2015, Interview mit Bofinger („Bargeld ist ein Anachronismus“).
- Deutsche Bundesbank (2009), Die Entwicklung und Bestimmungsfaktoren des Euro-Bargeldumlaufs in Deutschland, Monatsbericht Juni, S. 49 – 62.
- Deutsche Bundesbank (2015), Anstieg des Falschgeldes in Deutschland, Pressemitteilung vom 23.1.2015.
- European Central Bank (2014), Third Report on Card Fraud, Frankfurt.
- Goodhart, C. A. E. & M. Krueger (2001), The Impact of Technology on Cash Usage, Financial Markets Group, London School of Economics, Discussion Paper 374.
- Kahn, C. M., J. McAndrews & W. Roberds (2005), Money is Privacy, International Economic Review 46, S. 377 – 399.
- Kimball, M. (2013), Breaking Through the Zero Lower Bound, May 9, 2013.
- Koshy, P., D. Koshy & P. McDaniel (2014), An Analysis of Anonymity in Bitcoin Using P2P Network Traffic, Lecture Notes in Computer Science 8437, S. 469 – 485.
- Krueger, M. & F. Seitz (2014), Kosten und Nutzen des Bargelds und unbarer Zahlungsinstrumente. Modul 1: Übersicht und erste Schätzungen. Studie im Auftrag der Deutschen Bundesbank, Frankfurt.
- Reißmann, O. (2014), Verdacht auf Diebstahl. Bitcoin-Börse Mt. Gox ist offline, Spiegel-Online, 25. Februar 2014.
- Rogoff, K. (1998), Blessing or Curse? Foreign and Underground Demand for Euro Notes, Economic Policy, April, S. 263 – 303.
- Rogoff, K. (2014), Costs and Benefits to Phasing Out Paper Currency, NBER Working Paper No. 20126, Mai.
- Rösl, G. & K.-H. Tödter (2015), Zins- und Wohlfahrtseffekte extremer Niedrigzinspolitik für die Sparer in Deutschland, ROME Discussion Paper Series No. 15-01, Januar.
- Van Hove, L. (2007), Central Banks and Payment Instruments: a Serious Case of Schizophrenia, Communications & Strategies, 66:2, S. 19 – 46.

Kontakt:



Prof. Dr. Malte Krüger

Hochschule Aschaffenburg
Fakultät Betriebswirtschaft
Würzburger Straße 45
63743 Aschaffenburg

malte.krueger@h-ab.de



Prof. Dr. Franz Seitz

Ostbayerische Technische
Hochschule (OTH) Amberg-Weiden
Fakultät Betriebswirtschaft
Hetzenrichter Weg 15
92637 Weiden

f.seitz@oth-aw.de

Determinanten des Studien- erfolgs: Eine empirische Untersuchung für die Studiengänge Maschinen- bau, Medienproduktion und -technik sowie Umwelttechnik¹

Zusammenfassung

Angesichts des demografischen Wandels und eines stetigen Strukturwandels hin zu einer Wissens- und Informationsgesellschaft wird die Nachfrage nach gut ausgebildeten Akademikern in Deutschland deutlich zunehmen. Dies gilt insbesondere für die ingenieurwissenschaftlichen Studiengänge, die vor allem für die deutsche Wirtschaft von enormer Bedeutung sind. In unserer Arbeit beleuchten wir Erklärungsfaktoren für den Studienerfolg anhand der Studiengänge Maschinenbau, Medienproduktion und -technik sowie Umwelttechnik. Basierend auf administrativen Daten des Prüfungsamtes Amberg-Weiden untersuchen wir soziobiografische Hintergrundvariablen von Studierenden zu Studienbeginn auf ihren Einfluss, ein Studium erfolgreich zu beenden. Insbesondere analysieren wir die Bedeutung der Abiturnote, die Art der Hochschulzugangsberechtigung, das Vorhandensein einer abgeschlossenen Berufsausbildung und das Alter bei Studienbeginn. Mithilfe von Probit-Modellen schätzen wir die prognostizierten Wahrscheinlichkeiten eines erfolgreichen Studienabschlusses. In unserer Untersuchung haben wir dabei zwei zentrale Einflussfaktoren identifiziert: das Alter bei Studienbeginn und die mitgebrachte Abiturnote. Der Migrationshintergrund eines Studierenden weist in keinem der drei Studiengänge einen negativen Zusammenhang mit der Studienabschlusswahrscheinlichkeit auf. Gleiches gilt für eine im Vorfeld abgeschlossene Berufsausbildung.

Schlüsselwörter: Ingenieure, Studienerfolg, administrative Daten, Probit-Modelle, partielle Effekte

JEL Code: I21, L60

Abstract

Considering the demographic change and the expansion of the educational system in many western countries, the need for skilled labor will increase further. This is especially vital for graduates in engineering, which is literally the backbone of German economy. In our study we focus on predictors of academic success for academic courses in mechanical engineering, media-production and technique, as well as environment engineering. Based on objective academic data we analyze the impact of socio-demographic variables on academic success. We use probit models for our estimations. Our research indicates that both predictor's age and Abitur-grade have a significant impact on academic success. A possible migrant background of a student does not affect the outcome in a negative way. The same is true for students who completed a vocational training, before starting to study.

Keywords: Engineer, academic success, academic census, probit models, marginal effects

1 Einleitung

In der aktuellen bildungspolitischen Diskussion taucht immer wieder das Wort „Akademisierungswahn“ auf (vgl. Möller 2013; Storck 2013). Hinter diesem Schlagwort verbirgt sich die Sorge, dass Deutschland eine Überakademisierung droht. Mit anderen Worten: Zu viele junge Menschen nehmen ein Studium auf, obwohl es für sie zum Teil besser wäre, wenn sie stattdessen eine Berufsausbildung beginnen würden. Allen Zweifeln zum Trotz gibt es eine Reihe objektiver und ökonomischer Gründe, die Bildungsinvestitionen junger Menschen weiter zu fördern.

Im Wintersemester 2014/2015 haben sich nach ersten vorläufigen Ergebnissen 426 692 Studienanfängerinnen- und -anfänger an einer Hochschule in Deutschland immatrikuliert. Im Vergleich zum Studienjahr 2013 (WS 2013/14) sank die Zahl der Erstsemester² um insgesamt drei Prozent (vgl. Statistisches Bundesamt 2014). Insbesondere das verarbeitende Gewerbe ist in Deutschland auf gut ausgebildete Fachkräfte angewiesen. Doch die Sorge ist groß, dass es vor allem im Ingenieurbereich zu einem Arbeitskräftemangel kommen kann (vgl. Gensch und Kliegl (2012)). Im Maschinenbau werden von etwa 9 000 Firmen rund eine Million Arbeitsplätze zur Verfügung gestellt und der Umsatz liegt bei über 100 Milliarden Euro. Das Thema Fachkräftesicherung im Ingenieursektor ist hierbei nicht nur für die jeweiligen Hochschulen, sondern beispielsweise auch für das Bundesministerium für Arbeit und Soziales von zentraler Bedeutung (vgl. BMAS 2015). Trotz dieses hohen Stellenwertes für die deutsche Wirtschaft klagt die Branche über einen Mangel an Ingenieuren (vgl. Milberg 2009). Den letzten starken Absolventenjahrgang gab es 1996. Damals schlossen rund 52 000 Absolventen ein Ingenieurstudium erfolgreich ab. Im Jahr 2007 waren es nur noch 44 000. Gemäß den aktuellen Berechnungen auf Basis des Absolventenjahrgangs 2010 der Hochschul-Informations-System (HIS) GmbH machen sich allerdings nach wie vor hohe Studienabbruchquoten in den ingenieurwissenschaftlichen (MINT-Fächern³) Studiengängen bemerkbar (vgl. Heublein et al. 2012). Nur jeder zweite Bachelorstudierende (Studienbeginn 2006/2007) an einer Universität schafft das Ingenieurstudium. Auf einem vergleichbar hohen Niveau bewegen sich die Abbruchquoten (rund 40 Prozent) in den Naturwissenschaften⁴. Für die Bachelorstudiengänge an den Fachhochschulen zeigt sich ein ähnliches Bild, nur mit etwas geringeren Schwundquoten. Der Studienabbruch sowohl in den ingenieur- als auch in den naturwissenschaftlichen Studiengängen beträgt hier 30 Prozent.

Unabhängig von den Studienanfängerzahlen ist die Nachfrage nach gut ausgebildeten Akademikern auf dem Arbeitsmarkt nach wie vor sehr hoch. Nach den Angaben der Bundesagentur für Arbeit (BA) ist die Zahl erwerbstätiger Akademiker seit 2003 um rund 2,4 Millionen, also um 42 Prozent angestiegen (BA 2013). Mit Blick auf die Lohnentwicklung lässt sich festhalten, dass

sich trotz des wachsenden Angebots an Hochschulabsolventen die Löhne für Akademiker im Verhältnis zu Nichtakademikern in den vergangenen Jahren merklich erhöht haben. Über die gesamte Erwerbsphase hinweg betrachtet, zeigt sich auch, dass Fachkräfte mit Abitur deutlich weniger verdienen als ihre Arbeitskollegen mit Hochschulstudium im gleichen Tätigkeitsbereich (vgl. Glocker und Storck 2012). Im Durchschnitt verdienen Personen mit einem höheren Bildungsabschluss rund 36 Prozent mehr als Absolventen einer Berufsausbildung (vgl. Storck 2013). Am deutschen Arbeitsmarkt geht jedes zusätzliche Bildungsjahr sogar mit knapp zehn Prozent höherem Einkommen einher (vgl. Wiederhold & Wößmann 2013). Ökonometrische Studien weisen weiter darauf hin, dass die berechneten Bildungsrenditen weitgehend einen kausalen Effekt der höheren Bildung und nicht etwa Selektionseffekte widerspiegeln (vgl. Card 1999).

Darüber hinaus ist Bildung der beste Schutz vor Arbeitslosigkeit. Während die Arbeitslosenquote von Hochschulabsolventen im Jahr 2011 etwa zwei Prozent beträgt, sind fünf Prozent der Personen mit abgeschlossener Berufsausbildung und sogar rund 20 Prozent der Personen ohne Berufsausbildungsabschluss arbeitslos (vgl. Möller 2013; Weber & Weber 2013).

Auf nationaler und internationaler Ebene ist der Trend zum höheren Ausbildungsniveau eindeutig erkennbar (vgl. Acemoglu et al. 2012; Bonin et al. 2007; Katz und Margo 2013). Diese Entwicklung versteht auch die Bundesagentur für Arbeit als ein klares Zeichen für den sich abzeichnenden Strukturwandel hin zu einer Wissens- und Informationsgesellschaft (BA 2013). „Dies alles spricht dafür, die akademische Bildung weiter zu fördern und auszubauen“ (Möller 2013).

Um die Problematik in den MINT-Fächern besser in den Griff zu bekommen, sprechen sich Gensch und Kliegl (2012) dafür aus, studienabbruchgefährdete Studierende auf Gruppen- und Individualebene kontinuierlich zu identifizieren. Genau an diesem Punkt setzt unsere Untersuchung an. Wir untersuchen den Studienerfolg bzw. den Studienabbruch am Hochschulstandort Amberg. Im Vergleich zu den meisten empirischen Studien (Erdel 2010, Mosler und Savine 2004, Wendt et al. 1995), die sich diesem Thema widmen, greifen wir nicht auf Befragungs-, sondern auf administrative Daten zurück, die vom Prüfungsamt in Amberg-Weiden auf ihre Validität überprüft wurden. Dadurch können wir eine Reihe von Problemen der standardisierten Befragung (soziale Erwünschtheit, fehlende Angaben und ähnliche Aspekte) weitgehend ausschließen. Zudem bietet diese Datengrundlage (gegenüber klassischen Befragungen) den großen Vorteil, dass sie weitgehend frei ist von Messfehlern und Selektionseffekten. Des Weiteren gibt es unserer Erkenntnis nach nur wenige Studien, die sich auf ingenieurwissenschaftliche Studiengänge beziehen (vgl. Börensens und Gensch 2009).

Da der Arbeitsmarkt in Bayern nach wie vor stark vom verarbeitenden Gewerbe (Maschinen- und Fahrzeugbau) geprägt wird, mit einer steigenden Nachfrage nach wissenschaftlichen und technischen Dienstleistungen (vgl. Zika et al. 2015), konzentrieren wir uns in den Analysen auf die Studiengänge Maschinenbau, Medienproduktion und -technik sowie Umwelttechnik. Das Jahr 2003 wird als Analysestartpunkt gewählt, da der Studiengang Medienproduktion und Medientechnik erst im Jahr 2003 seinen Lehr- und Studienbetrieb aufgenommen hat.⁵ Die Untersuchung umfasst alle Studierenden, die in den Jahren von 2003 bis 2010 ein Studium in den drei Studiengängen an der Ostbayerischen Technischen Hochschule (OTH) Amberg-Weiden aufgenommen haben. In unseren Analysen definieren wir Studienerfolg als das Ereignis, ein Hochschulstudium erfolgreich zu beenden.⁶ Im Rahmen des allgemeinen Bewerbungsverfahrens für einen Studienplatz an der OTH Amberg-Weiden liegen dem Prüfungsamt der Hochschule schon vor Beginn des eigentlichen Studiums wertvolle Informationen (erreichtes Bildungsniveau, Berufserfahrung, Abiturnote⁷, Geschlecht, Alter und dergleichen mehr) über die potenziellen Studierenden vor. Ziel unserer Untersuchung ist es, mit diesem Datenmaterial empirische Aussagen über die Erfolgswahrscheinlichkeiten der einzelnen Studierenden zu treffen.

Zudem hat eine objektive Indikatorenliste eine Reihe von Anwendungsmöglichkeiten im Bildungssektor. Studienbewerber können beispielsweise in Bezug auf ihre individuelle Studierfähigkeit unvoreingenommen vor dem eigentlichen Studienbeginn aufgeklärt werden. Mithilfe der Ergebnisse lassen sich auch leichter Problemgruppen unter der heterogenen Studierendenpopulation identifizieren. Somit kann die Hochschule gezielt Studierende ansprechen, um vorhandene Leistungsmängel mit geeigneten Maßnahmen (zum Beispiel mit einer Mathematikwerkstatt) auszugleichen. Zudem können aus hochschulpolitischer Sicht die Erfolgsquoten in ausgewählten Studienfächern (etwa aus dem MINT-Bereich) überregional relativiert und leichter verglichen werden.

Unsere Untersuchung ist wie folgt aufgebaut: Im Abschnitt 2 stellen wir den theoretischen Rahmen unserer Arbeit vor. Den zugrunde liegenden Datensatz und unsere Prädiktoren beschreiben wir in Abschnitt 3. Im Anschluss gehen wir auf die Modellspezifikationen ein und besprechen die Ergebnisse unserer Schätzungen. Im letzten Abschnitt unserer Arbeit werden die wichtigsten Erkenntnisse unserer Untersuchung zusammengetragen. Darüber hinaus simulieren und diskutieren wir die Auswirkungen eines Numerus Clausus an der OTH Amberg-Weiden.

2 Theoretischer Rahmen: Gibt es Signale für ein erfolgreich abgeschlossenes Studium?

Mit Blick auf die Studienplatzvergabe stellt sich die berechnete Frage, wer einen Studienplatz bekommen

sollte und wer nicht. Hinter dieser Allokationsproblematik verbirgt sich die Sorge, dass nicht jeder ein begonnenes Studium auch erfolgreich abschließt. Unabhängig von den individuellen Dispositionen jedes Einzelnen ist es unsere Intention, eine möglichst treffsichere Einschätzung zur Studierfähigkeit zu gewinnen. Für unsere Analyse greifen wir deshalb auf die Signaling-Theorie von Spence (1973) zurück, da sie uns ermöglicht, eine Kriterienliste zu erstellen, mit deren Hilfe alle Bewerber gleichermaßen bewertet werden können. Der Forschungsansatz von Spence (1973) zielt darauf ab, die Risiken einer Fehlentscheidung, beispielsweise einer Stellenfehlbesetzung, zu minimieren (Becker und Hecken 2008). Adaptiert auf unsere Fragestellung gilt es zu klären, inwieweit die inkorporierten Eigenschaften eines Studierenden sich auf die prognostizierte Erfolgswahrscheinlichkeit eines Studienabschlusses auswirken. Analog zur Vorgehensweise von Spence (1973) klären wir vorab, welche Indizien und Signale wir für unsere Analyse heranziehen können. Gemäß der ursprünglichen Forschungsfrage: „Was zeichnet einen produktiven Angestellten aus?“, empfiehlt Spence (1973) auf Erfolgssignale zurückzugreifen, welche möglichst objektiv (wie Geschlecht oder Bildungshintergrund) und quantifizierbar (wie Arbeitsmarkterfahrung) sind. Ziel unserer Studie ist es, mit den der Hochschule vorab bekannten Informationen (über die Studienbewerber/-innen) empirische Aussagen über die Erfolgswahrscheinlichkeiten der einzelnen Studierenden zu machen.

3 Empirische Analyse

3.1 Datensatz und Datenqualität

Im Gegensatz zu klassischen Befragungen greifen wir für unsere Analyse auf administrative Daten zurück, die in der PRIMUSS-Datenbank hinterlegt sind. PRIMUSS ist ein Akronym für „**P**rüfungs-, **I**mmatrikulations- und **S**tudentenverwaltungs-**S**ystem“ und stellt ein Campus-Management-System dar. Die PRIMUSS-Infrastruktur basiert dabei auf dem „Student LifeCycle“, mit der Intention, die Hochschulbiografie jedes Studenten und jeder Studentin möglichst detailgetreu widerzuspiegeln. Das PRIMUSS-Datenbanksystem wird derzeit von sieben Hochschulen im Verbund betrieben, mit dem Ziel, ein gemeinsames und einheitliches Campus-Management-System zu nutzen und weiterzuentwickeln⁸. Die Zusammenarbeit im Verbund ist dabei vertraglich geregelt.

Die Berechnungsgrundlage für unsere Analysen stammt von einem Datenexport der PRIMUSS-Datenbank aus dem Jahr 2014. Hierfür haben wir einen anonymisierten Datensatz erhalten, der sich ausschließlich auf die von uns im Vorfeld festgelegten Studiengänge konzentriert. Damit verfügen wir über Daten von allen Studierenden, die in den Jahren 2003 bis 2010 ein entsprechendes Studium an der Hochschule Amberg-Weiden aufgenommen haben.⁹

Insgesamt können wir von einer hohen internen Validität des Datenmaterials ausgehen, da den Angaben der Studierenden (im Onlinebewerbungsverfahren) nicht blindlings vertraut wird. Im Rahmen der regulären Studienplatzvergabe an der OTH Amberg-Weiden werden die formalen Zulassungsvoraussetzungen im Vorfeld kontrolliert. Dafür müssen die Studienbewerberinnen und Studienbewerber ihre Originaldokumente (z. B. amtliches Schulzeugnis, Berufszertifikate) bei den Prüfungsämtern in Amberg und Weiden vorlegen. Trotz alledem haben wir uns dafür entschieden, diese Daten noch einmal auf ihre Plausibilität zu überprüfen. Da die Hochschulen verpflichtet sind, die Zulassungsunterlagen ihrer Studierenden 50 Jahre zu archivieren, bietet das die Möglichkeit, potenzielle Unstimmigkeiten in den Daten rückwirkend zu bereinigen. Hierfür war eine aufwendige und zeitintensive Datenrecherche im Archiv notwendig, die sich aber gelohnt hat.

Bei der Überprüfung der gespeicherten Daten hat sich gezeigt, dass der schulische und berufliche Hintergrund der Studienbewerber nicht immer genau erfasst wurde. Beispielsweise hat das Prüfungsamt in Amberg bei der elektronischen Erfassung der Daten nicht immer zwischen einer Fachoberschule (FOS) und der Berufsoberschule (BOS) unterschieden. Die Berufsoberschule setzt eine abgeschlossene Berufsausbildung voraus und führt im Gegensatz zur FOS in einem Jahr zum Fachabitur. Deshalb haben wir bei allen Datensätzen von Fachoberschülern, die zusätzlich die Angabe einer vorhandenen Berufsausbildung enthielten, den Akt im Archiv einzeln geprüft. Ebenso haben wir die Datensätze der Berufsoberschüler ohne Berufsausbildung im Archiv überprüft.¹⁰ Folglich können wir eine Reihe von Problemen der klassischen Befragung (Messfehler, fehlende Angaben, Selektionseffekte etc.) weitestgehend ausschließen.

3.2 Deskriptive Analysen

Tabelle 1 zeigt deskriptive Statistiken für unsere drei Studiengänge. Betrachten wir die Absolventenquote, so zeigt sich, dass im Maschinenbau (MB) und in der Medientechnik (MT) nur jeder zweite Studienanfänger das Studium erfolgreich an der OTH Amberg-Weiden beendet. In der Umwelttechnik (UT) schaffen dies sogar nur 45 Prozent. Damit verfügt der Standort Amberg im Vergleich zu anderen Fachhochschulen bei den ingenieurwissenschaftlichen Studiengängen über relativ hohe Schwundquoten. Die durchschnittliche Abiturnote variiert nur wenig zwischen den jeweiligen Studiengängen, wogegen die Variation der Noten innerhalb der Studiengänge deutlich stärker ausgeprägt ist. Im Durchschnitt kommen die Studienanfänger mit einer Abiturnote von 3,0 an die Hochschule. In der Medien- und Umwelttechnik kommt rund die Hälfte der Studienbewerber mit einer Fachoberschulreife (FOS) nach Amberg. Im MB liegt dieser Anteil bei 42 Prozent. Insgesamt ist der Anteil der Gymnasiasten unter den drei Studiengängen relativ

ähnlich (MB = 28 %, MT = 33 % und UT = 29 %). Der Anteil von Studierenden, die im Vorfeld des Studiums eine Berufsausbildung erfolgreich abgeschlossen haben und im Anschluss die Hochschulzugangsberechtigung (BOS) erworben haben, ist mit 30 Prozent im Studiengang MB am ausgeprägtesten. Im Vergleich dazu liegt der BOS-Anteil in der MT und der UT bei lediglich 14 und 21 Prozent.

Tabelle 1: Deskriptive Statistiken

	Mean	SD	Perzentile	
Variablen			10%	90%
Maschinenbau (MB)				
Absolvent	0.54	0.50	-	-
Abiturnote	2.98	0.57	2.2	3.7
Gymnasium	0.28	0.45	-	-
Fachoberschule (FOS)	0.42	0.49	-	-
Berufsoberschule (BOS)	0.30	0.46	-	-
FOS & Beruf	0.04	0.19	-	-
Alter	21.94	2.89	19.27	25.17
Frauen	0.08	0.28	-	-
Migrationshintergrund	0.07	0.25	-	-
Aufnahme STG im Sommer (SS)	0.03	0.18	-	-
Externer Student	0.09	0.29	-	-
Medientechnik u. -produktion (MT)				
Absolvent	0.56	0.50	-	-
Abiturnote	2.93	0.47	2.3	3.5
Gymnasium	0.33	0.47	-	-
Fachoberschule (FOS)	0.53	0.50	-	-
Berufsoberschule (BOS)	0.14	0.35	-	-
FOS & Beruf	0.06	0.24	-	-
Alter	22.01	2.77	19.57	25.04
Frauen	0.29	0.45	-	-
Migrationshintergrund	0.07	0.25	-	-
Aufnahme STG im Sommer (SS)	0.00	0.07	-	-
Externer Student	0.18	0.38	-	-
Umwelttechnik (UT)				
Absolvent	0.45	0.50	-	-
Abiturnote	3.00	0.60	2.2	3.7
Gymnasium	0.29	0.45	-	-
Fachoberschule (FOS)	0.50	0.50	-	-
Berufsoberschule (BOS)	0.21	0.41	-	-
FOS & Beruf	0.07	0.26	-	-
Alter	22.58	3.18	19.58	26.54
Frauen	0.20	0.40	-	-
Migrationshintergrund	0.06	0.24	-	-
Aufnahme STG im Sommer (SS)	0.08	0.27	-	-
Externer Student	0.15	0.36	-	-
Quelle: PRIMUSS-AW 2014, eigene Berechnung, eigene Darstellung				

Im Durchschnitt sind die Studienanfänger über alle drei Studiengänge hinweg etwa gleich alt, wobei die Studienbeginner in der UT mit rund 23 Jahren etwas älter sind. Die Streuung des Alters ist wiederum innerhalb der Studiengänge deutlich stärker ausgeprägt als zwischen den verschiedenen Studiengängen. In Bayern betrug im Jahr 2007 das Alter der Studienanfänger im Durchschnitt 21,7 Jahre an Fachhochschulen und 20,6 Jahre an Universitäten (vgl. Bayerisches Landesamt für Statistik und Datenverarbeitung 2014). Der Anteil der Frauen ist insbesondere im MB mit lediglich acht Prozent sehr gering. In den beiden anderen ingenieurwissenschaftlichen Studiengängen liegt ihr Anteil bei 29 (MT) beziehungsweise 20 Prozent (UT). Bayernweit beträgt der Frauenanteil in ingenieurwissenschaftlichen Studiengängen im Jahr 2013 an Fachhochschulen ungefähr 19 und Universitäten 23 Prozent, im Jahr 2007 belief er sich hochschulübergreifend auf 17,5 Prozent (vgl. Bayerisches Landesamt für Statistik und Datenverarbeitung 2013, 2014). Im MB und in der MT verfügen sieben und im Studiengang UT acht Prozent der Studienanfänger über einen Migrationshintergrund. Migrationshintergrund bedeutet, dass die jeweilige Person im nicht deutschsprachigen Ausland geboren ist. Neben dem klassischen Studienbeginn im Winter nehmen rund acht Prozent der Studienbeginner in der UT ihr Studium im Sommer auf. Beim Studiengang MT nimmt nur eine vernachlässigbar kleine Anzahl von Studierenden das Studium im Sommer auf. Von allen Studienanfängern stammen knapp ein Fünftel der Medientechniker (18 Prozent) und rund ein Siebtel der Umwelttechniker von einer externen Hochschule.

3.3 Multivariate Analysen

Im Folgenden stellen wir unsere Modellspezifikationen vor und besprechen die Ergebnisse. Dazu schätzen wir im ersten Schritt mithilfe von Probitmodellen die Wahrscheinlichkeit Pr , dass ein Studierender sein Studium erfolgreich an der OTH Amberg-Weiden beendet:

$$Pr(y_i = 1 | x_i) = F(\beta'x_i), \text{ mit } \beta'x_i = \beta_0 + \beta_1 \text{ Schulnote}_i + \beta_2 \text{ Art der Hochschulzugangsberechtigung}_i + \beta_3 \text{ Alter bei Studienbeginn}_i + \dots \quad (1)$$

wobei F die Funktion der Normalverteilung darstellt und $y_i = 1$, falls der Student i ein Absolvent der OTH ist, andernfalls nimmt y_i den Wert 0 an. Die Schätzungen werden für jeden Studiengang separat durchgeführt.¹¹ Um die Spezifikation der Modelle zu überprüfen, benutzen wir den Hosmer-Lemeshow-Test (HL-Test), der im Grunde ein Chi-Quadrat GOF-Test (goodness of fit Test) ist (vgl. Hosmer und Lemeshow 1980). Da die Aussagekraft dieses Tests von der jeweilig gewählten Anzahl an Klassen abhängt, haben wir den Test für 5, 10 und 20 Untergruppen durchgeführt. Dabei gilt, dass ein signifikantes Testergebnis keine gute Passung bedeutet.¹² Für alle Gruppen und Studiengänge sind die HL-Tests selbst auf dem 10 %-Niveau immer insignifikant. Als ein weiteres

Gütekriterium haben wir die tatsächlichen Absolventenquoten mit den prognostizierten Wahrscheinlichkeiten für jeden Studiengang und jede Studienkohorte verglichen. Auch diese beiden Quoten weisen eine sehr gute Übereinstimmung auf.

Die Ergebnisse der Probit-Schätzungen sind in Tabelle 2 wiedergegeben.¹³

Tabelle 2: Probit-Modelle für erfolgreichen Studienabschluss

Prädiktoren		MB Koeffizient	MT Koeffizient	UT Koeffizient
Abiturnote	b_0	-0.718*** (0.10)	-0.33*** (0.12)	-0.67*** (0.11)
Ref. Gymnasium	b_1			
FOS		-0.274** (0.13)	-0.56*** (0.13)	-0.08 (0.14)
BOS		0.206 (0.15)	-0.27 (0.18)	0.32* (0.18)
FOS & Beruf	b_2	0.411 (0.28)	0.81*** (0.24)	0.24 (0.26)
Alter	b_3	-0.291*** (0.10)	-0.07*** (0.02)	-0.10*** (0.02)
Alter ²	b_4	0.004** (0.00)	–	–
Weiblich	b_5	-0.166 (0.19)	-0.24** (0.12)	-0.21 (0.16)
Migration	b_6	0.085 (0.20)	0.24 (0.21)	-0.01 (0.26)
Aufnahme STG im SS	b_7	0.875*** (0.33)	-0.06 (0.74)	0.21 (0.24)
Externer Student	b_8	-0.300 (0.20)	0.02 (0.15)	0.37** (0.18)
Studienbeginn	b_9			
2004		-0.016 (0.24)	0.11 (0.22)	-0.48* (0.27)
2005		0.088 (0.23)	0.10 (0.22)	0.22 (0.23)
2006		0.101 (0.22)	-0.11 (0.22)	0.28 (0.24)
2007		0.059 (0.24)	-0.28 (0.21)	0.33 (0.24)
2008		-0.144 (0.21)	-0.36** (0.21)	0.36 (0.23)
2009		0.154 (0.23)	-0.38** (0.20)	0.49* (0.25)
2010		0.048 (0.24)	-0.70** (0.23)	-0.05 (0.27)
N		688	650	517
Pseudo R ²		12,6	8,0	11,1

Signifikanzniveau: * $p < 0.1$, ** $p < 0.05$, *** $p < 0.01$. SD-Fehler in Klammern. Quelle: PRIMUSS-AW 2014, eigene Berechnung, eigene Darstellung

Über alle drei von uns betrachteten Studiengänge hinweg zeigt sich, dass mit schlechter (zunehmender) werdender Abiturnote auch die Wahrscheinlichkeit sinkt, ein Studium an der OTH Amberg-Weiden erfolgreich abzuschließen. Betrachten wir die Art der Hochschulzugangsberechtigung, so zeigt sich, dass in den Studiengängen MB und MT Studierende mit FOS im Vergleich zu ihren Kommiliton(-innen) mit Gymnasium signifikant geringere Chancen haben, als Absolvent(in) ihr Studium zu beenden. Unsere Analysen zeigen aber auch, dass dieser Effekt deutlich nivelliert wird, sofern die Studienanfänger mit FOS-Abschluss zusätzlich über eine abgeschlossene Berufsausbildung (FOS & Beruf) verfügen. Der Interaktionseffekt FOS & Beruf ist im Studiengang MT positiv und hoch signifikant. Anders ausgedrückt: Der für sich betrachtete negative Effekt des FOS-Abschlusses wird durch die

Berufsausbildung kompensiert, wodurch diese Personen-
gruppe (FOS & abgeschlossene Berufsausbildung) sich
hinsichtlich ihres Studienerfolgs nicht mehr von Gymna-
siasten unterscheidet. Die Summe der Koeffizienten (FOS
und FOS & Beruf) ist in keinem Studiengang signifikant
von Null verschieden. Im Studiengang UT weisen Studie-
rende mit BOS im Vergleich zu den klassischen Gymnasi-
asten eine schwach signifikant höhere Erfolgswahrschein-
lichkeit auf.

Des Weiteren zeigen unsere Analysen, dass unabhängig
vom Studiengang ältere Studierende (zu Studienbeginn)
signifikant geringere Chancen haben, ein Studium erfolg-
reich zu absolvieren. Neben dem linearen Alterseffekt
haben wir das Alter auch in quadratischer Form getestet.
Einzig und allein im MB ist dieser Prädiktor signifikant.

Es zeigt sich auch, dass Frauen im Vergleich zu den
Männern schlechter abschneiden, dieser Effekt ist aber
nur im Studiengang MT signifikant. Unabhängig davon,
ob ein Studierender einen Migrationshintergrund hat oder
nicht, weist dieser Prädiktor in keinem der drei Studien-
gänge einen Zusammenhang mit der Studienabschluss-
wahrscheinlichkeit auf.

Für den Studiengang MB zeigt sich, dass Studierende die
ihr Studium im Sommer begonnen haben – erfolgreicher
abschneiden – als Studienbeginner aus den Wintersemes-
tern. Nur im Studiengang UT sind Studierende, die bereits
an einer anderen Hochschule in Deutschland studiert
haben, erfolgreicher als die restlichen Studienanfänger.

Während bei den Studiengängen MB und UT keine Kohor-
teneffekte feststellbar sind, ergeben sich für die Studien-
anfänger der letzten Jahre in der MT signifikant negative
Effekte im Vergleich zum Basisjahr 2003. Eventuell hat
hier die Umstellung vom Diplom- auf den Bachelor-
Studiengang im Jahr 2008 eine Rolle gespielt.

Im zweiten Teil unserer Analysen wollen wir die Wirkungs-
zusammenhänge der Determinanten mithilfe der margi-
nalen Effekte bestimmen. In einem linearen Regressions-
modell entsprechen die Regressionskoeffizienten den
partiellen Ableitungen der Regressionsgleichung, die
wiederum als marginale Effekte interpretiert werden
können. Da es sich beim Probit-Modell aber um eine nicht
lineare Spezifikation handelt, können die Koeffizienten
nicht als partielle Effekte interpretiert werden. Die margi-
nalen Effekte berechnen sich für unser Probit-Modell
folgendermaßen:

$$\frac{\partial \Pr(Y=1)}{\partial x_k} = f(\beta'x) \times \beta_k \quad (2)$$

wobei f die Dichtefunktion der Normalverteilung darstellt.

Dabei wird deutlich, dass die marginalen Effekte von den
individuellen Werten der Einflussfaktoren x abhängen. Um
die marginalen Effekte schätzen zu können, ist es gängige

Praxis, auf leicht verfügbare Werte x zurückzugreifen.
Wooldridge (2010) erläutert zwei Alternativen. Die eine
Möglichkeit besteht darin, die erklärenden Variablen
durch das jeweilige Stichprobenmittel zu ersetzen.¹⁴
Diese Art der Berechnung nennt man partial effect at the
average (PEA). Eine andere Möglichkeit besteht darin, die
marginalen Effekte (2) für jedes Individuum zu berechnen
und den Durchschnitt über die individuellen marginalen
Effekte zu bilden. Diese Art der Berechnung wird average
partial effect (APE) genannt und von den meisten Autoren
gegenüber der Schätzung von PEA vorgezogen (vgl.
Greene 2012; Williams 2015; Wooldrige 2010). Für unsere
Analysen greifen wir auf die Berechnungsgrundlage der
APEs zurück.

Bei Dummy-Variablen wird der „partielle Effekt“
bestimmt, indem für jede Person eine Differenz von Wahr-
scheinlichkeiten berechnet wird (vgl. Wooldrige 2010).
Dabei werden jeder Person für die interessierende Binär-
variable einmal der Wert 1 und das andere Mal der Wert 0
zugewiesen, wobei alle anderen Erklärungsvariablen ihre
ursprünglichen Werte beibehalten. Die durchschnittlichen
marginalen Effekte sind in Tabelle 3 wiedergegeben.

Tabelle 3: Durchschnittliche marginale Effekte

Prädiktoren	MB APE ¹	MT APE ¹	UT APE ¹
Abiturnote	-0.25*** (0.03)	-0.12*** (0.04)	-0.235*** (0.03)
Ref. Gym- nasium			
FOS	-0.09** (0.04)	-0.20*** (0.04)	-0.027 (0.05)
BOS	0.07 (0.05)	-0.10 (0.06)	0.111* (0.06)
FOS & Beruf	0.14 (0.09)	0.26*** (0.06)	0.082 (0.09)
Alter	-0.05*** (0.01)	-0.02*** (0.01)	-0.033*** (0.01)
Weiblich	-0.06 (0.07)	-0.09** (0.04)	-0.073 (0.05)
Migration	0.03 (0.20)	0.08 (0.07)	-0.003 (0.09)
Aufnahme STG im SS	0.26*** (0.08)	-0.02 (0.27)	0.074 (0.08)
Externer Student	-0.10 (0.07)	0.01 (0.05)	0.127** (0.06)
N	688	650	517
1) Anmerkung: SD-Fehler in Klammern. Berechnung nach der Delta-Methode; APE = durchschnittlich partieller Effekt (Average partial effect), Signifikanzniveau: *p<0.1, ** p<0.05, ***p<0.01. Quelle: PRIMUSS-AW 2014, eigene Berechnung, eigene Darstellung			

Wir stellen für die durchschnittlichen marginalen Effekte
fest, dass die Abiturnote den größten Effekt in unserem
Modell ausübt. Allerdings spiegelt sich dieser Effekt in
den Studiengängen unterschiedlich wider. Im MB und in
der UT ist der Noteneffekt am stärksten und etwas abge-
schwächt in der MT. Bei Studierenden (MB und UT), die
eine ganze Notenstufe¹⁵ schlechter sind als ihre Kommil-
tonen, sinkt die Wahrscheinlichkeit für einen erfolg-
reichen Abschluss um ca. 25 Prozentpunkte. Das sind
ganz enorme Effekte, denn die Unterschiede zwischen
dem 90 %- und 10 %-Quantil der Abiturnoten beträgt bei
allen drei Studiengängen ungefähr 1,5 (siehe deskriptive
Statistik in Tabelle 1).

Studierende mit einem Fachoberschulabschluss erreichen in allen drei Studiengängen mit einer geringeren Wahrscheinlichkeit einen Abschluss als Gymnasiasten. Im Studiengang MT beträgt der Unterschied 20 Prozentpunkte und im MB neun Prozentpunkte. In der UT ist dieser Effekt nicht signifikant. Studierende, die neben einer Fachoberschulreife noch über eine abgeschlossene Berufsausbildung verfügen, weisen unabhängig vom Studiengang ähnliche Erfolgswahrscheinlichkeiten wie die Referenzgruppe der Gymnasiasten auf. Die Unterschiede zu den Gymnasiasten betragen jeweils nur knapp sechs Prozentpunkte [im MB: $-0,09$ (FOS) + $0,14$ (FOS & Beruf) = $0,054$]; in der MT: $-0,20$ (FOS) + $0,26$ (FOS & Beruf) = $0,06$] und sind selbst bei einer Irrtumswahrscheinlichkeit von zehn Prozent insignifikant. Insgesamt ergibt sich, dass Studierende der Fächergruppe MB und UT, die ihr Abitur nicht an einem Gymnasium gemacht haben, diesen Nachteil durch eine Berufsausbildung voll kompensieren können. Außerdem zeigen unsere Analysen, dass Umwelttechnik-Studierende mit einem Berufsoberschulabschluss (BOS) im Vergleich zur Referenzgruppe um elf Prozentpunkte erfolgreicher sind.

Mit zunehmendem chronologischem Alter der Studierenden zu Studienbeginn nimmt die Wahrscheinlichkeit ab, das Studium in Amberg erfolgreich zu meistern. In der MT sinkt die Wahrscheinlichkeit, das Studium erfolgreich zu beenden, um ca. zwei, in der UT um drei und im MB sogar um fünf Prozentpunkte pro zusätzliches Jahr.

Darüber hinaus zeigen unsere Berechnungen, dass Frauen im Vergleich zu Männern im Studiengang MT eine um neun Prozentpunkte signifikant niedrigere Erfolgswahrscheinlichkeit aufweisen. Die Tabelle 3 gibt außerdem noch die partiellen Effekte für die Aufnahme des Studiums im Sommersemester im Vergleich zum regulären Studienbeginn im Wintersemester und für den Wechsel von einer anderen Hochschule an den Hochschulstandort Amberg (Externer Student) wieder.

Die Einflussfaktoren Abiturnote und Alter weisen unter Berücksichtigung der Variation dieser Variablen die größten marginalen Effekte auf und sind als Einzige in allen drei Studiengängen signifikant. Deshalb wollen wir im Folgenden die partiellen Effekte zwischen diesen Variablen und unserer abhängigen Variable (erfolgreicher Studienabschluss) grafisch veranschaulichen. Dazu variieren wir für jeden Studierenden die Abiturnote von eins bis vier und prognostizieren mit dem jeweiligen geschätzten Modell aus Tabelle 2 die Wahrscheinlichkeiten, wobei wir für alle anderen Variablen die tatsächlichen Werte des jeweiligen Studierenden verwenden. Im Anschluss daran werden die prognostizierten Wahrscheinlichkeiten für jede Note über alle Studierende gemittelt. Für das Alter gehen wir ganz analog vor. Abbildung 1 stellt zunächst den Zusammenhang zwischen der Abiturnote und prognostizierter Erfolgswahrscheinlichkeit dar.

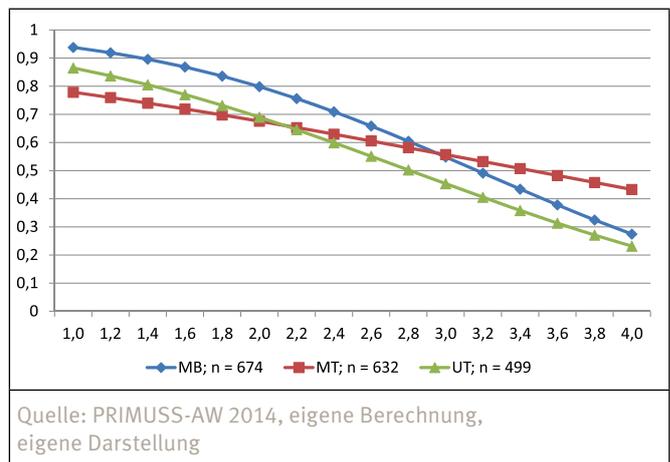


Abbildung 1: Prognostizierte Wahrscheinlichkeiten: Einfluss der Abiturnote auf einen erfolgreichen Studienabschluss

Auf den ersten Blick fällt auf, dass Studienanfänger(innen) mit einer sehr guten Abiturnote (1,0) ihr Studium mit sehr hoher Wahrscheinlichkeit erfolgreich beenden. Dies gilt insbesondere im MB und abgeschwächt auch in Medien- und Umwelttechnik. Zudem gilt, dass mit schlechter werdender Schulnote in allen drei Studiengängen auch die Wahrscheinlichkeit sinkt, das Studienende zu erreichen. Darüber hinaus lässt sich der nicht lineare Charakter zwischen dem Prädiktor und der abhängigen Variable sehr schön erkennen. Beispielsweise hat ein Studienanfänger im MB mit der Note von 1,2 eine prognostizierte Erfolgswahrscheinlichkeit von ca. 92 Prozent, während bei einem Kommilitonen mit der Note 1,4 die Wahrscheinlichkeit um ca. zwei Prozentpunkte sinkt. Die gleiche Notenverschlechterung (um 0,2) hat an einer anderen Stelle (in der Kurve) einen ganz anderen Charakter. So kann z. B. ein Maschinenbauer mit einer Abschlussnote von 3,2 in ca. 50 Prozent der Fälle das Studium noch erfolgreich meistern, während bei einem Studenten mit einer Note von 3,4 die durchschnittliche Erfolgswahrscheinlichkeit deutlich sinkt (die Wahrscheinlichkeit P_r verändert sich bei diesem Notensprung um sechs Prozentpunkte).

Zudem lässt sich anhand der Grafik erkennen, dass die Abiturnote in den einzelnen Studiengängen eine unterschiedliche Bedeutung spielt. Beispielsweise schwächt sich der Noteneffekt (mit schlechter werdender Note) im Studiengang MT ab. Die durchschnittliche Erfolgsquote liegt hier bei 43 Prozent, sofern der Studierende lediglich über eine ausreichende (4,0) Hochschulzugangsberechtigungsnote verfügt. Unter gleichen Zugangsbedingungen (Note = 4,0) liegt die Erfolgsquote bei MB nur noch bei 27 Prozent und in der UT lediglich bei 23 Prozent. Nachfolgend wollen wir den Zusammenhang zwischen dem chronologischen Alter und der prognostizierten Erfolgswahrscheinlichkeit darstellen (siehe Abb. 2).

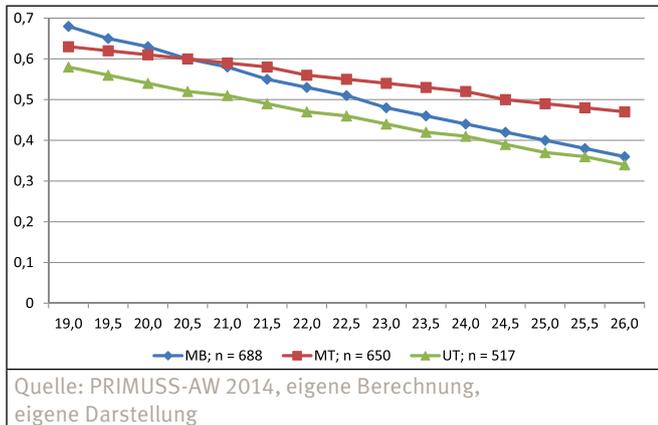


Abbildung 2: Prognostizierte Wahrscheinlichkeiten: Einfluss des Alters zu Studienbeginn auf einen erfolgreichen Studienabschluss

Mit Blick auf Abbildung 2 können wir festhalten, dass unabhängig von Studiengang mit zunehmendem Alter auch die durchschnittliche Wahrscheinlichkeit sinkt, das Hochschulstudium erfolgreich abzuschließen. Analog zur Abbildung 1 sehen wir, dass sich der Einfluss des Alters unterschiedlich stark in den jeweiligen Studiengängen widerspiegelt. Ein(e) 19-jährige(r) Maschinenbaustudent(in) erreicht mit einer Wahrscheinlichkeit von ca. 70 Prozent auch das Studierende. Im Studiengang MT und in der UT gelingt das den gleichaltrigen Studierenden nur zu 63 und 58 Prozent. Knapp der Hälfte (47 %) der 26-jährigen Medientechniker gelingt es, das Studium noch zu beenden. Im Gegensatz dazu liegen die Erfolgsquoten bei Studienanfängern der gleichen Altersgruppe im MB und in der MT nur noch bei rund einem Drittel. Zudem sehen wir, dass sich der Alterseffekt weniger stark auf die prognostizierten Wahrscheinlichkeiten auswirkt als die Hochschulzugangsberechtigungsnote.

4 Zusammenfassung und Ausblick

Das Ziel unserer Analysen ist es, den Zusammenhang zwischen dem von Studienanfängern mitgebrachten Humankapital und der Erfolgswahrscheinlichkeit eines Studienabschlusses näher zu beleuchten. Ähnlich dem originellen Forschungsansatz von Spence (1973) gehen wir der Frage nach, inwieweit es möglich ist, mithilfe der bereits vor Studienbeginn bekannten Informationen (Signale), Aussagen über den Studienerfolg zu treffen. Bei unserer Untersuchung identifizieren wir dabei zwei zentrale Einflussfaktoren: das Alter bei Studienbeginn und die mitgebrachte Abiturnote. Insbesondere Letzteres steht in einem signifikanten und negativen Zusammenhang zum Studienerfolg. Unabhängig von den untersuchten Studiengängen stellen wir fest, dass mit schlechter werdender Abiturnote die Wahrscheinlichkeit stetig abnimmt, das gewählte Studium an der OTH Amberg-Weiden zu beenden. Beispielsweise haben Studierende des Studiengangs MB mit guten Zugangsvoraussetzungen (Abiturnote = 2,0) eine rund 80-prozentige Wahrscheinlichkeit, das Studium zu beenden.¹⁶ Dagegen

liegen die durchschnittlichen Erfolgswahrscheinlichkeiten eines MB-Studierenden mit einer Abiturnote von 4,0 nur noch bei 27 Prozent. Analog zu diesem negativen Zusammenhang stellen wir für das chronologische Alter fest, dass mit höher werdendem Alter (bei Studienbeginn) die durchschnittliche Erfolgswahrscheinlichkeit eines Studienabschlusses ebenfalls sinkt. In der MT sinkt die Wahrscheinlichkeit, das Studium erfolgreich zu beenden, um zwei, in der UT um drei und im MB sogar um fünf Prozentpunkte pro Lebensjahr.

Im Gegensatz zu der Untersuchung von Kolland (2002) kommen wir zu dem Schluss, dass eine abgeschlossene Berufsausbildung per se das Studienabbruchrisiko nicht erhöht. So finden wir z. B. im Studiengang MT, dass der für sich alleine betrachtete negative Effekt des FOS-Abiturs durch eine vorhandene Berufsausbildung voll kompensiert wird. Im Studiengang UT weisen Studenten mit BOS-Abitur (abgeschlossene Berufsausbildung bereits vor dem Besuch der Schule) im Vergleich zu den Gymnasiasten eine schwach signifikant höhere Erfolgswahrscheinlichkeit auf.

Mit unserem Forschungsansatz wollen wir zudem neuere Erkenntnisse über das Bewerberpotenzial an der OTH Amberg-Weiden gewinnen. Im Speziellen klären wir die Frage, welche Effekte die Einführung bzw. Verschärfung eines Numerus Clausus (NC) auf die Absolventenquote hat. Innerhalb Deutschlands gibt es für den Studiengang MB deutlich unterschiedliche Zulassungsbeschränkungen. Beispielsweise lag der höchste Numerus Clausus im Bachelor-Studiengang MB an der Hochschule für Technik und Wirtschaft (Berlin) im letzten Semester bei 1,3. Im Vergleich dazu lag der NC an der Fachhochschule für angewandte Wissenschaften Würzburg-Schweinfurt bei 3,7. In Bayern liegt der NC für MB im Großraumgebiet (Augsburg und München) bei 2,3 bzw. 2,4 und in den weniger dicht besiedelten Gebieten (z. B. Deggendorf) bei 2,9.

Entsprechend diesen regional unterschiedlichen Zulassungsbedingungen simulieren wir den Einfluss eines Numerus Clausus (in 0,5 Schritten von 2,0 bis 3,5) an der OTH Amberg-Weiden. Tabelle 4 zeigt, wie sich verschiedene NCs in den jeweiligen Studiengängen auswirken.

Tabelle 4: Simulation von verschiedenen Zugangsvoraussetzungen

NC	Mean	N
Maschinenbau		
NC = 2,0	0,85	32
NC = 2,5	0,79	121
NC = 3,0	0,71	296
NC = 3,5	0,60	544
Ohne NC	0,55	688
Medientechnik und -produktion		
NC = 2,0	0,77	17
NC = 2,5	0,70	109
NC = 3,0	0,64	320
NC = 3,5	0,58	578
Ohne NC	0,56	650
Umwelttechnik		
NC = 2,0	0,75	32
NC = 2,5	0,69	82
NC = 3,0	0,60	219
NC = 3,5	0,51	399
Ohne NC	0,46	517
Quelle: PRIMUSS-AW 2014, eigene Berechnung, eigene Darstellung		

Mit der Einführung eines restriktiven NC von 2,0 erhöhen sich im Gegensatz zur gegenwärtigen Situation ohne NC die Absolventenquoten am Standort Amberg-Weiden deutlich. Die Studienbewerber zu selektieren, wirkt sich insbesondere im MB und in der UT sowie etwas abgeschwächt auch in der MT positiv aus. Die simulierten Erfolgsquoten (NC= 2,0) liegen im MB bei 85 sowie in der MT und UT bei 77 und 75 Prozent. Verglichen damit wirkt sich ein NC von 3,0 deutlich schwächer aus. Die Quoten sind aber immer noch deutlich höher im Vergleich zur Status-quo-Situation ohne NC. In diesem Fall ergibt sich im MB eine simulierte Absolventenquote von 71, in der MT von 64 und in der UT von 60 Prozent. Mit Blick auf die absoluten Bewerberzahlen sehen wir auch, dass es der OTH Amberg-Weiden nur eingeschränkt gelingt, „high potentials“ (Abiturnote von mindestens 2,0) zu rekrutieren. Im MB (5 %) und in der UT (6 %) erfüllen diese Voraussetzungen nur jeweils 32 Studierende und in der MT sind es lediglich 17 (3 %). Allerdings wird mit dieser Simulation auch deutlich, dass sich die geringeren Absolventenquoten am Standort Amberg nicht einfach mit den Absolventenquoten anderer Hochschulstandorte vergleichen lassen, sondern zumindest die durchschnittlichen Abiturnoten der Studierenden an den unterschiedlichen Standorten bei den Vergleichen Berücksichtigung finden müssen.

In weiteren Analysen gilt es zu klären, ob die von uns gefundenen Erfolgskriterien für den Studienerfolg (bei den Ingenieurwissenschaften) auch in anderen Studiengängen der OTH Amberg-Weiden (wie den Wirtschaftswissenschaften) wiederzufinden sind. Darüber hinaus ist es unsere Intention, in den Ingenieurwissenschaften die

Studiendauer und die verschiedenen Varianten des Studienabbruchs an der OTH zu untersuchen.

Danksagung

Unsere Analyse entstand im Rahmen des Best-MINT-Projektes, das vom Bayerischen Staatsministerium für Wissenschaft, Forschung und Kunst mit dem Ziel gefördert wurde, erfolgreiche Maßnahmen gegen den Studienabbruch in den MINT-Fächern zu implementieren. Unser besonderer Dank für die persönliche und organisatorische Unterstützung gilt dem Präsidenten Erich Bauer und der Vize-Präsidentin Frau Andrea Klug der OTH Amberg-Weiden. Insbesondere danken wir auch dem Staatsminister a. D. Wolfgang Heubisch und Herrn Edwin Semke vom Bayerischen Staatsministerium für Bildung und Kultus, Wissenschaft und Kunst für wertvolle Hinweise. Außerdem danken wir Luzia Heindl und Gerald Polster für die vielfältige Unterstützung bei der Datenextraktion. Für wertvolle Hinweise danken wir außerdem Alexandra Falge, Günter Götz, Oliver Milisch, Wolfgang Renninger, Wolfram von Rhein, Georg Schieder, Ulrike Strobl und Jennifer Woppmann. Alle verbleibenden Fehler gehen zu unseren Lasten.

Fußnoten

- 1 Die hier präsentierten Ergebnisse wurden bereits zu einem früheren Zeitpunkt im dem Weidener Diskussionspapier Nr. 50 veröffentlicht. http://www.oth-aw.de/fileadmin/user_upload/Aktuelles/Veroeffentlichungen/WEN-Diskussionspapier/DP50.pdf
- 2 In diesem Kontext bedeutet Erstsemester, dass der Studierende sein erstes Semester an einer deutschen Hochschule begonnen hat.
- 3 MINT-Fächer: Mathematik, Informatik, Naturwissenschaften und Technik.
- 4 Die Abbruchquoten beziehen sich in den jeweiligen Studiengängen auf die einzelnen Hochschulstandorte. In diesem Zusammenhang sprechen manche Autoren auch von Schwundquoten.
- 5 Von den ursprünglichen Studienanfängern der Jahre 2003 bis 2010 sind nur noch etwa drei Prozent Ende 2014 immatrikuliert, das heißt, die große Mehrheit hat zwischenzeitlich das Studium beendet. Im Gegensatz dazu sind von den Studienanfängern des Jahres 2011 noch rund 60 Prozent immatrikuliert. Deshalb beschränken wir uns bei der empirischen Analyse auf die Kohorten der Studienanfänger aus den Jahren 2003 bis 2010.
- 6 Wir differenzieren also nur zwischen den zwei Zuständen: Studium erfolgreich beendet oder nicht.
- 7 Abiturnote meint im Folgenden die Durchschnittsnote der Hochschulzugangsberechtigung.
- 8 Aktuell nutzen und arbeiten die nachfolgenden sieben Hochschulstandorte mit dem PRIMUSS-Datenbanksystem: Ostbayerische Technische Hochschule Amberg-Weiden; Hochschule für angewandte Wissenschaften Coburg; Evangelische Hochschule Freiburg; Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hof; Technische Hochschule Ingolstadt, Hochschule München und die Evangelische Hochschule Nürnberg.
- 9 Im Folgenden wird der Datensatz mit PRIMUSS-AW 2014 abgekürzt.
- 10 Um für die erste Klasse einer Berufsoberschule (BOS 12) zugelassen zu werden, muss der/die Bewerber/-in über einen Realschulabschluss (oder über einen gleichwertigen Bildungsabschluss) und eine mindestens zweijährige erfolgreich abgeschlossene Berufsausbildung verfügen. Das Prüfungsamt hat nicht zwischen der an einer BOS oder FOS erworbenen Hochschulzugangsberechtigung unterschieden, da dieser Unterschied für die Zulassung zum Studium keine Relevanz aufweist.
- 11 Alternativ kann man auch ein Probitmodell für alle drei Studiengänge schätzen. Diese gepoolte Schätzung wird aber gegenüber den drei getrennten Schätzungen selbst beim 1 % Signifikanzniveau klar verworfen. Die gepoolte Schätzung kann auf Anfrage von den Autoren bezogen werden.
- 12 Die jeweiligen Testergebnisse können auf Wunsch zugesandt werden.
- 13 Außerdem haben wir noch eine Reihe weiterer Modellvariationen getestet, die nicht dargestellt sind. Beispielsweise wurden bei allen stetigen Variablen auch quadratische Terme getestet, wobei alle bis auf das Alter im Studiengang MB insignifikant sind. Zudem haben wir geprüft, ob die Noten der jeweiligen Bildungsinstitutionen eine unterschiedliche Aussagekraft [Note x Bildungseinrichtung (Gymnasium, FOS etc.)] haben. Auch diese Interaktionseffekte sind nicht signifikant. Gleiches gilt für den Zusammenhang Gymnasium und abgeschlossene Berufsausbildung.
- 14 Grundsätzlich hat man unterschiedliche Optionen, um passende Werte für x einzusetzen, wie z. B. Mittelwert, Median, Minimum, Maximum etc.
- 15 Eine Notenstufe bedeutet beispielsweise eine Notenverschlechterung von 2,0 auf 3,0.
- 16 Unter der Bedingung, dass alle anderen individuellen Merkmale so bleiben, wie sie sind.

Literaturverzeichnis

- Acemoglu, D., Autor, D.: "What does human capital do? A review of Goldin and Katz's the race between education and technology". *Journal of Economic Literature* 50, 426 – 463 (2012)
- BA (Bundesagentur für Arbeit): Gute Bildung – gute Chancen, Der Arbeitsmarkt für Akademikerinnen und Akademiker in Deutschland. BA, Nürnberg (2013)
- BayLfStaD (Bayerisches Landesamt für Statistik und Datenverarbeitung): Bayern in Zahlen 7/2013, Fachzeitschrift für Statistik sowie Informations- und Kommunikationstechnik, 144(67). BayLfStaD, München (2013)
- BayLfStaD (Bayerisches Landesamt für Statistik und Datenverarbeitung): Statistische Berichte, Studierende an den Hochschulen in Bayern, Wintersemester 2013/14 Endgültige Ergebnisse. BayLfStaD, München (2014)
- Becker, R., Hecken, A.: Berufliche Weiterbildung – arbeitsmarktsoziologische Perspektiven und empirische Befunde. In: Abraham, M., Hinz, T. (Hrsg.) *Arbeitsmarktsoziologie. Probleme, Theorien, empirische Befunde*, S. 133 – 168. VS Verlag, Wiesbaden (2008)
- (BMAS) Bundesministerium für Arbeit und Soziales: Fachkräfte gewinnen, Wohlstand sichern. <http://www.bmas.de/DE/Themen/Schwerpunkte/Fachkraeftesicherung/inhalt.html> (2015). Abgerufen am 01.06.2015
- Bonin, H., Schneider, M., Quinke, H., Arens, T.: Zukunft von Bildung und Arbeit: Perspektiven von Arbeitskräftebedarf und -angebot bis 2020. IZA Res. Rep. No. 9, Bonn (2007)
- Börensens, C., Gensch, K.: MINT – Wege zu mehr MINT-Absolventen, Zwischenbericht 2009. Bayerisches Staatsinstitut für Hochschulforschung und Hochschulplanung (IHF), München (2009)
- Card, D.: The Causal Effect of Education on Earnings. In: Ashenfelter, O., Card, D. (Hrsg.) *Handbook of Labor Economics*, Vol 3a, pp. 1801 – 1863. North Holland (1999)
- Erdel, B.: Welche Determinanten beeinflussen den Studienerfolg? Eine empirische Analyse zum Studienerfolg der ersten Kohorte der Bachelorstudenten in der Assessmentphase am Fachbereich Wirtschaftswissenschaften der Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg. Nürnberg (2010)
- Gensch, K., Kliegl, C.: Studienabbruch in MINT-Fächern – welche Gegenmaßnahmen können Hochschulen ergreifen? Bayerisches Staatsinstitut für Hochschulforschung und Hochschulplanung (IHF), München (2012)
- Glocker, D., Storck, J.: Uni, Fachhochschule oder Ausbildung – welche Fächer bringen die höchsten Löhne? Wochenbericht des DIW Nr. 13, Berlin (2012)
- Greene, W. H.: *Econometric Analysis*, 7th ed. Pearson (2012)
- Heublein, U., Richter, J., Schmelzer, R., Sommer D.: Die Entwicklung der Schwund- und Studienabbruchquoten an den deutschen Hochschulen. Statistische Berechnungen auf der Basis des Absolventenjahrgangs 2010. HIS Hochschul-Informationen-System GmbH, Hannover (2012)
- Hosmer, D. W., Lemeshow, S.: "A goodness-of-fit test for the multiple logistic regression model." *Communications in Statistics A10*, 1043 – 1069 (1980)
- Katz, L., Margo, R.: Technical change and the relative demand for skilled labor: The United States in historical perspective. National bureau of economic research Working Paper 18752 (2013)
- Kolland, F.: Studienabbruch: Zwischen Kontinuität und Krise. Eine empirische Untersuchung an Österreichs Universitäten. *Sociologica* 7. Braumüller, Wien (2002)
- Milberg, J.: Lockruf der Wirtschaft: Werde! Jetzt! Ingenieur! In: Spiegel Online. <http://www.spiegel.de/unispiegel/jobund-beruf/lockruf-der-wirtschaft-werde-jetzt-ingenieur-a-619456.html> (2009). Abgerufen am 01.06.2015
- Mosler, K., Savine, A.: Studienaufbau und Studienerfolg von Kölner Volks- und Betriebswirten im Grundstudium. Diskussionsbeiträge zur Statistik und Ökonometrie 1, Seminar für Wirtschafts- und Sozialstatistik. Universität zu Köln, Köln (2004)
- Möller, J.: Mythen der Arbeit: In Deutschland wird zu viel studiert – stimmt's? In: Spiegel Online. <http://www.spiegel.de/karriere/berufstart/mythen-der-arbeit-ueber-akademisierung-zu-viele-studenten-a-916097.html> (2013). Abgerufen am 01.06.2015
- Statistisches Bundesamt: Schnellmeldeergebnisse der Hochschulstatistik zu Studierenden und Studienanfänger/innen – vorläufige Ergebnisse – Wintersemester 2014/2015. Statistisches Bundesamt, Wiesbaden (2014)
- Spence, M.: "Job market signaling". *The Quarterly Journal of Economics* 87(3): S. 355 – 374 (1973)
- Storck, J.: Hochschulstudium: Nicht ausgeschöpfte Potentiale trotz »Akademisierungswahn«. DIW Roundup Nr. 2, Berlin (2013)
- Weber, B., Weber, E.: Qualifikation und Arbeitsmarkt: Bildung ist der beste Schutz vor Arbeitslosigkeit, IAB-Kurzbericht 04/2013, Nürnberg (2013)

- Wendt, C. Schneider, C., Gülland, M.: Studienverlauf und Studienerfolg. Eine empirische Untersuchung am Institut für Soziologie der Universität Heidelberg (1995)
- Wiederhold, S., Wößmann, L.: Bildung und Arbeitsmarkterfolg: Gerade in Deutschland zahlen sich höhere Kompetenzen aus, ifo Schnelldienst, 66. Jahrgang, 10 – 14 (2013)
- Williams, R.: Marginal Effects for Continuous Variables. University of Notre Dame. <http://www3.nd.edu/~rwillia> (2015). Abgerufen am 01.06.2015
- Wooldridge, J. M.: Econometric Analysis of Cross Section and Panel Data, 2nd ed. MIT Press (2010)
- Zika, G., Maier, T., Helmrich, R., Hummel, M., Kalinowski, M., Hänisch, C., Wolter, M. I., Mönnig, A.: Qualifikations- und Berufsfeldprojektionen bis 2030: Engpässe und Überhänge regional ungleich verteilt. IAB-Kurzbericht 09/2015, Nürnberg (2015)

Kontakt:



Prof. Dr. Horst Rottmann

Ostbayerische Technische
Hochschule (OTH) Amberg-Weiden
Fakultät Betriebswirtschaft
Hetzenrichter Weg 15
92637 Weiden

h.rottmann@oth-aw.de

Forschungsprofessor am ifo Institut
Leibniz-Institut für Wirtschaftsforschung
an der Universität München



Dipl.-Sozialwirt (Univ.) Bernd Rager

Ostbayerische Technische
Hochschule (OTH) Amberg-Weiden
Verwaltung Hochschulentwicklung
Hetzenrichter Weg 15
92637 Weiden

b.rager@oth-aw.de

Setting up a Multi-core Computing System for Cryptanalytic Problems and Evaluation of Password Cracking Algorithms

Zusammenfassung

Praktisch jeder Internetnutzer ist dazu gezwungen, täglich mit mehreren Passwörtern umzugehen. Diese sollten möglichst lange und wahllose Zeichenketten aus einem möglichst großen Zeichenvorrat sein (Groß- und Kleinbuchstaben, Ziffern und Sonderzeichen), die nicht in Wörterbüchern zu finden sind. Es ist praktisch unmöglich, sich die benötigte Anzahl von Passwörtern zu merken, die dann auch noch nach einigen Wochen oder Monaten durch neue zu ersetzen sind. Deshalb verwenden viele Internetnutzer auch heute noch einfache Passwörter oder noch schlimmer nur ein Passwort für verschiedene Dienste. Vor diesem Hintergrund wurde unter Verwendung einer Mehrkern-Spezial-Hardware untersucht, ob, wie und wie schnell Passwörter „geknackt“ werden können.

Abstract

Every internet user has to cope with a lot of different passwords every day. These passwords should be pseudorandom strings of a suitable length with letters chosen from a preferably large character set (upper-case and lower case characters, numerals and special characters) which do not belong to any dictionary. It is practically impossible to remember all these passwords that on top of this have to be replaced after a couple of weeks or months. That is the reason why many internet users even today use weak passwords or – even worse – just one password for multiple services. In this report we present the results of our evaluation of password cracking algorithms using a special multi-core hardware.

Introduction

Passwords are often the weakest link in a modern IT security environment. But often passwords are the only – or the most comfortable way to authenticate users or programs. The problem of authentication through a secret is that the user must know the secret. We already stressed that users usually have to remember a couple of different passwords and that it is hard to learn many passwords consisting of random characters. To compensate this people use passwords that are easy to remember. Of course, normally passwords are not stored as (readable) plain text today. And even during authentication the plain text of the passwords is not used – instead the hash value of the password comes into play which is the output of a cryptographically-secure hash function. A hash function maps any string of arbitrary length to a fixed-length output, say 512 bits, for example. A cryptographically-secure hash function needs to be a one-way function that is collision-resistant and second-preimage-resistant (cf. Menezes 1997).

If an attacker wants to intrude a system he always uses the easiest way – “the low-hanging fruits”. These “low-hanging fruits” are often passwords. If an attacker gets the password hashes, e. g. through SQL injection, leaks from other hackers, previous hacks etc., the only obstacle is to get the plain text passwords to the corresponding hash values.

For both sides in this scenario, the attacker as well as the target, it is important to know how to crack passwords and how long hash values can resist against attacks. In this report we focus on the following issues:

- Is it useful/possible to try all passwords of a given length (so called brute force attack)?
- Is it possible to exploit the missing entropy of user generated passwords?
- What is the fastest way to crack passwords?
- What is the best hardware to crack passwords (giving special attention to the Kalray MPPA 256 platform)?

To answer these questions the first step is to look at different password cracking techniques and their efficiency. The next step is to calculate statistics of passwords and analyse them. Based on this analysis it is possible to develop different password cracking tools. In the last step the speed of password cracking will be compared on different hardware.

Basics about Multi-Core Systems

Principles of Multi-Core Processor

The main problem of single-core CPUs is, you can only run one thread at the same time. With scheduling you can run as many threads as you like but you can never run threads simultaneously. The scheduler gives every thread a short time slot and after this time the operating system (OS) stops the process and saves the state of the process. In the next step the scheduler loads and executes the next thread and so on (cf. Thies 2008, p. 1 et seq.).

Multi-core processors consist of more than one CPU, so they can run multiple threads simultaneously. To make all of these cores work, this must be supported by the OS (so called multithreading) (cf. Thies 2008, p. 1 et seq.).

The main difference between different multi-core processor designs is their link to the memory. The best known design is Multiple Instruction Multiple Data (MIMD). MIMD means that n processors can edit n data elements with n processes (cf. Beierlein 2011 see p. 53 et seq.).

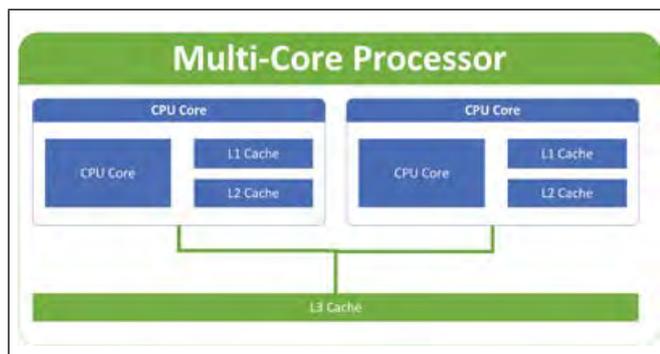


Figure 1: Multi-Core

Figure 1 shows the structure of a multi-core CPU. Every single core is connected to a dedicated L1 (level 1) and L2 (level 2) cache and a shared level 3 cache. The sizes of the caches increase from L1 to L3 but the access time decreases from L1 to L3. The cores use these caches to store data with highly frequented access (cf. Thomas Beierlein 2011, p. 530).

GPU vs. Multi-Core

Graphics Processing Units (GPUs) are designed for real-time rendering. Every GPU consists of several processors and every processor consists of several cores

(cf. figure 2). The processors are optimised for massive parallel floating point operations. In favour of the number of cores, GPUs renounce branch predictors, more cache and Instruction-Level Parallelism (ILP).

There is a major difference between the core of a CPU and the core of a GPU: On a GPU every core in one processor executes the same program with different data (so called Single Program Multiple-Data, abbreviated SPMD). All instructions on the cores in one processor run synchronously. That is called Single-Instruction Multiple Threads (SIMT). In contrast to GPUs the CPU cores are more powerful and independent of the type of their task. This implies that GPUs are much more powerful than CPUs for tasks that one can parallelise well by executing the same program with multiple data. That is due to the much higher number of cores on the GPU in relation to a multi-core processor. It must be kept in mind during the software development process that the execution time for “if else” instructions will be summed up, due to SIMT. Multi-core systems show their strength in this point. To put it in a nutshell: very complex programs run very fast on multi-core processors and program code with different threads runs very fast on CPUs (cf. Dinkla 2013, p. 136 et seq.).

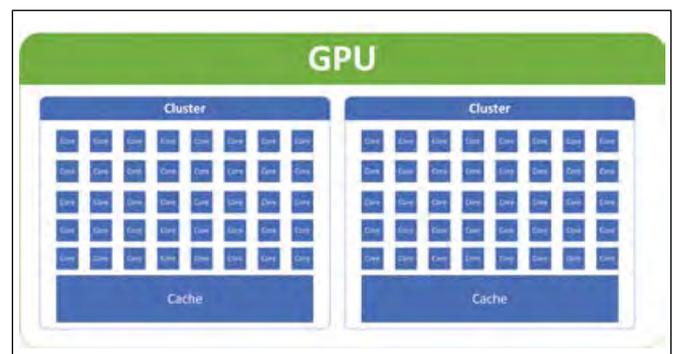


Figure 2: GPU

Kalray

Kalray is a French company which produces the “Multi-Purpose Processor Array (MPPA) MANYCORE”. The corresponding developer station is called “MPPA Developer” (cf. Kalray 2012). At the Laboratory for Safe and Secure Systems (LaS³), at the OTH Amberg-Weiden as well as at the OTH Regensburg, this hardware is used for research topics concerning scheduling, multi-core programming, safety and security.

Architecture

The before mentioned developer station consists of:

1. a MPPA-256 board,
2. a trace and debug board,

3. a motherboard with host processor (i7) and DDR3-Random-Access Memory (RAM),
4. a 500Gb HDD,
5. a special developer environment (MPPA ACCESSCORE Software Development Kit) based on the Eclipse Integrated Development Environment (IDE) and
6. a Fedora 17 host OS.

The OS and the IDE run on the i7 processor. Only the programs developed for the MPPA-256 run dedicated on the MANYCORE-processor. Figure 3 shows an overview of the architecture.

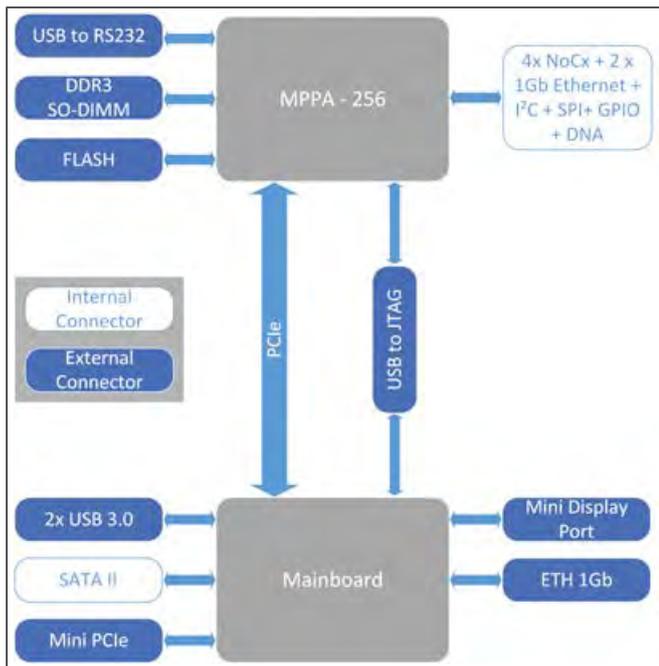


Figure 3: Kalray MPPA Developer

Two Peripheral Component Interconnect express (PCIe) GEN3 x8 interfaces combined by a x16 PCIe switch connect the MPPA-MANYCORE to the motherboard. For each PCIe x8 interface there is a dedicated quad-core processor on the MPPA-MANYCORE to handle the data transfer. Additionally, the MANYCORE is composed of 16 computing cluster with a private Floating-Point Unit (FPU) and Memory Management Unit (MMU), a smart Direct Memory Access (DMA), an own memory and a debug support unit (cf. Kalray 2013).

Every computing cluster is composed of 16 cores with the following features (cf. Kalray 2013):

1. one Branch/Control Unit,
2. two Arithmetic Logic Units,
3. one Load/Store Unit including simplified Arithmetic Logic Unit (ALU),
4. one Multiply-Accumulate (MAC) / FPU including a simplified ALU,
5. standard IEEE 754-2008 FPU with advanced Fused Multiply-Add (FMA) and dot product operators,
6. one MMU,

7. an instruction and data L1-cache and
8. 500 MHz clock rate.

The picture below (figure 4) shows the disassembled MPPA-MANYCORE:

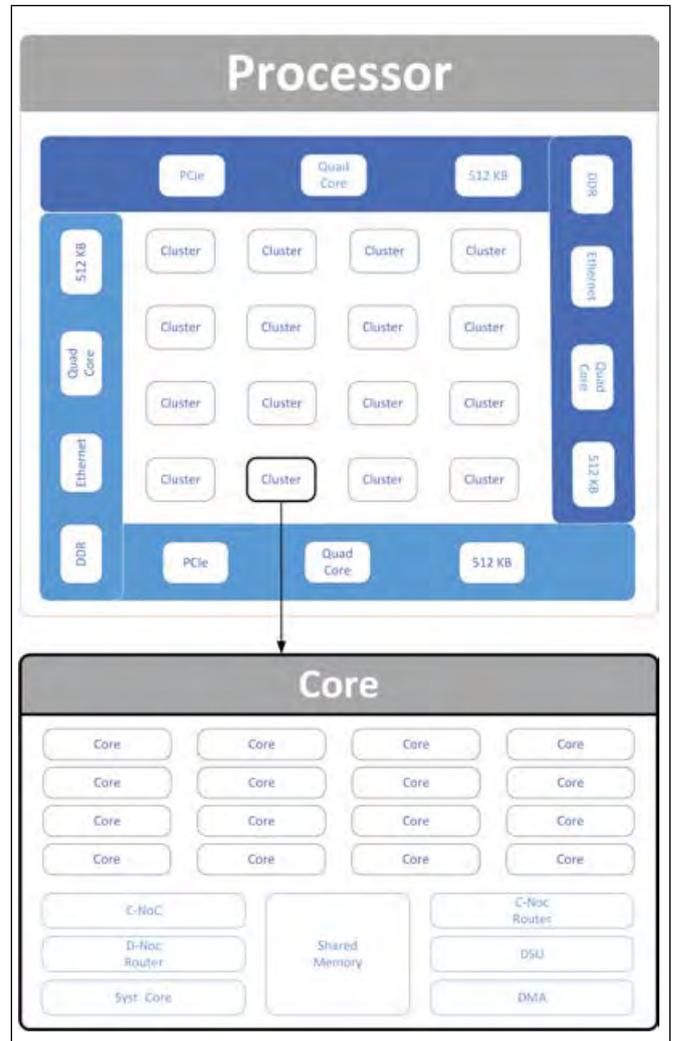


Figure 4: MPPA MANYCORE

Principles of Password Cracking

In order to learn password cracking it is necessary to understand what passwords are used for and how they are handled by computers.

Hash Function

Let X, Y be sets. A hash function maps data $x \in X$ with arbitrary size to data $y \in Y$ with a fixed size. These functions are called “one-way functions” because they are non-invertible.

$$f: X \rightarrow Y$$

Since f maps a larger set to a smaller one, a hash function is not injective. This means that there exist different preimages that are mapped to the same hash value. Such a pair of different preimages is called a collision for the

given hash function. For practical applications it must be unfeasible to find such collisions.

Password protection

To protect plaintext passwords against unauthorized access, these are always stored as hash values. To verify the user input for the password x' , the given input is hashed to y' and then compared with the saved password hash y .

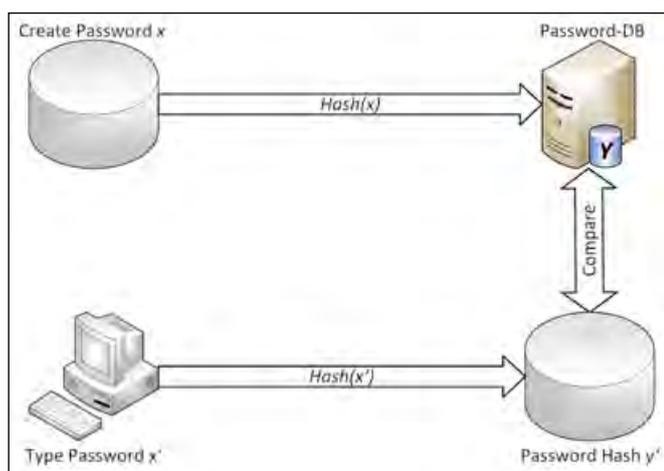


Figure 5: Save and Verify Passwords

To increase the entropy of a password a random string will be added to the password and in the next step the password hash will be generated. The random string is called salt and will be saved in plain text with the password. This increases the time for precomputation of the password hashes. However, salts are meant to make brute force attacks much harder if not unfeasible.

Rainbow tables

The default attack against hashes is to compute many hashes and compare them with the target password hash. With “rainbow tables” it is not necessary to save all hashes with all plain texts.

The best practice to save memory is to compute hash chains. A hash chain is formed by computing the hash value of the input, reducing the output with the function and taking this value to repeat the procedure.

$$\text{input} \xrightarrow{H} \text{output} \xrightarrow{R} \text{newinput} \xrightarrow{H} \text{newoutput} \xrightarrow{R} \dots \xrightarrow{R} \text{finaloutput}$$

Calculating this chain, it is only necessary to save the *input* and the *finaloutput*. To crack passwords one has to compute many chains. If one wants to retrieve a corresponding plaintext to password x , it is necessary to compare it with all *finaloutput*. If it matches, the corresponding plaintext is used to compute the final

password else the corresponding hash chain with x as *input* has to be built and every output must be compared with all saved values *finaloutput*. (cf. Hellmann 1980)

An optimisation of hash chains are the rainbow tables. Instead of calculating every chain with the same function R a set of $t - 1$ reducing functions will be used. This reduces the number of collisions in a table. With this algorithm it is only necessary to compare all *finaloutput* to detect collisions. Thus rainbow tables can be used to generate merge-free tables. This reduces the necessary storage and the computation time. (cf. Oechslin 2003)

Randomised Attacks on Passwords

The main disadvantage of rainbow tables is that they still require large amounts of data because there is no way to give distinct single values higher priorities. The needed storage grows exponentially with the maximum length of the passwords x . At the length of 9 characters for a password more than 1 petabyte is necessary to store the rainbow table which exceeds the capacity of state of the art computers. This is only for one salt. For every salt a new rainbow table has to be computed. Of course it is possible to compute longer chains to reduce the amount of memory but this would result in longer computation times. Since such amounts of storage are way too expensive and too much time is needed to compute these rainbow tables, a new approach is required. The following sections show some measures to reduce the memory needed. All of them exploit the low-entropy of passwords created by humans.

Dictionary Attacks

Dictionary attacks are similar to brute force attacks but do not try all possible combinations of characters. Only special words are used to crack passwords. The words are from dictionaries, plain text password lists, etc. This works because many people use the same password for different accounts and use words from dictionaries. According to Alleyne the English language contains about 1,000,000 words (cf. Alleyne 2010). To give an impression of the computing power of a state of the art computer it must be stressed that with only one computer it is possible to crack a password consisting of one of these English words and hashed with Secure Hash Algorithm 512 (cf. NIST 2015) in about 0.01s (cf. Hashcat 2013).

The downfall of this kind of attacks is that passwords which are not in the dictionary, cannot be cracked. If someone uses the same password with one different character for every account, the passwords are safe against this type of dictionary attacks. Another disadvantage is that dictionary cannot be stored as efficiently as rainbow tables. That strongly limits the maximum size of the dictionary (cf. Ziegler 2014, p. 22–25).

Markov chains

Markov Chains are used to describe a sequence of characters using a transition matrix P . With a list of plain text passwords it is possible to create a matrix P that contains the transition probability of every character from the list. Using the matrix P it is possible to create many passwords with a high probability.

Using Markov chains to describe passwords

The “RockYou” password list, which was used for our work, was chosen because it is the biggest password list that is publicly available (cf. Miessler 2013).

Let X be a set of passwords with cardinality $|X| = N$. If every user chose a random password of the set, it would make no sense to create a Markov chain because every symbol would occur with the probability of occurrence $1/N$ and also every Markov property would be $1/N$. Computing Markov chains only makes sense if the user does not choose actually random passwords. If Markov chains should be used for password cracking it is necessary to prove the lack of randomness for the considered passwords. We found out that based on a 8-bit character map only 214 of 256 characters are picked for passwords by the users (so only about 80 %). Therefore the passwords cannot really be random. The probability of occurrence shows that from the set of used symbols only a small proportion appears regularly. This confirms the assumption that passwords are not randomly chosen because the picked characters are not uniformly distributed.

We found two big bursts, which correspond to the numerals 0...9 and the lower case letters a...z. The lower case letters are similarly distributed like they are in English (cf. Bauer, p. 304). The reason is that the rockyou.com website is an English one with mainly English-speaking visitors. The rest of the characters are not similar to the English language.

To give a résumé: passwords are not uniformly distributed and they are not based solely on a language. Therefore, there are passwords that occur with a higher probability than others. These passwords can be described using Markov chains.

We also found out that the Markov chains differ for different password lengths. That is why it seems reasonable to compute different Markov chains for different password lengths. Finally, Markov chains differ between position transitions. But this effect decreases with the size of passwords.

Real-world attacks against cryptographic hash functions

Optimized Code for Kalray

Two different programs, both running on the Kalray Developer platform, have been developed.

Password-List

The first program computes hash values based on a pre-defined list of passwords. To crack a password it is only necessary to compare the target hash with the computed list of hashed passwords. If there is a match, it allows to calculate the position of a corresponding plain text. The concept of this tool provides one program on the host processor with different threads to read and write a file from storage, one program on “PCI0” to handle data input from the cluster, one program on “PCI1” to handle data output from the cluster and one program that will be spawned on all 16 Cluster cores.

The read thread runs on the main CPU and reads data from the storage and sends them to PCI0. The write thread also runs on the main CPU and receives all data from the program that runs on PCI1 and writes them to the storage. This construct is necessary for fast handling a huge amount of passwords.

The two threads can alternately read and write data and between the read/write section they can send/receive data from the cluster. For this reason it is possible to get the maximum IO-speed concerning to the HDD bottleneck. To get the maximum speed between the main CPU and the cluster, the best way is to use both PCIe interfaces. So PCI0 is used to read data from read thread and pass them on to the cluster. PCI1 is used to read data from cluster and send them to the host.

Every cluster gets only a part of every data set. The cluster main cores split these parts of the data set and send them to every core. The single cores compute the result and if all clusters have finished, the result will be returned to PCI1. Figure 6 shows the sequence diagram of the data flow:

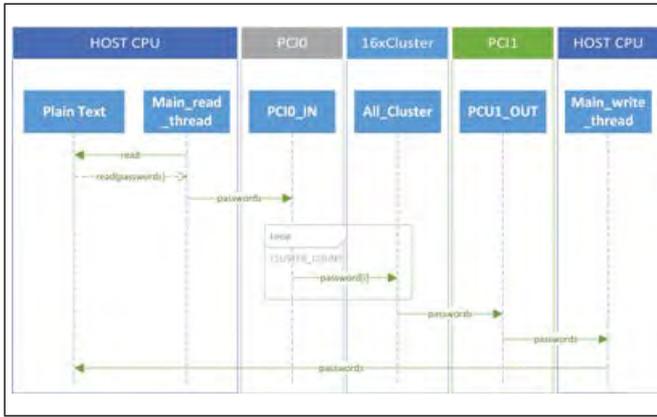


Figure 6: Sequence diagram

The architecture of the program does not depend on the password hash algorithm. There are two implementations, one for MD5 (cf. Rivest 1992) as a “best-case”¹ example, based on the short runtime. The other one uses *crypt*, the default hashing routine for Linux operating systems, with SHA512 as a real world example. *crypt* is also a “worst-case” scenario because it is very time-intensive.

The performance of those two applications is measured in

$$\frac{\text{KiloHash}}{\text{seconds}}$$

The time starts with reading the first password and stops with finishing writing. The code is written in “C” and compiled using the GNU Compiler Collection (GCC)² with optimization level 3 (-O3). The table below shows the average computing performance of the Kalray Developer platform.

	MD5	crypt_SHA512
kH/s	~ 1593.3	~ 2.8

The pros of the application are: The architecture of this application is not depending on the hash algorithm or the input data. It is possible to work with big password lists (bigger than the size of RAM). It is possible to pre-compute lists of hashed passwords to attack multiple passwords with the same salt.

The cons of this application are: This kind of computing password hashes works much faster on GPUs. This is due to the greater number of cores on a GPU and the fact that disadvantages like SIMT and SPMD of the GPU do not affect the result. The applications execute the same code on every core and only the input differs (correspond to SPMD) and the code does not contain jumps that are not simultaneously on every core (correspond to SIMT). Another disadvantage are the read- and write instructions on the host system which are time-intensive. The reason is that the data must be transferred to the cluster over two more OS³. This is a very time-intensive process.

Markov-Cracker

This Application is based on the findings of section “Using Markov chains to describe passwords”.

Markov-Cracker works with Markov chains for every password length. Markov chains are used to describe the probabilities of transitions between characters and their subsequent characters. A list of start values is needed for every password length. The input data must be saved in Octave’s text data format. This format allows it to easily manipulate or to create input data with Octave or MATLAB respectively.

This algorithm does not depend on the hash algorithm. The output of the application is only on the system console and shows the target hash and a corresponding plain text password.

Markov-Cracker starts with the shortest password size and loads the necessary data to the cores. The passwords are created on the fly on the cores based on the Markov chains. Due to load balancing aspects, the PCI-OS sends only one start value to every cluster. If one cluster has finished, the PCI-OS will send the next one. The start values will be distributed in descending order of probability. On the cluster every single core gets the start value from the PCI-OS and gets a unique character which is calculated with the start value and the first Markov chain. Based on these values, every core iterates the following characters according to the Markov chains. For every iteration the corresponding hash is calculated and compared to the target passwords. If one hash is equal to a target password hash, then a corresponding plain text password and the hash will be printed on the system console, else a new password will be iterated. The iteration starts with the most probable character and ends with the least probable character. This probability-dependent order and load balancing ensure that every core is busy and computes the passwords with the highest probability first.

The performance of the program is again measured in

$$\frac{\text{KiloHash}}{\text{seconds}}$$

The time starts with reading the first password and stops with finishing writing. The code is completely written in “C” and compiled with the GNU Compiler Collection (GCC) with optimization level 3 (-O3).

	MD5	crypt_SHA512
kH/s	~ 132864.0	~ 2.8

In comparison to the first program, this one uses less memory. Only the size for the Markov chains and the start values are necessary. Another advantage is that the passwords only exist on the cores and it is not necessary

to transfer or save them. Finally, the most probability passwords are tested first.

A disadvantage is that Markov chains make only sense with not random, uniform distributed passwords. Also a negative aspect is that it is not possible to try specific words as a password, for example words which describe the personal background of the target user (and in this way using hints gained from social engineering).

Comparison

The main difference between Password-List and Markov-Cracker is the performance. Cracking MD5 is 82 % faster with Markov-Cracker than with Password-List. This is based on the fact that cracking on MPPA Developer is only limited through the number of available passwords per time. Markov-Cracker creates with iteration of Markov chains much more passwords per time than Password-List can load from the host storage. The performance difference between the two applications for crypt_SHA512 is vanishingly small. That is because cracking crypt_SHA512 is limited by the CPU performance and the password rate is irrelevant.

Markov-Cracker is the more powerful tool, based on the performance and the flexibility of the Markov-Chains. Password-List has one use case if personal information about the target are available from social engineering etc. which might have been used in its passwords. It is possible to try only this information.

Conclusion

Functions which create password hashes must be more than simple one-way functions with a high collision resistance. They must defy attacks using huge amount of available memory and massive parallelisation. Scrypt, for example, increases the cost of password cracking with high memory usage (cf. Percival 2012). To increase the computation time, the password will be hashed several times. Another way to increase the computation time is to salt every password, it makes rainbow tables senseless. These techniques make an attacker's job to crack the passwords much harder, but unfortunately only if the

target does not use a high probability (and therefore weak) password.

Brute force attacks against passwords with characters picked from a large set of characters are too time-intensive. Rainbow tables are much faster than brute force attacks but these kinds of attacks is too slow and too memory-intensive as well. These attacks are outdated for passwords generated by humans. This is shown by current projects like Hashcat⁴ or John the Ripper⁵ which do not support rainbow tables.

Attacks based on password statistics are much faster because they only use relevant passwords. Attacks based on Markov chains do not need much memory and they are very effective against the most common passwords. Password lists can be used to iterate personal information or the top 1000 of the most frequently used passwords. If the password is random and the characters uniformly distributed, only rainbow tables or brute force attacks are possible. Unfortunately, people still are too careless with their passwords and that is why attacks like those based on Markov chains are more often successful than not.

To practically crack passwords, powerful hardware is necessary. GPUs are state of the art for password cracking, they allow massive parallelisation and speed up the hash calculation. Also hash algorithms with high memory usage like scrypt are no problem, because modern GPUs have much memory with high bandwidth (GDDR5, HBM). If hash functions become more complex, multi-core CPU might come more into consideration, but today multi-core CPUs are of less importance regarding password cracking. The number of cores (256) of the multi-core MPPA-256 is too low and they are also clocked with a low clock rate (400 MHz). In comparison a GPU Radeon HD 6950 (AMD) has 1408 streaming processing units (one core on a GPU) distributed (divided) on 22 processors, and a GPU clock speed of 810 MHz. The difference between the benchmarks of MPPA 256 and a benchmark with oclHashcat shows the performance difference. MD5 is approximately 2600 % faster on a GPU with oclHashcat than on MPPA-256 with Markov-Cracker and SHA512-crypt is about 600 % faster on a GPU.

Endnotes

1. From the Crackers point of view
2. <https://gcc.gnu.org/>
3. One on the processor behind the interface and the other on the Cluster
4. <https://hashcat.net>
5. <http://www.openwall.com/john/>

Bibliography

- Alleyne, Richard. 2010. English Language Has Doubled in Size in the Last Century. <http://www.telegraph.co.uk/technology/internet/8207621/English-language-has-doubled-in-size-in-the-last-century.html>.
- Bauer, Friedrich L. 2000. *Entzifferte Geheimnisse: Methoden und Maximen der Kryptologie*. Springer-Verlag, Heidelberg, 3 edition.
- Beierlein, Thomas and Olaf Hagenbruch. 2011. *Taschenbuch Mikroprozessortechnik*. 4th ed. München: Carl Hanser Verlag.
- Dinkla, Jörn. 2013. *Massiv Parallel. iX Developer*, no. 1.
- Hashcat. 2013. Performance. <http://hashcat.net/oclhashcat/>.
- Hellmann, Martin E. 1980. A cryptanalytic time-memory trad-off. *IEEE Transactions On Information Theory*, 26(4).
- Kalray. 2012. MPPA DEVELOPER. http://www.kalrayinc.com/IMG/pdf/FLYER_MPPA_DEVELOPER.pdf.
- Kalray. 2013. MPPA MANYCOR. http://www.kalrayinc.com/IMG/pdf/FLYER_MPPA_MANYCORE.pdf.
- Menezes, Alfred J. and Paul C. Van Oorschot and Scott A. Vanstone and R. L. Rivest. 1997, *Handbook of Applied Cryptography*. 1st ed. CRC Press.
- Miessler, Daniel. 2013. "Rockyou-Withcount.txt. <https://github.com/danielmiessler/SecLists/blob/master/Passwords/rockyou-withcount.txt>.
- NIST. 2015. Secure Hash Standard. <http://nvlpubs.nist.gov/nistpubs/FIPS/NIST.FIPS.180-4.pdf>.
- Oechslin, Philippe. 2003. Making a faster cryptanalytic time-memory trad-off. *Proceedings of Crypto'03*.
- Percival, Colin. 2012. Stronger Key Derivation via Sequential Memory-Hard Functions.
- Rivest, Ronald L. 1992. The MD5 Message-Digest Algorithm. <https://www.ietf.org/rfc/rfc1321.txt>.
- Thies, Klaus-Dieter. 2008. *Echtzeit-Multitasking*. 4th ed. Aachen: Shaker Verlag GmbH.
- Ziegler, Manuel. 2014. *Web Hacking: Sicherheitslücken in Webanwendungen – Lösungswege Für Entwickler*. 1st ed. München: Carl Hanser Verlag.

Kontakt:



Tilo Fischer

Ostbayerische Technische
Hochschule (OTH) Amberg-Weiden
Fakultät Elektrotechnik, Medien und Informatik
Laboratory for Safe and Secure Systems (LaS³)
Kaiser-Wilhelm-Ring 23
92224 Amberg

ti.fischer@oth-aw.de



Prof. Dr. Andreas Aßmuth

Ostbayerische Technische
Hochschule (OTH) Amberg-Weiden
Fakultät Elektrotechnik, Medien und Informatik
Laboratory for Safe and Secure Systems (LaS³)
Kaiser-Wilhelm-Ring 23
92224 Amberg

a.assmuth@oth-aw.de

Zusammenfassung

Es wurde das Design magnetischer Koppler für die induktive Energie- und Datenübertragung im Bereich der Elektromobilität untersucht. Dafür wurden 3D-FEM Simulationen der Koppler-Geometrien mit der Berechnung konzentrierter Parameter des elektrischen Ersatzschaltbildes kombiniert. Das System besteht aus zwei magnetischen Kopplern für die gemeinsame Übertragung von Energie und Daten. Der Fokus bei den Berechnungen liegt auf dem Einfluss der magnetischen Felder und deren Sättigungseffekten in den Koppler-Kernen auf die Datenübertragung. Die Ergebnisse zeigen, dass sich bei den hier untersuchten Geometrien Sättigungseffekte sehr negativ auf die Datenübertragung auswirken.

Abstract

The design of couplers for inductive power transfer for electric vehicle charging is studied via 3D-FEM calculations, which are coupled to lumped parameter circuits. The system consists of two magnetic couplers for a combined transfer of energy and data. The focus of the calculations lies on the influence of magnetic fields and related saturation effects on the data transfer. It is found, that saturation has a very negative effect on data transfer for such setups.

Introduction

We consider an inductive power transfer (IPT) system for electric vehicle (EV) charging with a combined power and data transfer. Usually EV charging IPT systems consist of two magnetic couplers. On the one hand the primary coupling pad, which is fixed on the ground, and on the other hand the secondary coupling pad, which is mounted on the vehicle floor. The primary coupling pad is driven by a power electronic unit in the frequency range between 20 kHz and 140 kHz. For control and safety reasons a communication link has to be established with the EV. This link may utilize the power couplers or separate ones. There are numerous coupler designs^[1-7] and there are investigations into combined power and data transfer^[8-10] and there are also studies^[11] related to the communication of the vehicle charging unit with the electrical grid (V2G).

In contrast we study magnetic field related issues for a combined power and data transfer across the charging couplers. Here, the power electronics generate massive noise and interferes with the data transfer. In this study

we look into the basic behavior of the coupling system. We carry out 3-D FEM time domain simulations, which we couple with lumped parameter calculations using equivalent circuits. The influence of transients caused by load variations and the influence of saturation effects are determined for such loosely coupled IPT systems.

Coupler Layout

There are several designs available for building magnetic couplers in electric vehicle charging. Common designs are the “DD” (known also as butterfly pads), circular and solenoid pads^[1-7]. In our simulations we decided for a combination of a DD pad, which is fixed on the ground, and a solenoid pad, that is fixed on the vehicle floor. For the data transfer we use a separate winding on the common primary ferrite and no extra winding at the secondary side for clarity reasons.

For our study we model the stationary pad with a solid ferrite bar that has a slight u-shape to guide the flux somewhat towards the receiving coils. The primary pad

comprises two separate windings which are connected either in series or in parallel depending on the driving circuit. The secondary pad is modelled as a solid ferrite bar with a single coil, which constitutes a solenoid. There is a substantial air gap between the primary and secondary pad and the coupling for this setup is less than 10 %. Figure 1 shows the setup, where all dimensions are given in millimeters. Also shown are calculated field lines to visualize the flux linkage.

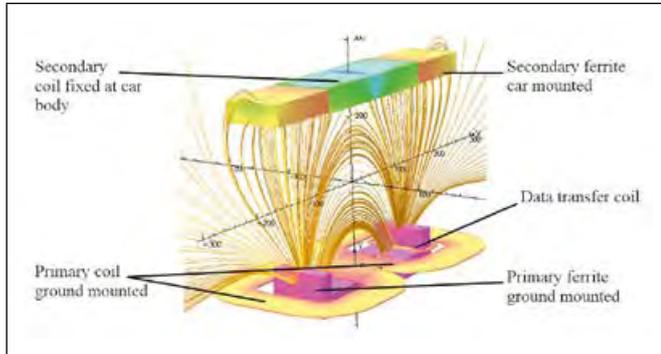


Figure 1: Geometry and magnetic field lines between DD-Solenoid pad combination

For a transformer setup with a closed ferrite/iron path and sinusoidal power and data transfer it is obvious that saturation would lead to a pronounced attenuation of the data signal as soon as the power transfer drives the core into the saturation. For our setup, as can be seen in Figure 1, the air path is at least comparable to the path within the ferrite. This large air gap implies that the overall magnetic behavior and therefore the actual coupling for the power and the data transfer is dominated by the air gap itself. Still, there is noteworthy influence to be expected from the saturation effects of the primary ferrite on the communication link.

Thus, we look into the saturation of the primary ferrite. To clearly show the effect we deliberately choose applied voltages as to force saturation in the primary ferrites. However, assuming a proper layout of the coupling pad and its driving power electronics, we expect the main course of saturation would be DC components in driving currents. These DC components would arise from step load variation such as switch on/off. Likewise some specific operating condition could lead to saturation.

FEM Model

We use the commercial tool Opera 3-D^[12] for solving the governing equations of quasi magnetic statics together with a lumped circuit. Influences of eddy currents within the conductors are deliberately neglected. These would mainly affect the data transfer coil wire and the efficiency of the power transfer, which both are not investigated here.

A 3-D geometry model has been set up as shown in Figure 1 and an appropriate calculation domain has been chosen. The dimension of the coils and the air gap reflect the actual application. The material properties of the ferrite are modelled with the B-H curve taken from a standard ferrite (N90) data sheet. The coils are modelled as current carrying areas made from copper.

Calculations

First we carry out calculations at fixed frequencies with sinusoidal voltages to determine the inductance L_{Tx} of the primary coil (2 times 20 turns), the inductance of the secondary coil L_{Rx} (40 turns), the mutual coupling M and the coupling factor k . For the setup shown in Figure 1 and the ferrite material N90 we find $L_{Tx} = 353\mu H$, $L_{Rx} = 847\mu H$, $M = 12.24\mu H$. With these values we determine the series capacitance for compensation at 20 kHz operating frequency for power transfer and the capacitance for the 200 kHz data transfer.

Figure 2 shows the equivalent circuit, where the integration of the 3-D FEM calculations is indicated by the dashed rectangle. Also shown are the series capacitors C_D and C_P . The capacitor in the primary power electronics circuit is necessary for compensation while the capacitor C_D for the data transfer mainly acts as a filter component to attenuate the power frequencies in this circuit. In an actual realization a higher-order filter would be used to decouple the power from the data transfer, but we deliberately use this second-order high pass design for simplicity reasons.

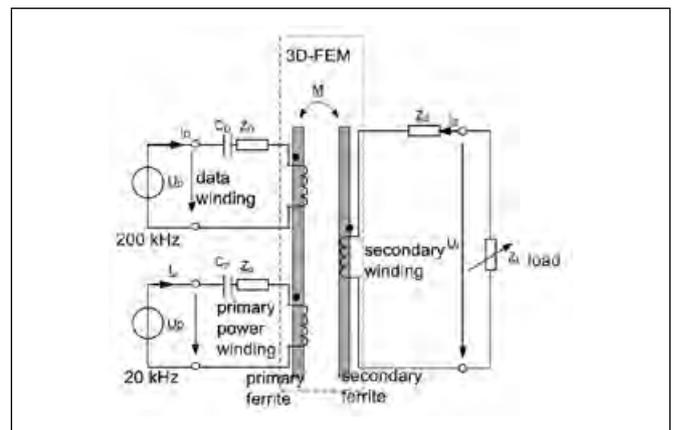


Figure 2: Lumped parameter circuit with FEM section enclosed in dashed rectangle

With this setup, we calculate the coupling between the primary feed and the data winding with the secondary winding, which operates at open circuit conditions i.e. no load. We run this linear case with a driving frequency at 20 kHz for the power feed with no voltage applied at the data winding. Then we run this case vice versa with a 200 kHz signal as the driving source with the same amplitude. We find that the transfer ratio for power is 40 times that for data, when using the parameters

$C_D = 180 \text{ nF}$, $C_p = 4 \text{ nF}$, $R_p = 1 \text{ Ohm}$, $Z_L \rightarrow \infty$,
 $R_D = 1 \text{ mOhm}$.

Linear time domain calculation

A square wave at 20 kHz models the power and a simultaneously applied square wave at 200 kHz models the data transfer. Since there is no harmonic of the power frequency $(2n+1) \times 20\text{kHz}$ at the 200 kHz data transfer frequency this ratio seems suitable. Any further improvement of the data transfer is not considered here, especially no intricate channel coding is studied.

In the linear case we obtained the following results for the first two operating cycles as given in Figure 3. Regarding data transfer we apply a standard FFT algorithm to the secondary side voltage. Due to the transients there are various spectral contributions apart from harmonics that would be inherently expected. But the 200 kHz data signal contribution is clearly discernible from the overall spectrum as can be seen in Figure 4.

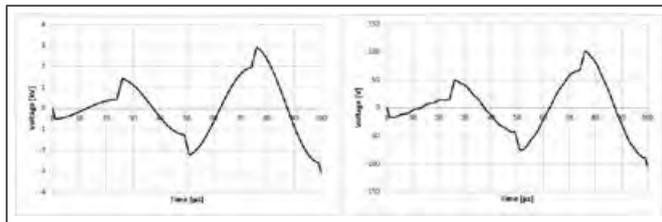


Figure 3: Voltage across the primary power windings (left) and the resulting secondary voltage (right)

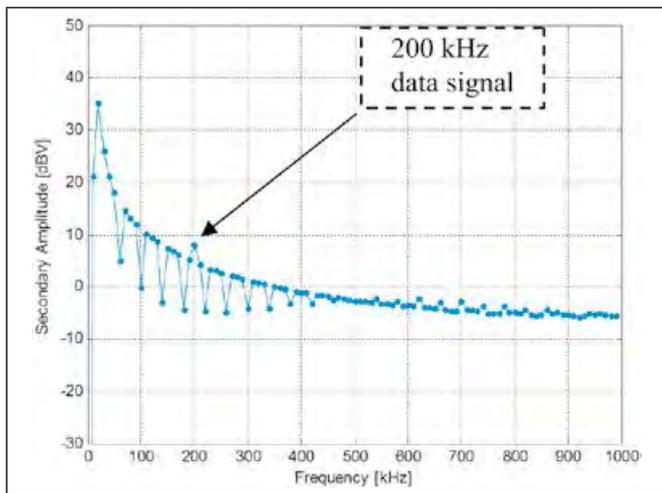


Figure 4: FFT spectrum of secondary voltage

Non-Linear time domain calculation

In non-linear calculations we use the B-H curve as given in Figure 5. We carry out the same calculations as for the linear case. The results from such a non-linear calculation is given in Figure 6. In this calculation we drive the primary pad ferrite to field levels of approximately 600 mT. The effect of saturation and non-linearity is

shown by the comparison of the currents in the linear and no-linear case.

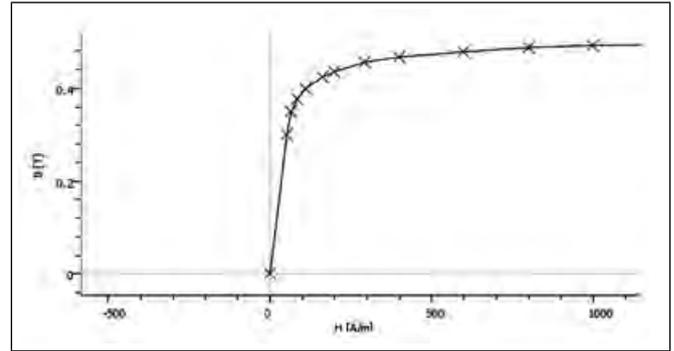


Figure 5: B-H curve for non-linear calculations

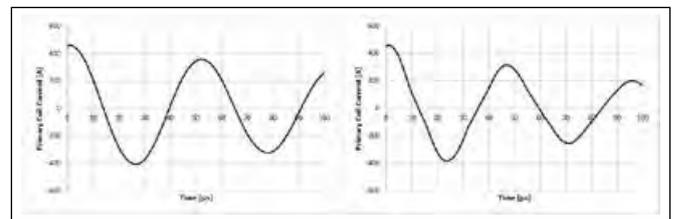


Figure 6: Primary coil currents linear without saturation (left) and nonlinear saturated (right).

With respect to data transfer the spectrum of the secondary voltage is to be compared for the linear and non-linear case as given in the Figure 7. The good discernible peak at 200 kHz for the linear case has completely vanished in the non-linear case, when saturation occurs. The typical non-linear behavior that input at one frequency gets transferred into different other frequencies. Albeit, the overall influence on the power transfer is not pronounced, saturation has a strong negative influence on the data transfer only.

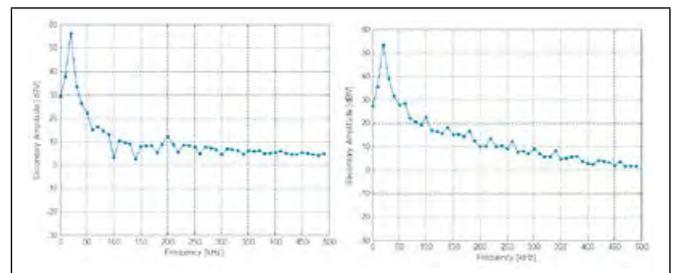


Figure 7: Comparison of the linear and non-linear calculation. FFT spectrum of secondary voltage with linear calculation without saturation (left) and FFT spectrum of secondary voltage with non-linear calculation and saturation of primary ferrite (right).

Conclusion

Due to the combination of transient DC components and non-linear saturation effects the data transfer becomes more and more difficult. Already a transient which might be caused by load shedding introduces at least temporarily various components in the spectrum. If that combined with saturation effects the data transfer will be very poor or no data transfer is possible. Therefore, saturation effects in such couplers must be kept to a minimum and have to be avoided if an uninterruptible or even real-time communication is required. Due to the massive deterioration of the communication channel which is found here, it seems to be necessary to use a non-saturated and separated ferrite for data transfer. This should only be coupled very loosely via the air gap to the main power magnetic circuit. A combined power and data transfer coupler is not considered to be viable.

References

- [1] R. Shimizu, Y. Kaneko, S. Abe, "A New Hc Core Transmitter of a Contactless Power Transfer System that is Compatible with Circular Core Receivers and H-shaped Core Receivers" Proceedings ELDPC-2013, Nuremberg, Germany Dec. 2013
- [2] Y. Nagatsuka, N. Ehara, Y. Kaneko, S. Abe, T. Yasuda "Compact Contactless Power Transfer System for Electric Vehicles" Proceedings Power Electronics Conference (IPEC), 2010
- [3] M. Budhia, J. T. Boys, G. A. Covic, Development of a Single-Sided Flux Magnetic Coupler for Electric Vehicle IPT Charging Systems IEEE Trans. Industrial Electronics VOL. 60, NO 1. 2013
- [4] Raabe, G.A. Covic "Practical Design Considerations for Contactless Power Transfer Quadrature Pick-Ups" Trans. Industrial Electronics VOL. 60, NO 1. 2013
- [5] C. Joffe, S. Ditze, A. Roßkopf "A Novel Positioning Tolerant Inductive Power Transfer System" Proceedings ELDPC-2013, Nuremberg, Germany Dec. 2013
- [6] Nam, I.; Dougal, R.; Santi, E., "Optimal design method to achieve both good robustness and efficiency in loosely-coupled wireless charging system employing series-parallel resonant tank with asymmetrical magnetic coupler" Energy Conversion Congress and Exposition (ECCE), 2013 IEEE , pp. 3266–3276, 15–19 Sept. 2013; doi: 10.1109/ECCE.2013.6647129
- [7] Bosshard R., Kolar J.W., Wunsch B. "Accurate Finite-Element Modeling and Experimental Verification of Inductive Power Transfer Coil" Proceedings of the 29th Applied Power Electronics Conference and Exposition (APEC 2014), Texas, Houston, USA, March 16–20
- [8] Vogl U., Schmidt H.-P. "Field Bus System with Contactless Power and Data transfer" Proceedings KomMA, Lemgo, 2012. Jahreskolloquium Kommunikation in der Automation 3, 2012, ISBN: 978-3-9814062-2-1. German. Conference Proceeding
- [9] Galli S, Kenneth J. Kerpez, Hubert Mariotte, Fabienne Moulin, "Statistical Modeling of PLC-to DSL Interference", 2015 IEEE International Symposium on Power Line Communications and Its Applications (ISPLC)
- [10] Pereira S.C., Caporali A.S., Casella I.R.S. "Power Line Communication Technology in Industrial Networks", 2015, IEEE International Symposium on Power Line Communications and its Applications (ISPLC)
- [11] Lewandowski, C.; Groning, S.; Schmutzler, J.; Wietfeld, C., "Interference analyses of Electric Vehicle charging using PLC on the Control Pilot", in Power Line Communications and Its Applications (ISPLC), 2012 16th IEEE International Symposium, pp. 350–355, 27–30 March 2012, doi: 10.1109/ISPLC.2012.6201296
- [12] Vector Fields Opera 3d – User Guide, Cobham Technical Services, Vector Fields Simulation Software, Kidlington, UK

Kontakt:



Andreas Fuchs, M. Eng.

Ostbayerische Technische
Hochschule (OTH) Amberg-Weiden
Fakultät Elektrotechnik, Medien
und Informatik
Kaiser-Wilhelm-Ring 23
92224 Amberg

a.fuchs@oth-aw.de



Prof. Dr.-Ing. Hans-Peter Schmidt

Ostbayerische Technische
Hochschule (OTH) Amberg-Weiden
Fakultät Elektrotechnik, Medien
und Informatik
Kaiser-Wilhelm-Ring 23
92224 Amberg

h.schmidt@oth-aw.de



Stefan Fuchs, M. Eng.

Ostbayerische Technische
Hochschule (OTH) Amberg-Weiden
Fakultät Elektrotechnik, Medien
und Informatik
Kaiser-Wilhelm-Ring 23
92224 Amberg

ste.fuchs@oth-aw.de

Real Time Ethernet and Synchronizing with Inhomogeneous Physical Layers: CAT5 and Unshielded Twisted Single Pair Cabling

Stefan Fuchs, M. Eng.
Prof. Dr.-Ing. Hans-Peter Schmidt

gefördert vom



Bundesministerium
für Bildung
und Forschung

Zusammenfassung

Aufgrund des erhöhten Datenaufkommens und Vernetzungsgrades von Anwendungen im Fahrzeug und in der Automatisierungstechnik werden zunehmend mehr Ethernet-basierte Kommunikationssysteme eingesetzt. In naher Zukunft sollen diese nun auch für sicherheitskritische und echtzeitfähige Kommunikationspfade im Fahrzeug genutzt werden. Die hier vorgestellten Grundlagenuntersuchungen tragen zu der Einführung dieser Technologien bei. In diesem Beitrag wird speziell auf die echtzeitfähige Datenübertragung über Ethernet, mit einem inhomogenen Physical Layer, eingegangen. In dem Ethernet-Netzwerk wird ein 100Base-TX und ein 100Base-T1 Physical genutzt. Es wird die Synchronisation von Geräten über Ethernet und die synchronisierte Übertragung von Videodaten gezeigt. Speziell für diese Anwendung entwickelte Ethernet-Physical Layer Adapter (E-PLAs) werden eingesetzt, um die Physical Layer 100Base-TX und 100Base-T1 zu verbinden. Es wird gezeigt, dass ein Ethernet-Netzwerk mit unterschiedlichen Physical Layers, mit nur geringen Abstrichen in der Synchronisationsgenauigkeit und Verzögerung, für die echtzeitfähige Datenübertragung genutzt werden kann.

Abstract

Based on the growing degree of cross-linking and transferred data in vehicles and in automation, Ethernet-based communication systems become more and more important. In the near future these communication systems shall be used for safety related and real time capable data links in vehicles. The presented studies contribute to this introduction. In this paper real time data transfer over Ethernet, with an inhomogeneous physical layer is studied. Within the Ethernet network 100Base-TX and 100Base-T1 physical layers are used. Synchronization of devices via Ethernet is investigated and synchronized transfer of video streams is shown. Purpose-built Ethernet-Physical Layer Adapters (E-PLAs) are applied. It is demonstrated that an Ethernet network with different physical layers may be used for real time data transfer with just a little trade-off in synchronization and transfer delay.

Introduction

Applications that rely on deterministic data transfer require real time communication features. Furthermore, additional communication demand is quite often present. Sensor fusion may rely on multiple Ethernet data transfer with synchronized real time. A typical application could be image processing using multiple independent cameras and further sensing/ranging. For such applications Ethernet backbone solutions for in-vehicle communication have to provide strict Quality of Service.

Since the use of low cost wiring is more adequate for automotive, various efforts have been made to apply a physical layer with unshielded twisted single pair (UTSP) cabling^[1] for in-vehicle communication. There are scenarios where UTSP physics may be combined with already standardized physical layers. The coupling of such different physical layers may affect real time communication. Therefore, we investigate real time data transfer and synchronization of devices in a system with a mixed physical layer. This physical layer consists of sections with 100Base-TX physics that are coupled to sections with an UTSP cabling.

With the set-up presented, we demonstrate that real time Ethernet with synchronized devices can still be achieved with a physical layer that is realized in parts by a standard technology and in parts by UTSP, which is an adequate for automotive use.

Real Time Communication System

Two independent video streams are transferred to a display unit. Next to the video streams management and monitoring data is transferred over the same communication channel as shown in Figure 1. Both video streams rely on real time data transfer, otherwise the synchronized handling and presentation of video data at the display unit cannot be guaranteed. The management and monitoring data require no strict real time features.

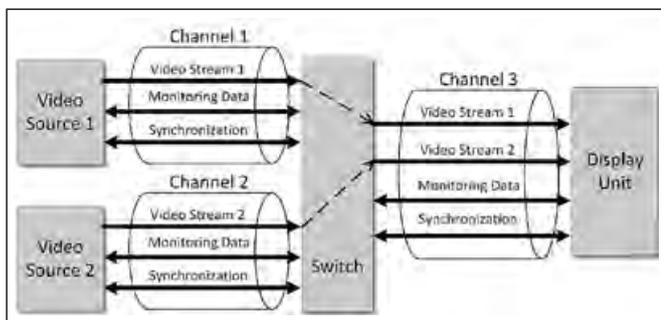


Figure 1: Communication channels between devices

A video transfer is chosen to provide a loaded Ethernet system and an illustration of real time and synchronization issues at the display unit^[2]. The transferred video and management data differ in the type of appearance. Video data is transferred cyclic with a fixed cycle time. Management data is transferred sporadic on user request. With these two connections, video and management data, we load the same communication channel with real time and non-real time data and with cyclic and sporadic transfers.

The test system consists of two automotive microcontrollers which are used to stream video data over Ethernet. Each microcontroller is equipped with an imager module. The microcontrollers including the imager modules run completely independent to each other. The pictures taken from the imagers are compressed with a hardware JPEG encoder which is integrated in the automotive microcontrollers. Compression is used to lower the bandwidth which is required for video transfer. Through hardware encoding only a very low delay is introduced and the CPU is not additionally loaded. Since the compression rate depends on the picture content the used bandwidth varies.

Both video streams are presented on one display unit. To provide real time features at the display unit a real time Linux OS is used. A dedicated switch, which supports the required real time features, connects the participants in

the network. The switch is responsible for joining both video streams to transfer them over one communication channel to the display unit. Synchronization and management data is transferred next to the video data. A monitoring unit provides a detailed system overview and diagnosis.

Three communication channels are used in the system as shown in Figure 1. The channels one and two are used to respectively transfer one video stream, management and synchronization data. These channels use the 100Base-T1 physical layer. The switch and the microcontrollers only provide a 100Base-TX physical layer so purpose-built Ethernet-Physical Layer Adapters (E-PLAs) are used to realize the 100Base-T1 communication channel between the microcontrollers and the switch. The schematic data transfer between physical layers is shown in Figure 2. Based on the implementation of E-PLAs the system is configurable for user requirements. The network can be equipped with shielded cables, unshielded cables or a mixture of both.

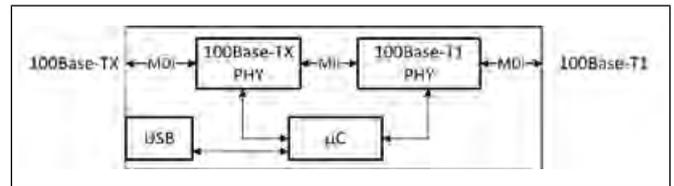


Figure 2: Schematic view of the purpose built Ethernet-Physical Layer Adapter (E-PLA)

Figure 3 shows the complete set-up with the physical layers. The communication channel between the switch and display unit and between the switch and monitoring unit is designed with a 100Base-TX physical layer.

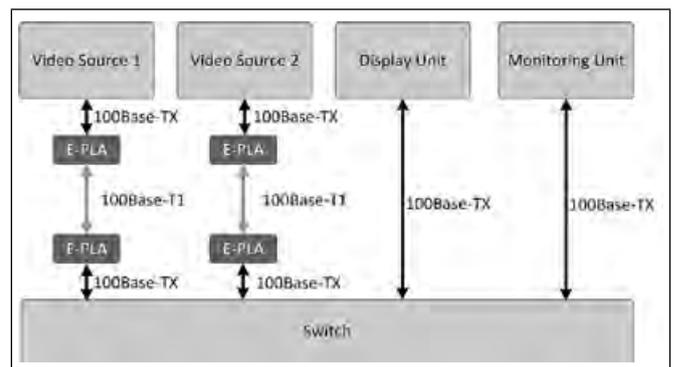


Figure 3: Lay out of the communication system. Two microcontroller boards with video cameras feed a display and monitoring unit via a dedicated switch

Ethernet Protocol Overview

An UDP/IP and TCP/IP stack is used to transfer management and configuration data between the display unit, the monitoring unit and the microcontrollers. Thus, the display unit can configure video framerate and

synchronization state in the network. A data transfer is initiated by user on the display unit. With each user initiation a data exchange over Ethernet is triggered. The management and configuration data transferred to the monitoring unit are recorded and displayed to represent the current system overview.

The Precision Time Protocol (PTP) stack takes care of device synchronization over Ethernet. The protocol handling is realized as a daemon. No user interaction is required for synchronization. The synchronization starts immediately after devices are powered up. The synchronization cycle time can be adapted for user needs.

The Ethernet AVB (Audio Video Bridging)^[3] stack is in charge of video data transfer from microcontrollers to display unit. By using the real time Ethernet system Ethernet AVB, the deterministic transfer of data can be guaranteed even if the Ethernet communication channel is highly loaded and a large amount of bandwidth is used by other applications. Ethernet AVB utilizes reservation of bandwidth within the network^[4] and a credit based shaper^[5] to guarantee a deterministic transfer delay for Ethernet frames. For the link between the two microcontrollers and the display unit a certain bandwidth is reserved for video data transfer. This bandwidth cannot be used by any other network traffic.

On the microcontrollers an Ethernet traffic scheduler takes care of priority controlled hardware access for the stacks. The Ethernet abstraction layer contains a RX- and TX Handler. The RX-Handler inspects the incoming Ethernet frames and transfers the frame to the associated Ethernet stack, depending on the Ethertype. The TX-Handler uses a priority controlled traffic shaper which is in charge of transmitting Ethernet frames dependent on their priorities.

Figure 4 shows the arrangement of the three Ethernet stacks which are working in parallel to each other on every microcontroller.

Application Layer	TCP/IP, UDP/IP Application		Ethernet AVB Application
Administration Layer	Mailbox		
Service Layer	TCP, UDP		Ethernet AVB
	IPv4	PTP (1588)	MRP
Administration Layer	RX Mailbox System and TX Message Queues		
Abstraction Layer	RX Handler	Ethernet if	TX Handler
Hardware Layer	Ethernet		

Figure 4: Parallel working Ethernet stacks

Synchronization

For synchronization of devices in the network PTP (Precision Time Protocol) is used. PTP employs one

grandmaster clock and several slave clocks which synchronize to the grandmaster clock. In our set-up the grandmaster clock is determined either automatically, dependent on best clock quality, or manually with a pre-configured set-up. The implemented PTP stacks running on the microcontrollers support grandmaster and slave clock behavior. One microcontroller acts as grandmaster clock and the other network participants as slaves. High synchronization accuracy is provided by hardware assisted time stamping of Ethernet frames in every single device in the network.

Video Presentation Time

For synchronized video presentation the Ethernet AVB presentation time feature is utilized as shown in Figure 5; every camera picture captured on one of the microcontrollers is time stamped. This timestamp, accumulated with a fixed transfer delay time, is transferred to the display unit and used to present the pictures synchronized to each other, unaffected of the jitter which is introduced through data transfer over Ethernet AVB.

To guarantee a synchronized handling and presentation of camera pictures it has to be ensured that the transfer delay in the network is smaller than the transfer delay time which is used for video presentation time calculation.

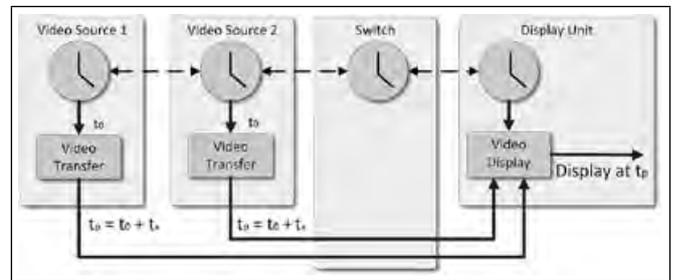


Figure 5: Presentation time

Monitoring and Diagnosis

With the monitoring unit synchronization and deterministic data transfer can be supervised. The monitoring unit shows the clock deviation from grandmaster for all slave participants and the frame delay throughout the network. With such a monitoring solution various aspects of real time communication can be tested. For example, specified delay times of Ethernet AVB frames can be tested under different load scenarios in networks. Physical layer tests can be performed also with live monitoring of synchronization and transferred data.

Verification

For real time handling and presentation of the video streams an exact synchronization of all devices within the

network is essential. This synchronization is done by PTP over Ethernet. The synchronization can be monitored and recorded by the monitoring unit in the system. The synchronization accuracy is described as the deviation of slave clock to grandmaster clock^[6]. Deviation is approximately +/- 150 nanoseconds at the maximum for every device in the network.

For the communication channel relying on 100Base-TX combined with 100Base-T1 the increased path delay time, in contrast to the 100Base-TX communication channel, can be monitored (Figure 6, Figure 7). The increased path delay time is the result of the introduced E-PLAs. In contrast to the path delay time the offset from master clock remains almost equal.

We study effects of missing or improper synchronization of devices by inferring and controlling unnatural degradation or complete failure of the PTP. Moreover, the display unit takes care of monitoring Ethernet AVB functionality. Not only the importance of synchronization but also the influences of induced errors in synchronization process can be seen.

To clearly demonstrate the real time behavior, we monitor exactly the same moving object with independent video cameras. A freeze image taken from these independent cameras will only show the same position of the object if the presentation is synchronized.

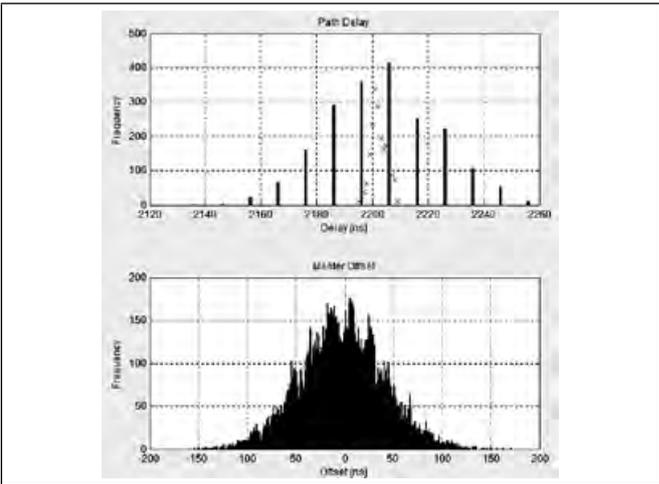


Figure 7: Histogram of path delay time and deviation between grandmaster and slave clock. 100Base-TX and 100Base-T1 physical layer combined

To mimic freeze images we control the number of frames that are displayed from the video streams that consist of 30 frames per second at a resolution of 640x480 pixels. Therefore, we may still load the communication system with 30 pictures per seconds from each camera while displaying almost freeze frames. This can be configured on the fly on the display unit. Figure 8 shows the complete set-up used to verify the system synchronization and data transfer.

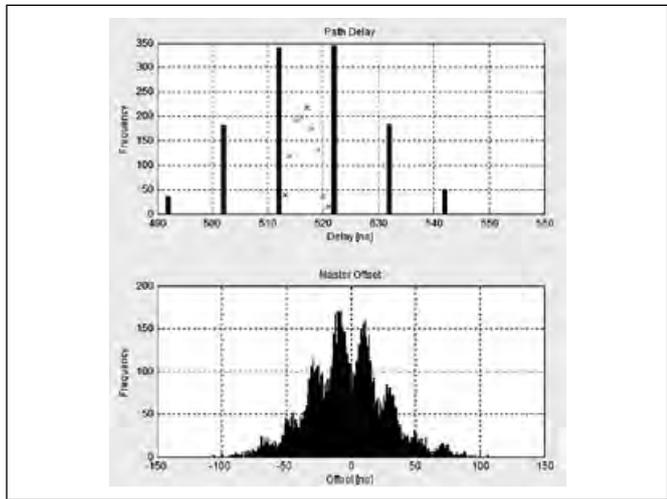


Figure 6: Histogram of path delay time and deviation between grandmaster and slave clock. 100Base-TX physical layer

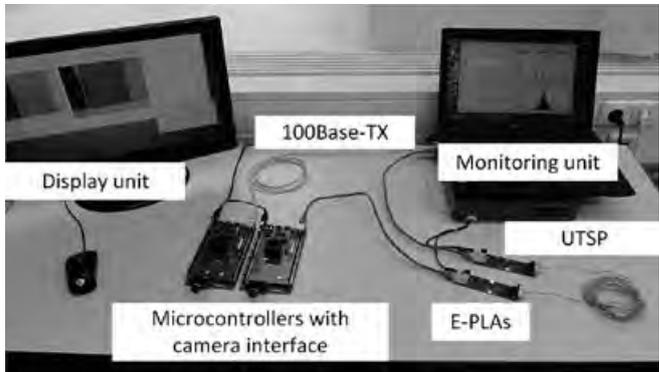


Figure 8: Laboratory set-up of the verification

Conclusion & Outlook

Our results for video transfer can be applied to other types of applications as well; synchronization and real time data transfer can be used for synchronized sensor readings, with sensors distributed over the vehicle, and a deterministic transfer of the values to one or several managing ECUs.

Further investigations of UTSP cabling with respect to EMC and real time behavior are necessary. Different types of cables and laying system of cables will be examined under defined electromagnetic stress conditions.

References

1. OPEN Alliance, www.opensig.org
2. G. Alderisi, G. Iannizzotto, and L. Lo Bello, "Towards 802.1 ethernet avb for advanced driver assistance systems: a preliminary assessment," in 17th IEEE Conference on Emerging Technologies and Factory Automation (ETFA 2012), Kracow, Poland, Sept. 2012.
3. IEEE 802.1AB-2011. Audio Video Bridging (AVB) Systems
4. IEEE802.1Qat-2010. Virtual Bridged Local Area Networks - Amendment 14: Stream Reservation Protocol (SRP)
5. IEEE 802.1Qav-2009. Virtual Bridged Local Area Networks - Amendment 12: Forwarding and Queuing Enhancements for Time-Sensitive Streams
6. Hyung-Taek Lim, Daniel Herrscher, Lars Volker, Martin Johannes Walzl, "IEEE 802.1AS Time Synchronization in a switched Ethernet based In-Car Network", IEEE Vehicular Networking Conference (VNC), 2011

Kontakt:



Stefan Fuchs, M. Eng.

Ostbayerische Technische
Hochschule (OTH) Amberg-Weiden
Fakultät Elektrotechnik, Medien und Informatik
Kaiser-Wilhelm-Ring 23
92224 Amberg

ste.fuchs@oth-aw.de



Prof. Dr.-Ing. Hans-Peter Schmidt

Ostbayerische Technische
Hochschule (OTH) Amberg-Weiden
Fakultät Elektrotechnik, Medien und Informatik
Kaiser-Wilhelm-Ring 23
92224 Amberg

h.schmidt@oth-aw.de

Zusammenfassung

Bisher gibt es im Raum Amberg-Sulzbach keine Vernetzung im Bereich barrierefreie Bildung und Freizeit. Die „Offene Behindertenarbeit“ schließt sich daher mit örtlichen und regionalen Bildungsträgern, mit dem örtlichen Fernsehsender und der Ostbayerischen Technischen Hochschule Amberg-Weiden zum „Wundernetz“ zusammen, um grundlegende und strukturelle Verbesserungen voranzubringen. Die Arbeitsgruppe der OTH Amberg-Weiden fokussiert sich dabei auf die Beratung und Entwicklung im Bereich barrierefreies Web.

Abstract

Until now, there is no networking in the field of handicapped accessible education and leisure in the region of Amberg-Sulzbach. To cause changes, the “work with disabled and non-disabled people” join forces with local educational institutions, the local TV broadcaster and the Ostbayerische Technische Hochschule Amberg-Weiden to the “Wundernetz”. The working group at OTH Amberg-Weiden focuses on development in the field of accessible web technology.

1 Anforderungen an ein barrierefreies Web

Eine wesentliche Voraussetzung, um Menschen mit Behinderungen die Teilnahme an Bildungsangeboten zu ermöglichen, ist es, dass diese sich über geeignete Kurse und Angebote informieren können. Dies geschieht vorwiegend über die Web-Auftritte der entsprechenden Einrichtungen.

Die Webangebote müssen dabei bestimmte technische Voraussetzungen erfüllen, um den sehr unterschiedlichen Behinderungsarten gerecht zu werden (W3C, 2009). Neu entstehende Web-Auftritte sollen möglichst von Anfang an entsprechend entwickelt, bestehende Angebote überprüft und angepasst werden. Dies wird mittlerweile sogar gesetzlich vorgeschrieben (Bundesministerium der Justiz, 2011).

Blinde Menschen beispielsweise setzen technische Hilfen ein, um zu navigieren und um eine Webseite zu lesen. So gibt es sogenannte Braille-Zeilen, die den Text auf der Seite in Blindenschrift darstellen. Menschen können dann Buchstaben der Blindenschrift erfühlen.

Personen mit einem eingeschränkten Bewegungsapparat können oft keine Maus oder Tastatur zur Navigation

bedienen und sind auf andere technische Hilfsmittel angewiesen. Um die Navigation mit solchen Hilfsmitteln zu ermöglichen, muss die Technik der Webseite entsprechend beschaffen sein und bestimmte Anforderungen erfüllen.

Zusätzlich zu den technischen Voraussetzungen muss eine barrierefreie Webseite besonders gestaltet werden. Beispielsweise soll der Kontrast zwischen Text und Hintergrund groß sein, auch sollen keine schnellen Animationen ablaufen. Menschen mit Leseschwierigkeiten profitieren zusätzlich von einer einfach und klar gehaltenen Sprache und von eindeutigen Symbolen.

2 Arbeitsschritte

Zur Umsetzung der beschriebenen Arbeiten wurde an der OTH eine halbe Stelle für einen Projekttechniker geschaffen, die seit Oktober 2015 mit einem Bachelor der Medienproduktion und -technik besetzt ist. Die fachlichen Koordinatoren sind die Professoren Karlheinz Müller, zuständig für die grafischen Arbeiten, und Dieter Meiller, zuständig für die technischen Arbeiten. Folgende Arbeitspakete sollen ausgeführt werden:

2.1 Recherche der Grundlagen von Barrierefreiheit im Web

Der aktuelle Stand der Forschung und Technik zum Thema Barrierefreie Webseiten sowie die rechtlichen Rahmenbedingungen sollen recherchiert und dokumentiert werden. Die Erkenntnisse sollen später auf der Projektwebseite zugänglich gemacht werden.

2.2 Umsetzung einer barrierefreien Projekt-Webseite

Auf Basis des Content-Management-Systems „Wordpress“ soll eine barrierefreie Projekt-Webseite erstellt werden, die danach in Kooperation mit den anderen Projektpartnern angepasst und gefüllt werden kann. Diese soll zugleich als „Best Practice“-Beispiel dienen.

Dazu gehört der Entwurf eines gut wahrnehmbaren Designs, die Auswahl geeigneter Farben und Schriften und die Codierung eines sogenannten Responsive-Webdesign Templates: Hierbei handelt es sich um eine Vorlage, die das Aussehen der gesamten Seiten bestimmt. Diese soll sich an verschiedene Endgeräte anpassen können, also verschiedene Bildschirmgrößen, auch Handys und Tablet-Computer sowie besondere Hilfsgeräte für Menschen mit Behinderungen. Der Quellcode des Templates soll als Open-Source-Projekt veröffentlicht und so auch anderen Bildungseinrichtungen zur Verfügung gestellt werden.

2.3 Überprüfung von Webseiten auf Barrierefreiheit

Die Webseiten der Projektpartner sollen auf Barrierefreiheit überprüft werden. Dies soll mit technischen Methoden (Web Accessibility Tools Consortium, 2008) sowie in Kooperation mit Testnutzern, also betroffenen Menschen mit Behinderungen, erfolgen.

Speziell sollen die Seiten folgender Institutionen überprüft werden:

- Volkshochschule Amberg (VHS Amberg)
- Volkshochschule Amberg-Sulzbach (VHS Landkreis Amberg-Sulzbach)
- Katholische Erwachsenenbildung Amberg-Sulzbach (KEB)
- Evangelisches Bildungswerk im Dekanat Sulzbach-Rosenberg (EBW)
- Oberpfalz TV

Die genannten Projektpartner sowie weitere interessierte Institutionen sollen bei der Überarbeitung und Erstellung von barrierefreien Angeboten im Web unterstützt und beraten werden.

2.4 Entwicklung einer Symbolschrift

Als Orientierungshilfe für Menschen mit geistigen Einschränkungen soll eine Symbolschrift entworfen und umgesetzt werden, die auf Webseiten sowie auf gedruckten Medien einsetzbar ist. Nach dem Entwurf von Symbolen soll ein digitaler Font als Reinzeichnung realisiert werden. Die fertige Symbolschrift soll dann unter einer Creative-Commons-Lizenz im Internet veröffentlicht werden. Die rechtliche Situation muss hierbei genau überprüft werden.

2.5 Durchführung von Benutzertests zusammen mit Menschen mit Behinderung

Wie erwähnt, sind für die Bedürfnisse von Menschen mit Behinderungen spezielle Ein- und Ausgabehilfen zu berücksichtigen. Dazu wird es nötig sein, einige Geräte für Testzwecke anzuschaffen und Tests in Kooperation mit betroffenen Menschen durchzuführen (vgl. Small et al. 2005). Die Symbolschrift und die Internetseiten sollen in Zusammenarbeit mit Menschen mit Behinderungen auf Lesbarkeit und Verständlichkeit überprüft und überarbeitet werden. Hierzu soll ein Eye-Tracking-System eingesetzt werden, welches es ermöglicht, den Blickverlauf der Probanden auf der Webseite zu verfolgen.

2.6 Dokumentation und Publikation der gewonnenen Erkenntnisse

Die geleisteten Arbeiten sollen dokumentiert werden, damit eine Weiterführung der Arbeiten durch andere Personen möglich wird. Die gewonnenen wissenschaftlichen Erkenntnisse sollen auf einschlägigen Konferenzen publiziert werden. Hierzu sollen entsprechende Einrichtungen zusammen mit den Projektkoordinatoren erstellt werden.



Abbildung 1: Projektlogo „Wundernetz“

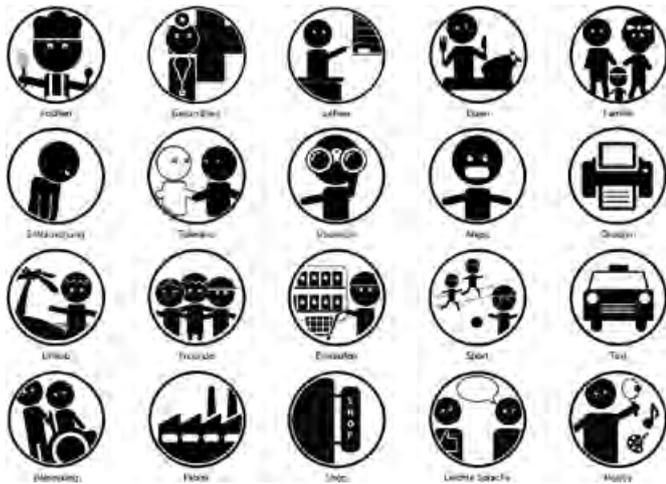


Abbildung 2: Erster Entwurf einer Symbolschrift

Literaturverzeichnis

Bundesministerium der Justiz (2011). *Verordnung zur Schaffung barrierefreier Informationstechnik nach dem Behindertengleichstellungsgesetz (BITV 2.0)*. http://www.gesetze-im-internet.de/bitv_2_0/, Stand: 17.08.2015

Small, J., Schallau, P. Brown, K. & Appleyard, R. (2005). *Web accessibility for people with cognitive disabilities*. CHI '05: CHI '05 extended abstracts on Human factors in computing systems. New York: ACM, S. 1793 – 1796.

Web Accessibility Tools Consortium (2008). WAT-C. <http://www.wat-c.org>. Stand: 17.08.2015

W3C (2009). *Web Content Accessibility Guidelines (WCAG) 2.0*. <http://www.w3.org/Translations/WCAG20-de>, Stand: 17.08.2015

Kontakt:



Prof. Dr. Dieter Meiller

Ostbayerische Technische Hochschule (OTH) Amberg-Weiden
Fakultät Elektrotechnik, Medien und Informatik
Studienfachberater Bachelor
Angewandte Informatik
Kaiser-Wilhelm-Ring 23
92224 Amberg

d.meiller@oth-aw.de



Prof. Karlheinz Müller

Ostbayerische Technische Hochschule (OTH) Amberg-Weiden
Fakultät Elektrotechnik, Medien und Informatik
Studienfachberater Medientechnik
Kaiser-Wilhelm-Ring 23
92224 Amberg

k.mueller@oth-aw.de



Hildegard Legat

Lebenshilfe für Menschen mit Behinderung
Kreisvereinigung Amberg-Sulzbach e. V.
Leitung OBA (Offene Behinderten-Arbeit)
Fallweg 43
92224 Amberg

hildegard.legat@lebenshilfe-amberg.de

eDAS – Holistic Energy Management for 3rd and 4th Generation of Electric Vehicles

Josef Schmid, M. Sc.
Andreas Waigel, M. Sc.
Prof. Dr.-Ing. Alfred Höß

Zusammenfassung

eDAS ist ein Akronym für *efficiency powered by smart Design meaningful Architecture connected Systems* und der Name für ein Forschungsprojekt, das durch die Europäische Union im Rahmen des siebten Rahmenprogramms finanziert wird. In diesem Projekt wird durch die Ostbayerische Technische Hochschule Amberg-Weiden u. a. eine kabellose Präsentationseinheit für ein CAN-Bus-System entwickelt. Der Artikel erläutert die Notwendigkeit und Vorteile der kabellosen Einheit für das Aufzeichnen und Präsentieren der CAN-Bus-Daten und geht detailliert auf deren Realisierung ein.

Abstract

eDAS is an acronym for *efficiency powered by smart Design meaningful Architecture connected Systems*. It is a specific targeted research project (STREP), funded by the European Union. eDAS is part of the ICT Green Cars 2013 theme for research and development, implementing the Seventh Framework Programme of the European Union for research, technological development and demonstration activities. This article describes the needs, advantages and realization of a wireless presentation system for CAN bus data.

Holistic Energy Management for 3rd and 4th Generation of Electric Vehicles

Modern societies are eagerly looking for the integration of mobility into their urban living area and for reliable and safe electrical vehicle (EV) transportation, better efficiency and cost, comfort and fewer emissions. The trends are obvious, however, providing a hybrid/electrical car is only one part of the full picture. The “standard” customer is still very reluctant to buy a full electrical vehicle (FEV). The reasons are manifold but the most important is unpredictable mileage and limited autonomy. The prediction of the cruising range without any restrictions in terms of safety and comfort is a key point: essential is D-P-C (Drive safely, Park easily and Charge conveniently).

Today, a nominal 130 km range might vary from about 60 to 160 km in reality, depending on various conditions such as temperature and route profile [1]. Increasing the capacity of the battery is no viable option as it will result in a drastic increase in cost and weight of the car. eDAS strives to limit the negative impact of high and low environment temperatures from -50 % today to a

maximum of -20 % of the reachable range in electric vehicles, which corresponds to an improvement of 60 % compared to state of the art. eDAS will bring the subsystems of the EV to the optimum operating temperature range for faster “fast charging”, pre-conditioned passenger compartment and battery, also safety and convenience features, such as de-iced windows during winter time, based on the available subsystems without adding cost and weight. The project will develop new designs and architectures combining battery, e-motor, electronics, charger and energy management.

Addressing this challenge of the architecture of all subsystems of the complete EV requires a wide area of expertise and in consequence leads to a large consortium. A list of all eDAS partners can be found on our partner’s site [2] as well as in Figure 1. eDAS cooperates with research projects iCompose [3] and Incobat [4].



Figure 1: eDAS project partners

Objectives of the project

To reduce the negative impact of environment temperature on the range of the EV, several measures are taken like using a battery system with integrated phase change materials (PCM), developing a universal scalable and modular combined inverter/charger or using a wireless curb charging system for pre-conditioning of the car. All these new components are managed by a safe multi-core control computer. The software for the central computing unit (CCU) is developed by the OTH Amberg-Weiden and contains two main tasks: The energy resource scheduler (ERS) and the energy resource manager (ERM). After the implementation of the software, it will be integrated in an electric glider plane from partner Lange Aviation [5].

In addition to this task OTH-AW is also responsible for the presentation of the CCU and its software. Having collected requirements and needs by the project partners, the concept for a suitable solution was studied and specified. Subsequently, the implementation and testing of the new presentation system took place, prior to the integration of the application in the aircraft.

Requirements for the visualization

A demonstrator for the central computing unit (CCU) in the eDAS project was developed based on an Aurix¹ driven ECU system. Since ECUs usually do not have any graphical user interface, an additional visualization is needed to evaluate the results calculated by the newly implemented CCU functions. The data to be displayed are likely to change during the development phases of the CCU. Therefore, the efforts for displaying new values should be as low as possible. The visualization needs to be flexible and widely configurable. A high speed CAN bus is used to carry all relevant data to be displayed. The architecture enables the possibility to send data to the visualization for every subsystem connected to the bus. Additionally,

the data which will be sent between system components via the CAN bus can be monitored.

The visualization needs to support displaying single values as text as well as in diagrams or progress bars. For the ease of presentation the visualization has to run on mobile devices and should support wireless connections. The display of the demonstrator should be of reasonable size so that a group of persons is able watch the demonstration.

To show the visualization itself without having a whole demonstrator, a demo mode is required. Apart of this functional feature there are also non-functional requirements like a configurable refresh rate. Its configuration should be possible without any special knowledge about the visualization program. Towards easier handling, it should also be possible to configure the application on a standard computer.

Visualization based on the wired CAN Network

Currently, CAN is still one of the most important bus systems in the automotive environment. To display the data sent via the bus, a personal computer or notebook is used. It is connected via USB-CAN hardware. Since all these connections are wired, the system is quite inflexible (Figure 2: system overview of the wired system). Regarding the eDAS project, a lot of wires need to be connected before data can be recorded. A photo of this setup is depicted in Figure 3: Photo of the wired visualization setup taken by Lange Aviation.

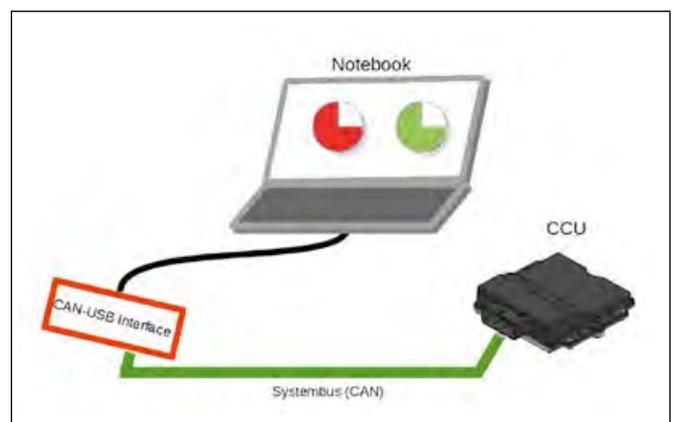


Figure 2: System overview of the wired system



Figure 3: Photo of the wired visualization setup taken by Lange Aviation

New approach to mobility and flexibility: Wireless Visualization System

To fulfil the mentioned requirements, a corresponding system architecture is needed. The connection between the display device and the system bus should be wireless. A gateway is required to transport all CAN messages from the system bus to a wireless interface. If a specific message is needed by the visualization, the gateway sends the incoming data to the display device; otherwise it ignores the message.

Additionally, the gateway shall be capable of sending given CAN messages back to the system bus for simulation purposes. For the wireless data transfer Bluetooth will be used. It is easy to handle and widespread in both the smartphone respectively the tablet hardware as well as the personal computer hardware. To display the visualization an Android-based tablet is used. It enhances the demonstrator by a display controller interface like HDMI or DisplayPort to connect a screen or a beamer for presentation. Additionally, there is no need to buy any development tools or licenses, because the toolchain for the development of Android-based software is widely available and free of charge. To transfer the CAN-messages to the visualizing application, the CAN Bluetooth Adapter C2BT from CASE GmbH is used as gateway (Figure 4: system overview, illustrating the overview of the system architecture).



Figure 4: System overview of the wireless system

Approach to mobility and flexibility

The C2BT consists of an AMBER 2300 Bluetooth module, a microcontroller and some other parts used for the voltage regulation and level conversion. The Bluetooth module has a maximum data rate of 921.6 kbit/s [6] but is only used with 115.2 kbit/s which is the configured speed of the microcontrollers' UART [7]. Regarding to this speed Figure 5 shows the number of CAN messages, which can be transferred during the given time period. The values of this diagram were based on a study from [8].

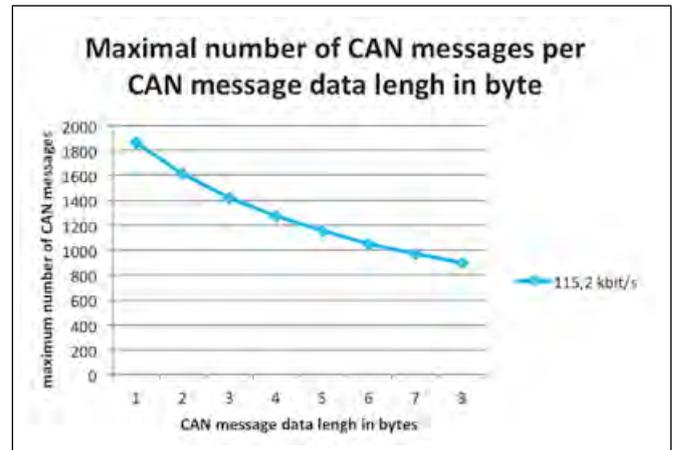


Figure 5: Diagram of the maximum CAN messages

Implementation and use of the visualization

The application itself is built with the Android software development kit (SDK) and consists of five different modules shown in Figure 6. Each module has a specific function, needed for the visualization. The arrows show the relations between the modules:

- Visualization: The Visualization module is the main module. It contains the graphical interface for displaying the CAN messages.
- DBC parser: This module parses a given CAN database file into the data storage. It is needed for a quick auto configuration of the visualization.
- Configuration: This module allows a manual configuration of the displayed data.
- C2BT interface: This module is used to decode the incoming Bluetooth messages and to forward these data to the visualization.
- Data storage: The data storage allows the application to store the configuration data into a database.

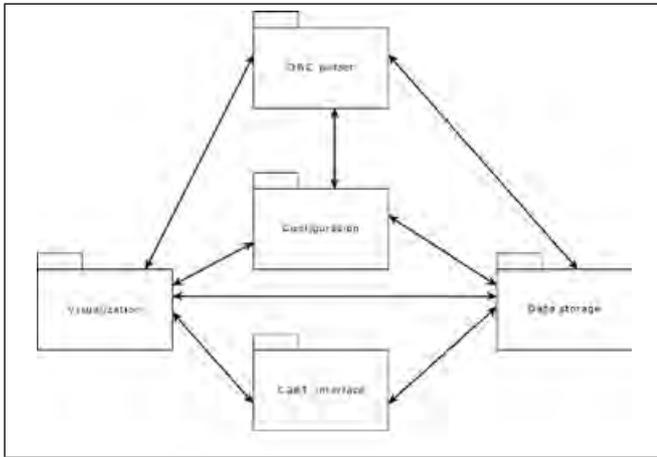


Figure 6: Overview of the software modules

During the implementation of the visualization one of the goals was to design the application user-friendly. An overview of the work is presented in Figure 7. The main menu has four different submenus. The Live mode with allows the user to connected the tablet to a C2BT gateway and shows the incoming CAN messages. The Demo mode, which shows the CAN messages view without connecting a device. A configuration entry with six configuration windows and an import-/export menu which shows a view, used to import and export the configurations.

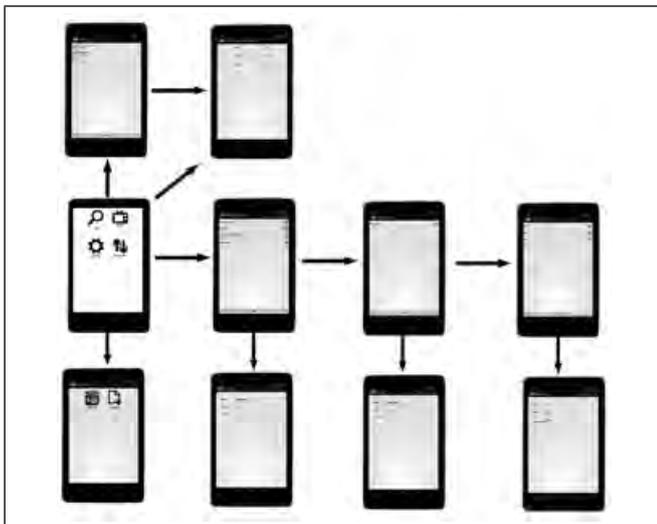


Figure 7: Workflow of the visualization

As a first application of the wireless data logging and presentation system in the eDAS project, the system is used to view the cell monitoring data of electrical gilder planes. The use of the new wireless visualization system significantly contributed to reduction of efforts for setting up the system. Further applications are around the corner: We will use the flexible data presentation system in all our automotive research projects, e.g. Ko-HAF and 3Ccar, as in all of these CAN data communication plays an essential role.

Conclusion

Building the Android app for CAN application data visualization offers significant benefits not just for the eDAS project: It simplifies the explanation of the work done in the projects which has a positive impact for subsequent research projects. The wireless connection makes it easy to view CAN data without a tangled mess of cables. The portable display device allows the user to go around the gilder or a car presenting the results.

Acknowledgment

This project eDAS has received funding from the European Union's Seventh Framework Program for research, technological development and demonstration under grant agreement no 608770.



Endnote

1. AURIX (Automotive Realtime Integrated NeXt Generation Architecture) is a 32-bit multicore microcontroller family developed by Infineon. It targets the automotive industry in terms of performance and safety.

References

- [1] Handelsblatt, „Elektroautos versagen bei Kälte“, <http://www.handelsblatt.com/auto/test-technik/reichweite-bricht-ein-elektroautos-versagen-bei-kaelte/9284156.html>, 03.01.2014
- [2] A. Waigel, “eDAS internet site”, <http://www.edas-ev.eu/>, 08.2015
- [3] Dr. Daniel Watzenig, “iCompose internet site”, <http://www.i-compose.eu/>, 08.2015
- [4] AVL LIST GMBH, “incobat internet site”, <http://www.incobat-project.eu/>, 08.2015
- [5] Lange Aviation GmbH, <http://www.lange-aviation.com/>, 09/2015
- [6] Amber wireless GmbH, “Manual AMB2300”, <http://www.amber-wireless.de>, 04.2014
- [7] Thomas Winkler, “C2BT Bluetooth wireless technology Adapter for CAN-Bus Applications”, <http://case-gmbh.de>, 11.2012
- [8] André Groll, „Simulative Bestimmung der CAN-Bus-Lastengenzen“, <http://www.dcs.uni-siegen.de/>, 11.2008

Kontakt:



Josef Schmid, M. Sc.

Ostbayerische Technische
Hochschule (OTH) Amberg-Weiden
Fakultät Elektrotechnik, Medien
und Informatik
Kaiser-Wilhelm-Ring 23
92224 Amberg

j.schmid@oth-aw.de



Andreas Waigel, M. Sc.

Ostbayerische Technische
Hochschule (OTH) Amberg-Weiden
Fakultät Elektrotechnik, Medien
und Informatik
Kaiser-Wilhelm-Ring 23
92224 Amberg

an.waigel@oth-aw.de



Prof. Dr.-Ing. Alfred Höß

Ostbayerische Technische
Hochschule (OTH) Amberg-Weiden
Fakultät Elektrotechnik, Medien
und Informatik
Vizepräsident Forschung
Kaiser-Wilhelm-Ring 23
92224 Amberg

a.hoess@oth-aw.de

Entwicklung eines neuartigen Verfahrens zur Mikro-KWK mit biogenen Energie- trägern

Zusammenfassung

Das Ziel ist, ein KWK-fähiges Vergaser-Brennerkonzept mit 40 kW Feuerungswärmeleistung zu entwickeln, zu bauen und zu erproben, welches ein Minimum an Emissionen produziert. Entstanden ist ein Konzept mit einem neu entwickelten Drallbrenner mit Gegenstromvergaser und einem Stirlingmotor.

In mehr als 16 Batchversuchen bei verschiedenen Betriebspunkten sind die Emissionen ermittelt worden. Die Messungen wiesen einen Staubgehalt von durchschnittlich weniger als 0,5 mg/Nm³, CO-Emissionen von unter 10 mg/Nm³ und NO_x von weniger als 110 mg/Nm³ auf. Damit werden alle geltenden Vorschriften bezüglich Emissionen deutlich eingehalten.

Zudem wurde die Nennleistung des Stirlingmotors im Betrieb erreicht und die Regelbarkeit des Prozesses nachgewiesen.

Die Ergebnisse beweisen, dass das Konzept eine praxistaugliche Möglichkeit zur Kraft-Wärme-Kopplung im kleinen Leistungsbereich darstellt. Weiterhin kann die entwickelte Kombination aus Vergaser und Brennkammer als neuartiges extrem schadstoffarmes Biomasseheizsystem genutzt werden.

Ausgangslage

Die Kraft-Wärme-Kopplung auf der Basis von biogenen Energieträgern (Pellets, Hackgut) im kleinsten Leistungsbereich ist ein seit längerer Zeit intensiv bearbeitetes Forschungsgebiet. Bei sehr kleinen Leistungsgrößen (Mikro-KWK) wäre die Integration in Wohngebäude oder Gewerbebauten möglich, was bei entsprechender Wirtschaftlichkeit zum Absatz hoher Stückzahlen führen würde.

Abstract

The objective at Ostbayerische Technische Hochschule Amberg-Weiden is to develop, build and test a CHP-capable gasifier-burner concept with 40 kW rated fuel input, producing a minimum amount of emissions. The outcome is a concept with a newly developed swirl burner with an updraft gasifier and a Stirling engine. Emissions were determined.

Dust contents of less than 0.5 mg/Nm³, CO-emissions of less than 10 mg/Nm³ and NO_x-emissions of less than 110 mg/Nm³ were obtained. Thus, compliance to all applicable regulations was verified significantly.

Furthermore, the rated output of the Stirling engine was reached in operation and the controllability of the process could be verified.

The results show that the concept is a feasible method for CHP utilisation at low power ranges. In addition, the developed combination of gasifier and burner can be utilised as a new low-emission biomass heating system.

Verschiedene F&E-Ansätze werden vor allem in Deutschland, Österreich und Skandinavien verfolgt. Die meisten Verfahren beruhen auf der Gleichstromvergasung mit anschließender Gasaufbereitung und Nutzung des biogenen Schwachgases in Verbrennungsmotoren oder Hochtemperaturbrennstoffzellen. Auch die konventionelle Verbrennung mit anschließender Beheizung eines Stirlingmotors wurde schon versucht (Konzept „sun machine“).

Zielsetzung

Das Ziel ist, ein KWK-fähiges Vergaser-Brennerkonzept mit 40 kW Feuerungswärmeleistung zu entwickeln, zu bauen und zu erproben, welches ein Minimum an Emissionen produziert. Entstanden ist ein Konzept mit einem neu entwickelten Drallbrenner mit Gegenstromvergaser und einem Stirlingmotor.

Aufbau Versuchsanlage

Den Kern der Technikumsanlage bildet ein Gegenstromvergaser, der vom oben liegenden Pelletbunker mit Vergasungsmaterial und von unten mit Vergasungsmittel (Luft) beaufschlagt wird. Das so entstandene Produktgas wird am oberen Ende des Reaktorraumes abgezogen und, bevor es in die Brennkammer gelangt, mittels tangentialer Zuführung der primären Verbrennungsluft in Drall versetzt. Über einen mit einer Wendel bestückten Doppelmantel gelangt die Sekundärluft in den Brennraum und dient dort dem Ausbrand sowie zur Temperaturkontrolle. Zudem wird der Restsauerstoffgehalt mittels Lambda-regelung über die Sekundärluft eingestellt. Im Rauchgasweg, der Brennkammer ausgelagert, befindet sich ein Stirlinggenerator der Firma Microgen mit 1 kW elektrischer Maximalleistung. Das abschließende Element bildet ein Carbonwärmetauscher der Firma Eckert, mit dem der Wasserdampf im Rauchgas auskondensiert werden kann (Brennwerttechnik). Das gesamte System wird mittels eines Saugzuggebläses auf leichtem Unterdruck gehalten.

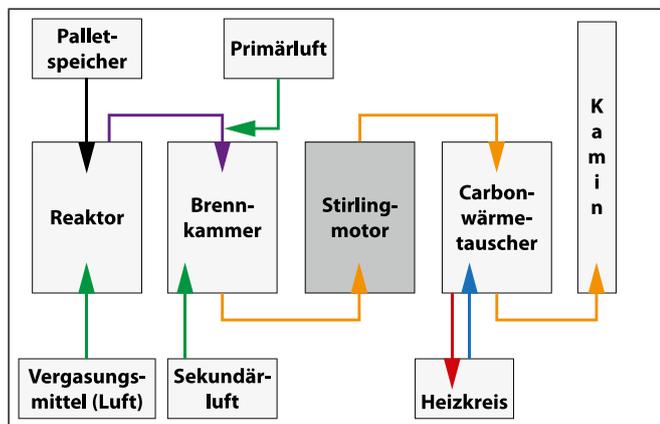


Abbildung 1: Verfahrensfließbild Technikumsanlage

Emissionsarmes Konzept

Das emissionsarme Konzept entsteht durch die Kombination der Eigenschaften des speziell konzipierten Gegenstromvergasers mit den Vorteilen der Verbrennung des entstandenen Produktgases in einer Drallbrennkammer. Durch den lang dimensionierten Reaktorraum und die entgegengesetzte Strömungsrichtung von Pellets und Vergasungsmittel entsteht eine Filterwirkung im Schüttbett, was ein sehr partikelarmes Produktgas gewährleistet. Zudem findet die thermochemische

Umsetzung im unteren Teil des Reaktorraumes statt, was eine niedrige Produktgastemperatur von ca. 65 °C am Austritt zur Folge hat. Dadurch kondensieren die bei der Vergasung in der Oxidationszone entstehenden Salze und Oxide bereits im Schüttbett aus und konzentrieren sich im Vergasungsrückstand auf. Das im Produktgas enthaltene Teercondensat wird in der Brennkammer mit verbrannt. So kann auf die aufwendige Gasreinigung, die bei motorischer Nutzung des Produktgases nötig ist, verzichtet werden.

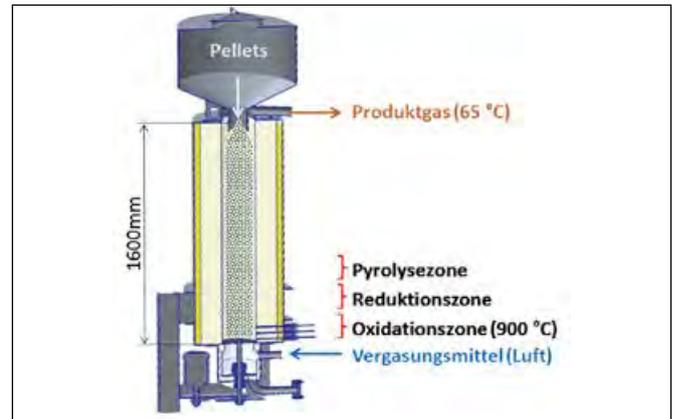


Abbildung 2: Gegenstromvergaser

Aufgrund der Verdrallung des Produktgases mit der Luft wird eine gute Durchmischung und demzufolge eine hohe Qualität der mageren Verbrennung gewährleistet, was niedrige Emissionswerte bezüglich Kohlenmonoxid und Stickoxiden bewirkt.

Microgen-Stirlingmotor

Beim Stirling der Firma Microgen handelt es sich um einen mit 23 bar Helium befüllten Stirlingmotor mit Lineargenerator. Die Maximalleistung liegt bei 1 kW_{el}. Der Wirkungsgrad wird mit bis zu 22 % der am Erhitzerkopf eingekoppelten Wärme angegeben. Eine Lebensdauer von mehr als 15 Jahren soll, laut Herstellerangaben, mit diesem Stirlingkonzept gewährleistet sein.



Abbildung 3: Microgen-Stirlinggenerator

Der Microgenstirling ist bereits aus den gasbetriebenen Microblockheizkraftwerken der Firmen Senertec, Viessmann, Ökofen und Baxi bekannt.

Vergasungsmaterial

Sehr früh im Versuchsbetrieb haben sich Pellets als ungeeignet für die Vergasung in einem zylindrischen Reaktorrohr erwiesen, weil sie bei Kontakt mit Wasser um ca. den Faktor 2,5 quellen, was ein Verstopfen des Reaktorrohres und Hohlbrand zur Folge hat.



Abbildung 4 a und 4 b: Pellets mit Wasser nach 0 und 10 Minuten

Als alternativer Versuchsbrennstoff werden seither Buchenräucherchips mit einer sehr homogenen Partikelverteilung ohne nadelförmigen Anteil verwendet, die ein ähnliches Rieserverhalten wie Pellets aufweisen.

Des Weiteren waren Versuche mit handelsüblichen Minichips unter Zuhilfenahme eines Kugelumlaufvibrators erfolgreich.

Anlagenkennwerte

Für verschiedene Betriebspunkte wurde die Leistung moduliert und das in Tab. 1 aufgegriffene Spektrum der Anlagenkennwerte ermittelt.

Tabelle 1: Kennwerte Vergasungsreaktor

Vergasungsreaktor		
$\emptyset V_{VM}^* \text{ Luft}$	7 – 10	Nm ³ /h
sv	0,19 – 0,45	m/s
Q_{FWL}^*	25 – 50	kW
η_{KG}	65 – 80	%
λ	0,2 – 0,3	

Zu beachten ist hierbei, dass aufgrund des begrenzten Bunkervolumens nur Batchversuche mit eingeschränkter Versuchsdauer stattfinden konnten. Der Einfluss des An- und Abfahrbetriebes auf die Ergebnisse bei relativ kurzem stationärem Betrieb ist hier nicht von der Hand zu weisen. Dies ist vor allem am für die thermochemische Umwandlung von Biomasse zu niedrigen Kaltgaswirkungsgrad von maximal 80 % zu sehen.

Tabelle 2: Kennwerte Brennkammer

Brennkammer		
Q_{FWL}^*	17 – 40	kW
$t_{ad n,t}$	900 – 1050	°C
λ	≈ 2,0	
$\emptyset t_{Austritt}$	600 – 750	°C

Emissionen

Für die Messung der Staubemissionen wurden drei verschiedene Verfahren angewendet. Neben Schnellmessungen mit einem Testo 380 wurden umfangreiche parallele Messreihen nach VDI 2066 und mittels Scanning Mobility Particle Sizer von TSI durchgeführt. Es stellten sich bereits vor dem Carbonwärmetauscher ausschließlich Werte weit unter dem nach 1. BImSchV geltenden Grenzwert für Staub von 20 mg/Nm³ ein. Eine zusätzlich durchgeführte Analyse des Aschegehaltes im Teerkondensat des Produktgases ergab einen nicht messbaren Aschegehalt. Aufgrund der sehr stark partikelbindenden Eigenschaften von Aerosolen, bedingt durch heterogene Keimbildung, ist dies ein weiterer Beleg für die Partikelfreiheit des Produktgases.

Tabelle 3: VDI 2066 Staubmessung vor Carbonwärmetauscher

Betriebspunkt $Q_{FWL}^* \text{ Vergaser}$	Staubgehalt bei 13 % O ₂ Bezug
47,75 kW	3,95 mg/Nm ³
32,35 kW	0,03 mg/Nm ³
27,73 kW	0,26 mg/Nm ³

Der geltende Grenzwert für Kohlenmonoxid liegt nach 1. BImSchV bei 400 mg/Nm³. Dieser wurde ebenfalls bei allen Versuchsläufen weit unterschritten. Ein geltender Grenzwert für NO_x bei 1. BImSchV-Anlagen existiert zum aktuellen Zeitpunkt nicht.

Tabelle 4: Emissionsmessung Testo 350

	\emptyset Emission bei 13 % O ₂ Bezug
CO	1 – 12 mg/Nm ³
NO _x	82 – 125 mg/Nm ³
NO	80 – 122 mg/Nm ³
NO ₂	1 – 5 mg/Nm ³

Im Verlaufsgraphen der Emissionsmessungen lässt sich der stationäre Betrieb gut vom An- und Abfahrbetrieb abgrenzen.

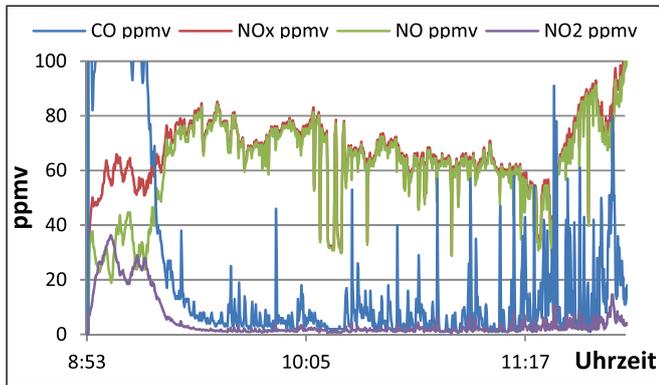


Abbildung 5: Messung Testo 350, $Q_{FWL}^{Vergaser} = 47,75 \text{ kW}$

Zum Beweis des Verbleibes der Kaliumsalze und -oxide im Schüttbett und zur Aufkonzentration in der Asche wurden Proben des ursprünglichen Vergasungsmaterials, Vergasungsrückstandes und die Filterstäube aus der Staubmessung nach VDI 2066 auf deren Kaliumgehalt verglichen. Auf den Filtern aus der Staubmessung war kein Kaliumgehalt feststellbar. Der Kaliumgehalt des ursprünglichen Vergasungsmaterials fand sich zu annähernd 100 % in der Asche wieder.

Inbetriebnahme Stirling

Nachdem der zerstörungsfreie und sichere Betrieb von Technikumsanlage und Stirlingmotor zunächst separat getestet wurde, konnte der Stirlinggenerator in das System integriert werden.

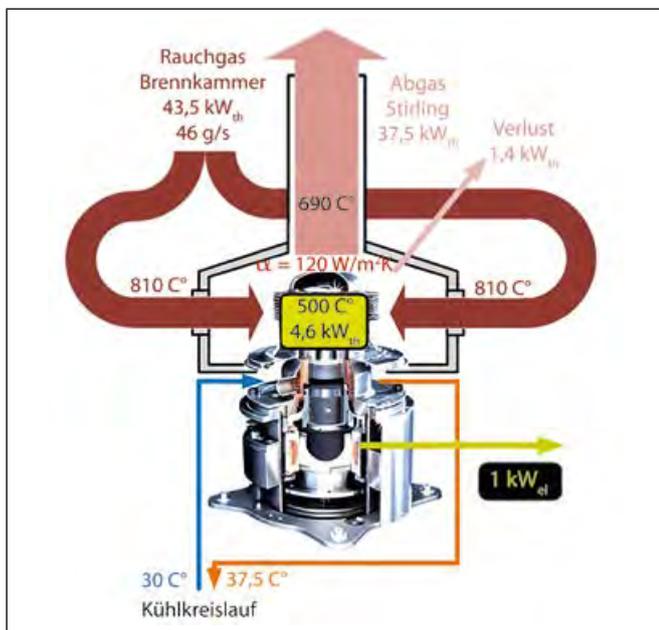


Abbildung 6: Energie- und Massenströme am Stirling

Bei einem zugeführten Rauchgasmassenstrom von 46 g/s mit 43,5 kW thermischer Energie und einem Temperaturniveau von 810 °C konnte die geforderte Kopftemperatur von 500 °C am Stirlingerhitzerkopf erreicht werden, was einer Einkoppelung von 4,6 kW_{th} am Erhitzerkopf entspricht. Daraus ergibt sich ein

Wärmeübergangskoeffizient von $\alpha = 120 \text{ W/m}^2\text{K}$. In dem beschriebenen Betriebspunkt wird die Maximalleistung des Stirlinggenerators von 1 kW_{el} erreicht.

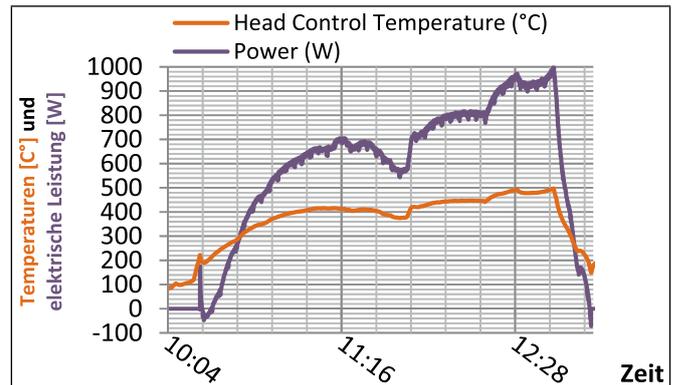


Abbildung 7: Leistungsverlauf und Kopftemperatur am Stirling

Ausblick

Aufgrund der Versuchsergebnisse mit Pellets als Vergasungsmaterial ist ein für Pellets angepasster Vergasungsreaktor in der Konstruktionsphase und befindet sich kurz vor der Fertigung. Dieser soll das beim Quellen entstehende Mehrvolumen durch einen axial verschiebbaren Trichter mit Federmechanismus aufnehmen. Außerdem kann durch die Länge des Pelletrohres eine genaue Füllhöhe mit Pellets im Reaktor eingestellt werden.

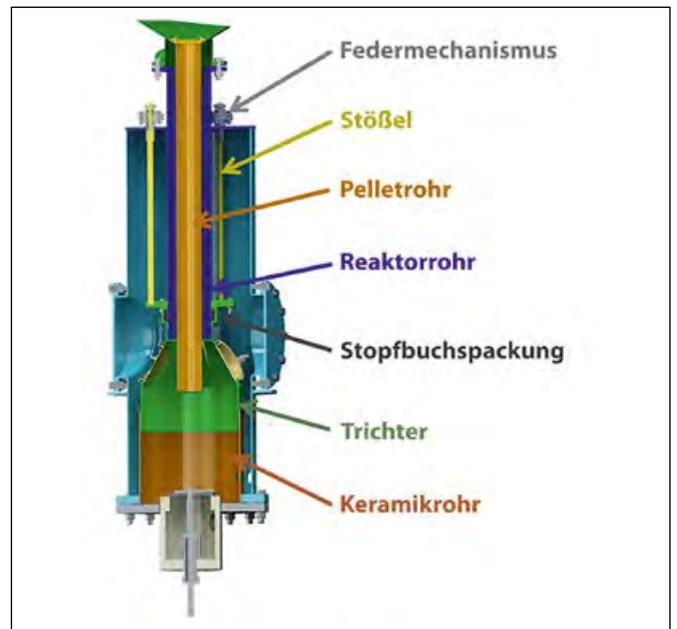


Abbildung 8: Vergaser für Pellets

Es ist zu erwarten, dass das Konzept in der Lage ist, einen leistungsstärkeren Stirlingmotor, der gerade an der OTH Regensburg (Prof. Dr.-Ing. Michael Elsner) entwickelt wird, anzutreiben. Nach der ersten Erprobungsphase an der OTH Regensburg soll dieser Stirlingmotor in der Technikumsanlage der OTH Amberg-Weiden erprobt werden.



Abbildung 9: Stirling OTH Regensburg; 2 kW_{el}

Die Ergebnisse beweisen, dass das Konzept eine praxistaugliche Möglichkeit zur Kraft-Wärme-Kopplung im kleinen Leistungsbereich darstellt. Weiterhin kann die entwickelte Kombination aus Vergaser und Brennkammer als neuartiges extrem schadstoffarmes Biomasseheizsystem für Hackgut und Pellets genutzt werden.

Weitere Optimierung und Erprobung der Anlage mit verschiedenen Brennstoffen stellen eine Steigerung in Effizienz und Praxistauglichkeit sowie eine weitere Minderung der NO_x-Emissionen in Aussicht.

Kontakt:



Prof. Dr.-Ing. Stefan Beer

Ostbayerische Technische
Hochschule (OTH) Amberg-Weiden
Fakultät Maschinenbau/Umwelttechnik
Kaiser-Wilhelm-Ring 23
92224 Amberg

s.beer@oth-aw.de



Daniel Pöcher, M. Eng.

Ostbayerische Technische
Hochschule (OTH) Amberg-Weiden
Fakultät Maschinenbau/Umwelttechnik
Ingenieur im Kompetenzzentrum Kraft-Wärme-Kopplung
Kaiser-Wilhelm-Ring 23
92224 Amberg

da.poecher@oth-aw.de

Zusammenfassung

Die Medizintechnik gehört zu den innovativsten und wachstumsstärksten Branchen in Deutschland. Hierbei stellt das Spritzgießverfahren – das am häufigsten verwendete Urformverfahren – einen wichtigen Impulsgeber für innovative Medizinalprodukte dar^[1], um zum Teil hochkomplexe Formteilgeometrien in engen Toleranzbereichen, nacharbeitsfrei, wiederholgenau und mit hoher Präzision zu fertigen.

Mit dem zwischenzeitlich abgeschlossenen F&E-Projekt „Potenzial kleiner Spritzgießmaschinen“ in Zusammenarbeit mit der Gerresheimer Regensburg GmbH wurde hier der Fokus der spritzgießtechnischen Verarbeitung in der Medizintechnik auf eine Kleinstspritzgießmaschine gelegt. Zum Einsatz kam dabei eine reinraumtaugliche, vollhydraulische Spritzgießmaschine vom Typ babyplast 6/10P-T der Firma CHRISTMANN Kunststofftechnik GmbH, Kierspe^[2]. Im Rahmen des Projekts^[3] sowie diverser Abschlussarbeiten^[4, 5, 6, 7] wurden erste Erfahrungen mit dieser Kleinstspritzgießmaschine mit Kolbenplastifizierung und Kolbeneinspritzung gesammelt und systematisch ausgewertet. Im Rahmen der durchgeführten Abschlussarbeiten wurden insbesondere die Themenbereiche „Formbelagbildung“^[6], „amorphe Randschichten“^[5] und „Biopolymere“^[7] näher untersucht. Der vorliegende Forschungsbericht fasst im Folgenden ausgewählte Erkenntnisse und Ergebnisse zusammen.

Abstract

Medical Engineering is one of the most innovative and fastest-growing industrial sectors in Germany. In this connection, injection molding – the most commonly used molding technology – is an important pulse generator for innovative medicinal products^[1], in order to manufacture partly highly complex molded part geometries in narrow tolerance ranges, with no finishing of the moldings, repeatedly accurate and with high precision.

With the meanwhile completed R&D project “Potential of small injection molding machines” in cooperation with Gerresheimer Regensburg GmbH, the focus was on injection molding in medical engineering, using a small injection molding machine. Here, a fully-hydraulic injection molding machine, fit for cleanroom production, type babyplast 6/10P-T by CHRISTMANN Kunststofftechnik GmbH, Kierspe (Germany), was used^[2]. In the course of this project^[3], as well as in several bachelor/master thesis papers^[4, 5, 6, 7], first experiences with regard to the use of this small injection molding machine with piston plasticizing and piston injection were gained and evaluated systematically. Within the scope of the bachelor/master thesis papers carried out, especially the subject areas of „mold deposit“^[6], „amorphous marginalized layers“^[5] and „biopolymers“^[7] have been investigated more closely. The present research report gives a brief résumé of selected findings and results below.

Formbelagbildung

Zur Verbesserung der Fließeigenschaften der Polymer-schmelzen (Optimierung des Formfüllvorgangs) und zwecks Verbesserung der Gleiteigenschaften bestimmter Spritzgießartikel innerhalb der fertigen Baugruppe (Sicherstellung der Funktion, zum Beispiel einer mechanischen Stechhilfe) werden polymere Formmassen häufig mit tribologischen Additiven, z. B. Zuschlagstoffen auf Basis von PTFE, Silikon, ... ausgestattet. Dies ist speziell dann erforderlich, wenn der Einsatz klassischer Schmiermittel während der spritzgießtechnischen Verarbeitung oder innerhalb des fertigen Medizinalprodukts nicht zulässig ist. Derartige gleitmodifizierte Additive, die ihre Wirkung insbesondere an den metallischen Oberflächen der Angusskanäle und Werkzeugkavitäten oder an den Reibflächen zueinander bewegter Teile entfalten sollen, führen allerdings oft zu einer störenden Belagbildung im Spritzgießwerkzeug. Lassen sich Formbeläge während der Produktion werkzeug- oder prozesstechnisch nicht vermeiden, müssen sie in regelmäßigen Abständen entfernt werden. Anderenfalls besteht die Gefahr, dass beispielsweise die Werkzeugentlüftung beeinträchtigt wird oder Teile des Formbelags beim Entformen an den Spritzgießartikeln anhaften und mitgerissen werden. Beides führt zu einer unzulässigen Beeinträchtigung der Formteilqualität. Bei (sehr) kleinen Bauteilen kann der Formbelag in der Werkzeugkavität außerdem dazu führen, dass sich die Dimensionen der Spritzgießartikel signifikant verändern. Ist beispielsweise die Kante einer Führung aufgrund von Formbelag nicht ausreichend scharf ausgeprägt, kann dies zum Funktionsausfall der gesamten Baugruppe führen.

Da die verwendete Kleinstspritzgießmaschine mit Kolbenplastifizierung und Kolbeneinspritzung im Vergleich zu konventionellen Schnecken-spritzgießmaschinen eine besonders materialschonende Plastifizierung ermöglicht, wurde untersucht, ob sich Vorteile im Hinblick auf die Ausprägung der Belagbildung ergeben^[6]. Zum Einsatz kam dabei das Versuchsmaterial LNP TM LUBRICOMP TM Compound KP004AXZ (additiviertes Polyoxymethylen (POM)) der Firma Sabcic AG, Raamsdonksveer (Niederlande), mit folgender Zusammensetzung:

80 % POM
18 % PTFE
2 % Silikon

sowie das Referenzmaterial HOSTAFORM® C 27021 (nicht modifiziertes POM) der Firma Celanese GmbH, Sulzbach (Taunus).

Als Spritzgießwerkzeug kam das in Abbildung 1 dargestellte Normprüfkörper-Werkzeug zum Einsatz.

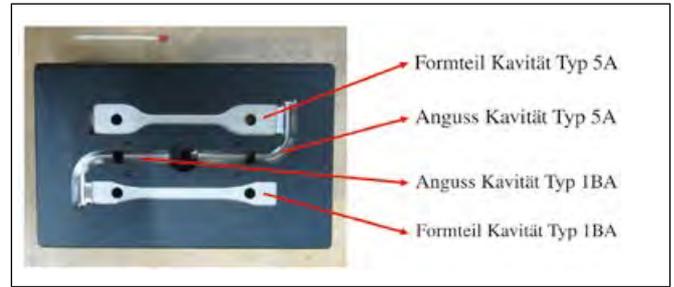


Abbildung 1: Spritzgießwerkzeug zur Herstellung von Zugstäben vom Typ 1BA und 5A gemäß EN ISO 627-2

Die Ausprägung der Belagbildung wurde anhand der Kavität für den Normprüfkörper vom Typ 5A durch gezielte Variation der Parameter Werkzeugtemperatur, Einspritzgeschwindigkeit und Verweilzeit als mögliche Einflussfaktoren untersucht.

Es wurden jeweils Dauerversuche mit 4 h Produktionszeit je Versuchseinstellung durchgeführt. Dabei wurden stündlich Fotos der beiden Formplatten aufgenommen, wobei das Werkzeug für die Aufnahmen nicht ausgebaut wurde, sondern speziell angefertigte Kameralhalterungen am Spritzgießwerkzeug die Basis für eine Vergleichbarkeit der Fotos im Hinblick auf Abstand, Betrachtungswinkel etc. sicherstellten^[6].

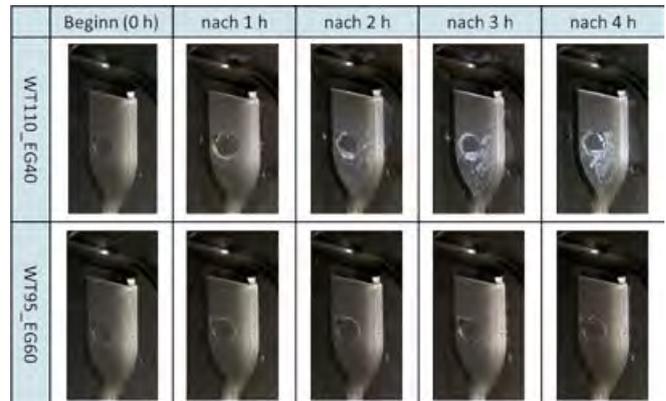


Abbildung 2: Formbelagentwicklung im Bereich der angussnahen Schulter (WT: Werkzeugtemperatur in °C; EG: Einspritzgeschwindigkeit in %)^[6]

Eine der größten Herausforderungen war die Quantifizierung des Formbelags, da sich derartige Beläge praktisch nicht isolieren und wiegen lassen. Zudem bedarf es zum Teil einer extrem langen Produktionszeit, bis sich ausreichend Formbeläge gebildet haben, sodass Veränderungen am Formteil tatsächlich messbar werden. Zu diesem Zweck wurde eigens eine optische bzw. grafische Methode zur Formbelagmessung entwickelt^[6]. Für die Bearbeitung und Auswertung der Belagbilder wurde die pixelbasierte Grafiksoftware GIMP (Version 2.8.14) eingesetzt. Mithilfe dieses Bildbearbeitungsprogramms werden Werkzeugbereiche ohne Formbeläge in Schwarz und mit Formbelägen in Weiß dargestellt, sodass eine Quantifizierung möglich wird (siehe Abbildung 3).

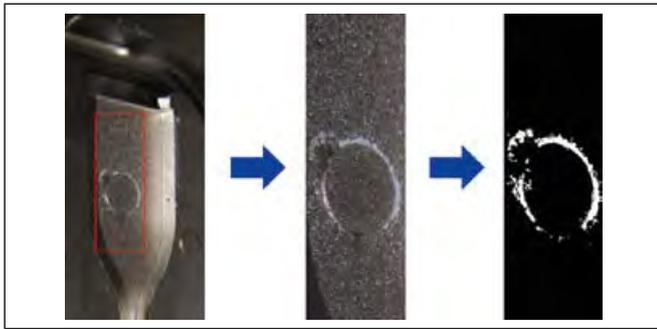


Abbildung 3: Formbelagquantifizierung durch Festlegung des Auswertebereichs, Erzeugung einer Schwarz-Weiß-Aufnahme und Berechnung der Formbelagfläche^[6]

In Abbildung 4 sind ausgewählte Formbelagaufnahmen mit entsprechender Quantifizierung dargestellt.

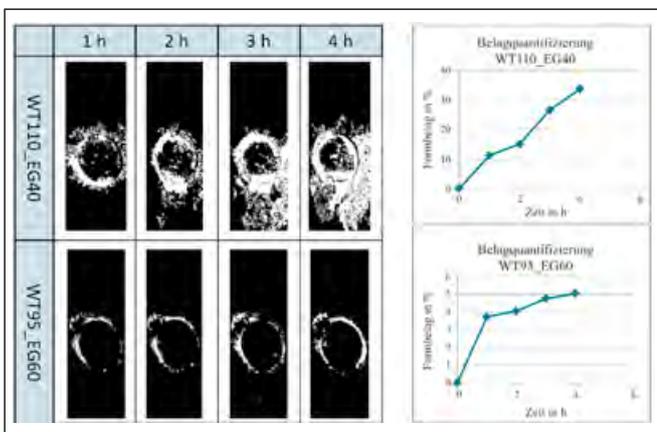


Abbildung 4: Formbelagaufnahmen mit Quantifizierung (WT: Werkzeugtemperatur in °C; EG: Einspritzgeschwindigkeit in %)^[6]

Zusammenfassend kann festgehalten werden, dass mit dem additiven POM eine prozesssichere, nicht aber eine formbelagfreie Verarbeitung im Kolbenspritzgießen möglich ist. Im Laufe der Produktionszeit ist eine zum Teil deutliche Formbelagbildung zu erkennen. Eine analytische Untersuchung ergab, dass es sich bei dem Formbelag im Wesentlichen um das Additiv PTFE handelt. In Abbildung 5 sind die grundlegenden qualitativen Ergebnisse der Parametervariationen zusammengefasst.

Parameter	ϑ_{Wz}			v_{ein}		$t_{verweil}$
	hoch	mittel	niedrig	hoch	niedrig	variiert
Formbelag	●	●	●	●	●	●

● begünstigt die Ausbildung von Formbelag
 ● reduziert die Ausbildung von Formbelag
 ● kein Einfluss auf die Ausbildung von Formbelag

ϑ_{Wz} : Werkzeugtemperatur in °C
 v_{ein} : Einspritzgeschwindigkeit in s
 $t_{verweil}$: Verweilzeit in s

Abbildung 5: Qualitative Ergebnisse der Parametervariationen im Hinblick auf den Formbelag^[6]

Wie weitere Untersuchungen zeigten, haben die Formbeläge und die durchgeführten Parametervariationen keinen Einfluss auf die mechanischen Bauteileigenschaften^[6]. Gerade beim Einsatz von teilkristallinen Polymeren, wie beispielsweise hochkristallinem POM, werden die mechanischen Eigenschaften der Bauteile allerdings durch den Kristallisationsgrad wesentlich mitbestimmt.

Amorphe Randschicht bei POM-Bauteilen

Häufig werden Werkstoffeigenschaften für Bauteile anhand der vom Rohstoffhersteller zur Verfügung gestellten Datenblattinformationen abgeschätzt. Allerdings können die tatsächlichen Belastbarkeitsgrenzen erheblich abweichen, wenn beispielsweise das Kristallisationsverhalten bei teilkristallinen Thermoplasten variiert. Die Formteilrandschicht und der Formteilkern erfahren bei der Erstarrung im Spritzgießwerkzeug unterschiedliche Abkühlbedingungen, was in unterschiedliche mechanische Eigenschaften über dem Bauteilquerschnitt resultiert^[5].

In diesem Zusammenhang wurden mechanische Kenngrößen in Abhängigkeit der variierten Parameter (Werkzeugtemperatur und Farbmasterbatchanteil) für die Probekörpergeometrie 1BA (vergleiche Abbildung 1) hergestellt und untersucht. Die Probekörper haben eine Dicke von nur 2 mm, sodass der Anteil der Randschicht an der Gesamt-Querschnittsfläche relativ groß ist. Der Randschicht des Kunststoffbauteils kommt somit eine große Bedeutung zu. Dies gilt insbesondere für Spritzgießartikel aus POM, bei denen Bauteilquerschnitte < 1 mm auftreten, wie sie in der Medizintechnik mitunter durchaus vorkommen. Derartig dünnwandige Bauteile bzw. Bauteilbereiche bestehen somit zum großen Teil aus Randschicht. Als Basispolymer wurde hier ein unverstärktes POM-Copolymer vom Typ Hostaform C 27021 Natur vom Materialhersteller Celanese Deutschland Holding GmbH, Sulzbach (Taunus), verwendet. Bei dem Masterbatch handelt es sich um ein schwarzes POM-Masterbatch (Bezeichnung HT-MAB-CPOM 91078)^[5].

Der Einfluss der Werkzeugtemperatur ist bei den meisten Untersuchungen deutlich zu erkennen. Bei der Vermessung der Bauteile wird ersichtlich, dass höhere Werkzeugtemperaturen zu höheren Schwindungswerten führen. Dies lässt sich wiederum auf einen höheren Kristallisationsgrad zurückführen, welcher anhand von DSC-Analysen nachgewiesen werden konnte. Die Randschichtdicken sinken mit zunehmender Werkzeugtemperatur (siehe Abbildung 6). Darüber hinaus zeigt Abbildung 6, dass der Einfluss des Masterbatchanteils grundsätzlich geringer ausgeprägt ist als der der Werkzeugtemperatur^[5].

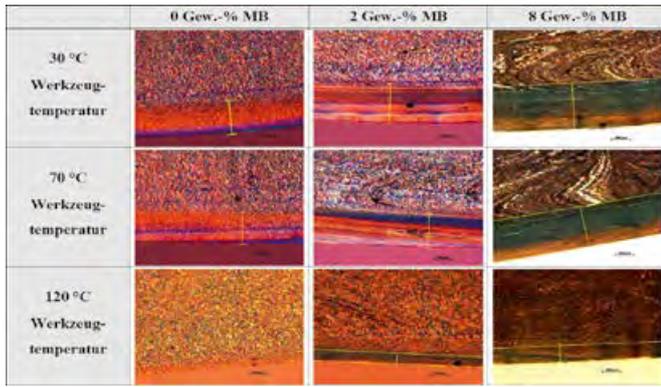


Abbildung 6: Polarisationmikroskopie an Mikrotomschnitten^[5]

Die Ergebnisse der Zugversuche zeigen meist auch einen eindeutigen Zusammenhang mit der Variation der Werkzeugtemperatur. Der E-Modul steigt mit Erhöhung der Werkzeugtemperatur, was wiederum mit der Zunahme der Kristallinität und den höheren E-Modulen von kristallinen Bereichen erklärt werden kann. Auch mit höheren Masterbatchanteilen steigen die Werte für den E-Modul tendenziell an, zumindest für den Bereich der hohen Werkzeugtemperaturen – 100-120 °C (siehe Abbildung 7)^[5].

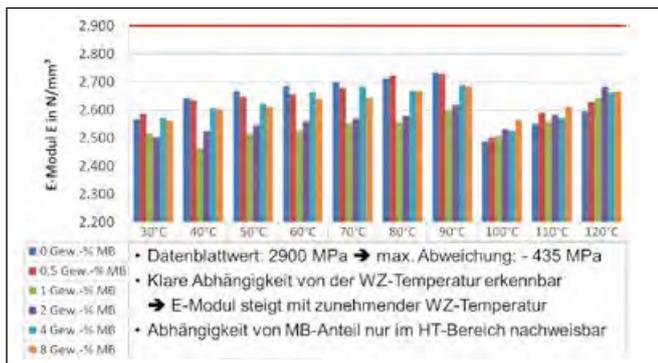


Abbildung 7: E-Modul E in Abhängigkeit von Werkzeugtemperatur und Masterbatchanteil^[5]

Biopolymere

Mit steigendem Umweltbewusstsein gewinnen Biopolymere in allen Branchen – so auch in der Medizintechnik – zunehmend an Bedeutung. Bevor es zu einer Zulassung konkreter Biopolymere innerhalb der Medizintechnik kommen kann, muss jedoch die grundsätzliche Eignung dieser Materialien festgestellt werden. In diesem Zusammenhang wurden zwei ausgewählte Biopolymere im Hinblick auf ihre Eigenschaften und ihre Verarbeitung sowie hinsichtlich der Einsatzmöglichkeiten in der Medizintechnik untersucht und bewertet. Dabei handelt es sich einerseits um Polymilchsäure bzw. Polylactid (PLA) vom Typ Ingeo 3052D der Firma NatureWorks LLC, Minnetonka, MN (USA) und andererseits um ein Bio-Polyamid (Bio-PA) vom Typ Ultramid S3K Balance der Firma BASF SE, Ludwigshafen^[7].

Nicht zuletzt aufgrund der guten biologischen Abbaubarkeit wird PLA bereits als Implantat- und Nahtmaterial in der Medizintechnik eingesetzt. Eine spritzgießtechnische Verarbeitung erwies sich jedoch als äußerst anspruchsvoll, da die hier verwendete Materialtype eine prozesssichere Verarbeitung nur in einem sehr engen Prozessfenster gestattet. Wie grundsätzlich zu erwarten, ist die thermische Belastbarkeit von PLA relativ gering, was sich bereits beim Konditionieren zeigte. Sehr bemerkenswert sind hingegen die niedrigen durchschnittlichen Reibwerte für die Reibpaarung POM/PLA, die in Reibversuchen ermittelt wurden (siehe Tabelle 1)^[7]. Zum Vergleich sind in Tabelle 1 die Reibwerte für POM/PBT – eines der derzeit besten ungeschmierten Systeme – sowie für POM/Bio-PA mit aufgeführt. Demzufolge hat PLA durchaus ein gewisses Potenzial für mechanische Bauteile in Medizinalprodukten. Rohstoffseitige Verbesserungen im Hinblick auf die thermische Stabilität sowie das Verschleißverhalten von PLA sind jedoch wünschenswert bzw. erforderlich.

Tabelle 1: Versuchsergebnisse Reibversuch (Auszug) [7]

Kugel	Platte	Durchschnitt Gleitreibwert	Durchschnitt Haftreibwert
POM	PLA	0,08	0,09
POM	PBT	0,13	0,15
POM	Bio-PA	0,50	0,53

Das untersuchte Bio-PA hingegen lässt sich problemlos im Spritzgießverfahren verarbeiten und unterscheidet sich im Hinblick auf die Robustheit des Prozesses nicht vom konventionellen Polyamid. Wie bei allen hygroskopischen Polymeren stellt auch beim Bio-PA die Feuchtigkeitsaufnahme die größte Herausforderung dar^[7]. Trotz gezielter Konditionierung besteht bei Polyamiden stets die Gefahr, dass sich die Produkte in ihren dimensional und mechanischen Eigenschaften signifikant ändern können^[8]. Dies ist und bleibt eine der größten Herausforderungen für den Einsatz von Bio-PA für Präzisionsartikel in der Medizintechnik.

Ausblick

Nach Beendigung der praktischen Untersuchungen im Rahmen des Projekts^[3] und der durchgeführten Abschlussarbeiten^[4, 5, 6, 7] wurde die Kleinstspritzgießmaschine an den Standort Weiden verlagert und dort in Betrieb genommen. Während die bisherigen Untersuchungen am Standort Amberg nicht unter Reinraumbedingungen durchgeführt wurden, soll die babyplast 6/10P-T nunmehr auch den besonderen Ansprüchen im Reinraum gerecht werden. Ihre Leistungsfähigkeit und ihr Potenzial soll somit unter verschärften Bedingungen untersucht und bewertet werden.

Literaturverzeichnis

- [1] Gotzmann, G.: Editorial – *Mit neuen Herstellverfahren kontinuierlich wachsen*. Kunststoffe 4/2015, S. 3
- [2] Haller, C.; Jüntgen, T.: *Potential kleiner Spritzgießmaschinen*. Forschungsbericht 2015 der Ostbayerischen Technischen Hochschule Amberg-Weiden, S. 32-36
- [3] Haller, C.; Jüntgen, T.: *Potential kleiner Spritzgießmaschinen*. Zwischenbericht zum Kooperationsprojekt mit der Gerresheimer Regensburg GmbH, Ostbayerische Technische Hochschule Amberg-Weiden, 30.04.2015
- [4] Leitl, M.: *Technologische Potentialanalyse einer kleinen Kolbenspritzgießmaschine*. Ostbayerische Technische Hochschule Amberg-Weiden, Masterarbeit, 2014
- [5] Weiß, M.: *Einfluss der amorphen Randschicht auf die Belastbarkeit von POM-Bauteilen*. Ostbayerische Technische Hochschule Amberg-Weiden, Bachelorarbeit, 2014
- [6] Renner, C.: *Bemusterung gleitmodifizierter Materialien im Kolbenspritzgießen sowie Untersuchung und Bewertung der Formbelagbildung*. Ostbayerische Technische Hochschule Amberg-Weiden, Bachelorarbeit, 2014
- [7] Weinmann, A.: *Potential von Biopolymeren in der Medizintechnik*. Ostbayerische Technische Hochschule Amberg-Weiden, Masterarbeit, 2015
- [8] Endres, H.-J.: *Technische Biopolymere – Rahmenbedingungen, Marktsituation, Herstellung, Aufbau und Eigenschaften*. München: Carl Hanser Verlag, 2009

Kontakt:



Prof. Dr.-Ing. Tim Jüntgen

Ostbayerische Technische
Hochschule (OTH) Amberg-Weiden
Fakultät Maschinenbau/Umwelttechnik
Kunststoffverarbeitungstechnik und Konstruktion
Kaiser-Wilhelm-Ring 23
92224 Amberg

t.juentgen@oth-aw.de

Matthias Koppmann, M. Eng.
Raphael Lechner, M. Sc.
Prof. Dr.-Ing. Markus Brautsch

Simulation von wärmegeführten KWK-Mehrmodul- anlagen

gefördert vom:

Bayerisches Staatsministerium für
Bildung und Kultus, Wissenschaft und Kunst



Zusammenfassung

Im Teilprojekt KWK-Systemtechnik des Kompetenzzentrums für Kraft-Wärme-Kopplung an der Ostbayerischen Technischen Hochschule Amberg-Weiden werden Simulationen für verschiedene Betriebs- und Regelungsstrategien für KWK-Anlagen entwickelt. Das hier vorgestellte Modell dient zur Simulation der wärmegeführten Betriebsweise. Die Zu- und Abschaltung der KWK-Anlagen erfolgt dabei nach dem Füllstand des Pufferspeichers. Es können bis zu drei KWK-Anlagen in einem System berechnet werden. Mithilfe des Modells wurden beispielhaft für ein Krankenhaus mit 200 Betten verschiedene Versorgungsvarianten berechnet und optimiert.

Abstract

Within the subproject cogeneration system technology of the Center of Competence for Combined Heat and Power at the Ostbayerische Technische Hochschule Amberg-Weiden models for simulation of several operating and control strategies for combined heat and power plants are being developed. The presented simulation model can be used for modeling operation strategies based on heat demand. The activation and deactivation of the CHP-plants is based on the filling level of the heat storage tank. Up to three CHP-plants can be calculated in this simulation. The presented model was used for calculating and optimizing several variants of CHP-plants for a hospital with 200 beds.

Einleitung

Die Energieversorgungsstruktur in Deutschland verändert sich zunehmend von einer zentralen Versorgungsstruktur in eine dezentralere Energieversorgung. Eine wichtige Rolle spielen dabei Kraft-Wärme-Kopplungsanlagen (KWK-Anlagen). Mit der Einführung des Kraft-Wärme-Kopplungsgesetzes im Jahr 2002 wird der Ausbau von dezentralen Kraft-Wärme-Kopplungsanlagen gefördert. Der Anteil von KWK-Strom an der gesamten Stromproduktion in Deutschland soll bis zum Jahr 2020 auf 25 % gesteigert werden.¹

Den größten Marktanteil an KWK-Anlagen haben motorische Blockheizkraftwerke (BHKW). BHKW stellen mit ihren hohen elektrischen und thermischen Wirkungsgraden eine hocheffiziente Lösung für die kombinierte Strom- und Wärmeerzeugung dar. Die am häufigsten eingesetzte Betriebsweise ist der wärmegeführte Betrieb, bei welchem die entstehende Wärme der KWK-Anlage direkt genutzt oder in einem Pufferspeicher zwischengespeichert wird. Die Regelung erfolgt nach dem

Wärmebedarf. Der erzeugte Strom wird häufig selbst genutzt und nur der Überschuss ins öffentliche Stromnetz eingespeist.

Das Forschungsprojekt Kompetenzzentrum für Kraft-Wärme-Kopplung an der Ostbayerischen Technischen Hochschule Amberg-Weiden wird vom Bayerischen Staatsministerium für Bildung und Kultus, Wissenschaft und Kunst gefördert und ist in mehrere Teilbereiche untergliedert. Im Teilprojekt KWK-Systemtechnik wird u. a. die Auslegung, Dimensionierung und Simulation von KWK-Anlagen betrachtet.

Für die Auslegung und Planung von KWK-Anlagen wird mithilfe von verschiedenen Eingabedaten aus den vorhandenen thermischen und elektrischen Verbrauchswerten des betrachteten Objekts die KWK-Anlage simuliert. Für die Berechnung und Simulation werden in diesem Teilprojekt verschiedene Modelle aufgebaut und entwickelt, um die unterschiedlichen Betriebs- und Regelungsstrategien von KWK-Anlagen berechnen zu können. Mithilfe dieser Simulationstools kann die passende KWK-Anlage für die

vorgegebenen Parameter berechnet und die wirtschaftlichste Anlage bestimmt werden.

Im folgenden Bericht wird ein Simulationstool für die wärmegeführte Betriebsweise mit einer Regelung nach dem Pufferspeicherfüllstand vorgestellt. Abhängig vom Füllstand des Speichers werden die KWK-Anlagen modular in Betrieb genommen oder abgeschaltet. Es können bis zu drei KWK-Anlagen pro Anwendungsfall berechnet werden. Des Weiteren werden anhand eines Beispiels die Ergebnisse aus einer Berechnung mit diesem Simulationstool vorgestellt.

Aufbau des Simulationstools

Mit dem hier vorgestellten Simulationstool können bis zu drei KWK-Anlagen mit einem Warmwasserspeicher als Pufferspeicher berechnet werden. Die Wärme, die nicht über die KWK-Anlagen und den Speicher gedeckt werden kann, wird über einen Spitzenlastkessel (SLK) abgedeckt. Die Regelung der einzelnen BHKW erfolgt über den Füllstand des in die Simulation integrierten Pufferspeichers. In Tabelle 1 sind die Eingangsdaten für die Simulation dargestellt. Die Eingangsdaten enthalten die technischen Daten der BHKW-Anlagen mit den Leistungen, Angaben zur Wartung und zur Ein- und Ausschaltvorgabe seitens des Herstellers. Zusätzlich müssen die Parameter für den Pufferspeicher angegeben werden.

Tabelle 1: Eingangsdaten für die Simulation

Parameter BHKW	
Leistung elektrisch	[kW _{el}]
Leistung thermisch	[kW _{th}]
Leistung Brennstoff	[kW]
Wartungsintervall	[h]
Dauer der Wartung	[h]
Einschaltvorgabe Füllstand Pufferspeicher	[%]
Abschaltvorgabe Füllstand Pufferspeicher	[%]
Mindestausschaltdauer	[h]
Parameter Pufferspeicher	
Speichervolumen	[m ³]
Dichte Speichermedium	[kg/m ³]
Spezifische Wärmekapazität Speichermedium	[kWh/(kg*K)]
Max. Temperatur Pufferspeicher	[°C]
Min. Temperatur Pufferspeicher	[°C]
Anfangstemperatur Pufferspeicher	[°C]
Umgebungstemperatur	[°C]
Wärmeverlust Pufferspeicher	[W/K]

Zusätzlich zu den Eingangsdaten aus der obigen Tabelle muss ein thermischer und ein elektrischer Lastgang vorgegeben werden. Anhand dieses Lastgangs wird die

Berechnung durchgeführt. Des Weiteren können für jedes der drei BHKW-Module zwei Modulationspunkte bestimmt werden. Für diese Punkte muss die elektrische und die thermische Leistung sowie die Leistung des verbrauchten Brennstoffs angegeben werden. Ebenso muss als Vorgabe die untere und obere Grenze für den Speicherfüllstand definiert werden, bei der das BHKW im jeweiligen Modulationspunkt laufen soll.

In der Simulation werden auch die Wartungszeiten der BHKW berücksichtigt. Anhand eines Zählers werden die Betriebsstunden des BHKW gezählt und beim Erreichen des Wartungsintervalls wird eine Wartung mit Stillstand des BHKW für eine definierte Dauer der Wartung durchgeführt. Die Wartung überlagert die anderen Vorgaben für den Betrieb des BHKW. Ebenso kann für jedes BHKW eine definierte Mindestausschaltdauer festgelegt werden, während der das BHKW oder die KWK-Anlage nicht starten darf. Für die Berechnung des Pufferspeichers werden dessen minimale und maximale Temperatur vorgegeben, sowie die Anfangstemperatur zu Beginn der Simulation. Die Wärmeverluste des Pufferspeichers werden ebenfalls in die Berechnung mit einbezogen.

Das Ein- und Abschalten der jeweiligen KWK-Anlage erfolgt über den Füllstand des Pufferspeichers als Führungsgröße. Der Speicherfüllstand wird für jeden Zeitpunkt der Simulation neu berechnet. Für jede KWK-Anlage ist eine Ein- und Ausschaltvorgabe hinterlegt, die für jede Anlage individuell festgelegt werden kann. Die Grenzen für die Modulationspunkte sollten innerhalb der Ein- und Ausschaltvorgaben des jeweiligen BHKW-Moduls liegen, da diese Vorgaben die Modulation überlagern. Wird die Einschaltvorgabe für das BHKW 1 unterschritten, so wird dieses BHKW-Modul in Betrieb genommen. Das erste BHKW wird erst wieder abgeschaltet, sobald der Füllstand des Pufferspeichers die Ausschaltvorgabe überschreitet. Für die beiden weiteren BHKW-Module gilt diese Regelung analog.

Das BHKW 1 hat die höchste Ausschaltvorgabe und auch die höchste Einschaltvorgabe. Die Vorgaben für das BHKW 2 und BHKW 3 sind geringer. Somit wird immer zuerst das BHKW 1 in Betrieb genommen, dann folgt BHKW 2 und zum Schluss BHKW 3. Somit ergibt sich anhand der Regelungsstrategie für das BHKW 1 die längste Laufzeit. Die Abbildung 1 zeigt schematisch die im Simulationsmodell verwendete Regelungsstrategie mit beispielhaften Ein- und Ausschaltbedingungen anhand der obigen Erläuterungen.

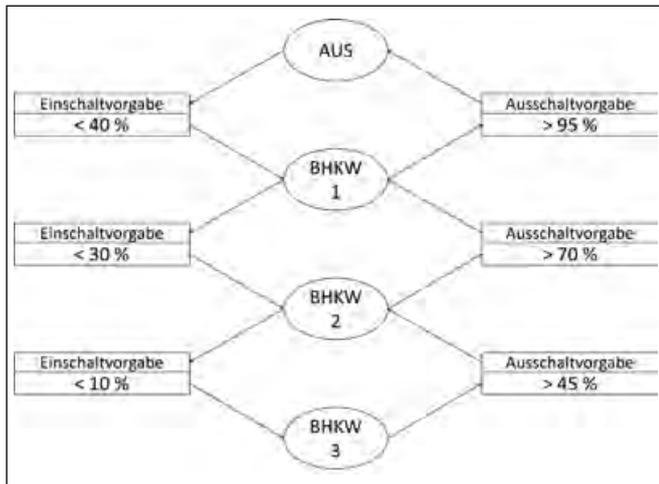


Abbildung 1: Regelungsstrategie der Simulation

Das Simulationsmodell ist variabel auf die Anzahl der betrachteten BHKW-Module ausgelegt. Wird die elektrische und die thermische Leistung eines BHKW mit Null vorgegeben, so wird die Simulation ohne dieses BHKW-Modul berechnet. Setzt man bei einem BHKW nur die Vorgabe der elektrischen Leistung auf null, so wird dieses BHKW als zusätzlicher Heizkessel (z. B. Hackgutkessel) zum Spitzenlastkessel betrachtet und als solcher berechnet. Ebenso kann jedes BHKW auch nur mit einem Modulationspunkt oder ohne Modulation berechnet werden.

Nach erfolgreichem Durchlauf der Simulation erfolgt die Ausgabe der berechneten Daten als Jahreswerte in eine Excel-Tabelle. In Tabelle 2 sind die Ausgabedaten aufgeführt. Die berechneten Daten werden für jedes BHKW als Einzelwerte und für alle BHKW-Anlagen als Gesamtwerte ausgegeben. Die Berechnung erfolgt sowohl für die thermische als auch für die elektrische Erzeugung. Die Simulationsergebnisse des Spitzenlastkessels werden ebenfalls ausgegeben und zusätzlich wird die vorhandene Leistungsreserve berechnet, die angibt, ob die thermische Leistung des Spitzenlastkessels ausreichend für die jeweilige Leistungsanforderung ist.

Tabelle 2: Ausgabedaten der Simulation

Ausgabe BHKW	
BHKW erzeugte Wärmemenge	[kWh _{th} /a]
BHKW jährliche Stromerzeugung	[kWh _{el} /a]
BHKW jährliche Stromeigennutzung	[kWh _{el} /a]
BHKW jährliche Stromeinspeisung	[kWh _{el} /a]
BHKW Stopps	[-]
BHKW Starts	[-]
Volllaststunden	[h/a]
Betriebsstunden	[h/a]
Brennstoffverbrauch	[kWh/a]
BHKW gesamt	
Jährlicher Wärmebedarf	[kWh _{th} /a]
BHKW erzeugte Wärmemenge	[kWh _{th} /a]
Jährlicher Strombedarf	[kWh _{el} /a]
BHKW jährliche Stromerzeugung	[kWh _{el} /a]
BHKW jährliche Stromeigennutzung	[kWh _{el} /a]
BHKW jährliche Stromeinspeisung	[kWh _{el} /a]
Jährlicher Strombezug	[kWh _{el} /a]
Brennstoffverbrauch BHKW	[kWh/a]
Spitzenlastkessel (SLK)	
SLK jährliche Wärmemenge	[kWh _{th} /a]
max. Leistungsabgabe SLK	[kW _{th}]
max. Leistungsbedarf thermisch	[kW _{th}]
Leistungsreserve SLK	[kW _{th}]

Zusätzlich zu diesen jährlichen Daten werden die Ergebnisse der thermischen und elektrischen Berechnung und der Brennstoffverbrauch sowie die Temperatur und Be- und Entladeleistung des Pufferspeichers in der zeitlichen Auflösung des vorgegebenen Lastgangs ausgegeben. Die Berechnung der thermischen und elektrischen Jahresdauerlinie ist ebenfalls in die Simulation implementiert.

Beispielrechnung anhand eines Krankenhauses

Für die Berechnung werden die thermischen und elektrischen Verbrauchsdaten eines Krankenhauses mit ca. 200 Betten verwendet. Der thermische Lastgang in Abbildung 2 zeigt den Wärmebedarf des Krankenhauses. Dieser wurde aus dem Erdgasverbrauchslastgang abzüglich des Verbrauchs an Dampf berechnet. Für diese Simulation wird nur der Niedertemperaturwärmebedarf berücksichtigt (Heizwärme + Energie für die Brauchwassererwärmung). Der Erdgaslastgang liegt in einer zeitlichen Auflösung von einer Stunde vor. Deutlich sichtbar wird im Lastgang der erhöhte thermische Bedarf in den Wintermonaten aufgrund der Heizperiode. Die thermische Grundlast liegt knapp unter 200 kW. Der jährliche Wärmebedarf liegt bei ca. 2.830.000 kWh. In Abbildung 3 ist der elektrische Lastgang dargestellt, der als Viertelstundenlastgang mittels einer Leistungsmessung vom Energieversorger aufgezeichnet und bereitgestellt wurde. Über das gesamte Jahr wird eine Grundlast von über 100 kW an elektrischer Energie benötigt. Die Spitzenlasten von über

400 kW treten an den Wochentagen zur Hauptarbeitszeit auf. Der jährliche Strombedarf beträgt ca. 2.000.000 kWh.

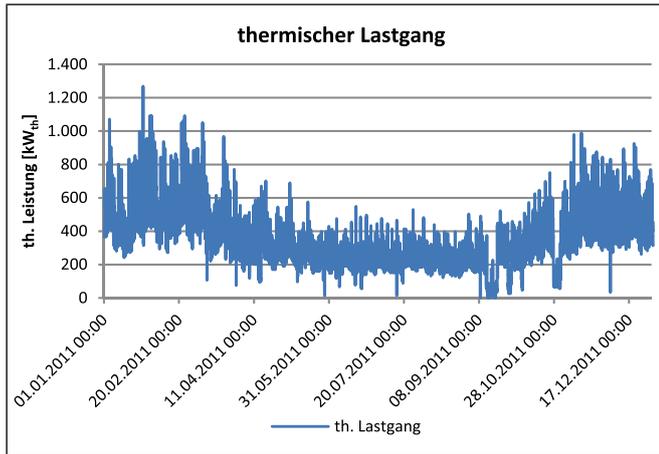


Abbildung 2: Thermischer Lastgang

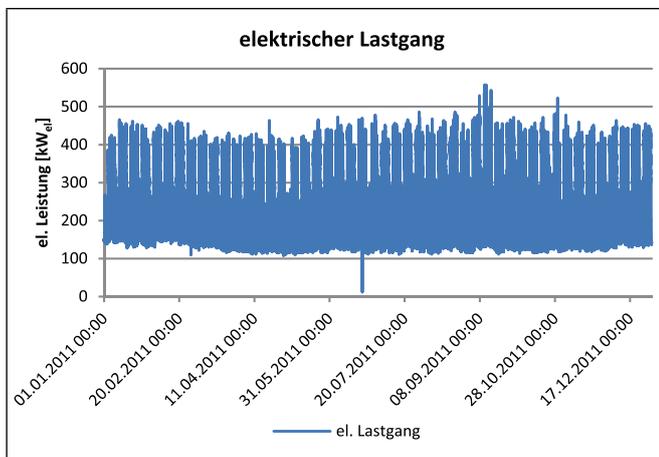


Abbildung 3: Elektrischer Lastgang

Ausgehend von den vorgegebenen Lastgängen wurden verschiedene Versorgungsvarianten mit jeweils 2 BHKW-Modulen und einem Spitzenlastkessel ausgelegt und simuliert. In Tabelle 3 sind die technischen Leistungsdaten der einzelnen Varianten aufgelistet. Das BHKW 1 und der Heizkessel sind in allen Varianten dieselben. Das BHKW 2 wird in den einzelnen Varianten verändert. Als BHKW 2 werden Aggregate mit 50, 100 und 140 kW_{el} verwendet. Als BHKW 1 wird in allen Varianten ein Modul mit 140 kW_{el} betrachtet. Der zusätzliche Heizkessel hat eine thermische Leistung von 200 kW. Das Wartungsintervall der BHKW liegt bei 500 Betriebsstunden und das des Kessels bei 1.000 Betriebsstunden. Die Dauer der Wartung ist mit einer Stunde hinterlegt.

Tabelle 3: Technische Daten der verschiedenen Varianten

		El. Leistung [kW _{el}]	Th. Leistung [kW _{th}]
Variante 1:	BHKW 1	140	207
	BHKW 2	50	87
	Kessel	-	200
Variante 2:	BHKW 1	140	207
	BHKW 2	100	148
	Kessel	-	200
Variante 3:	BHKW 1	140	207
	BHKW 2	140	207
	Kessel	-	200

Die Ein- und Ausschaltvorgaben für die beiden BHKW und den Heizkessel werden wie in Abbildung 1 dargestellt in der Simulation verwendet. Die beiden BHKW werden ab einem Füllstand von 20 Prozentpunkten unter der Ausschaltvorgabe auf 75 % der elektrischen Nennleistung und ab 10 Prozentpunkten unter der Ausschaltvorgabe auf 50 % der elektrischen Nennleistung geregelt. Der Kessel wird ohne Modulation berechnet. Zusätzlich wird bei jeder Variante das Volumen des Pufferspeichers von 10 bis 100 m³ variiert. Der mit Wasser gefüllte Pufferspeicher hat eine minimale Temperatur von 70 °C und eine maximale Temperatur von 90 °C. Die Verluste werden auf eine durchschnittliche Umgebungstemperatur von 20 °C bezogen.

In den nachfolgenden Diagrammen werden die berechneten Varianten miteinander verglichen. In Abbildung 4 sind die Vollbenutzungsstunden der einzelnen BHKW in Abhängigkeit des Speichervolumens aufgetragen. Hierbei wird deutlich, dass das BHKW 1 in allen drei Varianten eine nahezu identische Anzahl an Vollbenutzungsstunden hat. Dies ist darauf zurückzuführen, dass BHKW 1 vorrangig zur thermischen Grundlastdeckung eingesetzt wird. Mit der Erhöhung des Speichervolumens steigen die Vollbenutzungsstunden beim BHKW 1 in allen Varianten um ca. 100 Stunden an. Beim BHKW 2 weist die Variante 1 mit dem kleinsten BHKW mit 50 kW_{el} und 87 kW_{th} die höchste Anzahl an Vollbenutzungsstunden auf. Diese sind bei den beiden größeren BHKW mit 100 kW_{el} bzw. 140 kW_{el} in den Varianten 2 und 3 geringer. In Variante 2 sinken die Vollbenutzungsstunden um durchschnittlich 750 h im Gegensatz zur Variante 1. Bei Variante 3 sinken diese nochmals um ca. 600 h. Mit der Erhöhung des Speichervolumens steigen beim BHKW 2 in allen drei Varianten auch die Vollbenutzungsstunden um ca. 120 h. Trotz der geringsten Anzahl an Vollbenutzungsstunden wird in der Variante 3 mit den größten BHKW die meiste Wärmemenge erzeugt. Dadurch, dass bei den Varianten 2 und 3 mit dem BHKW 2 eine größere Wärmemenge erzeugt wird, sinkt die Anzahl der Vollbenutzungsstunden des Heizkessels von durchschnittlich 2.500 h in Variante 1 und auf ca. 1.000 h in Variante 3. Das Diagramm macht auch deutlich, dass eine Erhöhung des Speichervolumens

im betrachteten Krankenhaus keinen signifikanten Anstieg der Vollbenutzungsstunden zur Folge hat.

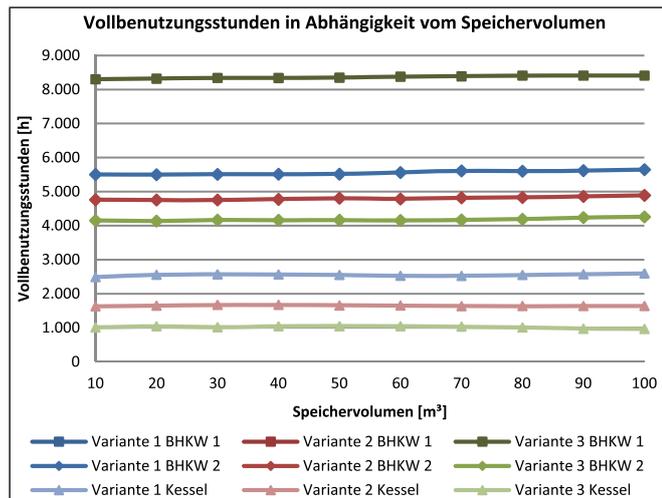


Abbildung 4: Vollbenutzungsstunden in Abhängigkeit vom Speichervolumen

Einen größeren Einfluss hat das Speichervolumen auf die Schaltzyklen vom BHKW 2 in den drei Varianten, wie in Abbildung 5 dargestellt ist. Mit steigendem Volumen des Pufferspeichers kann eine größere Energiemenge in diesem gespeichert werden. Damit wird einerseits die Laufzeit pro Zyklus verlängert und andererseits auch die Stillstandszeit des BHKW durch eine längere Entladedauer verlängert. Hieraus ergeben sich sinkende Schaltzyklen pro Jahr mit steigendem Volumen. Besonders deutlich ist die Abnahme im Bereich von 10 m³ bis 30 m³ Speichervolumen. In Variante 1 sinken in diesem Bereich die Schaltzyklen um mehr als 30 % von 269 auf 183, bei Variante 2 werden die Zyklen von 528 auf 234 mehr als halbiert und in Variante 3 liegt die Anzahl der Schaltzyklen bei 30 m³ Speichervolumen bei ca. einem Drittel von ursprünglich 865 Schaltzyklen pro Jahr. Ab einem Speichervolumen von 40 m³ sinkt die Anzahl der Schaltzyklen wesentlich langsamer als im Bereich unterhalb von 40 m³. Das kleinste BHKW in Variante 1 hat die wenigsten Schaltzyklen. Mit steigender thermischer Leistung in den Varianten 2 und 3 steigt auch die Anzahl der Schaltzyklen.

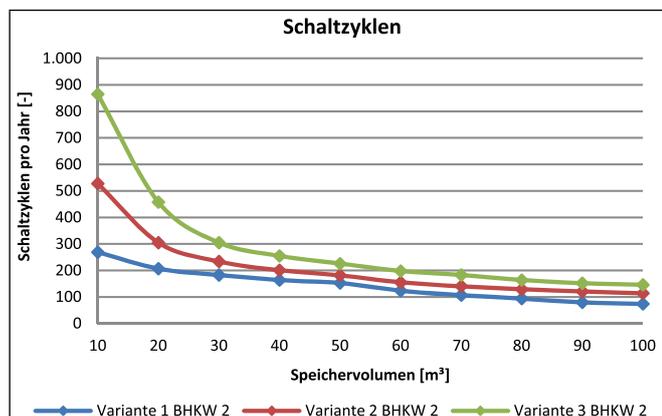


Abbildung 5: Schaltzyklen BHKW 2

Der Anteil der KWK-Wärme stellt den Anteil der Wärme-erzeugung der beiden BHKW am gesamten Wärmebedarf dar. Der Anteil der Eigenstromnutzung ist die Eigenstromnutzung dividiert durch die Stromerzeugung der beiden BHKW in der jeweiligen Variante. Die Abhängigkeit dieser beiden Anteile vom Speichervolumen ist in Abbildung 6 aufgezeigt. Mit steigendem Volumen des Pufferspeichers steigt der Anteil an KWK-Wärme leicht an. Der Anteil der Eigenstromnutzung hingegen nimmt leicht ab. Bei Variante 1 (kleinstes Modul als BHKW 2) ist der Anteil der KWK-Wärme mit durchschnittlich 79 % am geringsten. Durch die steigende Wärmeerzeugung aufgrund der größeren BHKW-Anlagen in den Varianten 2 und 3 steigt auch der Anteil der KWK-Wärme an der Gesamtwärmeerzeugung. Der Anteil liegt in Variante 2 bei durchschnittlich 86 % und bei Variante 3 bei 92 %. Aus der höheren Wärmeerzeugung resultiert auch eine höhere Stromproduktion in den Varianten 2 und 3 im Gegensatz zur Variante 1. Durch die höhere Stromproduktion sinkt der Anteil der Stromeigenutzung an der Gesamtstromerzeugung von ca. 92 % in Variante 1 auf 85 % in Variante 3. Durch den geringeren Anteil der Stromeigenutzung erhöht sich auch die Einspeisung ins öffentliche Stromnetz.

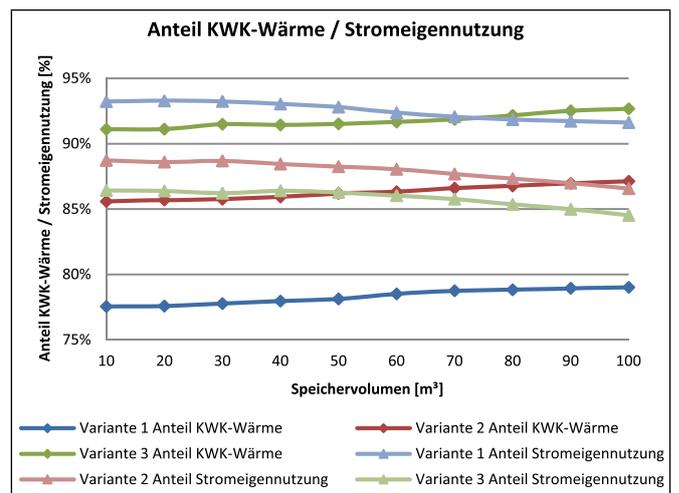


Abbildung 6: Anteil KWK-Wärme / Anteil Stromeigenutzung

Genauer betrachtet wird nachfolgend die Variante 1.3 mit dem BHKW 1 mit 140 kW_{el} und 207 kW_{th} sowie dem BHKW 2 mit 50 kW_{el} und 87 kW_{th} und dem Heizkessel mit 200 kW_{th}. Der Pufferspeicher hat ein Volumen von 30 m³. In der nachfolgenden Tabelle sind die Ergebnisse der beiden BHKW-Anlagen zusammengefasst.

Tabelle 4: Ergebnisse Variante 1.3

		BHKW 1	BHKW 2
Erz. Wärmemenge	[kWh _{th} /a]	1.721.851	479.110
Stromerzeugung	[kWh _{el} /a]	1.159.078	272.448
Stromeigennutzung	[kWh _{el} /a]	1.142.886	191.923
Stromeinspeisung	[kWh _{el} /a]	16.192	80.524
Schaltzyklen	[-]	54	183
Vollbenutzungsstunden	[h/a]	8.318	5.507
Betriebsstunden	[h/a]	8.492	5.708
Brennstoffverbrauch	[kWh/a]	3.192.834	782.011

Die erzeugte Wärmemenge der beiden BHKW beläuft sich auf ca. 2,2 Mio. kWh. Damit können mit dieser Variante 78 % des Wärmebedarfs mit den beiden KWK-Anlagen gedeckt werden. Von der erzeugten elektrischen Energie von 1.430.000 kWh werden 1.330.000 kWh selbst genutzt. Dies entspricht einem Anteil von 93 % an der Stromerzeugung. Nur 7 % werden ins öffentliche Stromnetz eingespeist. Die Schaltzyklen der beiden BHKW liegen mit 54 bzw. 183 Starts und Stopps im akzeptablen Bereich. Die Vollbenutzungsstunden liegen beim BHKW 1 bei 8.318 h und beim BHKW 2 bei 5.507 h und sind in den beiden nachfolgenden Abbildungen in der Jahresdauerlinie grafisch dargestellt. Sortiert man die Werte der Lastgänge der Größe nach, so erhält man die geordnete Jahresdauerlinie.

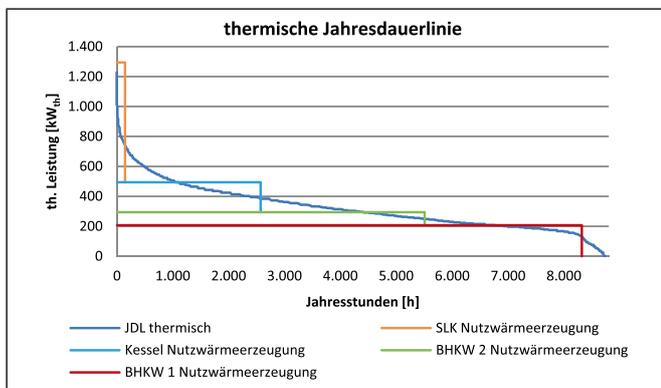


Abbildung 7: Thermische Jahresdauerlinie Variante 1.3

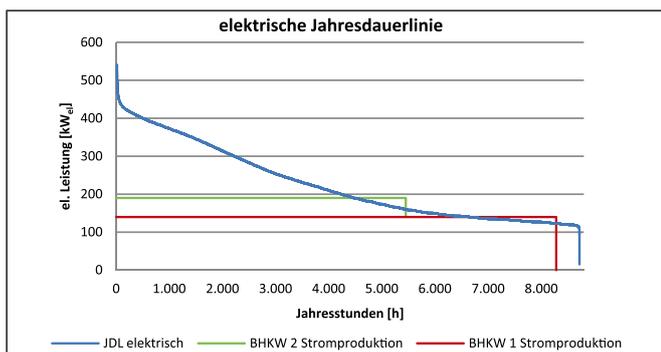


Abbildung 8: Elektrische Jahresdauerlinie Variante 1.3

Der Maximalwert der thermischen Jahresdauerlinie liegt bei ca. 1.200 kW. In diese Jahresdauerlinie werden dann die Wärmeerzeuger mit der thermischen Leistung und den Vollbenutzungsstunden eingetragen (Abbildung 7). Zusätzlich zu den beiden BHKW-Anlagen werden noch der Heizkessel und der Spitzenlastkessel dargestellt. Die Vollbenutzungsstunden des Heizkessels liegen bei 2.570 h und die des Spitzenlastkessels bei 140 h. Die elektrische Jahresdauerlinie hat einen Spitzenwert von ca. 500 kW. Die Stromproduktion der beiden BHKW-Anlagen mit den oben genannten Vollbenutzungsstunden ist in Abbildung 8 grafisch dargestellt. Aus den beiden Jahresdauerlinien wird ersichtlich, dass ein Großteil der erzeugten elektrischen Energie im Krankenhaus selbst genutzt werden kann. Die erzeugte thermische Energie wird vollständig selbst genutzt (Vorgabe der Simulation im wärmegeführten Betrieb).

Fazit / Zusammenfassung

Im Teilprojekt KWK-Systemtechnik des Kompetenzzentrums für Kraft-Wärme-Kopplung werden Simulationen für die Berechnung von KWK-Anlagen erstellt. Hierbei können KWK-Anlagen mit verschiedenen Betriebs- und Regelungsstrategien (z. B. wärme- oder stromgeführter Betrieb) modelliert werden. Bei der Berechnung mit Regelung nach dem Pufferspeicherfüllstand werden die KWK-Anlagen anhand des Speicherfüllstands als Führungsgröße zu- bzw. abgeschaltet. Es können bis zu 3 KWK-Anlagen in einem System berechnet werden. Diese KWK-Anlagen können auch als reiner Wärmeerzeuger ohne Stromerzeugung (z. B. Heizkessel) vorgegeben und simuliert werden. Für die Simulation werden die technischen Daten der KWK-Anlagen und die Parameter für den Pufferspeicher vorgegeben. Hierbei können auch zwei Modulationspunkte und die Ein- und Ausschaltvorgabe festgelegt werden. Des Weiteren muss ein thermischer und elektrischer Lastgang für die Berechnung vorgegeben werden.

Die hier dargestellten Simulationsergebnisse wurden für ein Krankenhaus mit ca. 200 Betten berechnet. Hierfür wurden verschiedene Auslegungsvarianten berechnet. Als BHKW 1 wurde immer ein BHKW mit 140 kW_{el} und als BHKW 3 ein zusätzlicher Heizkessel mit 200 kW_{th} berechnet. Das BHKW 2 wurde in den drei Varianten mit 50 kW_{el}, 100 kW_{el} bzw. 140 kW_{el} variiert. Zusätzlich wurde pro Variante das Volumen des Pufferspeichers variiert. Die Vollbenutzungsstunden der einzelnen BHKW nehmen mit steigenden Speichervolumen leicht zu. Über das BHKW 1 wird die Grundlast gedeckt. Großen Einfluss hat das Speichervolumen auf die Schaltzyklen pro Jahr. Diese nehmen mit steigendem Volumen ab. Sehr deutlich ist die Abnahme bei kleinen Speichervolumina. Der Deckungsanteil an KWK-Wärme und der Anteil an Stromeigennutzung liegen bei allen Varianten über 75 %.

Das hier dargestellte Modell für den wärmegeführten BHKW-Betrieb stellt die erste Ausbaustufe der

Simulationstools dar. In der weiteren Entwicklung der Tools sollen u. a. stromgeführte Betriebsstrategien mit Lastgangsprognosen sowie die Regelenergiebereitstellung berücksichtigt werden können. Des Weiteren soll die Berechnung der Wärmeerzeugung auf Hoch- und Niedertemperaturwärme erweitert werden. Die Hochtemperaturwärmenutzung ist vor allem in Industriebetrieben oder Krankenhäusern in Form von Dampf- oder Thermoölbedarf relevant. Eine Erweiterung um eine Wirtschaftlichkeitsberechnung mit Berücksichtigung der gesetzlichen Vorgaben soll künftig ebenfalls in die Simulation integriert werden können.

Danksagung

Wir bedanken uns beim Bayerischen Staatsministerium für Bildung und Kultus, Wissenschaft und Kunst für die Förderung des Projekts im Rahmen des Kompetenzzentrums für Kraft-Wärme-Kopplung an der Ostbayerischen Technischen Hochschule Amberg-Weiden.

Fußnote

1. Gesetz für die Erhaltung, die Modernisierung und den Ausbau der Kraft-Wärme-Kopplung (Kraft-Wärme-Kopplungsgesetz) vom 19.03.2002, das zuletzt am 21.07.2014 geändert wurde.

Kontakt:



Matthias Koppmann, M. Eng.

Ostbayerische Technische
Hochschule (OTH) Amberg-Weiden
Fakultät Maschinenbau/Umwelttechnik
Kaiser-Wilhelm-Ring 23
92224 Amberg

m.koppmann@oth-aw.de



Raphael Lechner, M. Sc.

Ostbayerische Technische
Hochschule (OTH) Amberg-Weiden
Fakultät Maschinenbau/Umwelttechnik
Kaiser-Wilhelm-Ring 23
92224 Amberg

r.lechner@oth-aw.de



Prof. Dr.-Ing. Markus Brautsch

Ostbayerische Technische
Hochschule (OTH) Amberg-Weiden
Fakultät Maschinenbau/Umwelttechnik
Kaiser-Wilhelm-Ring 23
92224 Amberg

m.brautsch@oth-aw.de

Selbentladung und Leckstromverhalten elektrochemischer Speicher: Impedanzspektroskopie im Langzeitversuch

Prof. Dr. Peter Kurzweil
Prof. Dr. Mikhail Chamonine
Anton Udalzew, B. Eng.

Zusammenfassung

Doppelschichtkondensatoren sind elektrochemische Speicher, die innerhalb von Mikrosekunden auf schnelle Laständerungen antworten. Auf der Basis einer mehr als zehnjährigen Testerfahrung unserer Arbeitsgruppe sind wir in der Lage, das Alterungsverhalten von Superkondensatoren anhand von Kapazitätsverlust, parasitären Nebenreaktionen und der chemischen Analyse von Alterungsprodukten zu quantifizieren. Weitgehend ungeklärt sind die elektrochemischen Mechanismen bei der Selbstentladung der Bauteile, die wir nun mithilfe der Impedanzspektroskopie näher untersucht haben.

Abstract

Double-layer capacitors are electrochemical storage devices that are able to respond to immediate load changes within some microseconds. Based on more than ten years testing experience of our work group, the aging behaviour of supercapacitors is quantified in terms of capacitance loss, parasitic side reactions, and the chemical analysis of decomposition products. So far, the electrochemical processes during self-discharge have been widely unknown. By the help of impedance spectroscopy, we investigated this item in more detail.

Das Projekt betrifft die standortübergreifende Zusammenarbeit im Forschungscluster EBACIM.

Elektrochemische Doppelschichtkondensatoren, auch Superkondensatoren genannt, gelten als mittelfristige Lösung für schnell ansprechende Kurzzeitspeicher und Elektrofahrzeuge^[1]. Ein idealer Kondensator kennt weder Selbstentladung noch Leckstrom. Ein realer Superkondensator entlädt sich hingegen beim Lagern im geladenen Zustand mit offenen Klemmen – wie herkömmliche Kondensatoren und Batterien auch – im Verlauf mehrerer Wochen nahezu vollständig. Im vollgeladenen Zustand unter Dauerladung fließt ein winziger Leckstrom. Die Größenordnung beider Effekte und die chemisch-technologischen Ursachen wurden mit Impedanzspektroskopie untersucht.

Aufbau der Impedanzmethode

Die Impedanzspektroskopie^[2] gewährt Einblick in die Kinetik von Elektrodenvorgängen und die Vorgänge an der Grenzfläche zwischen Aktivkohleelektroden und Elektrolytlösung in Doppelschichtkondensatoren. Üblicherweise werden Frequenzganganalysatoren eingesetzt. Auf der

Suche nach einer preiswerten Methode wurde ein Messkonzept mit Lockin-Verstärker realisiert (Abb. 1 bis 3). Das Verfahren erlaubt es, kapazitive Energiespeicher in einem stationären Betriebspunkt unter Gleichspannung zu charakterisieren.

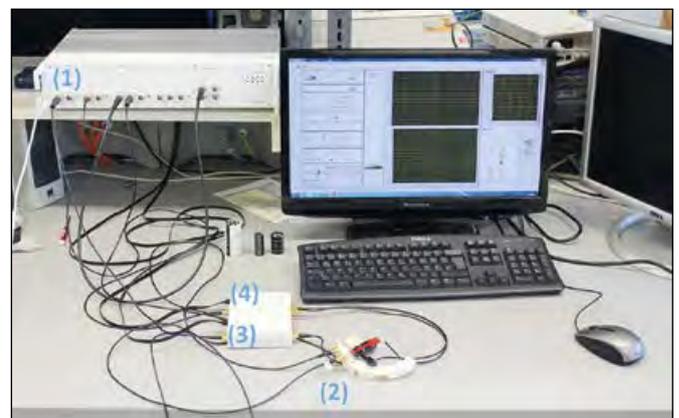


Abbildung 1: Messaufbau aus (1) Lockin-Verstärker, (2) Kondensator unter Test, (3) Transimpedanzverstärker und (4) Spannungsverstärker.

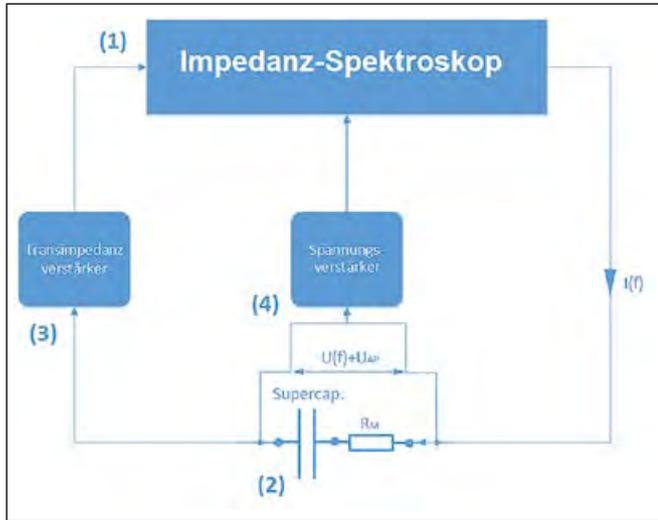


Abbildung 2: Blockschaltbild des Messaufbaus

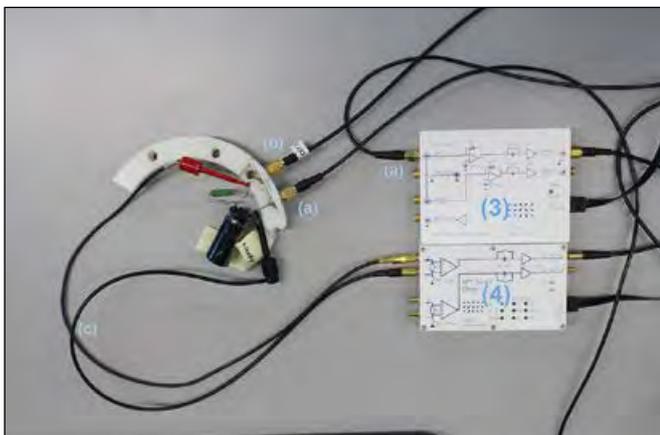


Abbildung 3: Detail des Messaufbaus: (3) Transimpedanzverstärker, (a) virtuelle Masse, (b) Kontakt zum Superkondensator, (c) Messspitzen, (4) Spannungsverstärker.

Der elektrochemischen Zelle wird eine Wechselspannung bekannter Frequenz aufgeprägt und die Phasenverschiebung zwischen Anregungsspannung und Strom (Zellantwort) gemessen. Der von der Impedanz des Superkondensators und der Amplitude der Wechselspannung bestimmte Strom wird durch den Transimpedanzverstärker (Abb. 3) in eine Spannung umgewandelt und an den Eingang des Impedanzmessgerätes weitergeleitet. Wegen des kleinen Innenwiderstands des Superkondensators wird die Zellspannung hochohmig gemessen und verstärkt. Ein Vorwiderstand dient der Strombegrenzung, damit der Transimpedanzverstärker nicht übersteuert, sodass Widerstände unterhalb von $0,1 \Omega$ zuverlässig gemessen werden können.

Frequenzgang der Kapazität

Die Frequenzabhängigkeit der Kapazität eines Doppelschichtkondensators verhält sich ähnlich zu der eines konventionellen Elektrolytkondensators. Die Bauteile sind unterhalb 1 kHz bis Gleichstrom einsetzbar und versagen bei hohen Frequenzen, wenn die Kondensatorplatten durch die anliegende Wechselspannung zu schnell

umgeladen werden, als dass sich die Nennkapazität aufbauen könnte. Mit steigender Frequenz nimmt die nutzbare Kapazität rapide ab; oberhalb von etwa 10 kHz verhält sich ein gewickelter Doppelschichtkondensator wie eine Spule mit einer kleinen Induktivität.

Der ohmsche Widerstand und die reelle Kapazität ergeben sich definitionsgemäß aus den Real- und Imaginärteilen der gemessenen Impedanzwerte $\underline{Z}(\omega)$ in Abhängigkeit der Frequenz.

$$R(\omega) = \text{Re } \underline{Z}(\omega)$$

$$C(\omega) = \text{Re } \underline{C}(\omega) = \frac{\text{Im } Y}{\omega} = -\frac{\text{Im } Z}{\omega |\underline{Z}|^2} = -\frac{\text{Im } Z}{\omega [(\text{Re } \underline{Z})^2 + (\text{Im } \underline{Z})^2]} \approx -\frac{1}{\omega \cdot \text{Im } \underline{Z}}$$

\underline{Z} Impedanz (komplexer Widerstand, Scheinwiderstand, in Ω), $Y = 1/\underline{Z}$ Admittanz (Scheinleitwert, Ω^{-1}), $\omega = 2\pi f$ Kreisfrequenz (s^{-1}), f Frequenz (Hz), R ohmscher Widerstand, Realteil der Impedanz (Ω), C Kapazität ($\text{F} = \text{A s V}^{-1}$), $X = \text{Im } \underline{Z}$ Blindwiderstand, Imaginärteil der Impedanz (Ω).

Die von uns eingeführte komplexe Kapazität $\underline{C}(\omega)$ ist eine verlustbehaftete Größe, die die tatsächlich verfügbare Energiespeicherfähigkeit des Bauteils abbildet und kein bestimmtes Ersatzschaltbild erfüllen muss^[2]. Dies ermöglicht eine empirische Auswertung der Messungen ohne Notwendigkeit der Anpassung von Ersatzschaltbildern^[3]. Die Näherung gilt für Doppelschichtkondensatoren mit vernachlässigbarem Leckstrom, d. h. unendlich großem Gleichstromwiderstand (Spezialfall des R-C-Reihenschaltbilds).

Der Frequenzgang der Kapazität bildet die unterschiedlichen Zeitbereiche der blitzschnellen Umladung der Doppelschicht an der äußeren Elektrodenoberfläche und die sehr langsamen, diffusionsbestimmten Prozesse in den Porenräumen der inneren Elektrodenoberfläche ab.

- Die Kapazität bei sehr hohen Frequenzen (*Doppelschichtkapazität*) wird durch die dielektrischen Eigenschaften der geometrischen Grenzfläche Elektrode/Elektrolyt bestimmt: $C_D = C(\omega \rightarrow \infty)$. Am Schnittpunkt der Ortskurve mit der reellen Achse liegt der Elektrolytwiderstand, $R_S = \text{Re } \underline{Z}(\omega \rightarrow \infty)$.
- Die Kapazität bei mittleren Frequenzen wird vom *Ladungsdurchtritt* der Elektronen zwischen Elektrode und Elektrolyt bestimmt. Der Durchtrittsvorgang läuft nicht beliebig schnell, sondern ist durch eine Aktivierungsenergie kinetisch gehemmt und verlustbehaftet, sodass ihm ein ohmscher Widerstand zugeschrieben wird. In der elektrotechnischen Praxis wird der Innenwiderstand des Kondensators vereinfacht bei 1 kHz als Äquivalentserienwiderstand (ESR) angegeben.
- Die Kapazität bei tiefen Frequenzen wird vom gemächlichen *Stofftransport* der Ladungsträger durch die elektrolytgefüllten Poren an die inneren Adsorptionsplätze der Elektroden bestimmt. In der Praxis wird der steil

abfallende „Diffusionsast“ beobachtet, der die Porosität der Grenzfläche abbildet. Theoretisch schließt sich die Ortskurve bei Gleichstrom (0 Hz) zur reellen Achse, weil ein Doppelschichtkondensator einen Leckstromwiderstand von einigen Kiloohm hat,
 $R_L = Re \underline{Z}(\omega \rightarrow 0)$.

Die verwendete Messmethode zeigt systembedingt gegenüber dem Frequenzganganalysator Schwächen bei kleinen Frequenzen, bei denen größere Messfehler auftreten (Abb. 4 b). Die Erfassung des hochohmigen Widerstandes gelingt hingegen vorzüglich mit äußerst geringen Kontaktwiderständen.

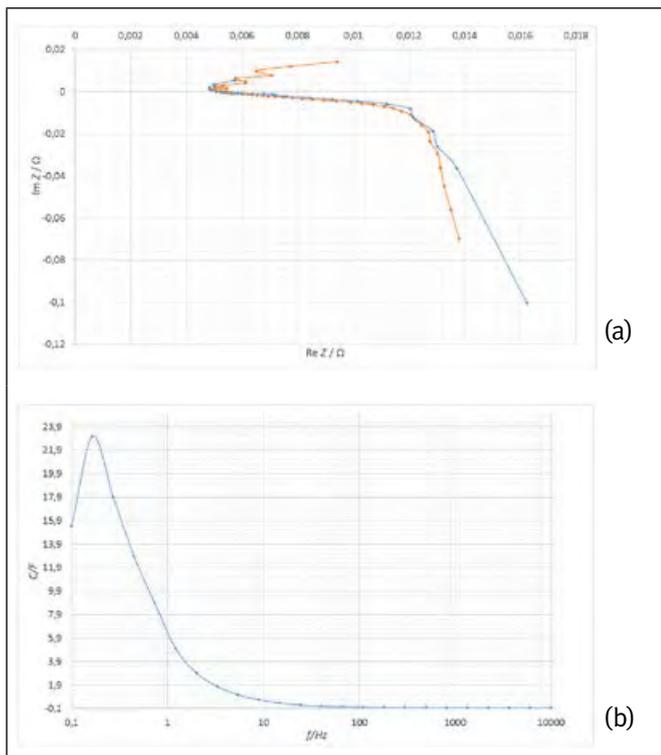


Abbildung 4: (a) Impedanzspektrum eines 25-F/2,7-V-Superkondensators im Frequenzbereich von 10 kHz bis 0,1 Hz. Gemessen mit Lockin-Verstärker (blau) und Frequenzganganalysator (orange). (b) Frequenzgang der Kapazität. Messung: Pölsterl.

Interpretation des Impedanzspektrums

Das Impedanzspektrum eines Doppelschichtkondensators (Ortskurve in der komplexen Ebene) zeigt einen angedeuteten Viertelkreis, dem ein mehr oder weniger steiler Ast folgt (Abb. 4). Leitfähige Elektrolyte auf Basis von Acetonitril erreichen die maximale Kapazität bei etwa 0,01 Hz; weniger leitfähige Elektrolyte auf Basis von Propylencarbonat zeigen einen stärker ausgeprägten Frequenzgang und erreichen bei 0,01 Hz nur etwa 60 % der Gleichstromkapazität. Im gleichen Elektrolyt erzielt poröse Aktivkohle eine etwa 15 % höhere Kapazität bei 0,01 Hz als Kohlefaserewebe.

1. Korngrenzen- und Durchtrittswiderstand: Aktivkohle mit hoher spezifischer Oberfläche besteht aus winzigen

Partikeln, zwischen denen sich ein unerwünschter Kontaktwiderstand aufbaut. Der mit Elektrolyt gefüllte Raum zwischen den Korngrenzen ruft einen Viertelkreis im Impedanzspektrum bei hohen Frequenzen hervor. Dieser hochfrequente „Korngrenzenbogen“ tritt bei Aktivkohleelektroden und Kohlenstofffasern im gleichen Elektrolyt gleichermaßen auf. Der lineare Ortskurvenabschnitt bei mittleren Frequenzen bildet die Diffusion der Ladungsträger im Elektrolyten zwischen den benetzten Kohlekörnern ab. Bei hohen Frequenzen und engen Poren dringt das Wechselstromsignal weniger tief ein als bei tiefen Frequenzen und weiten Poren. Der Widerstand wird zudem von der Haftung des Pulververbands auf dem Stromableiter (Aluminiumfolie) bestimmt. Ein schlechter Kontaktwiderstand führt zur Ausbildung eines zusätzlichen, deutlichen Halbkreises anstatt des angedeuteten Viertelkreises in der Ortskurve der Impedanz. Ein Zusatz von etwa 5 % Ruß mindert den Kontaktwiderstand zwischen den Aktivkohlekörnern und den Abstand der Partikel im Kornverband, und damit den elektrischen Leitungspfad an der Grenzfläche Elektrode/Elektrolyt zum Kontaktblech.

2. Diffusionsimpedanz bei tiefen Frequenzen: Die Steigung der nahezu senkrechten Ortskurvenabschnitts bei niedrigen Frequenzen hängt von der Porengrößenverteilung, Dicke und Kompaktierung des Elektrodenmaterials ab, das Ionen aus dem Elektrolyten in den inneren Porenraum eindringen lässt. Ein Übermaß an Polymerbinder (etwa 5 %) erhöht den Diffusionswiderstand erheblich, weil Makroporosität an der äußeren Elektrodenoberfläche durch Verstopfung der Poren verloren geht. Das Impedanzspektrum von pechbasierten Kohlenstofffasern zeigt einen zusammengedrückten Halbkreis bei hohen Frequenzen, der von den Graphenebenen (Grafit-Basisflächen) längs der Fasern verursacht wird. Kürzen der Fasern von 500 µm auf 100 µm durch eine Aktivierungsbehandlung verbessert die nutzbare Kapazität. Ungeordnete Pech- und PAN-Fasern mit geringerem Kohlenstoffgehalt zeigen einen größeren Widerstand als geordnete Pechfasern; der Korngrenzen-Halbkreis verschwindet, aber die Steigung des Diffusionsastes bei niedrigen Frequenzen verschlechtert sich von 90° (geordnet) auf 45°, einen für Doppelschichtkondensatoren nicht tolerierbaren Wert.

Das Impedanzspektrum kann durch ein Ersatzschaltbild aus einer Serienschaltung von (i) Elektrolytwiderstand, (ii) Korngrenzenimpedanz als RLC-Netzwerk, (iii) Diffusionsimpedanz des Porensystems (coth-Term) und (iv) einer Serienkapazität für die blockierende Elektroden/Elektrolyt-Grenzfläche des geladenen Kondensators ungefähr modelliert werden (Abbildung 5).

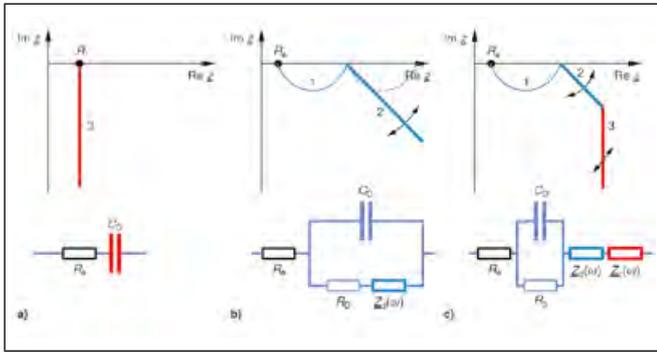


Abbildung 5: Idealisierte Ortskurven der Impedanz und zugehörige Ersatzschaltbilder: (a) idealer Kondensator mit Innenwiderstand, (b, c) Durchtritts- und Diffusionsimpedanz mit ausgedehnter und dünner Grenzschicht (gestrichelt): 1 Durchtrittsimpedanz, 2 Porenimpedanz in Meso- und Mikroporen (Korngrenzen), 3 Diffusionsimpedanz in Makroporen.

Leckstrom

Anders als konventionelle Metallfilm- und Keramik-kondensatoren sperrt ein Doppelschichtkondensator im Gleichstrombetrieb nicht vollständig, weil der Isolationswiderstand einen endlichen Wert hat. Beim Laden über einige Minuten bis Stunden erreicht der Strom einen Grenzwert, den Leckstrom von einigen Mikro- bis Milliampere. Der Leckstrom wird üblicherweise nach mindestens 30-minütigem Laden des Kondensators unter anliegender Nennspannung gemessen. Bei hohen Temperaturen nimmt der Leckstrom durch parasitäre Elektrodenreaktionen zu.

Selbstentladung

Die Selbstentladung^[4] ist die selbsttätige Entladung des Kondensators beim Stehen mit offenen Klemmen. Nach einer vollständigen Ladung über 8 oder 24 h wird die Spannungsversorgung entfernt und in Abständen von 24 h die Klemmenspannung des Kondensators mit einem hochohmigen Voltmeter (Innenwiderstand >1 MΩ) gemessen. Doppelschichtkondensatoren für Leistungsanwendungen stellen nach 24 h Laden und 24 h Ruhezeit mindestens 80 % der Nennspannung zur Verfügung. Der Selbstentladewiderstand in praktischen Bauteilen beträgt etwa 10 kΩ. Die Ortskurven der Impedanz verändern sich im zeitlichen Verlauf der Selbstentladung, was Rückschlüsse auf die noch weitgehend unbekanntelektrochemischen Vorgänge im Kondensatorinneren zulässt (Abb. 6). Ursächlich für die Selbstentladung sind langsame elektrochemische Reaktionen zwischen Elektroden und Elektrolyt, die einen geringen Leckstrom über die Doppelschicht treiben. Unerwünschte Redoxreaktionen durch Verunreinigungen und Gelöstsauerstoff spielen eine Rolle, aber auch die Relaxation überladener Zustände zu einem niedrigeren Potenzial. Die Selbstentladung nimmt mit steigender Temperatur nach dem Arrhenius-Gesetz zu und hat eine Aktivierungsenergie in der Größenordnung von 50 kJ mol⁻¹.

Redoxreaktionen kann man von Diffusionsvorgängen anhand des Zeitverhaltens der Zellspannung des unbelasteten Kondensators unterscheiden.

- a) Faraday'sche Redoxreaktionen: $U(t) \sim \ln t$
(linear im halblogarithmischen Diagramm)
- b) Diffusionsvorgänge: $U(t) \sim \sqrt{t}$
(linear im doppeltlogarithmischen Diagramm)

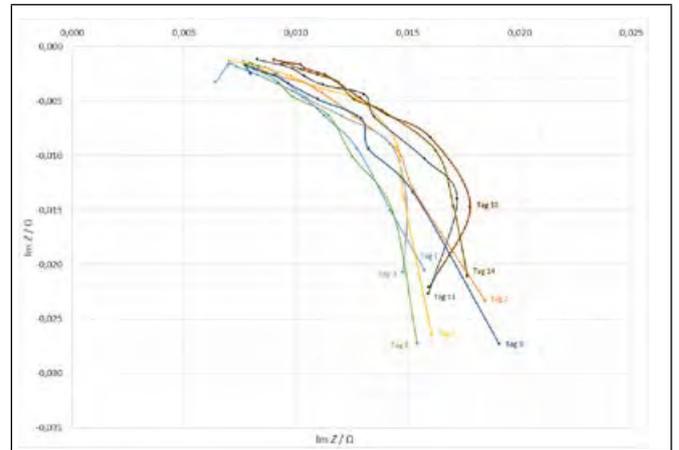


Abbildung 6: Impedanzmessungen an einem 25-F/2,7-V-Superkondensator im Frequenzbereich von 10 kHz bis 0,1 Hz unter Selbstentladebedingungen im Verlauf mehrerer Tage. Die Messungen bei tiefen Frequenzen sind durch die Entladung des Kondensators während der Messung fehlerbehaftet.

Literaturverzeichnis

- [1] P. Kurzweil, *Electrochemical Double-layer Capacitors*, Chap. 19, In: *Electrochemical Energy Storage for Renewable Sources and Grid Balancing* (Eds. P.T. Moseley, J. Garche), Elsevier: Amsterdam, 2014, pp. 345 – 407.
- [2] P. Kurzweil, H.-J. Fischle, A new monitoring method for electrochemical aggregates by impedance spectroscopy, *Journal of Power Sources* 127 (2004) 331 – 340.
- [3] P. Kurzweil, B. Frenzel, A. Hildebrand, Voltage-dependent capacitance, aging effects, and failure indicators of double-layer capacitors during lifetime testing, *ChemElectroChem* 2(1) (2015) 6 – 13.
- [4] P. Kurzweil, B. Frenzel, R. Gallay, Capacitance characterization methods and ageing behaviour of supercapacitors, *Proc. The 15th International Seminar On Double Layer Capacitors*, Deerfield Beach, FL., U.S.A., December 5 – 7, 2005.

Kontakt:



Prof. Dr. Peter Kurzweil

Ostbayerische Technische
Hochschule (OTH) Amberg-Weiden
Fakultät Maschinenbau/Umwelttechnik
Labor für Elektrochemie
Kaiser-Wilhelm-Ring 23
92224 Amberg

p.kurzweil@oth-aw.de



Prof. Dr. Mikhail Chamonine

Ostbayerische Technische
Hochschule (OTH) Amberg-Weiden
Fakultät Elektro- u. Informationstechnik
Seybothstraße 2
93053 Regensburg

mikhail.chamonine@oth-regensburg.de



Anton Udalzew, B. Eng.

Ostbayerische Technische
Hochschule (OTH) Amberg-Weiden
Fakultät Elektro- u. Informationstechnik
Seybothstraße 2
93053 Regensburg

anton.udalzew@oth-regensburg.de

Laserstrukturierte Funktionsschichten für elektrochemische Energiespeicher auf Basis redoxaktiver Metalloxide

Zusammenfassung

Platinmetalloxide sind als redoxaktive Materialien für ultraschnelle Redoxspeicher bekannt. Erstmals haben wir versucht, Funktionsschichten für neuartige Energiespeicher und pH-Sensoren mithilfe der Laserthermolyse herzustellen. Die Umwandlung von Rutheniumtrichlorid in Rutheniumdioxid gelingt mit einem Nd:YAG-Laser bislang nicht befriedigend.

Die nachfolgende Arbeit entspringt der übergreifenden Zusammenarbeit der Forschungscluster „NanoChem“ und „Optoelektronik und Lasertechnik“, die sich mit der Entwicklung neuartiger Funktionsmaterialien beschäftigen.

Stand der Technik für elektrochemische Speicher sind Elektrodenmaterialien auf Basis polymergebundener Aktivkohle, die durch einen Heißwalzprozess hergestellt werden^[1]. Dass Nanostrukturen zur Grenzflächenkapazität in Superkondensatoren überhaupt beitragen, ist erst seit einigen Jahren bekannt. Die Kapazität von Kohlematerialien hängt von der Porengrößenverteilung und Größe der adsorbierten Ionen ab, weniger von der spezifischen Oberfläche. Enge Poren begünstigen hohe spezifische Oberflächen und Energiedichten, während weite Poren hohe Ströme ermöglichen. Technisch wünschenswert sind Porengrößen um 3 nm, wobei die Subnanoporen (< 1 nm) genutzt werden, wenn die desolvatisierten Leitsalzionen darin Platz finden. Die erwünschte Rechteckform der Lade-Entlade-Kurve (Cyclovoltogramm) technischer Superkondensatoren wird durch Mikroporen (Durchmesser < 2 nm) für die Entladung und durch Mesoporen (2–50 nm) für den Ladevorgang verbessert.

Ein alternativer Ansatz zu Kohlenstoff sind redoxaktive Metalloxide, an denen batterieähnliche Lade-Entlade-Vorgänge ablaufen, sodass man von einer

Abstract

Platinum metal oxides are well known as redoxactive materials for ultrafast redox storage devices. For the first time, we were able to prepare functional layers for novel energy stores and pH sensors by the help of laser thermolysis. The decomposition of ruthenium trichloride using a Nd:YAG LASER has not yet yielded satisfactory amounts of ruthenium dioxide.

Pseudokapazität spricht. In wässrigen Elektrolyten kann das hydratisierte Proton H_3O^+ allein in Poren größer als 2 nm eindringen. Daher ist die immens große, mikroporöse Oberfläche und Grenzflächenkapazität der kolloidalen Partikel von Metalloxidhydraten interessant (Abb. 1).

Thermolyse von Metalloxidvorstufen

Kolloidale Nanopartikel aus Platinmetalloxiden erzeugen nach unseren früheren Untersuchungen eine immense Flächenkapazität^[2–5]. Die Herstellung erfolgt durch Fällung aus alkalischen Lösungen oder durch thermische Zersetzung geeigneter Vorstufen. Erstmals wird in dieser Arbeit die Einwirkung von Laserlicht zur Erzeugung nanoporöser Strukturen erprobt.

Im Vorgriff der Laserthermolyse wurden geeignete Metallsalze identifiziert, die unter Hitzeeinwirkung mikroporöse Metalloxide bilden. Die Bestimmung der Phasenumwandlungstemperaturen erfolgte durch Thermogravimetrie mit einer Thermomikrowaage (TGA) unter Sauerstoffatmosphäre. Als Tiegelmaterial diente Platin-Rhodium. Der Probenraum wurde zu Beginn der Messung fünf Minuten mit dem Oxidans gespült und auf eine Evakuierung verzichtet. Die TGA-Kurven von Metallchloriden, Nitraten und Sulfaten wurden hinsichtlich der Massenänderung durch verdampfendes Kristallwasser und die Bildung von Oxidphasen ausgewertet (Abb. 2). Die

Umwandlungstemperaturen für die Oxidbildung wurden aus den Wendepunkten der TGA-Kurve ermittelt (Tab. 1).

Redoxaktiv sind vorzugsweise die Platinmetalloxide, insbesondere Ruthenium- und Iridiumdioxid. Rhodiumtrichlorid zersetzt sich erst oberhalb von 700 °C. Kohlenstoff und andere Metalloxide eignen sich zum Verdünnen der teuren Aktivmaterialien. In der Schmelze des ungiftigen Bismutoxids lösen sich andere Metalloxide auf, was prinzipiell nützlich sein könnte. Wenig giftig sind Mangan-dioxid, Molybdändioxid, Palladiumoxid und Zinn-dioxid. Toxikologisch bedenklich wegen einer möglichen kanzerogenen Wirkung, und daher für die technische Anwendung unter Einschränkungen nutzbar sind: Cobalt(II,III)-oxid, Hexachloroiridiumsäure, Nickel(II)-oxid, Nickelsulfat und Zinnchlorid (teratogen).

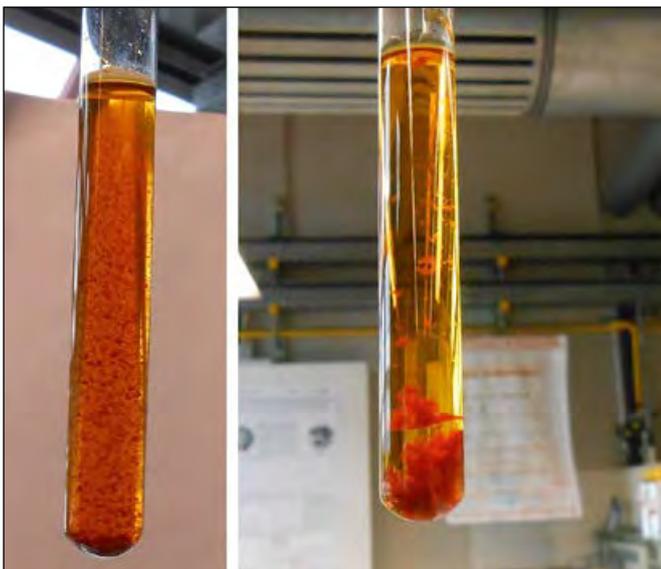


Abbildung 1. Kolloidales Eisenoxid-hydroxid vor und nach Sedimentation.

Tabelle 1: Umwandlungstemperaturen der Bildung von Metalloxiden aus Metallsalzvorstufen (in °C).

BiCl ₃	CoCl ₂	CrCl ₃ 6 H ₂ O	H ₂ IrCl ₆ 6 H ₂ O
Bi ₂ O ₃	Co ₂ O ₃ / Co ₃ O ₄	Cr ₂ O ₃	IrO ₂
286,2	615,5	398,8	571,7
MnCl ₂ 4 H ₂ O	MoCl ₃	OsCl ₃ x H ₂ O	PdCl ₂
MnO ₂ / Mn ₂ O ₃	MoO ₂	OsO ₂	PdO
197,4 / 585,3	210,4	299,3	678,2
H ₂ PtCl ₆ x H ₂ O	RhCl ₃ 3 H ₂ O	RuCl ₃ x H ₂ O	SnCl ₂ 2 H ₂ O
PtO ₂	Rh ₂ O ₃	RuO ₂	SnO ₂
325,1	~ 726	363,9	~250
MnSO ₄	NiSO ₄ 6 H ₂ O	PdSO ₄	Mn(NO ₃) ₂ 4 H ₂ O
Mn ₂ O ₃	NiO	PdO	Mn ₂ O ₃
260,8	808,4	548,8	230,9

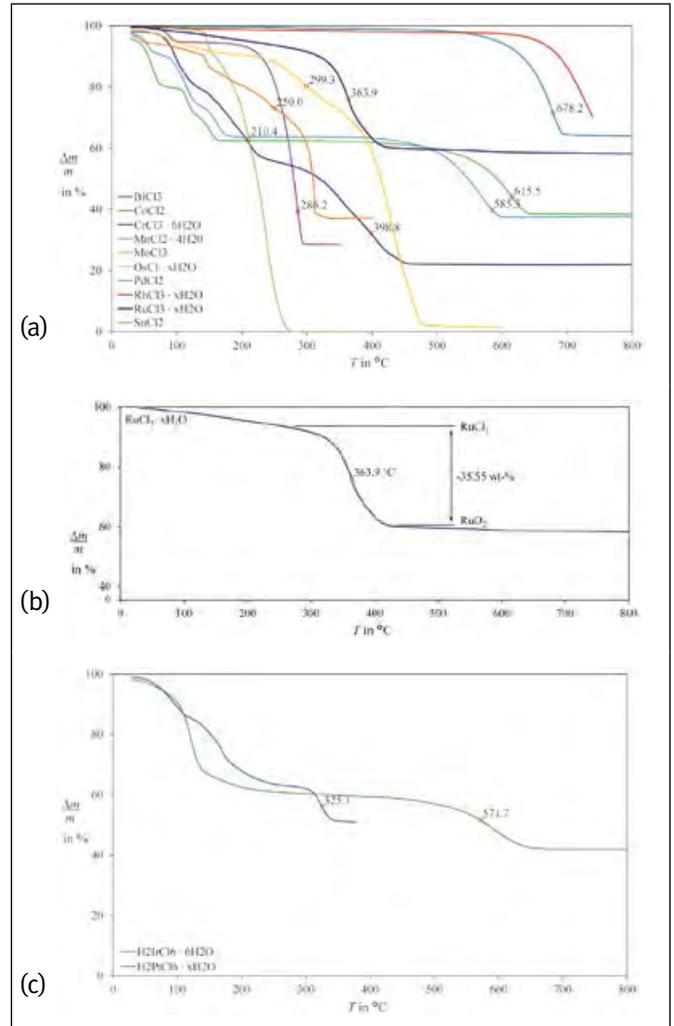


Abbildung 2: (a) Thermogravimetrische Analyse von Metallchloriden: Umwandlungstemperaturen in die Oxide (in °C). (b) wasserhaltiges Rutheniumtrichlorid. (c) Hexachloroiridiumsäure und Hexachloroplatinsäure.

Laserthermolyse von Metallsalzen

Vor dem Hintergrund, strukturierte Metalloxidschichten auf einem Elektrodenträger herzustellen, wurden Platinmetallsalzlösungen mit einem Laserstrahl behandelt. Die Vorteile dieses Verfahrens bestehen in der deutlich reduzierten Tiefe des Wärmeeintrags sowie in der gezielten Modifizierbarkeit der Oberflächenstruktur des Grundsubstrats^[6]. Das redoxaktive Metalloxid soll möglichst fest haften und nicht umgesetzte Reste der Vorstufe durch Spülen mit Wasser abgelöst werden. Rutheniumtrichlorid-Hydrat wurde in Aceton gelöst (ca. 5g L⁻¹); das besser dispergiert als Isopropanol, in dem bei etwa 3g L⁻¹ die Löslichkeitsgrenze erreicht ist. Die Lösung wird auf 75 µm dünne, entfettete Aluminiumfolie aufgebracht und bei 90 °C für 48 h eingetrocknet (ca. 0,12 mg cm⁻²). Unerwünschte Knicke und Falten in der Aluminiumfolie gestalten die eingetrocknete RuCl₃-Schicht stellenweise inhomogen (Abb. 3). Weitere Versuche wurden auf Nickelfolie durchgeführt, die in einen 3 mm starken Aluminiumrahmen mit quadratischen Aussparungen (35 mm × 35 mm) und Gummidichtungen eingespannt

wurde, um mit etwa 1,5 mL Lösung dickere Schichten ($\approx 0,3 \text{ mg cm}^{-2}$) herzustellen.

Die Oxidation der Probenoberfläche erfolgte mithilfe einer gepulsten Nd:YAG-Laserstrahlquelle bei einer Repetitionsrate von 3,0 kHz mit 150 ns-Pulslänge (Pulsenergie ca. 1 mJ). Die Laserstrahlableitung und Formung wurde mittels eines 2D-Galvanometer-Scankopfsystem und F-Theta Optiken realisiert. Die Belichtung der Substratoberfläche erfolgte mit überlappenden Bahnen mit einem Abstand von 35 μm und einer Fokuspunkt-Geschwindigkeit von 10 mm s^{-1} . Die Variation der Leistungsdichte sowie der Strahl-Stoff-Wechselwirkungszeit gestattete die Untersuchung eines breiten Spektrums an verschiedenen Prozesstemperaturen und Drücken zur Laserthermolyse von RuCl_3 . An den RuCl_3 -Schichtdicken im nm-Bereich wurde die Bildung und Anhäufung von körnigen Feststoffen beobachtet (Abb. 3). Deren Größe und Häufigkeit nimmt mit zunehmender Schichtdicke ebenfalls zu (Abb. 4). Eine signifikante Massenzunahme, aufgrund der Umsetzung von Rutheniumtrichlorid zu Rutheniumdioxid, ließ sich jedoch nicht nachweisen.

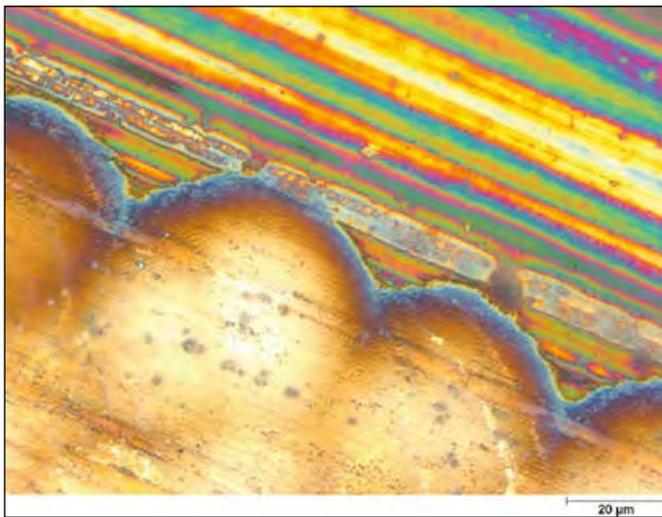


Abbildung 3: Aufnahme unter dem Auflichtmikroskop. Linker unterer Bildteil: überlappende Belichtungsbahnen und Anlagerung von Feststoffen. Oberer rechter Bildteil: Unbehandelte Rutheniumtrichloridschicht.

Selbst bei hoher Pumpleistung genügt der Energieeintrag in die Phasenumwandlung $\text{RuCl}_3 \rightarrow \text{RuO}_2$ nicht, um die gesamte Oberfläche zu oxidieren; dies erklärt die fehlende Massenzunahme. Eine weitere Erhöhung der Strahlleistung führt zur Verflüssigung und Sublimation des Substrats (Abb. 5), wodurch dann sogar eine Massenabnahme bewirkt wird. Weder das IR-Spektrum, die röntgenografische Phasenanalyse (XRD) noch das Cyclovoltogramm zeigen signifikante Mengen von RuO_2 an (Abb. 6).

Auch für dickere Metallchlorid-Schichten scheint der Laserstrahl mit einer Wellenlänge von 1064 nm transparent zu sein, sodass durch die oberflächige Erwärmung des Nickelträgers und der damit einhergehenden

Ausdehnung des Substrates die darüber liegende RuCl_3 -Schicht abgesprengt wird. Unter starker Fokussierung mit einer Blende, die höhere Lasermoden herausfiltert, ist bei reduzierter Laserleistung eine thermische Veränderung der Beschichtung in Form dunkler Streifen erkennbar (Abb. 5). Bei geringfügig höherer Laserleistung platzt die RuCl_3 -Schicht ab; das freigelegte Nickel schmilzt lokal und bindet Metalloxidpartikel ein, die erst bei hoher Leistung wieder freigesetzt werden.

In Anlehnung an eine Patentschrift, in der die Erzeugung von Verschleißschutzschichten auf sperrschichtbildenden Materialien beschrieben ist [6], sollen weitere Versuche mit reduzierter Schichtdicke, Mehrfachbestrahlung und einem vergrößerten Fokuspunkt durchgeführt werden. Nach Klärung des Absorptionsverhaltens des schichtbildenden Basismaterials, Rutheniumtrichlorid, ist auch der Einsatz anderer Strahlquellen, z. B. eines frequenzverdoppelten Nd:YAG-Lasers (532 nm) bzw. von CO_2 -Laserstrahlquellen mit einer Wellenlänge von 10,6 μm vorgesehen.

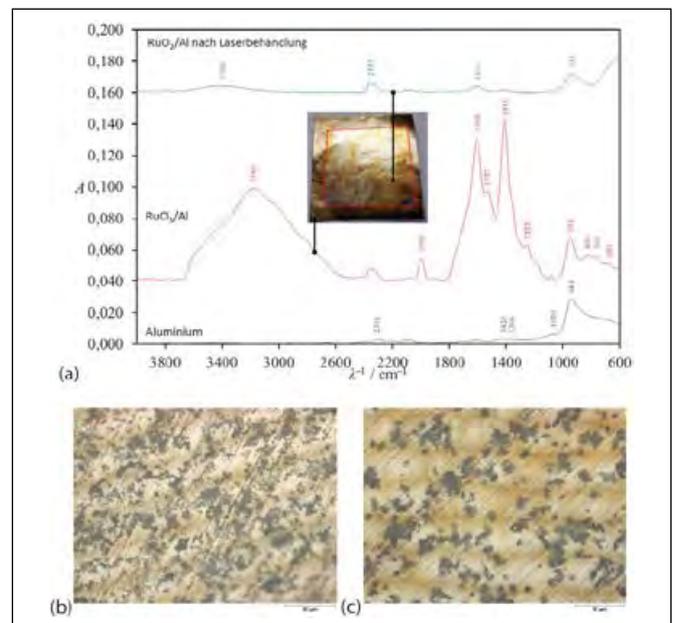


Abbildung 4: (a) Infrarotspektroskopischer Nachweis der unvollständigen Laserthermolyse von wasserhaltigem Rutheniumtrichlorid zu Rutheniumdioxid. Rot: bearbeitete Fläche (33 mm x 33 mm). (b) Inhomogene RuCl_3 -Inseln auf Aluminium nach der Belichtung, Aceton-Lösung (c) Isopropanol-Lösung.

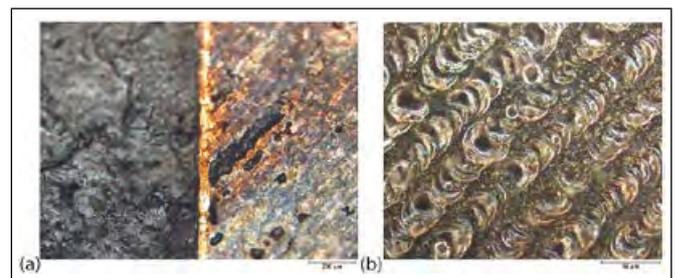


Abbildung 5: (a) Anhaftende und abgesprengte RuCl_3 -Schicht bei 48,5 % (links) und 49 % (rechts) Laserleistung mit Modenblende. Hellgold: freigelegter Nickelträger. (b) Umgeschmolzenes Nickel mit eingelagerten Metalloxidpartikeln bei 31 % Pumpleistung ohne Modenblende.

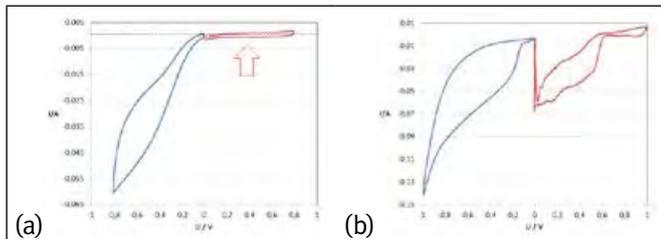


Abbildung 6: (a) Cyclovoltogramm einer Zelle aus RuO₂-Elektrode (aus RuCl₃, 380 °C, 2 h, ~0,4 mg cm⁻²) und kommerzieller Aktivkohle-Gegenelektrode in Kaliumchloridlösung, 2. Zyklus, 5 mV s⁻¹. Pfeil: Lade-Entlade-Zyklus über das Spannungsfenster. (b) Zum Vergleich: laserbehandeltes RuCl₃.

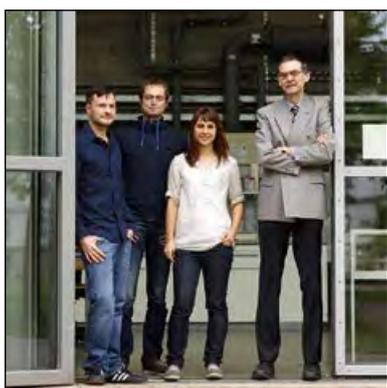
Danksagung

Diese Arbeit entstand unter Mitwirkung der wissenschaftlichen Mitarbeiter Helmut Hartmann, Christian Schell, Andreas Hildebrand, Franziska Eckert (Chemie) sowie Stefan König (Laserlabor).

Literaturverzeichnis

- [1] P. Kurzweil, In: *Encyclopedia of Electrochemical Power Sources*, 2009. Electrochemical Double-Layer Capacitors, S. 596 – 633; Carbon Materials, S. 634 – 648; Metal Oxides, S. 665 – 678.
- [2] S. Trasatti, P. Kurzweil, Electrochemical supercapacitors as versatile energy stores, *Platinum Metals Review* 38 (1994) 46 – 56.
- [3] P. Kurzweil, Metal Oxides and Ion-exchanging Surfaces as pH Sensors in Liquids: State-of-the-art and Outlook, *Sensors* 2009, 9, 4955 – 4985.
- [4] P. Kurzweil, Precious Metal Oxides for Electrochemical Energy Converters: Pseudocapacitance and pH Dependence of Redox Processes, *Journal of Power Sources* 190 (2009) 189 – 200.
- [5] P. Kurzweil, O. Schmid, B. Schmid, Long time stable electrode and double layer capacitor with this electrode, DE 43 13 474 (1996), EP 0 622 815 (1996), US 5 550 706 (1996).
- [6] J. Koch, P. Kurze, H. Urlberger, Erzeugung von Verschleißschutzschichten auf Werkstoffen aus sperrschichtbildenden Metallen oder deren Legierungen mittels Laserbehandlung, EP 1921177 (2011).

Kontakt:



Von links nach rechts: Helmut Hartmann, B. Eng., Dipl.-Phys.
Christian Schell, Franziska Eckert, M. Eng., Prof. Dr. Peter Kurzweil
Nicht abgebildet: Andreas Hildebrand, M. Eng.

Prof. Dr. Peter Kurzweil

Ostbayerische Technische
Hochschule (OTH) Amberg-Weiden
Fakultät Maschinenbau/Umwelttechnik
Labor für Elektrochemie
Kaiser-Wilhelm-Ring 23
92224 Amberg

p.kurzweil@oth-aw.de



Stefan König, M. Eng., Prof. Dr.-Ing. Jürgen Koch

Prof. Dr.-Ing. Jürgen Koch

Ostbayerische Technische
Hochschule (OTH) Amberg-Weiden
Fakultät Maschinenbau/Umwelttechnik
Laserlabor
Kaiser-Wilhelm-Ring 23
92224 Amberg

j.koch@oth-aw.de

Entwicklung eines innovativen Konzepts zur Abgasnach- verstromung

Zusammenfassung

Im Rahmen eines Forschungsprojekts am Institut für Energietechnik an der Ostbayerischen Technischen Hochschule Amberg-Weiden in Kooperation mit dem Kompetenzzentrum für Kraft-Wärme-Kopplung wurde ein neues Konzept der Abgasnachverstromung für Blockheizkraftwerke entwickelt. Dabei wurde auf Basis der Ergebnisse eines vorangegangenen Projektes ein neues System entwickelt, mit dem Ziel, unter Beibehaltung der Wirkungsgradvorteile des ursprünglichen Systems die Systemkosten zu senken. Das Nachverstromungssystem besteht aus einer Abgasturbine, einem mechanischen Drehzahlwandler in Form eines magnetischen Getriebes und einem kostengünstigen und robusten Standardgenerator. Die Turbinen-Generator-Einheit wurde am BHKW-Prüfstand der Ostbayerischen Technischen Hochschule Amberg-Weiden aufgebaut und erfolgreich in Betrieb genommen (Proof of concept). Im Rahmen der ersten Versuchsreihen konnten die prognostizierten Leistungen und Wirkungsgrade jedoch noch nicht erreicht werden, weshalb weitere Versuchsreihen mit modifiziertem Aufbau in Vorbereitung sind.

Abstract

As part of a research project carried out at the Institute of Energy Technology at the Ostbayerische Technische Hochschule Amberg-Weiden a new concept was developed to generate electricity out of the waste exhaust heat of combined heat and power plants. This development was based on the results of a previous project. The aim of the new concept was to reduce the cost of such a system while maintaining the high efficiency of the original concept. The system is made up of an exhaust turbine, a mechanical variable speed gear, in form of a magnetic transmission, and a robust and a reasonably priced standard alternator. The turbine-generator-unit was set up and brought into service on the combined-heat and power test stand at the Ostbayerischen Technischen Hochschule Amberg-Weiden and could be operated successfully (proof of concept). However, during the first test runs the expected power output and efficiency could not be confirmed. Therefore, further experiments with a modified setup are being prepared.

Einführung

Im Rahmen der Energiewende spielen hocheffiziente KWK-Anlagen, wie beispielsweise Blockheizkraftwerke, eine große Rolle. Insbesondere aufgrund des hohen Werts der elektrischen Energie wird es immer wichtiger, eine hohe Stromausbeute zu erzielen. Mit der sogenannten Abgasnachverstromung besteht die Möglichkeit, die elektrische Effizienz von Blockheizkraftwerken zu steigern. Hierfür wird die im Abgas als Wärme befindliche Energie in mechanische Energie umgewandelt. Es gibt verschiedene Verfahren, die zur Abgasnachverstromung eingesetzt werden können, wie beispielsweise Clausius-Rankine-Cycle- (CRC-) bzw. Organic-Rankine-Cycle-(ORC-)Anlagen,

Stirlingmotoren oder Abgasturbogeneratoren. Wird mit einer Turbine im Abgasstrang eines Verbrennungsmotors zusätzlich Nutzleistung abgenommen, spricht man vom sogenannten Turbocompounding [Mollenhauer2007]. Bei Blockheizkraftwerken werden meist turboaufgeladene Motoren eingesetzt, um die Leistung bzw. die Effizienz des Motors zu erhöhen. In solchen Fällen hat es sich bewährt, die Nutzturbine des Turbocompoundsystems nach der Verdichterturbine des Turboladers in Reihe zu setzen.

Im Rahmen eines vorangegangenen Forschungsprojekts des Instituts für Energietechnik (vgl. [Brautsch2010]) wurde ein Abgasturbinensystem, bestehend aus einer

Turboladerturbine und einem direkt angetriebenen Hochdrehzahlgenerator, untersucht. Die Turbine war auf eine Drehzahl von 50.000 1/min ausgelegt. Der Hochdrehzahlgenerator erzeugte hochfrequenten Wechselstrom, welcher über einen Frequenzumrichter in niederfrequenten Wechselstrom mit 50 Hz Netzfrequenz gewandelt wurde. Das Abgasturbinensystem wurde an einem BHKW-Prüfstand im Dauerbetrieb getestet, wobei sich eine Reihe von Nachteilen herauskristallisierte: Die Systemkosten liegen aufgrund der aufwendigen elektrischen Wandlungskette mit Hochdrehzahlgenerator und Frequenzumrichter sehr hoch. Zudem ist der Hochdrehzahlgenerator ein komplexes und teures Sonderbauteil, das nicht als Standardtechnologie auf dem Markt verfügbar ist. Im Rahmen der Dauererprobung stellte sich außerdem heraus, dass das System aufgrund der komplexen Technik vergleichsweise fehleranfällig und wartungsintensiv ist. Beispielsweise musste aufgrund der Anordnung des Generators auf einer gemeinsamen Welle mit der Turbine dieser über ein kombiniertes Kühl- und Schmiersystem mit Spezialöl gekühlt werden, da der Generator thermisch hoch belastet wurde.

Im vorliegenden Bericht wird eine Alternativlösung zum bisher untersuchten Abgasnachverstromungskonzept vorgestellt. Bei diesem Konzept steht die Kostenreduzierung im Vordergrund, unter Beibehaltung der Wirkungsgradvorteile des ursprünglichen Systems. Es wird auf die Auslegung der Einzelkomponenten sowie auf die ersten Erkenntnisse aus der Prüfstandserprobung eingegangen.

Konzeptbeschreibung

Ziel des neuen Konzepts ist es, die Kosten des Gesamtsystems zu reduzieren, indem man den teuren Hochdrehzahlgenerator durch einen kostengünstigen und robusten Standardgenerator mit Drehzahlen von 3.000 1/min ersetzt. Hierfür ist es notwendig, den elektrischen Wandler (Frequenzumrichter) durch einen mechanischen Drehzahlwandler auszutauschen. Da allerdings eine starre Kopplung über ein mechanisches Getriebe bei den extremen zu überbrückenden Drehzahlspreizungen von mehreren 10.000 1/min Probleme hinsichtlich Verschleiß und Dauerhaltbarkeit mit sich bringt, sollte eine neuartige berührungsfreie und verschleißarme magnetische Kopplung realisiert werden. Darüber hinaus wurden verschiedene mögliche Turbinenkonfigurationen überprüft und thermodynamisch berechnet. Ziel dieser Untersuchung war eine Reduzierung der Turbinendrehzahl bei Beibehaltung eines hohen Wirkungsgrads. Die Reduzierung der Drehzahl war zum einen notwendig, um die Drehzahlspreizung des magnetischen Getriebes gering zu halten. Zum anderen konnten dadurch die Anforderungen an die Lager des Getriebes und der Turbine gesenkt werden.

Abbildung 1 stellt schematisch den Aufbau eines Blockheizkraftwerks mit dem neu konzipierten Abgasturbogenerator dar. Die Nutzturbine sitzt im Abgasstrang direkt

hinter der Verdichterturbine des Turboladers. Sie treibt über ein Magnetgetriebe einen Asynchrongenerator an, welcher den erzeugten Strom in das öffentliche Netz einspeisen kann.

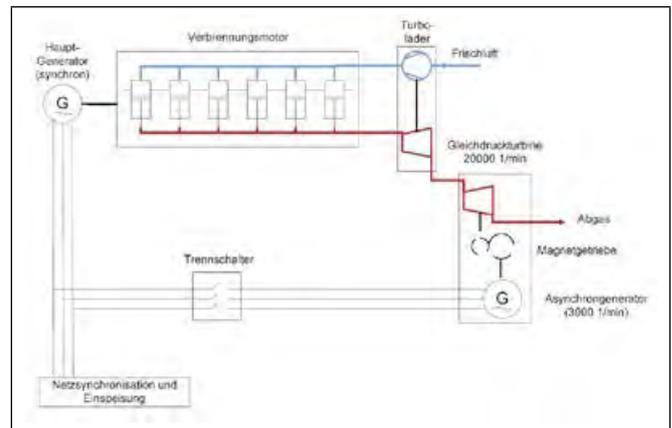


Abbildung 1: Schema BHKW mit magnetisch gekoppelter Abgasturbine

Komponentenauslegung

Ursprünglich sollte als Abgasturbine eine herkömmliche Turboladerturbine aus der Großserie eingesetzt werden. Bei der betrachteten Leistungsgröße werden diese üblicherweise als Überdruckturbinen in Radialbauweise ausgeführt und erreichen in der benötigten Baugröße Drehzahlen von ca. 70.000 1/min. Bei diesen Drehzahlen und bei der erforderlichen Übertragungsleistung erwies sich jedoch die Auslegung der Lagerung der Eingangswelle des magnetischen Getriebes als problematisch. An die Lager würden in diesem Fall hohe Anforderungen gestellt, da diese aufgrund der bei diesen Drehzahlen erforderlichen Getriebebauform (Schneckengetriebe) bei hoher Temperaturbeanspruchung gleichzeitig hohe Radial- als auch Axialkräfte aufnehmen müssten. Bei den hohen Drehzahlen von 70.000 1/min wäre somit eine hohe Lebensdauer praktisch nicht realisierbar.

Aus diesem Grund wurde erwogen, für die Abgasturbinenanwendung eine spezielle Turbine neu zu konstruieren, die bereits bei niedrigen Drehzahlen hohe Wirkungsgrade erreicht. In Zusammenarbeit mit Prof. Weiß (Ostbayerische Technische Hochschule Amberg-Weiden) wurden mögliche Turbinenkonfigurationen geprüft und thermodynamisch ausgelegt. Als geeignetes Turbinenkonzept wurde eine Gleichdruckturbinen in Axialbauweise vorgeschlagen. Durch den Wechsel von der Überdruck- auf die Gleichdruckbauweise konnte die Drehzahl signifikant reduziert werden. Bei einer Drehzahl von 21.000 1/min wurde rechnerisch ein Turbinenwirkungsgrad von > 75 % prognostiziert. Die auskoppelbare elektrische Leistung aus dem Abgas unter Berücksichtigung der Verluste in der elektrischen Wandlungskette wurde mit etwa 17 kW abgeschätzt. Durch die Reduzierung der Turbinendrehzahl von 70.000 1/min auf 21.000 1/min vereinfachte

sich die Auslegung der Lager deutlich, da sie einerseits für geringere Drehzahlen ausgelegt werden können und andererseits das Getriebe so konstruiert werden kann, dass getriebeseitig keine axialen Lagerkräfte auftreten. Dennoch stellt die Auslegung der Lager aufgrund des zu erwartenden hohen Wärmeeintrags aus dem Abgas eine besondere Herausforderung dar.

Abgestimmt auf die oben genannte Turbinenkonfiguration wurde ein magnetisches Getriebe entwickelt, das das Drehmoment der Turbine berührungslos und damit verschleißfrei auf den Generator überträgt (vgl. Abbildung 2). Aufgrund der niedrigen Drehzahl der neu ausgelegten Turbine von ca. 21.000 1/min konnte hierfür auf ein Stirnradgetriebe zurückgegriffen werden, das sich gegenüber anderen Getriebekonstruktionen, wie z. B. dem für hohe Drehzahlen erforderlichen Schneckengetriebe, durch einen höheren Wirkungsgrad auszeichnet. Bei der in Abbildung 2 dargestellten Anordnung entfallen zudem die vom Getriebe ausgehenden axialen Kräfte auf das Lager, was die Auslegung der Lagerung wesentlich erleichtert.

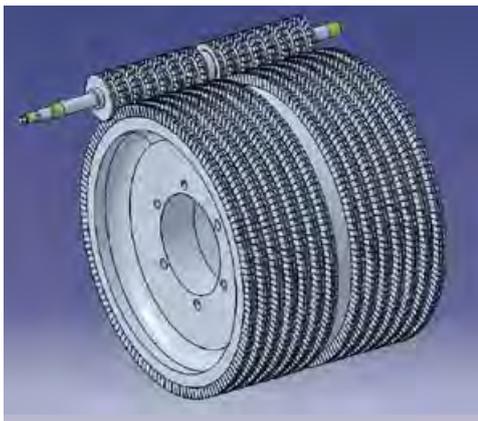


Abbildung 2: Magnetisches Stirnradgetriebe

Das Getriebe ist für eine Eingangsdrehzahl von knapp 21.000 1/min und eine Abtriebsdrehzahl von 3.000 1/min ausgelegt und kann eine Leistung von etwa 25 kW übertragen. Wird das zu übertragende Drehmoment zu groß, rutscht das Getriebe durch, ohne zu blockieren, sodass der Kraftabtrieb und die Turbine vor Beschädigungen geschützt werden. Das Getriebe selbst wirkt damit als Sicherheitskupplung.

Aufbau des Prüfstands

Das neue Abgasturbinensystem wurde für den Einsatz am BHKW-Prüfstand an der Ostbayerischen Technischen Hochschule Amberg-Weiden ausgelegt. Am Prüfstand ist eine Anlage des Typs ECO 240 Biomethan Zündstrahl-BHKW der Fa. Burkhardt GmbH mit einer elektrischen Nennleistung von 240 kW_{el} aufgebaut.

Tabelle 1: Kenndaten BHKW-Modul ECO 240

Kraftstoff	Biomethan + Pflanzenöl
Elektrische Leistung	240 kW
Thermische Leistung	240 kW
Stromkennzahl	1
Kraftstoffverbrauch Biomethan	53,1 Nm ³ /h
Kraftstoffverbrauch Zündöl	5 l/h
Wirkungsgrad elektrisch (Messwert)	42 %
Vorlauftemperatur	90 °C
Rücklauftemperatur	70 °C
Motor	MAN D26
Arbeitsverfahren	4-Takt Diesel mit Turboaufladung
Zylinderzahl	6 (in Reihe)
Hubraum	12,4 l

Um die Turbinen-Generator-Einheit am BHKW-Prüfstand betreiben zu können, musste das bestehende BHKW grundlegend umgebaut werden. Zum einen musste die Turbinen-Generator-Einheit im Abgasstrang des BHKW eingebunden werden, wobei die komplette Abgasverrohrung neu verlegt werden musste. Außerdem mussten ein neuer Turbolader und ein Abgasklappensystem mit Bypass eingesetzt werden. Zusätzlich musste die Abgasturbine elektrisch eingebunden werden und die Messtechnik für die Versuche aufgebaut werden. Für die ersten Testläufe wurde das Zündstrahl-BHKW aus Sicherheitsgründen ausschließlich im Flüssigkraftstoffbetrieb betrieben.

In Abbildung 3 ist das Abgasturbinensystem dargestellt, wie es betriebsbereit am Grundrahmen des BHKW installiert ist. Die Abgasturbine wird mit heißem, unter Druck stehendem Abgas über das isolierte Abgasrohr versorgt. Das vertikale Abgasrohr ist der Austritt aus der Abgasturbine, in welchem nahezu Umgebungsdruck vorliegt. Außerdem ist das Abgasklappensystem mit Stellmotor abgebildet. Das Abgas kann über einen Bypass an der Turbine vorbeigeleitet werden. Um den Druckabfall über die Turbine zu simulieren, ist es möglich, in das Bypass-System verschiedene Blenden einzusetzen.

Für den Versuchsbetrieb wurde der Generator mit einem rückspeisefähigen Frequenzumrichter ausgerüstet, um verschiedene Drehzahlen einstellen und so den Bestpunkt für den Betrieb ermitteln zu können. In späteren Ausführungen soll der Frequenzumrichter entfallen können.

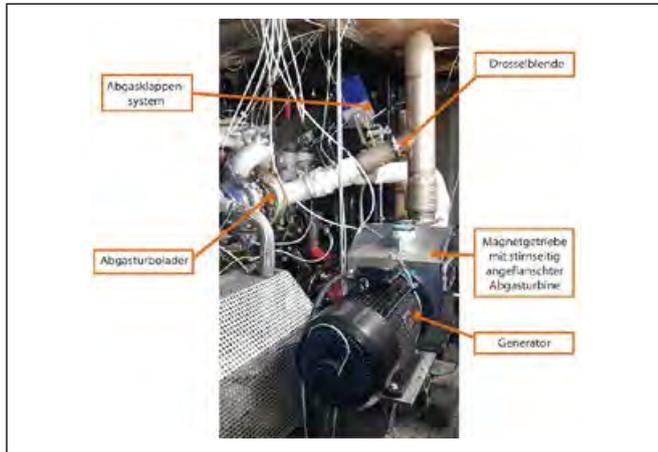


Abbildung 3: Abgasturbinensystem am BHKW-Prüfstand

Der Motor des BHKW wird durch die Nutzturbine mit einem höheren Abgasgegendruck belastet. Das bedeutet, dass die Druckdifferenz über den Serienturbolader geringer wird und somit das Energieangebot für das Abgasturbinenrad des Turboladers sinkt. Deshalb kann nicht ausreichend Energie für das Verdichterrad des Turboladers bereitgestellt werden, um den erforderlichen Ladedruck für den Motor zu erzielen. Außerdem ist der Serienturbolader dafür ausgelegt, das Abgas auf nahezu Umgebungsdruck zu entspannen. Die Turbine ist jedoch auf eine Druckdifferenz von 430 mbar ausgelegt. Um dennoch den geforderten Ladedruck gewährleisten zu können, wird daher ein spezieller Turbolader verwendet.

Versuchsergebnisse

Für die Erstinbetriebnahme wurde die Turbine zunächst noch ohne Aufgabe von Abgas auf Nenndrehzahl beschleunigt (Kaltbetrieb) und für ca. 15 Minuten geschleppt. Dabei wurden die Lagertemperaturen und die elektrische Leistungsaufnahme als Maß für die Reibung im System gemessen, um etwaige mechanische Probleme im Bereich Getriebe und Turbinenlager zu erkennen. Anschließend wurde das BHKW gestartet und auf eine Leistung von 120 kW_{el} eingestellt, wobei das Abgas zunächst über den Bypass an der Turbine vorbeigeleitet wurde. Die Turbine wurde dabei weiterhin bei Nenndrehzahl geschleppt.

Im nächsten Schritt wurde in kurzen Intervallen etwas Abgas über die Turbine geleitet, um die Turbine langsam auf Betriebstemperatur zu bringen. Danach wurde die Abgasklappe komplett geöffnet, d. h., der gesamte Abgasstrom wurde über die Turbine geleitet. Der Abgasmassenstrom reichte bei dieser Laststufe des BHKW aus, um die Turbine anzutreiben. Der Frequenzumrichter schaltete automatisch in den generatorischen Betrieb. Es wurden ca. 1,8 kW_{el} elektrische Leistung von der Turbine erzeugt und über den Frequenzumrichter rückgespeist.

Es wurden nach und nach verschiedene Leistungsstufen angefahren, wobei immer die Leistung des

Gesamtsystems (BHKW + Turbine) eingestellt wurde. In Abbildung 4 ist die gemessene Aufteilung der elektrischen Ist-Leistung des Gesamtsystems aus BHKW und Abgasturbine bei unterschiedlichen Leistungsvorgaben dargestellt. Man erkennt, dass die Leistung der Turbine ansteigt, je höher die Leistung und somit der Abgasmassenstrom des BHKW ist. Das Gesamtsystem (BHKW + Turbine) konnte im Rahmen der Versuche mit einer Soll-Leistung von bis zu 200 kW_{el} betrieben werden. Dabei erbrachte die Abgasturbine eine Leistung von 7,5 kW_{el}. Dies liegt deutlich unter der Auslegungsleistung der Turbine in diesem Betriebspunkt. Der gewünschte Wirkungsgradvorteil im Vergleich zum BHKW im Ausgangszustand konnte ebenfalls noch nicht erreicht werden.

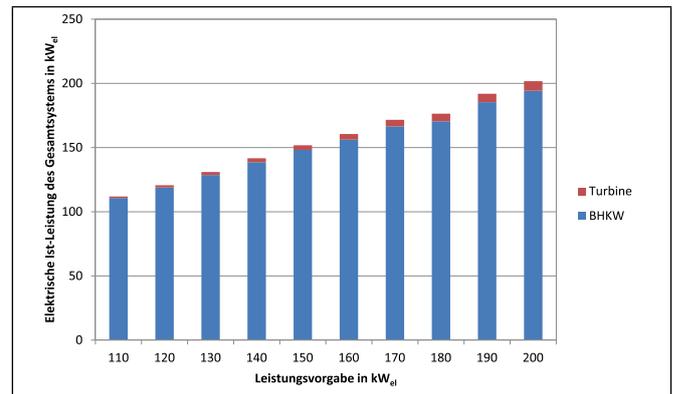


Abbildung 4: Elektrische Leistung des Gesamtsystems (BHKW + Turbine)

Die Ursache für die noch unbefriedigende Leistung der Abgasturbine dürfte darin begründet liegen, dass die Auslegungsbedingungen aufgrund verschiedener Beschränkungen des Versuchsaufbaus in den ersten Versuchsreihen noch nicht erreicht werden konnten. Bei der Auslegung wurde im Nennlastpunkt von einer Druckdifferenz von ca. 450 mbar, bei einer Turbineneintrittstemperatur von ca. 470 °C ausgegangen. Diese Bedingungen konnten mit knapp 370 mbar Druckdifferenz und 380 °C Turbineneintrittstemperatur während der ersten Versuche noch nicht erreicht werden.

Fazit und Ausblick

Im Rahmen eines Forschungsvorhabens des Instituts für Energietechnik in Kooperation mit dem Kompetenzzentrum für Kraft-Wärme-Kopplung der Ostbayerischen Technischen Hochschule Amberg-Weiden wurde ein innovatives Abgasturbinenkonzept mit magnetischer Kraftübertragung entwickelt und erfolgreich in Betrieb genommen (Proof of Concept). Allerdings konnten die prognostizierte Leistung und der erwartete Wirkungsgrad im Rahmen der ersten Versuchsreihen noch nicht erreicht werden, was in erster Linie darauf zurückzuführen ist, dass die angenommenen Auslegungsbedingungen (Eingangsdruck und -temperatur für die Nutzturbine) mit dem vorhandenen Versuchsaufbau nicht erreicht werden konnten. Es sind daher weitere Versuchsreihen mit einem

modifizierten Versuchsaufbau in Vorbereitung, bei dem u. a. die Konfiguration des vorgeschalteten Turboladers mithilfe verschiedener Leitschaufelringe angepasst wird, um höhere Vordrücke für die Nutzturbine zu erreichen.

Danksagung

Wir bedanken uns beim Bayerischen Staatsministerium für Wirtschaft und Medien, Energie und Technologie für die Förderung des Vorhabens im Rahmen des Programms „Rationellere Energiegewinnung und -verwendung (BayREV)“ sowie beim Kompetenzzentrum KWK und bei den beteiligten Firmenpartnern Deprag Schulz GmbH und Co. und Burkhardt GmbH für die technische Unterstützung. Ausdrücklich danken möchten wir auch Prof. Dr.-Ing. Andreas P. Weiß von der OTH Amberg-Weiden für die Unterstützung im Bereich Turbinentechnologie und allen Projektmitarbeitern am Institut für Energietechnik und dem Kompetenzzentrum für Kraft-Wärme-Kopplung, allen voran Herrn Matthias Franz und Herrn Johann Stauner.

Literaturverzeichnis

[Mollenhauer2007] MOLLENHAUER, Klaus; TSCHÖKE, Helmut (Hrsg.): Handbuch Dieselmotoren; 3. Aufl.; Berlin; Springer; 2007; ISBN 978-3-540-72164-2

[Brautsch2010] BRAUTSCH, Markus; LECHNER, Raphael: „Abgasturbine für Blockheizkraftwerke“ in Hochschule Amberg-Weiden (Hrsg.): Forschungsbericht 2010/2011; Amberg, Dezember 2010

Kontakt:



Dipl.-Ing. (FH) Nicholas O'Connell

Institut für Energietechnik an der Ostbayerischen Technischen Hochschule Amberg-Weiden
Kaiser-Wilhelm-Ring 23 a
92224 Amberg

n.oconnell@oth-aw.de



Raphael Lechner, M. Sc.

Ostbayerische Technische Hochschule (OTH) Amberg-Weiden
Kompetenzzentrum KWK
Kaiser-Wilhelm-Ring 23
92224 Amberg

r.lechner@oth-aw.de



Prof. Dr.-Ing. Markus Brautsch

Ostbayerische Technische Hochschule (OTH) Amberg-Weiden
Kompetenzzentrum KWK
Kaiser-Wilhelm-Ring 23
92224 Amberg

m.brautsch@oth-aw.de

Die Klassifikation technischer Schutzrechte – Klassifizieren Patentämter unterschiedlich?

Prof. Dr. Ursula Versch
Dipl.-Ing. (FH) Michael Beyer

Zusammenfassung

Nicht immer klassifizieren Prüfer der unterschiedlichen Patentämter ähnliche technische Sachverhalte gleich oder ähnlich. Im Rahmen der Diplomarbeit „Die Klassifikation technischer Schutzrechte“ von Michael Beyer wurde unter anderem untersucht, ob das Deutsche Patent- und Markenamt (DPMA) im Bereich Medizintechnik bevorzugt anwendungsorientierte und das Europäische Patentamt (EPA) funktionsorientierte Klassifikationen vergeben. Dazu wurde die Klassifizierung von DE- und EP-Familienmitgliedern statistisch nach ausgewählten Haupt- und Untergruppen ausgewertet. Die Ergebnisse zu den untersuchten Familienmitgliedern lassen nicht die Schlussfolgerung zu, dass das DPMA anwendungsorientiert und das EPA eher funktionsorientiert klassifizieren. Dazu sind weitere Untersuchungen nötig. Wichtig ist hierbei, einen inhaltlichen Bezug zwischen DE- und EP-Schriften herzustellen, um eine statistische Auswertung zu ermöglichen.

Abstract

Examiners of different patent offices do not always classify similar technical subjects in a same way. As part of the thesis “The Classification of Industrial Rights” from Michael Beyer amongst other things it was investigated concerning the medical field, whether the German Patent and Trademark Office (DPMA) prefers giving the classification based on an application-oriented approach, whereas the European Patent Office (EPO) classifies based on a function-oriented approach. For this analysis, DE- and EP-family members were evaluated statistically according to selected main- and subgroups. The results regarding the respective family members do not allow the conclusion that the DPMA preferably classifies application-oriented and the EPO function-oriented. Therefore, further studies are required. A significant aspect when doing so, is that there has to be a significant reference in respect to the content between the DE- and EP-documents in question, in order to enable a statistical analysis.

1 Einleitung

Bei technischen Recherchen wird man öfter damit konfrontiert, dass Patentanmeldungen bzw. -erteilungen aus ähnlichen technischen Bereichen unterschiedlich klassifiziert werden. Sogar bei Patentfamilienmitgliedern, die den gleichen technischen Inhalt beschreiben, können unterschiedliche Klassifikationen auftreten. Diese Thematik untersucht dieser Aufsatz näher. Auf Anregung von Dr. Arno Harth, Prüfer am DPMA, wurde der Bereich der anwendungs- und funktionsorientierten Klassifikationen, Schwerpunkt Medizintechnik, ausgewählt. Klassifizieren die Patentämter hier unterschiedlich? Für den Vergleich bieten sich das DPMA und das EPA an. Es wurde untersucht, ob die Prüfer am DPMA bevorzugt die anwendungsorientierten Haupt- und Untergruppen

A61B5, A61B6 und A61B8 aus der Unterklasse *Diagnostik; Chirurgie; Identifizierung* und die Prüfer des EPA eher die funktionsorientierten Haupt- und Untergruppen G01R19 und G01R29 aus der Unterklasse *Messen elektrischer Größen; Messen magnetischer Größen* nutzen.

Lässt sich eine Tendenz feststellen? Klassifiziert das DPMA eher anwendungsorientiert und das EPA mehr funktionsorientiert? Falls ja, wird es Recherchen zum Stand der Technik erleichtern, da je nach Sachlage anwendungsorientierte oder funktionsorientierte Klassifikationen in der Recherchestrategie eingesetzt werden können.

2 Klassifikation

Gebrauchsmuster und Patente werden nach technischen Gebieten klassifiziert. Diese Zuordnung nennt man Internationale Patentklassifikation (IPC) und wird weltweit bei über 95 Prozent der Patentanmeldungen genutzt und auf den Veröffentlichungen angegeben.¹ Gleichzeitig nutzen die Prüfer der Patentämter und Rechercheure in Unternehmen und Institutionen die IPC bei Recherchen. Die IPC umfasst mehr als 70.000 Stellen, eingeteilt nach Sektionen, Klassen, Unterklassen, Hauptgruppen und Untergruppen mit zusätzlicher Punktehierarchie. Abbildung 1 zeigt ein Beispiel in der Sektion *Alltäglicher Lebensbedarf*, mit der Klasse *Medizin oder Tiermedizin; Hygiene*, der Unterklasse *Diagnostik; Chirurgie; Identifizierung*, der Hauptgruppe *Messen zu diagnostischen Zwecken*, und der 1-Punkt-Untergruppe *Messen des Pulses, ...*

A	Sektion A – Täglicher Lebensbedarf
A61	Medizin oder Tiermedizin; Hygiene
A61B	Diagnostik; Chirurgie; Identifizierung (Analysieren biologischer Stoffe G01B , z.B. G01B 3/3748)
A61B 5/00	Messen zu diagnostischen Zwecken (Strahlendiagnose A61B 5/00 ; Diagnose mit Hilfe von Ultraschall-, Schall- oder Infrarotwellen A61B 8/00 ; Identifizieren von Personen [1, 2006.01])
A61B 5/02	Messen des Pulses, des Herzschlages, des Blutdruckes oder der Blutströmung; kombiniertes Bestimmen von Puls, Herzschlag und Blutdruck; Auswerten des Zustandes der Herzkreisläufe, soweit nicht anderweitig vorgesehen, z.B. Anwenden von Kombinationsverfahren, die in dieser Gruppe vorgesehen sind, mit Elektrokardiografie; Herzkatheter für Blutdruckmessung [1, 9, 2006.01]

Abbildung 1: Einteilungen der IPC²

In der Recherche nutzt man vor allem die Haupt- und Untergruppen, weniger die übergeordneten Bereiche. Wie im Beispiel, Abbildung 1, zu sehen, beschreiben die Haupt- und Untergruppen wesentlich feiner die technischen Details. Neben der IPC existieren noch weitere, meist feinere unterteilte Patentklassifikationen, die nur von bestimmten Patentämtern vergeben werden und zum Teil auch auf den Veröffentlichungen der Patentanmeldungen wie -erteilungen erscheinen. So ordnet das japanische Patentamt (JPO) File-Index und F-Terms zu, das Europäische Patentamt (EPA) die Cooperative Patent Classification (CPC). Dabei wird die japanische Klassifikation auf den japanischen Veröffentlichungen aufgeführt, die CPC wird dagegen nicht auf den europäischen Schriften veröffentlicht. Das Patent- und Markenamt der USA (USPTO) verwendet auch die CPC, die neben der IPC auch auf den US-Dokumenten auftaucht. In der Suche, abhängig von der jeweiligen Patentdatenbank, sind die meisten Klassifikationen recherchierbar.

Haupt- und Nebenklassen

Wird ein Patent bei einem Patentamt angemeldet, werden dem Dokument eine oder mehrere Klassifikationen zugeordnet. Dabei unterscheidet man beim DPMA zwischen Haupt- und Nebenklassen.³ Die Hauptklasse entspricht dem Schwerpunkt des technischen Inhalts der Schrift. Nebenklassen beschreiben weitere technische, relevante Inhalte.⁴ Auf der Veröffentlichung wird die Hauptklasse kursiv und fett gedruckt und die Nebenklassen erscheinen

in kleiner Schrift, aber auch fett. Ein Beispiel ist in Abbildung 2 zu sehen mit der A61b5/103 als Hauptklasse und der G01B11/16 als Nebenklasse.



Abbildung 2: DE 102007046826

Beim EPA steht die wichtigste Klasse als erste in der Reihe, dann folgen die anderen. Auf dem Originaldokument in Abbildung 3 ersichtlich: zuerst die G01B21/32, dann die A61B5/11 auf dem Originaldokument, jeweils fett und kursiv.



Abbildung 3: EP 2167913, Inpadoc-Familienmitglied zur DE 102007046826

Dabei unterscheidet das EPA aber prinzipiell nicht zwischen Haupt- und Nebenklassen. Es ist nur in der Reihenfolge der Klassifikationen auf der Schrift nachvollziehbar.⁵ In den Patentdatenbanken INPADOCDB und INPAFAMDB⁶, verfügbar über den Datenbankanbieter STN⁷, sind die Hauptklassen in den Feldern ICM bzw. IPC.F suchbar.

Dabei steht ICM für die Ausgabe der IPC 1-7 und die IPC.F für die Ausgabe der IPC 8.⁸ Das Handbuch von Inpadoc ergänzt dazu. „Im alten IPC-System, IPC 1-7, wurde eine Patentpublikation obligatorisch mit einer Hauptnotation klassifiziert. Im neuen IPC-System gibt es keine Hauptnotation mehr, die Patentämter haben jedoch die Möglichkeit, ein Invention-Symbol mit der Angabe FIRST oder LATER zu versehen. Die Verwendung und Bedeutung von FIRST ist abhängig von dem jeweiligen Patentamt und ist nur bedingt mit einer Hauptnotation vergleichbar. Am Anfang haben sich nicht viele Ämter daran beteiligt, den Hauptaspekt durch das FIRST zu kennzeichnen. Es wurde aber inzwischen vereinbart, diese Kennzeichnung wieder einzuführen (außer Italien und Israel); eine Umsetzung dieser Vereinbarung steht aber noch an!“⁹ Somit kann davon ausgegangen werden, dass mit der 8. Ausgabe der

IPC die Hauptklassen mit dem Feld First recherchierbar sind. Die Daten aus INPADOC (siehe Abb. 4, 5 und 6) zeigen, dass die IPC-Symbole bei Main wie First in der Reihenfolge erscheinen, wie sie auf den Originaldokumenten stehen.¹⁰

```
=> d L3 pi ipc.tab 1
```

L3	ANSWER 1 OF 1	INPADOCDB COPYRIGHT 2015 EPO/FIZ KA on STN
PI	DE 102007046826	A1 20090122
PI	DE 102007046826	B4 20140102

IPC	CODE	VERSION	POS	INV	LEVEL	CC	ASSIGNMENT	DATE	STAT
IPCI	A61B0005-103	(200601)	F	I	Advanced	DE	Human	20070926	O
	G01B0011-16	(200601)	L	I	Advanced	DE	Human	20070926	O
	A61B0005-103	(200601)	F	I	Advanced	DE	Human	20140102	O
	G01B0011-16	(200601)	L	I	Advanced	DE	Human	20140102	O

Abbildung 4: Analyse der vergebenen IPC-Symbole bei DE 102007046826; F für FIRST

L2	ANSWER 1 OF 1	INPADOCDB COPYRIGHT 2015 EPO/FIZ KA on STN
PI	EP 2167913	A1 20100331
PI	EP 2167913	B1 20110525

IPC	CODE	VERSION	POS	INV	LEVEL	CC	ASSIGNMENT	DATE	STAT
IPCI	G01B0021-32	(200601)	F	I	Advanced	EP	Human	20101129	O
	A61B0005-11	(200601)	L	I	Advanced	EP	Human	20101129	O

Abbildung 5: Analyse der vergebenen IPC-Symbole bei EP 2167913; F für FIRST

L9	ANSWER 81 OF 197	INPADOCDB COPYRIGHT 2015 EPO/FIZ KA on STN
PI	DE 10217543	A1 20031106
PI	DE 10217543	B4 20121206

IPC	CODE	VERSION	POS	INV	LEVEL	CC	ASSIGNMENT	DATE	STAT
ICM	A61B005-145	(7)							
ICS	A61B003-12	(7)							
	G01N021-47	(7)							
	G01N021-55	(7)							
	G01N033-49	(7)							
IPCI	A61B0005-145	(200601)	F	I	Advanced	DE	Human	20121206	O
	A61B003-12	(200601)	L	I	Advanced	DE	Human	20121206	O
	G01N0021-47	(200601)	L	I	Advanced	DE	Human	20121206	O
	G01N0021-55	(200601)	L	I	Advanced	DE	Human	20121206	O
	G01N0033-49	(200601)	L	I	Advanced	DE	Human	20121206	O
IPCR	A61B0005-00	(200601)	-	I	Advanced	EP	Machine	20051008	R

Abbildung 6: Analyse der vergebenen IPC-Symbole bei DE 10217543; M für Main

Funktions- und anwendungsorientierte Klassifikationen

Die IPC differenziert zwischen funktions- und anwendungsorientierten Klassifikationen. Anwendungsorientierte Klassifikationen können zum Einsatz kommen, wenn in der Patentanmeldung direkt auf ein bestimmtes Anwendungsgebiet hingewiesen wird oder für den Erfindungsgegenstand nur ein sinnvolles Anwendungsgebiet verfügbar ist.¹¹ Eine typische anwendungsorientierte Klassifikation ist die Unterklasse A61B mit Haupt- und Untergruppen, bei der es sich um den Bereich *Diagnostik; Chirurgie; Identifizierung* handelt. So können beispielsweise Patente, die als Erfindungsgegenstand Endoskope behandeln, in diese Unterklasse eingeteilt werden, da für solche technischen Geräte keine andere anwendungsorientierte Klassifikation existiert.

Abbildung 7 zeigt den Anspruch 1 und 2 aus der Patentanmeldung DE 102013205461 für eine anwendungsorientierte Klassifikation.

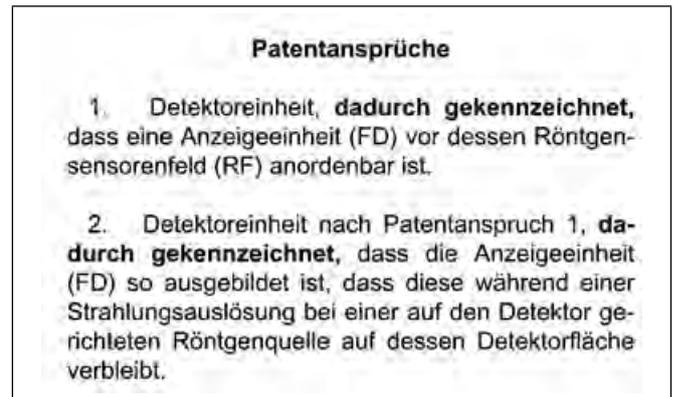


Abbildung 7: DE 102013205461 Auszug aus einer anwendungsorientierten Patentanmeldung

Es wird eine Detektoreinheit beschrieben, die eine Anzeigeeinheit besitzt, die vor das Röntgensensorenfeld angeordnet wird. Klassifiziert wird in diesem Fall in die Hauptgruppe A61B6/00: *Einrichtungen zur Strahlendiagnose, z. B. verbunden mit Einrichtungen zur Strahlentherapie*.

Als weiteres Beispiel (siehe Abb. 8 und 9) zwei Patentfamilienmitglieder, wobei die DE-Schrift mit einer anwendungsorientierten Hauptklasse A61B5/055 und einer funktionsorientierten Nebenklasse G01R33/54 gekennzeichnet ist.



Abbildung 8: DE 102011084867 mit anwendungsorientierter Klassifikation

Auf die deutsche Patentanmeldung wurde eine europäische Patentanmeldung EP2584370 eingereicht und die Priorität der deutschen Patentanmeldung beansprucht und dabei die funktionsorientierte G01R33/54 zugeordnet (siehe Abb. 9).



Abbildung 9: EP 2584370 mit funktionsorientierter Klassifikation

Obwohl es sich in beiden Patentdokumenten exakt um denselben Erfindungsgegenstand handelt, wurden die Patentanmeldungen verschieden klassifiziert. Die Inhalte der EP A1 und DE A1 stimmen überein. In der DE B4 wurde der Hauptanspruch leicht verändert. Das deutsche Patent beinhaltet noch die Nebeklasse G01R 33/54. Aber diese stimmt nicht mit der Klassifikation des EPA überein. So beinhaltet die Nebeklasse G01R 33/54 das Technikgebiet *Anordnungen oder Instrumente zum Messen magnetischer Größen mit Spinresonanz unter Verwendung von Kernspinresonanz mit NMR-bildgebenden Systemen durch Signalverarbeitungs-Systeme, z. B. von Pulsfolgen*. Während die Klassifikation G01R 33/563 in der Europäischen Patentanmeldung das Technikgebiet noch erweitert: *Anordnungen oder Instrumente zum Messen magnetischer Größen mit Spinresonanz unter Verwendung von Kernspinresonanz mit NMR-bildgebenden Systemen durch Signalverarbeitungs-Systeme, z. B. von Pulsfolgen mit Bildverbesserung oder -korrektur, z. B. Subtraktions- oder Mittelungsverfahren bei bewegtem Untersuchungsmaterial, z. B. Flusskontrast-Angiografie*. Interessant ist, dass bei der übergeordneten G01R 33/20 *Anordnungen oder Instrumente zum Messen magnetischer Größen mit Spinresonanz* ein Querverweis auf die A61B 5/055 mit *Messen zu diagnostischen Zwecken mittels elektrischer Ströme oder magnetischer Felder unter Verwendung von Elektronenspinresonanz [ESR] oder Kernspinresonanz [NMR], z. B. Kernspintomografie [5, 2006.01]* erscheint, die in der DE-Schrift als anwendungsorientierte Hauptklasse angegeben ist. Abbildung 10 führt die verschiedenen Klassifizierungen (Spalten 6 und 7) der einzelnen fünf Mitglieder der Inpadoc-Familie DE 102011084867 auf. Drei Familienmitglieder besitzen die gleiche Hauptklasse.

Nr.	Auswahl	Veröffentlichungsnummer	Anmelde-datum	Klassif.-Nummer	IPC-Hauptklasse	IPC-Nebeklassen	Publikations-IPC (Publ.)	Publ.-Jahr
1		EP 1825132 B2	09.11.2011	34.07.2014	A61B 5/055	G01R 33/54	A61B 5/055 G01R 33/54	2018 2018
2		EP 3301206 A1	09.11.2011	05.04.2018	A61B 5/055	G01R 33/54	A61B 5/055 G01R 33/54	2018 2018
3		EP 3000258 A1	17.12.2012	24.04.2013	G01R 33/563		G01R 33/563	2018 2018
4		DE 102011084867 A1	19.10.2011	25.04.2013	A61B 5/055		A61B 5/055	2018 2018
5		DE 102011084867 A1	19.10.2011	25.04.2013	G01R 33/563	G01R 33/54 G01R 33/563	G01R 33/563 G01R 33/54 G01R 33/563	2018 2018 2018

Abbildung 10: Patentfamilie der DE 102011084867¹²

3 Vorgehensweise

Untersuchte Klassifikationen

Es werden die anwendungsorientierten Hauptgruppen und Untergruppen im Bereich A61B „Diagnostik; Chirurgie; Identifizierung“ im Vergleich zu den funktionsorientierten Hauptgruppen und Untergruppen der Unterklasse G01R *Messen elektrischer Größen; Messen magnetischer Größen* untersucht. Dabei wurden folgende anwendungsorientierte Hauptgruppen mit Untergruppen aus der Unterklasse *Diagnostik; Chirurgie; Identifizierung* ausgewählt:

- A61B5 mit Untergruppen – *Messen zu diagnostischen Zwecken (Strahlendiagnose A61B 6/00; Diagnose mithilfe von Ultraschall-, Schall- oder Infraschallwellen A61B 8/00); Identifizieren von Personen [1, 2006.01]*
- A61B6 mit Untergruppen – *Einrichtungen zur Strahlendiagnose, z. B. verbunden mit Einrichtungen zur Strahlentherapie (Instrumente zum Messen der Strahlungsintensität auf dem Gebiet der Nuklearmedizin, z. B. Invivo-Zählung, Go1T 1/161; Geräte zum Herstellen von Röntgenstrahlphotografien Go3B 42/02) [1, 2006.01]*
- A61B8 mit Untergruppen – *Diagnose unter Anwendung von Ultraschall-, Schall- oder Infraschallwellen [4, 2006.01]*

Analyse nach Hauptklassen

Die statistische Auswertung erfolgt nach Hauptklasse ICM bzw. nach der zuerst vergebenen Klassifikation FIRST. Die Patentdatenbank INPADOCDB bietet über STN das Feld ICM oder das Feld IPC.F an.

Inhaltlicher Bezug

Um die Fragestellung beantworten zu können, ist es nötig, einen qualitativen, also inhaltlichen Bezug zwischen den

Patentdokumenten herzustellen, ohne jedes Dokument einzeln auswerten zu müssen. Der Bezug über Patentfamilienmitglieder bietet sich an: EP- und DE-Dokumente sollten Teil einer Patentfamilie sein. Durch Nutzung der Datenbanken INPADOCDB und INPAFAMDB ist die Familie über die Inpadoc-Definition vorgegeben: „Eine Inpadoc-Patentfamilie umfasst alle Dokumente, die über mindestens eine gemeinsame Prioritätsunterlage direkt oder indirekt (z. B. über ein drittes Dokument) zueinander in Beziehung stehen. Hierzu gehören alle Patentdokumente, die auf eine bei einem Patentamt als Erstanmeldung eingereichte Patentanmeldung und auf die innerhalb der Prioritätsfrist bei einem Patentamt in einem anderen Land eingereichte Patentanmeldung gleichen Inhalts zurückgehen.“¹³ Das Prioritätsland sollte Deutschland sein, um sicherzugehen, dass zuerst die Prüfer des DPMA klassifizieren.

Genutzte Datenbanken

Die Datenbank INPADOC wird als INPADOCDB und INPAFAMDB beim Anbieter STN genutzt. Das Retrieval bietet die Möglichkeit, auf die Hauptklassen mit entsprechenden Feldern zugreifen zu können. Die Analyse nach Familienmitgliedern ist durch den möglichen Transfer der Patentnummern von INPADOCDB nach INPAFAMDB und umgekehrt gewährleistet.

4 Analyse

Recherche DE-Schriften – Analyse EP-Familienmitglieder

Es wird nach den genannten Hauptgruppen mit Untergruppen als Hauptklasse einmal im Feld ICM und einmal im Feld IPC.F bei DE-Dokumenten mit Deutschland als Prioritätsland recherchiert. Anschließend werden die Hauptklassen wieder getrennt nach ICM und IPC.F bei den EP-Familienmitgliedern statistisch ausgewertet. Die Trennung ist sinnvoll, um die Ergebnisse übersichtlich darzustellen.

Hauptklassen A61B5, A61B6 und A61B8 mit Untergruppen

Die Tabellen 1 und 2 führen alle Ergebnisse zu den Klassifikationen A61B5, A61B6 und A61B8 mit Untergruppen auf.¹⁴ Die Tabelle 1 enthält die Daten zur IPC 1-7 und die Tabelle 2 die Daten zur IPC 8. In Tabelle 1 sind die EP-Familienmitglieder zu über 60 Prozent der A61B5, A61B6 und A61B8 mit Untergruppen, also der Ausgangsklassifikation der DE-Dokumente, zugeordnet. In Tabelle 2 ergibt sich eine ähnliche Verteilung wie in Tabelle 1. Nur bei der A61B6 werden die EP-Familienmitglieder zu 46 Prozent mit der A61B6 und zu 23 Prozent mit der A61B5 klassifiziert. Die funktionsorientierte Unterklasse G01R mit Untergruppen wird nicht schwerpunktmäßig vergeben.¹⁵

Tabelle 1: Analyse der EP-Familienmitglieder, IPC 1-7

	ICM					
DE	A61B5	>1 % ¹⁶	A61B6	> 1%	A61B8	alle
	% Dok	ICM	% Dok	ICM	% Dok	ICM
% Anteil EP	69,31	A61B0005	66,56	A61B0006	66,15	A61B0008
	3,77	A61N0001	8,61	A61B0005	15,38	A61B0017
	2,52	G01R0033	3,64	A61B0017	4,62	G01S0007
	1,38	G06F0017	3,64	H05G0001	3,08	A61B0001
	1,26	A61M0005	3,31	G03B0042	3,08	A61B0005
	1,01	G01N0021	2,65	G06T0011	1,54	A61B0007
	1,01	G01N0033	1,66	A61B0019	1,54	A61B0010
	1,01	A61M0001	1,32	A61B0001	1,54	A61D0017
	1,01	G01N0024	1,32	G01N0023	1,54	A61K0049
	1,01	G06F0019	1,32	G03B0041	1,54	A61M0001
			0,99	G01N0021	1,54	A61M0005
			0,99	G01T0001	1,54	G01N0029
			0,99	G21K0001	1,54	G01S0005
					1,54	G01S0015
					1,54	G10K0011

Tabelle 2: Analyse der EP-Familienmitglieder, IPC 8

	IPC.F					
DE	A61B5	> 1 %	A61B6	alle	A61B8	alle
	% Dok	IPC.F	% Dok	IPC.F	% Dok	IPC.F
% Anteil EP	74,37	A61B0005	45,95	A61B0006	62,5	A61B0008
	5,58	A61N0001	23,42	A61B0005	12,5	A61B0017
	1,52	G01N0033	5,41	A61B0001	6,25	A61B0005
	1,02	G06F0017	3,6	A61N0005	6,25	A61C0009
	1,27	A61B0001	3,6	G01N0021	6,25	G01R0033
	1,02	G01B0011	2,7	G06F0017	6,25	G01S0007
	1,02	G01R0033	2,7	G06T0011		
	0,76	H04R0025	1,8	G01T0001		
	1,27	G06F0019	1,8	A61B0019		
	1,02	G06K0009	1,8	G01N0023		
			1,8	G06T0007		
			0,9	A61F0005		
			0,9	G06T0015		
			0,9	H04L0001		
			0,9	B25J0009		
			0,9	G02B0021		
			0,9	G06T0001		

Recherche EP-Schriften – Analyse DE-Schriften

Hauptgruppen G01R19 und G01R29

Es wird nach den genannten funktionsorientierten Hauptgruppen mit Untergruppen G01R19 und G01R29 als Hauptklasse bei EP-Dokumenten mit Deutschland als Prioritätsland recherchiert. Anschließend erfolgt eine statistische Auswertung der Hauptklassen bei den DE-Familienmitgliedern. Die Ergebnisse sind den Tabellen 3 und 4 zu entnehmen.¹⁷ Die anwendungsorientierten

Klassifikationen sind vom DPMA nicht ausgewählt worden. Es ist eine Streuung über die G- und H-Sektion zu erkennen. Zu über 50 Prozent wurden bei den DE-Familienmitgliedern die gleiche Hauptklasse wie bei den EP-Dokumenten vergeben.

Tabelle 3: Analyse der DE-Familienmitglieder, IPC 1-7

	ICM			
EP	G01R19	>0,45 %	G01R29	alle
	% Dok	ICM	% Dok	ICM
% Anteil DE	58,23	G01R0019	56,67	G01R0029
	6,83	G01R0015	12,22	G01R0031
	4,02	G01R0031	3,33	G01R0033
	1,61	G01D0005	2,22	G01R0019
	1,61	H02H0003	2,22	G01R0023
	1,2	G06F0001	2,22	H04B0017
	1,2	G01D0021	1,11	G01C0001
	1,2	G01N0027	1,11	G01C0022
	1,2	G01R0017	1,11	G01J0005
	1,2	H03K0005	1,11	G01K0007
	0,8	G01R0001	1,11	G01M0013
	0,8	G01R0022	1,11	G01R0017
	0,8	G01R0023	1,11	G01R0027
	0,8	G01R0033	1,11	H01L0021
	0,8	G01R0035	1,11	H01P0003
	0,8	H03G0011	1,11	H01Q0017
	0,8	H03K0017	1,11	H01R0017
			1,11	H03K0005
			1,11	H04B0003
			1,11	H04B0015
			1,11	H04L0025

Tabelle 4: Analyse der DE-Familienmitglieder, IPC 8

	IPC.F			
EP	G01R19	alle	G01R29	alle
	% Dok	IPC.F	% Dok	
% Anteil DE	57,41	G01R0019	71,05	G01R0029
	8,33	G01R0031	7,89	G01R0031
	2,78	G01D0021	2,63	G01M0013
	2,78	G01R0015	2,63	E04H0005
	2,78	H01H0047	2,63	G01R0033
	1,85	G01N0027	2,63	G08C0017
	1,85	B60R0016	2,63	H02J0013
	1,85	G05B0019	2,63	H04B0017
	1,85	H02J0013	2,63	H04M0001
	1,85	H02P0006	2,63	H04R0019
	0,93	F02D0041		
	0,93	G01D0001		
	0,93	G01R0021		
	0,93	G01R0023		
	0,93	G01R0033		
	0,93	G01R0035		
	0,93	G06F0003		
	0,93	G08C0019		
	0,93	H01M0008		
	0,93	H01M0010		
	0,93	H02G0003		
	0,93	H02H0003		
	0,93	H02H0007		
		

5 Fazit und Ausblick

Die Untersuchungen ergaben, dass zu über 60 Prozent die Klassifikationen der EP-Familienmitglieder in der Ausgangsklassifikation bleiben. Auch die DE-Familienmitglieder bleiben im Bereich der funktionsorientierten Klassifikationen und wechseln nicht zu den anwendungsorientierten Bereichen. Es gab keine signifikanten Unterschiede bei der Vergabe anwendungsorientierter oder funktionsorientierter Klassifikationen durch das DPMA oder EPA. Daher sind weitere Analysen zu dieser Fragestellung sinnvoll. Wichtig ist es hierbei, einen inhaltlichen Bezug zwischen DE- und EP-Schriften herzustellen, um eine statistische Auswertung zu ermöglichen. Insofern könnten Zitationsrecherchen weitere Erkenntnisse liefern.

Danksagung

Ich möchte mich bedanken

- bei Dr. Arno Harth für die von ihm erhaltene Unterstützung, für die Betreuung des Diplomanden als Zweitprüfer und den regen fachlichen Austausch zu spannenden Fragestellungen, die sich im Laufe seiner langjährigen Erfahrung als Patentprüfer am DPMA ergaben und damit auch das Thema für die Diplomarbeit und diesen Artikel lieferten,
- und bei STN und FIZ Karlsruhe für die Bereitstellung der Patentdatenbanken (Hochschulprogramm LIS) und die schnelle und kompetente Unterstützung durch den Helpdesk.

Fußnoten

1. Vgl. Wagner, Thieler, S. 173.
2. DEPATISnet: <https://depatisnet.dpma.de/ipc/ipc.do> (abgerufen am 11.8.2015)
3. Vgl. DPMA (2014b), S. 1.
4. Vgl. DPMA (2014b), S. 2.
5. Vgl. DPMA (2014a), Kap. XII, Abschnitt 156.1.
6. „In INPADOCDB bestehen die Records aus allen Veröffentlichungen der jeweiligen Publikationsfolgen/Dokumenten einer Patentanmeldung aus einem Land. In INPAFAMDB bestehen die Records aus allen Publikationen einer Patentfamilie.“ STN: INPADOCDB-INPAFAMDB Handbuch, S. 6.
7. STN ist ein Informationsanbieter mit über 200 Datenbanken aus den Bereichen Chemie, Patente etc. url: <http://www.stn-international.de>.
8. Vgl. STN: INPADOCDB-INPAFAMDB Handbuch, S. 31.
9. STN: INPADOCDB-INPAFAMDB Handbuch, S. 35.
10. Recherche in INPADOCDB (STN) am 13.8.15.
11. Vgl. DPMA (2014a), Kap. VIII, Abschnitt 85 – 87.
12. Quelle DEPATISnet: Suche am 11.8.15.
13. http://worldwide.espacenet.com/help?locale=de_EP&method=handleHelpTopic&topic=patentfamily (abgerufen am 11.8.2015).
14. Recherche in den Datenbanken INPADOCDB und INPAFAMDB (STN) am 1.3.2015.
15. In den Tabellen sind die anwendungsorientierten Klassifikationen gelb markiert, die funktionsorientierten grün.
16. Gibt an, ab welchen Prozentwerten die Daten in die Tabellen aufgenommen wurden.
17. Recherche in den Datenbanken INPADOCDB und INPAFAMDB (STN) am 1.3.2015.

Literaturverzeichnis

Deutsches Patent- und Markenamt: *Handbuch zur IPC* (2014a). Online verfügbar unter http://www.dpma.de/docs/service/klassifikationen/ipc/handbuch_ipc2014.pdf, zuletzt geprüft am 14.8.2015.

Deutsches Patent- und Markenamt: *Richtlinien zur Durchführung der Klassifizierung von Patent- und Gebrauchsmusteranmeldungen* (2014b). Online verfügbar unter <http://www.dpma.de/docs/service/formulare/patent/p2733.pdf> zuletzt geprüft am 14.8.2015

STN: *INPADOCDB, INPAFAMDB-Handbuch* (2010). Online verfügbar unter http://www.stn-international.de/fileadmin/be_user/STN/pdf/search_materials/patents/INPADOCDB_INPAFAMDB_hb_1002.pdf, zuletzt geprüft am 14.8.2015

Wagner, Michael H.; Thiel, Wolfgang (2007): *Wegweiser für den Erfinder. Von der Aufgabe über die Idee zum Patent*. 3. Aufl. Berlin, Heidelberg: Springer.

Kontakt:



Prof. Dr. Ursula Versch

Ostbayerische Technische
Hochschule (OTH) Amberg-Weiden
Fakultät Maschinenbau/Umwelttechnik
Kaiser-Wilhelm-Ring 23
92224 Amberg

u.versch@oth-aw.de



Dipl.-Ing. (FH) Michael Beyer

Absolvent des Studiengangs Patentingenieurwesen
Sommersemester 2015

Ostbayerische Technische
Hochschule (OTH) Amberg-Weiden
Fakultät Maschinenbau/Umwelttechnik

Hygiene und Medizintechnik – Analyse des Potenzials der Infektionsprävention durch technische Maßnahmen

Dr. rer. nat. Sebastian Buhl
Nicole Eschenbecher
Kristin Albrecht
Simon Woppert, B. Eng.
Sabine Hentschel, B. Eng.
Benjamin Rußwurm, B. Eng.
Prof. Dr. med. Clemens Bulitta

Zusammenfassung

Durch den starken Anstieg multiresistenter Keime in Kliniken weltweit gewinnt die Infektionsprävention immer mehr an Bedeutung. Aktuellen Untersuchungen der European Society of Clinical Microbiology and Infectious Diseases (ECMID) zufolge sind in Europa jährlich rund 1,8 Millionen Fälle an nosokomialen Infektionen, davon in etwa 180.000 Fälle mit Todesfolge, zu verzeichnen.

Um potenzielle Infektionsrisiken für den Patienten zu verringern, sind auch technische Lösungen und Verbesserungen für die zahlreichen eingesetzten Medizinprodukte und Technologien erforderlich. Dies ist zunehmend ein Thema für Hersteller und Behörden und es gibt bereits erste Ansätze. So wird versucht durch Lüftungssysteme die Keimbelastung am Patienten während eines operativen Eingriffs so gering wie möglich zu halten. Zudem kommen in den Kliniken immer mehr speziell entwickelte medizintechnische Produkte zum Einsatz, welche entweder eine verbesserte Reinigbarkeit aufweisen oder antimikrobiell beschichtet sind. Weiterentwicklungen der Aufbereitungsprozesse, insbesondere für nicht steril oder keimarm zur Anwendung kommende Medizinprodukte mit Fokus auf Reinigung und Desinfektion, sind ein weiterer wichtiger Teil möglicher Präventionsmaßnahmen. Hier ist z. B. die relativ junge Technologie der Raumdekontamination mit Wasserstoffperoxid zu nennen.

Die oben genannten Ansätze und Technologien besitzen ein großes Potenzial zur Vermeidung nosokomialer Infektionen. Eine erste Aussage über die Qualität dieser hygienischen Verbesserungen kann durch mikrobiologische Standardmethoden getroffen werden. Mittels Luftkeimmessungen und Wirksamkeitsstudien lässt sich auf diese Weise der Nutzen für den Patienten und das klinische Personal einschätzen und es können Optimierungsmöglichkeiten erarbeitet werden. Dies ist ein zentraler Arbeitsgegenstand der Arbeitsgruppe Hygiene und Medizintechnik an der OTH Amberg-Weiden.

Abstract

By the strong increase of multi-resistant germs in medical centers the infection prevention becomes more and more important worldwide. Latest investigations of the European Society of Clinical Microbiology and Infectious Diseases (ECMID) revealed about 1.8 million cases of nosocomial infections in Europe with approximately 180,000 cases of death yearly.

To reduce potential infection risks for the patient also technical solutions and improvements are necessary for the numerous medical-technical products and technologies that are used. This is an increasing topic for manufacturers and the government and there are already first attempts. Thus, it is tried to reduce the germ load nearby the patient during the surgical intervention by air ventilation systems. Besides more and more especially developed medical-technical products are used in the medical centers which either show an improved cleanability or have an antimicrobial coating. Advancements in the preparation of notably non-sterile and low-germ used medical-technical products with focus on cleaning and disinfection are another important part of possible prevention measures. Here is to mention for example the relatively young technology of room-decontamination with hydrogen peroxide.

The above-mentioned approaches and technologies have big potential for the avoidance of nosocomial infections. A first statement about the quality of these hygienic improvements can be made by microbiological standard methods. By air sampling measurements and effectiveness studies the use for the patient and the clinical staff can be estimated in this manner and optimization possibilities can be compiled. This is a major subject of the workgroup hygiene and medical technology at Ostbayerische Technische Hochschule Amberg-Weiden.

Einleitung

Die Gefahren nosokomialer Infektionen haben große Bedeutung bezüglich des postoperativen Genesungsverlaufs und der Krankenhaushygiene im Allgemeinen. Veröffentlichungen des Robert-Koch-Instituts (RKI) zufolge erkrankten in Deutschland im Jahr 2008 ca. 225.000 Patienten an postoperativen Wundinfektionen.^[1] Hierbei spielen die sogenannten Multiresistenten Erreger (MRE) eine immer größere Rolle, da eine Infektion mit diesen Erregern immer auch zu einer eingeschränkten Therapiemöglichkeit für den Patienten führt. Das Robert-Koch-Institut (RKI) stellt daher in seinem Bericht über das 3. Treffen des MRE-Netzwerks 2011 auch fest, dass eine fachgerechte Infektprävention für den Patienten dringend erforderlich ist.^[2]

Mögliche Ansätze zur Prävention nosokomialer Infektionen lassen sich in drei Bereiche unterteilen. Der erste Bereich umfasst die Aufbereitung und Entkeimung der Raumluft mittels Raumlufttechnischer Anlagen (RLT). Grundsätzlich ist es z. B. wichtig, dass Partikel oder Erreger nicht von außen in den OP-Saal gelangen, damit eine mögliche Kontamination mit Keimen für den Patienten, das OP-Personal oder das medizinische Inventar ausgeschlossen werden kann. Eine Rolle spielt hierbei auch das optimale Design der medizintechnischen Geräte im Operationssaal (z. B. OP-Lampen), da diese mit den Lüftungssystemen interferieren können. Der Raum muss als ein Gesamtsystem betrachtet werden.

Ein zweiter Weg der Infektprävention liegt in der Herstellung von hygienisch optimal „konstruierten“ oder sogar von „per se“ antimikrobiellen medizintechnischen Produkten. Im ersten Fall wurden die Anforderungen der Reinigung und Desinfektion, also der Aufbereitung, bestmöglich berücksichtigt. Im zweiten Fall erfolgt die Ausstattung von Materialien mit antimikrobiell wirksamen Substanzen. Die antimikrobiell aktiven Oberflächen wurden in den letzten Jahren weiterentwickelt und basieren nicht mehr nur auf den klassischen Silberbeschichtungen, sondern basieren mit den sauren (AmISTec-Technologie) oder fotokatalytischen Oberflächen auf neuen Technologien. Das Risiko einer Übertragung von Erregern vom medizintechnischen Gerät auf den Patienten bzw. mit dem Personal als Transportmedium kann so minimiert werden. Da außerdem die Verwendung innovativer Technologien und somit die Nutzung von Touchscreens und Smartphones im klinischen Umfeld weiter zunimmt, stellt die Übertragung dieser antimikrobiellen Technologien, z. B. auf Schutzfolien für solche Geräte, einen zusätzlichen Sicherheitszugewinn dar.

Eine weitere Möglichkeit für den Schutz des Patienten vor einer Krankenhausinfektion sind Konzepte der verbesserten Reinigung und Dekontamination. In erster Linie betrifft dies, wie oben bereits kurz angesprochen, Designentscheidungen bei der Entwicklung medizintechnischer

Produkte. Hierbei sollten im Rahmen einer systematischen „Hygiene-Risikoanalyse“ Problemstellen identifiziert und vermieden werden (unebene Oberflächen, Rollen, Spalten etc.).^[3] Eine weitere relativ junge Technologie in diesem Zusammenhang sind Geräte zur kompletten Raumdekontamination. Bei diesen Systemen wird z. B. eine niedrigprozentige Wasserstoffperoxid-Lösung in einen zu dekontaminierenden Raum eingebracht und dadurch die mikrobiologischen Verunreinigungen großflächig reduziert. Da die Geräte für die Raumdekontamination mobil einsetzbar sind, ist diese Technik flexibel in unterschiedlichen Räumen (Patientenzimmer, OP-Räume, Intensivstationen) nutzbar.

Die oben genannten Ansätze bieten ein großes Potenzial zur Verminderung des Risikos einer nosokomialen Infektion für den Patienten. Mittels mikrobiologischen Standardmethoden kann die Wirkung dieser Techniken evaluiert und deren Nutzen für den Patienten beurteilt werden. Dies ist aktuell Gegenstand verschiedener Forschungsprojekte.

Mikrobiologisches Monitoring in einem OP mit temperaturkontrolliertem directionalem Airflow

Speziell bei Operationen mit großen Wundflächen oder Implantationen von „Fremdkörpern“, beispielsweise beim Gelenkersatz (Hüfte, Knie), Implantationen von Osteosynthesematerial oder Herzklappen und Gefäßendoprothesen, besteht ein erhöhtes Risiko einer nosokomialen Infektion, im Sinne einer Wundinfektion. Daher verfügt der Standard-OP in Deutschland (gemäß Raumklasse I nach DIN 1946 Teil 4) typischerweise über eine Raumlufttechnische Anlage (RLT-Anlage), welche die einströmende Um- und Frischluft vorreinigt, temperiert und im Regelfall befeuchtet. Danach wird sie über einen Schwebstoff-Filter der Filterklasse H 13 zurück in den OP geführt. Es ist zu beachten, dass die Stabilität dieser Luftverdrängung im Operationsbereich durch die zunehmende Verwendung verschiedenster medizintechnischer Geräte gestört wird. Daher sollte bei der Entwicklung solcher Produkte und bei der technischen Planung solcher Räume auch dieser Aspekt mit beachtet werden.^[4]

Im Forschungs-OP an der OTH Amberg-Weiden basiert die RLT-Anlage auf dem temperaturkontrollierten System Opron der Firma Avidicare AB aus Schweden. Die Effektivität dieses Systems wurde bereits im Vorfeld von uns durch CFD-Simulationen (Computational Fluid Dynamics) überprüft (siehe Abb. 1).

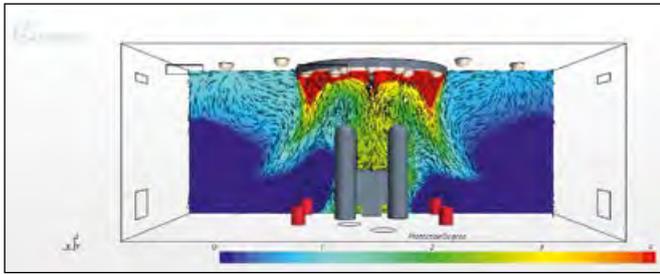


Abbildung 1: Schutzgradbestimmung im Forschungs-OP der OTH

Das Potenzial der Keimreduktion durch das Lüftungssystem wurde durch Luftkeimmessungen nach dem schwedischen Versuchsstandard (SIS-TS 39:2012) überprüft. Es wurde eine aktive Luftkeimsammlung mit einem Schlitzsammler (Klotz FH6) als Messmethode verwendet, wobei eine normierte Luftmenge von 1 m³ bei einer Durchsatzgeschwindigkeit von 100 ml/min gemessen wurde. Für den Versuch wurden insgesamt sechs Messungen an drei unterschiedlichen Stellen im OP-Saal durchgeführt. Vor den Versuchen erfolgt eine Festlegung und Kennzeichnung der Messpunkte. Sowohl die Messpunkte der Luftkeimsammlung als auch die Anzahl und Aktivität der Personen während der Messungen sind von der SIS-TS 39:2012 vorgegeben, um eine möglichst wirklichkeitsnahe OP-Simulation darzustellen (siehe Abb. 2). Zur Auswertung und Beurteilung der luftgetragenen Mikroorganismen wurde eine Keimzählung durchgeführt und die koloniebildenden Einheiten (Colony Forming Units) pro Kubikmeter Raumluft bestimmt (CFU/m³).

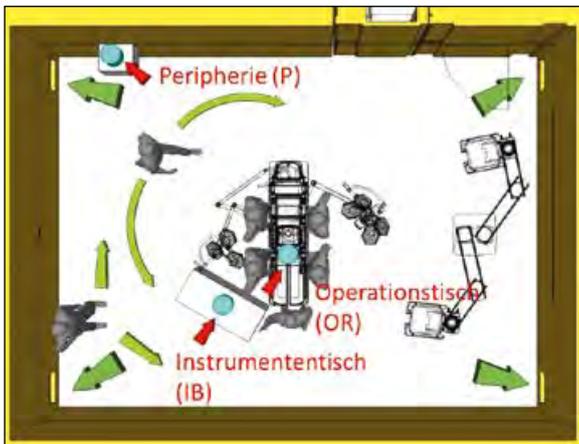


Abbildung 2: Messpunkte der Luftkeimmessungen (rote Pfeile) und Personenaktivität

Die Auswertung der Ergebnisse ergab eine sehr geringe Kontamination des OP-Saals während der Versuchsdurchführung. Auf dem Operationstisch konnte während der gesamten Versuchsdauer kein Keim nachgewiesen werden. Auch auf dem Instrumententisch lag die durchschnittliche Gesamtkeimzahl unter 1 CFU/m³ und selbst in der Peripherie des Operationssaals wurde mit einem durchschnittlichen Wert von 3,7 CFU/m³ eine sehr geringe Keimbelastung festgestellt. Zusammenfassend lag die

Keimzahl im gesamten Operationssaal während der Messung bei 1,3 CFU/m³ (siehe Tabelle 1). Der geforderte Grenzwert für infektionsgefährdete Eingriffe liegt bei kleiner als 10 CFU/m³.

Tabelle 1: Ergebnisse der Luftkeimmessung

Nr.	Measuring point	CFU/plate	CFU/m ³	Observations
Ref-	Not exposed	0		Reference plate negative after cultivation, OK
Ref+		2		Positive reference plate only displaying 2 cfu, OK
OP1	OR table	0	<1	
OP2	OR table	0	<1	
OP3	OR table	0	<1	Door opens
OP4	OR table	0	<1	Door opens x3
OP5	OR table	0	<1	Door opens
OP6	OR table	0	<1	
	Mean value	0	<1	
IB1	Instrument table	1	1	
IB2	Instrument table	0	<1	
IB3	Instrument table	0	<1	Door opens
IB4	Instrument table	0	<1	Door opens x3
IB5	Instrument table	0	<1	Door opens
IB6	Instrument table	0	<1	
	Mean value	0,2	0,2	
P1	Periphery	6	6	Location deliberately chosen close to one air exhaust
P2	Periphery	2	5	
P3	Periphery	5	5	Door opens
P4	Periphery	5	5	Door opens x3
P5	Periphery	4	4	Door opens
P6	Periphery	0	<1	
	Mean value	3,7	3,7	
	Mean value in the whole OR	1,3	1,3	

Wasserstoffperoxid-Vernebelung zur Raumdekontamination

Das Risiko für Patienten, sich eine nosokomiale Infektionen zuzuziehen, ist vor allem im Operationssaal und auf der Intensivstation besonders hoch. Geschwächte Patienten und kritische Situationen bilden ein ideales

Umfeld für multiresistente Keime. Gerade in diesem hochsensiblen Bereich stellt Hygiene eine anspruchsvolle Aufgabe dar. Für keimarm und steril zur Anwendung kommende Medizinprodukte sind Reinigung und Desinfektion bzw. Sterilisation umfänglich geregelt (z. B. DIN 17644^[5]). Für nicht steril zur Anwendung kommende Produkte fehlt diese strikte Regelung. Professionelle Lösungen, Überwachungen und wichtige Dokumentationen sind gefragt, wenn es darum geht, die Erwartungen an die Hygiene in einem Krankenhaus umzusetzen. Mit den Standardverfahren zur Reinigung und Desinfektion sensibler Bereiche werden viele Flächen nicht optimal erreicht (siehe Abb. 3). Zudem zeigen Studien des Bode-Science-Center dass herkömmliche Desinfektionstücher mit einem hohen Alkoholgehalt zum Beispiel für empfindliche Kunststoffe nicht geeignet sind und zu Spannungsrissbildungen führen können.^[6]



Abbildung 3: Schwachpunkte einer manuellen Reinigung^[7]

Als ergänzendes Verfahren ist seit einiger Zeit die Vernebelung von H_2O_2 mit speziellen Systemen verfügbar. Die Systeme, die mit dem Verfahren der Wasserstoffperoxid-Vernebelung arbeiten, beruhen auf einem ähnlichen Prinzip. Je nach Hersteller unterscheiden diese sich lediglich durch die Konzentration des eingesetzten Mittels und der benötigten Einwirkzeit. Die dekontaminierenden Eigenschaften des Verfahrens wurden an der Hochschule mit einem Gerät der Firma Diop überprüft. Das DioProtection System (Diosol Generator) ist zusammen mit dem Desinfektionsmittel Diosol ein Kaltvernebelungsverfahren mit Wasserstoffperoxid und Silberionen. Das Gerät erzeugt ein schwebefähiges Aerosol, das im Raum verteilt wird. Nach einer Einwirkzeit von 90 Minuten kann der Raum wieder betreten werden.

Zur Analyse der Wirksamkeit des Systems wurden in einem Labor der Hochschule mikrobiologische Abstriche und Abklatschproben abgenommen und Luftkeimmessungen durchgeführt. Dies erfolgte an vergleichbaren Stellen sowohl vor als auch nach der Dekontamination. Der Diosol Generator wurde für den Versuch in der Ecke des Raums aufgebaut und die Luftkeime mittig im Raum gemessen (siehe Abb. 4).

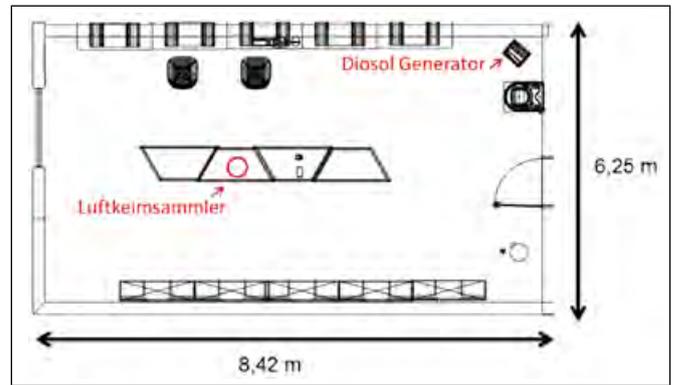


Abbildung 4: Schematischer Versuchsaufbau

Die Auswertung der Ergebnisse zeigte einen Effekt des Verfahrens bezüglich der Keimreduktion in der Raumluft. Bei der Luftkeimmessung konnte eine Reduktion der koloniebildenden Einheiten von ca. 74 % von 172 CFU auf 45 CFU festgestellt werden (siehe Abb. 5).

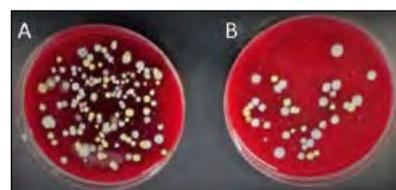


Abbildung 5: Kontrollplatten der Luftkeimmessung vor (A) und nach (B) der Dekontamination

Auch auf den getesteten Oberflächen konnte zumindest teilweise die Effektivität des Systems nachgewiesen werden. Während bei der getesteten Tastatur und am Gerät selbst eine starke Reduktion der Keimlast nachgewiesen wurde, konnte dies bei den Beprobungen in einem geschlossenen Schrank nicht gezeigt werden. Entgegen der Herstellerangaben liegt dies möglicherweise an der schlechten Zugänglichkeit des Aerosols in geschlossene Objekte. Bei bereits anfänglich niedrigen Keimzahlen kommt es zudem aufgrund der unterschiedlichen Messstellen zu teils höheren Werten nach der Dekontamination als vorher. Dies könnte als natürliche Schwankung gesehen werden (siehe Abb. 6).

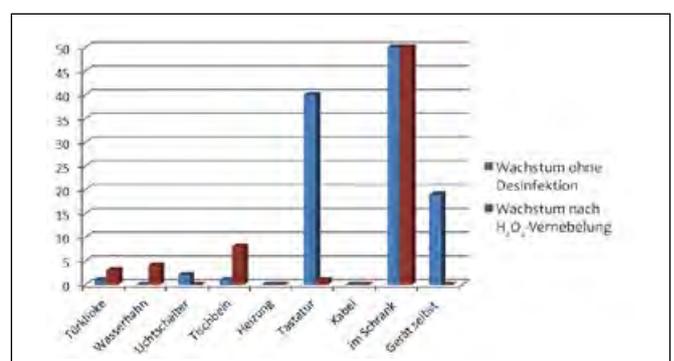


Abbildung 6: Keimzahlen (CFU) getesteter Oberflächen vor und nach Dekontamination

Analyse der Wirksamkeit und Haltbarkeit antimikrobieller Oberflächen

Die bakterielle und virale Verunreinigung von Oberflächen unterschiedlichster Art spielt bei der Ausbreitung von Infektionen eine zentrale Rolle. In diesem Zusammenhang bergen insbesondere Kabel, Bedienelemente und Tastaturen von medizintechnischen Systemen sowie Krankenhausmöbel im Allgemeinen ein potenzielles Hygierisiko.

Vor diesem Hintergrund bietet der Einsatz von antimikrobiellen Oberflächen ein neuartiges Konzept, um für den Patienten ein möglichst keimfreies Umfeld zu schaffen. Amerikanische Studien konnten bereits 2013 einen positiven Effekt von Kupferoberflächen auf Infektionsraten in Intensivstationen zeigen.^[8]

Im Rahmen unserer Versuchsreihen wurden die antimikrobielle Aktivität sowie die Effizienz der antimikrobiellen AMiSTec-Technologie mittels bakterieller Wirksamkeits- und Vergleichsstudien untersucht. Dieser basiert auf einer Verschiebung des pH-Wertes auf ca. 4,5 und führt somit zu einer resistenzunabhängigen protolytischen Eradikation der Mikroorganismen.^[9] Um die Haltbarkeit des Beschichtungssystems zu bestimmen, wurden die Testmuster zudem einer Dauerbelastung unterzogen, welche einer Abnutzung der Oberfläche während der durchschnittlichen Lebenserwartung eines möglichen Endproduktes (in etwa 10 Jahre) entspricht. Hierfür wurden die Testmuster mit einer 0,5 % Incidin-Lösung wiederholt manuell wischdesinfiziert. Dies wurde bis zu einer Gesamtzahl von 10.000 Wischzyklen wiederholt.

Die Analyse der antimikrobiellen Aktivität erfolgte in Anlehnung an die JIS Z 2801, die gängige Norm für solche Prüfungen. Hierbei werden Testmuster mit einer bestimmten Konzentration an Bakterien kontaminiert und nach 24 Stunden die verbliebenen Keime auf der Oberfläche (CFU) bestimmt. Durch den Vergleich mit einer antimikrobiell unwirksamen Oberfläche lässt sich somit die Effektivität berechnen (siehe Abb. 7).

Die antimikrobielle Wirksamkeit wird berechnet nach der Formel: Wirksamkeit = [log(A/B)]	
A = Mittelwert der KBE/ml der Platte <u>ohne</u> antimikrobielle Beschichtung	
B = Mittelwert der KBE/ml der Platte <u>mit</u> antimikrobieller Beschichtung	
antibakterielle Aktivität	Keimreduktion (log KBE)
keine	< 0,5
leicht	≥ 0,5 bis 1
signifikant	≥ 1 bis < 3
stark	≥ 3

Abbildung 7: Berechnungsgrundlage zur Bewertung der antimikrobiellen Aktivität

Die Auswertung der Versuche ergab eine starke Aktivität der antimikrobiellen AMiSTec-Oberflächen mit einem Wirksamkeitsfaktor von 3,97. Vergleichsstudien mit einer klassischen silberbeschichteten Oberfläche zeigten, dass diese bei einem Wert von 2,14 eine deutlich schlechtere Wirksamkeit aufweist (siehe Abb. 8).

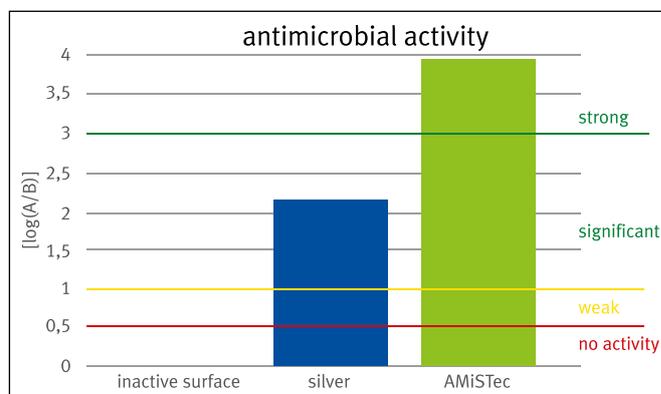


Abbildung 8: antimikrobielle Wirksamkeit der AMiSTec-Oberfläche im Vergleich zu einer Silberbeschichtung

Bei der Vergleichsmessung einer unbehandelten antimikrobiellen AMiSTec-Oberfläche mit dem wischdesinfizierten Testmuster zeigte sich keine Beeinträchtigung der Wirksamkeit. Selbst nach 10.000 Zyklen der manuellen Wischdesinfektion lag der Wert der Wirksamkeit bei 3,34 und damit bei exakt dem Wert, welcher bei diesem Versuchsdurchgang mit der unbehandelten AMiSTec-Probe erreicht wurde (siehe Abb. 9).

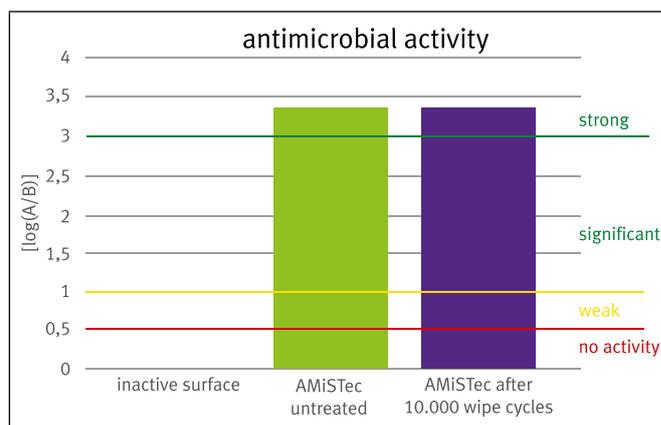


Abbildung 9: Vergleich der antimikrobiellen Wirksamkeit der AMiSTec-Oberfläche vor und nach Dauerbelastung

Analog zu den oben genannten Untersuchungen wurde außerdem die Wirksamkeit von antibakteriellen Schutzfolien für Smartphones und Touchscreens überprüft. Da diese Geräte immer mehr Verwendung im Klinikalltag finden, wäre dies eine gute Schutzmaßnahme zur Vermeidung von möglichen Schmierinfektionen. Hilfreich wäre dies auch zum Schutz von Displays und Monitoren vor Kontamination. Zwei Schutzfolien wurden hierfür wischdesinfiziert und in sterile Petrischalen eingeklebt.

Anschließend erfolgte die Testung nach Vorgabe der JIS Z 2801 (siehe Abb. 10).

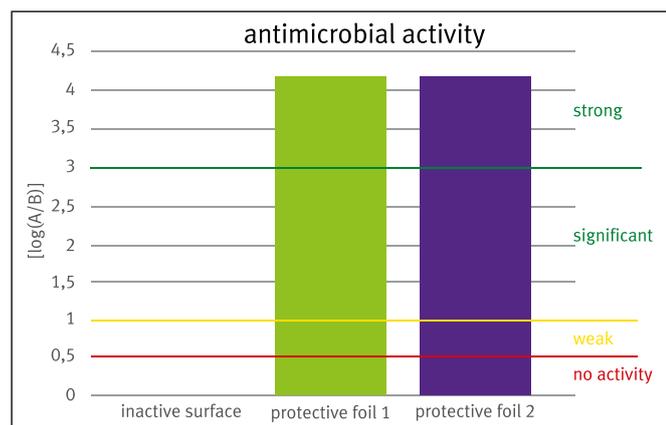


Abbildung 10: Antimikrobielle Wirksamkeit der getesteten Schutzfolien

Auch bei diesen Tests konnte die antimikrobielle Wirksamkeit festgestellt werden. Beide getesteten Varianten der Displayschutzfolien zeigten mit einem Wert der Wirksamkeit von 4,2 einen starken Effekt.

Fazit

Unsere Untersuchungen zeigen ein großes Potenzial verschiedener Technologien und technischer Konzepte im Hinblick auf die Prävention nosokomialer Infektionen. Durch die Keimreduktion auf Oberflächen, in Klinikräumen sowie der Raumluft im Operationsaal verringert sich die Gefahr für den Patienten, mit potenziell pathogenen Erregern in Kontakt zu kommen. Aufgrund der Komplexität des Themenfelds sind jedoch weitere Untersuchungen notwendig, um den tatsächlichen Einfluss der Methoden im klinischen Umfeld zu untersuchen und diese nicht nur unter Laborbedingungen zu evaluieren. Messungen zur Keimreduktion in einer patientennahen Umgebung sowie an medizintechnischen Produkten sind daher als nächste logische Schritte geplant.

Literaturverzeichnis

- [1] Epidemiologisches Bulletin Nr. 36; 13.09.2010
- [2] Bundesgesundheitsblatt 2012
- [3] Bulitta et. al., mt-medizintechnik 03/15; S. 92 – 95
- [4] <http://www.admeco.ch/Htdocs/Files/v/8151.pdf/ADMECOAREAENDE1.pdf>
- [5] DIN 17664:2004, Sterilisation von Medizinprodukten
- [6] <http://www.bode-science-center.de/science/studien/article/studie-ist-eine-schnelldesinfektion-von-mobilenelektronischen-geraeten-ohne-schaeden-moeglich.html>
- [7] http://www.deconidi.ie/html/conf/wfhss-conference-2012/lectures/wfhss_conf20121121_lecture_sp_s701_en.pdf
- [8] Salgado et al., Infect Control Hosp Epidemiol 2013; 34(5):000-000
- [9] <http://www.amistec.at/technologie.htm>

Kontakt:



Dr. rer. nat. Sebastian Buhl

Ostbayerische Technische
Hochschule (OTH) Amberg-Weiden
Fakultät Wirtschaftsingenieurwesen
Hetzenrichter Weg 15
92637 Weiden

se.buhl@oth-aw.de



Nicole Eschenbecher

Ostbayerische Technische
Hochschule (OTH) Amberg-Weiden
Fakultät Wirtschaftsingenieurwesen
Hetzenrichter Weg 15
92637 Weiden



Kristin Albrecht

Ostbayerische Technische
Hochschule (OTH) Amberg-Weiden
Fakultät Wirtschaftsingenieurwesen
Hetzenrichter Weg 15
92637 Weiden



Simon Woppert, B. Eng.

Ostbayerische Technische
Hochschule (OTH) Amberg-Weiden
Fakultät Wirtschaftsingenieurwesen
Hetzenrichter Weg 15
92637 Weiden



Sabine Hentschel, B. Eng.

Ostbayerische Technische
Hochschule (OTH) Amberg-Weiden
Fakultät Wirtschaftsingenieurwesen
Hetzenrichter Weg 15
92637 Weiden



Benjamin Rußwurm, B. Eng.

Ostbayerische Technische
Hochschule (OTH) Amberg-Weiden
Fakultät Wirtschaftsingenieurwesen
Hetzenrichter Weg 15
92637 Weiden



Prof. Dr. med. Clemens Bulitta

Ostbayerische Technische
Hochschule (OTH) Amberg-Weiden
Fakultät Wirtschaftsingenieurwesen
Studiengangleiter und Studienfachberater
im Studiengang Medizintechnik
Hetzenrichter Weg 15
92637 Weiden

c.bulitta@oth-aw.de

Empirische Studie: „Die Bedeutung von Ausstellermarken aus Sicht von Fach- besuchern von B2B-Messen“

Zusammenfassung

Messen spielen im Marketing von Investitionsgütern eine zentrale Rolle, nicht umsonst geben B2B-Unternehmen einen Großteil ihres Marketingbudgets für Messen und Ausstellungen aus. Eine besondere Bedeutung von Marken als Wettbewerbsinstrument und ihre Rolle im Kaufentscheidungsprozess wird jedoch vor allem in der Vermarktung von Konsumgütern konstatiert, wobei in der Regel die Wirkung von Marke und Image auf die Nachfrage nach Produkten im Mittelpunkt der Betrachtung steht. Erkenntnisse zum Einfluss von Marken und markenstrategische Überlegungen im B2B-Bereich werden deutlich seltener behandelt. In der durchgeführten Studie sollte deshalb eruiert werden, ob, und falls ja, wie und wie sehr Marken auch im B2B-Bereich im Zusammenhang mit Fach- und Branchenmessen aus Sicht der Messebesucher von Bedeutung und Einfluss sind.

Abstract

Tradeshows play a significant role in marketing of capital goods. That is, why B2B-companies allocate a significant part of their marketing budget for tradeshows, events and exhibitions. However, a particular importance of brands as an instrument to stand competition and its role in the buying decision process is stated for consumer goods marketing. There, brands and brand images are mostly considered in respect of their buying stimulation impact, whereas insights into brand influence and branding strategy considerations in the field of B2B-businesses occur significantly more seldom. Therefore, we wanted to investigate by the survey conducted whether brands play a significant role in B2B-industries especially in respect of special interest industry tradeshows, and if so, what kind of influence they have, from the perspective of visiting professionals.

Marken repräsentieren Unternehmenswert

Marken repräsentieren oft enorme Vermögenswerte von Unternehmen. So verkaufte z. B. IKEA im Jahre 2012 seine Markenrechte für 9 Milliarden Euro an ein Tochterunternehmen^[1]. Der monetäre Wert der Marke wurde von externen Experten berechnet und steht beim Käufer seitdem als Buchwert in der Bilanz. Andere bekannte Marken wurden in Krisen oder nach Insolvenz des Unternehmens für enorme Summen verkauft, so erwarb z. B. der chinesische Staatskonzern Zhejiang Geely den Autobauer Volvo^[2] für 1,3 Milliarden Euro, der indische Mischkonzern Tata kaufte im März 2008 die Marken Jaguar und Land Rover für 2,3 Milliarden Euro auf^[3] und 2009 sicherte sich die Otto Gruppe nach der Insolvenz der Quelle AG die Namensrechte an Quelle für kolportierte 40 bis 70 Millionen Euro. Warum kommen derartige Markentransaktionen zustande? Offensichtlich schätzen die Käufer die jeweiligen Marken so attraktiv für die Generierung neuer

Kunden und eine erhöhte Gewinnerzielung ein, besitzen also so viel positive Fantasie zur strategischen Bedeutung und zur zukünftigen Ertragskraft der jeweiligen Marke, dass sie bereit sind, derartige Summen in den Erwerb der Markenrechte zu investieren. Denn bei Kaufentscheidungen spielen Marken für Kunden eine wesentliche Rolle, haben oft eine größere Bedeutung als die Eigenschaften des gekauften Produkts. So wird eine Rolex-Uhr weniger wegen der verwendeten Materialien oder des Designs oder gar ihrer Grundfunktion, die Uhrzeit anzuzeigen, gekauft, sondern wegen des Status, den sie dem Besitzer verleiht.

Marken bedienen emotionale Kundenbedürfnisse

Eine der wesentlichen Vorzüge von Marken ist das Vertrauen in das Produkt/die Dienstleistung oder das dahinter stehende Unternehmen, das der Marke von Kundenseite entgegengebracht wird. Diese

herausragende Funktion einer Marke wurde bereits in den 30er-Jahren des letzten Jahrhunderts von Hans Domizlaff, er gilt als Begründer der Markentechnik, erkannt und in „Die Gewinnung des öffentlichen Vertrauens. Ein Lehrbuch der Markentechnik“ (Niederschrift 1937, 1. Auflage 1939) als unabdingbare Pflicht für Unternehmen postuliert, die sog. Markenartikel anbieten und zu einem Markenunternehmen avancieren wollen.

Alle Klassiker der Marketing- und Markentheorie und -forschung (u. a. Meffert, Porter, Bruhn, Backhaus, Brandmeyer, Homburg) weisen der Marke eine zentrale Image- und absatzwirtschaftliche Bedeutung zu, die für den Kaufentscheider/Verbraucher im Informations- und Kaufentscheidungsprozess Orientierung gibt und insbesondere auch essenzielle emotionale Bedürfnisse bedient (u. a. Sympathie, Sicherheit, Vertrauen, Glaubwürdigkeit). Allerdings bleibt anzumerken, dass sich der Großteil der Markenforschung und der daraus gewonnenen Erkenntnisse auf Konsum- und Gebrauchsgüterbranchen (B2C) bezieht, wo der Marke und dem von ihr repräsentierten



Abbildung 1: Beispiele Konsum- und Gebrauchsgüter

Hersteller- und/oder Produktimage infolge immer ähnlicher und austauschbar gewordener Produkte und damit mangels faktischer Produktunterschiede, aus denen eine Kaufpräferenz abgeleitet werden könnte, eine immer größere Rolle bei der Kaufentscheidung zukommt (so entscheidet sich ein Verbraucher für ein Waschmittel nicht anhand der Inhaltsstoffe, sondern an der Marke, vorausgesetzt eine bereits gemachte Erfahrung war positiv (Qualität) und das Preis-Leistungs-Verhältnis entspricht seinem persönlich subjektiven Wertempfinden (value for price). Entsprechende B2C-Markenwerbung ist daher überwiegend image- oder aktionsorientiert und inszeniert die beworbenen Produkte vorzugsweise emotional, nicht faktisch-substanziell (z. B. Becks-Bier über ein grünes Segelschiff, Coca Cola über „den individuellen Moment“ oder Raffaello mit elitärer weiß gekleideter Partygesellschaft auf einer schneeweißen Jacht, oder Mode und Kosmetik mit attraktiv eingeschätzten Models oder Prominenten ...).



Abbildung 2: Beispiele Investitionsgüter

B2B: Marke und Image oder Produktmerkmale?

Im Gegensatz dazu stehen im sog. B2B-Bereich, also dem Geschäft mit Investitionsgütern (Abbildung 2), z. B. im Bereich der Automatisierungstechnik, des Anlagen- und Maschinenbaus, in der Chemie- und Prozessindustrie oder bei Infrastruktureinrichtungen vom Kraftwerk bis zur Abwasseraufbereitungsanlage nach wie vor meist technische Aspekte und Produktspezifikationen im Mittelpunkt des Marketings (was dort häufig noch Vertrieb bedeutet). Doch auch hier sind Marken von Bedeutung und ist strategische Markenführung sinnvoll^[vgl. 4]. Das belegt auch eine in Deutschland, USA und Indien durchgeführte Studie von McKinsey von 2013, die besagt, dass die Markenstärke von B2B-Unternehmen und die Qualität der Kommunikation/Information für Einkäufer in deutschen Großunternehmen, zusammengenommen, mit 27 % Einfluss auf die Kaufentscheidung ebenso entscheidend sind wie der Produktpreis (27 %) und sogar mehr Wirkung ausüben als das Produkt selbst (25 %). Von der Marke allein wird die Entscheidung der Einkaufsentscheider demnach zu 14 % beeinflusst. Hauptgrund dafür ist, dass eine Beschaffung von einem Markenunternehmen in den Augen von 42 % der Befragten das Risiko von Fehlkäufen reduziere, Marken für mehr Transparenz sorgten (40 %) und es gut für das Image des eigenen Unternehmens (18 %) sei^[5]. Dass also auch im B2B-Geschäft mit langlebigen, investiven Gütern Marken kaufbeeinflussend sind, ist in der Marketingwelt unstrittig und hin und wieder auch empirisch belegt – allerdings ist auch hier der Fokus der Betrachtungen auf den direkten Absatzmarkt, also den finalen Kaufentscheidungsprozess gerichtet. Doch wie sieht es mit den einer Beschaffung im B2B-Bereich vorgelegten Informationsphasen und den dabei involvierten Personen aus? Haben Marken auch hier eine signifikante Bedeutung? Das ist forschungsseitig noch wenig geklärt.

Messen sind im B2B-Geschäft von hoher Bedeutung

Eine besonders große Rolle in der Geschäftsanbahnung und im Informationsprozess spielen im B2B-Geschäft Messen. Genauer gesagt: Fach- und Branchenmessen. Und hier besonders die internationalen Leitveranstaltungen,

da im B2B-Bereich das Geschäft global ist und daher auch der Beschaffungsmarkt. Laut AUMA (Verband der deutschen Messewirtschaft) investieren Unternehmen durchschnittlich 40 – 45 % ihres gesamten Kommunikationsetats in Messebeteiligungen.^[6] Der weltweit größte Messeplatz ist weiterhin Deutschland, wo jährlich 150 internationale Messen und Ausstellungen mit bis zu 180.000 Ausstellern und rund 10 Mio. Besuchern stattfinden^[7].

Der Studienansatz

Umso verwunderlicher, dass sich noch keine Studie damit auseinandergesetzt hat, ob im Investitionsgüterbereich Marken von auf Fachmessen ausstellenden Unternehmen besucherseitig eine Rolle spielen, und falls ja, wann und welche. Um diesen Fragenkomplex zu klären, wurde in den Jahren 2013 und 2014 im Rahmen von Bachelorarbeiten an der OTH Amberg-Weiden eine Serie von Besucherbefragungen auf internationalen Fachmessen durchgeführt. Damit sollte u. a. untersucht werden, inwieweit Marken Einfluss auf das Besucherverhalten bei Fachmessen haben und was Besucher von Markenausstellern erwarten.

Die Befragungen wurden durchgeführt im November 2013 (n = 100) auf der internationalen Fachmesse

- SPS IPC Drives

und den sechs im Rahmen der Hannover Messe im Jahr 2014 stattfindenden Fachmessen

- Industrial Automation
- Digital Factory
- Energy
- IndustrialGreenTec
- Industrial Supply
- Research & Technology
- MobilTec

mit insgesamt 426 Befragten. Insgesamt basiert die Studie damit auf einer Stichprobe von 526 Personen, damit ist sie nicht repräsentativ, erlaubt aber belastbare Erkenntnisse. Die Erhebung erfolgte in Interviewform anhand eines standardisierten Fragebogens und war nicht quotiert. Die Antworten wurden sofort im Fragebogen eingetragen, teils waren offene Antworten möglich, teils Mehrfachnennungen, teils wurden Listenauswahlfragen, teils Ja-Nein-Fragen, teils Fragen mit einer endpunktbenannten 6er-Skala (von sehr wichtig bis völlig unwichtig) verwendet. Die Befragung fand mit Genehmigung des Messeveranstalters bzw. der Messegesellschaft vor und auf dem Messegelände und in den Messehallen statt, aber nicht auf Ständen ausstellender Unternehmen, um evtl. daraus resultierende Einflüsse auf das Befragtenverhalten und eine damit eventuell entstehende Ergebnisverzerrung auszuschließen.

Die Studienerkenntnisse

Zu Beginn der Befragung wurde abgefragt, inwieweit sich der befragte Messebesucher auf seinen Messebesuch vorbereitet hat. Naturgemäß können Marken ausstellender Unternehmen nur im Vorfeld eine Auswirkung auf die Besuchsplanung ausüben. Aufgrund der mit durchschnittlich etwa 1,5 Tage relativ kurzen Aufenthaltsdauer auf Messen^[8] informieren sich vorbereitende Besucher vor ihrer Reise zunehmend über die Messe und die für sie interessanten Aussteller, bis hin zu einer detaillierten Laufwegeplanung. Ergebnis der Studie: etwa zwei Drittel der Besucher (65,7 %) bereiten ihren Besuch vor, bei den Frauen beträgt dieser Anteil sogar 90 %. Bei ihrer Suche verwenden nahezu alle Besucher das Internet (99,7 %), andere Quellen spielen so gut wie keine Rolle mehr. Eine zentrale Rolle kommt dabei der Internetseite (Ausstellerverzeichnis) des Messeveranstalters zu, die sich daher für eine Markenwerbung von Ausstellern besonders empfiehlt. Gut 8 von 10 sich vorbereitenden Besuchern (81,7 %) machen sich einen Plan mit den für sie interessanten, zu besuchenden Ausstellern, mehr als 4 von 10 (43,01 %) planen einen Routinebesuch eines ihm/ihr bereits bekannten Unternehmens ein. Und nahezu zwei Drittel der vorbereiteten Besucher (62,4 %) planen sogar einen konkreten Laufweg, mit dem Ziel der Wege- und Zeitoptimierung. Gut 10 % davon weichen von ihrer geplanten Route auch nicht mehr ab.

Bei der vorbereitenden Suche nach Ausstellern spielt die Marke der ausstellenden Unternehmen eine erste bedeutende Rolle, denn der Besucher kann im Vorfeld nur nach Unternehmen suchen, die ihm bereits bekannt sind. Entweder vom Namen her (Markenbekanntheit), verbunden mit der positiven Fantasie (Markenimage), ein Besuch dieses Ausstellers wäre lohnenswert, oder bereits in Erinnerung früherer Besuche (Marken-Recall) und/oder auch bereits gemachter Erfahrungen mit dem ausstellenden Unternehmen und einer entsprechend positiv besetzten Einstellung diesem Unternehmen gegenüber (erfahrungsbasiertes Markenimage).

Finding 1: Zwei Drittel der Besucher bereiten ihren Messebesuch teils akribisch vor. Dabei spielt die Internetseite des Messeveranstalters die zentrale Rolle. Je positiver die Marke eines ausstellenden Unternehmens imagemäßig besetzt ist und je höher ihr Bekanntheitsgrad ist, desto größer ist die Wahrscheinlichkeit, besucht zu werden. Wer nicht bekannt ist, wird nicht gesucht, wird nicht bewusst und mit Absicht gefunden und ist damit nicht Teil des Besuchsplans. Eine starke (Image + Bekanntheit) Marke genießt damit eine deutlich höhere Besuchswahrscheinlichkeit. Nur ein Drittel der Besucher (bei Frauen lediglich 10 %) überlässt es den Gegebenheiten vor Ort, zu entscheiden, welche Messestände sie besuchen.

Knapp 90 % der Messebesucher, die sich einen konkreten Laufweg geplant haben, könnten sich dennoch vorstellen,

von ihrem geplanten Weg von Aussteller zu Aussteller noch abzuweichen. Damit stellt sich die Frage, was sie dazu auf der Messe veranlassen könnte. Auf die entsprechende Frage „Was könnte Sie dazu bringen, von Ihrem geplanten Laufweg abzuweichen?“ übt der Besucherandrang, der auf einem Stand herrscht (als Indiz dafür, es müsse dort etwas Attraktives zu sehen sein), den größten Reiz aus (60 %; Mehrfachnennungen möglich), gefolgt von als interessant erkannten Produkten (44,3 %) und Produktvorführungen (43,3 %) sowie an einem Stand entdeckten Bekannten (33,8 %). Knapp dahinter wird an vierter Stelle der gute Ruf eines Unternehmens, also dessen (positiv empfundenen) Markenimage genannt (30,0 %). Interessant auch, dass ein auffallendes Messestanddesign wenig Anziehungskraft entwickelt: Nur 5,7 % der Befragten würden dafür ihren geplanten Weg ändern.

Finding 2: Eine positiv besetzte Marke, den guten Ruf eines Unternehmens repräsentierend, hat eine 27-Prozent-Chance (30 % von den 90 % potenziellen Routenverlassern), Besucher trotz einer geplanten Laufroute noch als Standbesucher zu gewinnen. Das ist mehr als die fünffache Anziehungskraft (power of attractiveness) eines auffällig designten Messestands!

Bei den folgenden Fragen wurden alle Befragten einbezogen, also auch wieder die Messebesucher, die ihren Besuch nicht vorbereitet hatten. Die nächste Frage bezog sich auf die Durchführung des Messebesuchs: „Wie gehen Sie bei Ihrem Messebesuch vor?“ Auch hier waren Mehrfachnennungen möglich. Die mit 72,8 % häufigste Nennung von allen Optionen war „Ich besuche nur Stände von bekannten Unternehmen!“ was erneut die enorme Bedeutung der Bekanntheit einer Ausstellermarke belegt.

Auf die Frage „Wonach suchen Sie auf der Messe?“ (Mehrheitsnennungen möglich) war die häufigste (75,1 %) Antwort „Nach Produkten“, was in Anbetracht des geschäftlichen Anlasses hinter einem Messebesuch nachvollziehbar ist, denn darum geht es ja bei B2B-Beschaffungsentscheidungen im Wesentlichen. Gefolgt wird das Produktinteresse dann aber mit 54,0 % bereits von „Nach bekannten Unternehmen“, was erneut die Bedeutung der Unternehmens-, gleich Markenbekanntheit vor Augen führt. Bemerkenswert auch, dass andere Suchoptionen kaum verfolgt werden, insbesondere suchen nur 4,6 % nach Technologien und 4,4 % nach speziellen Produktnamen.

Finding 3: Die Marke ist wichtiger Interessensfokus und wesentliches Suchkriterium für Messebesucher.

In einer weiteren Frage sollten die Befragten angeben, welche Eigenschaften sie mit einer in ihren Augen guten Marke verbinden. Auch hier waren Mehrfachnennungen möglich. Als dominante Eigenschaft und damit auch Erwartung an eine gute Marke wurde von 91,7 % der Befragten „Qualität“ genannt, mit deutlichem Abstand

gefolgt von „Langfristige Orientierung des Anbieters“ (57,0 %) und „Positiven Erfahrungen mit einem Unternehmen“ in 51,1 % der Nennungen. An vierter Stelle folgt mit 44,0 % die „Branchen-Kompetenz eines Anbieters“ und Platz fünf belegt der „Tadellose Ruf eines Anbieters“ mit 26,5 %. Die Ergebnisse sind stabil, unabhängig von der Alterskohorte der Befragten, der Größe ihres Unternehmens, der Länge ihrer Berufserfahrung, der Funktion in ihrem Unternehmen und der Branche, in der das Unternehmen der Befragten tätig ist.

Umgekehrt würden die Befragten in folgenden Fällen (563 Nennungen von 261 Antwort gebenden Befragten bei einer offenen Frage) nicht mehr von einer guten Marke sprechen:

- Sinkende Qualität (82,4 %)
- Schlechter Service (29,1 %)
- Wiederholter Lieferverzug (23,0 %)
- Skandale (20,3 %)
- Täuschung (16,9 %)

Etwa ein Drittel (32,2 %) der Befragten würde den Messestand eines Unternehmens mit einer aus ihrer Sicht schlechten Marke definitiv nicht mehr besuchen, weitere 23,0 % sind sich da nicht sicher („Vielleicht“), aber immerhin 44,8 % würden den Messestand trotzdem noch besuchen.

Finding 4: Qualität und deren Kontinuität in der Leistungserbringung sind die zentralen Kriterien für eine gute Marke. Skandale und schlechtes Fulfillment des Leistungsversprechens schädigen eine Marke ebenfalls signifikant. Bei einer aus Sicht des Besuchers schlechten Marke besteht die Gefahr, über die Hälfte (56,2 %) bisheriger Besucher zu verlieren.

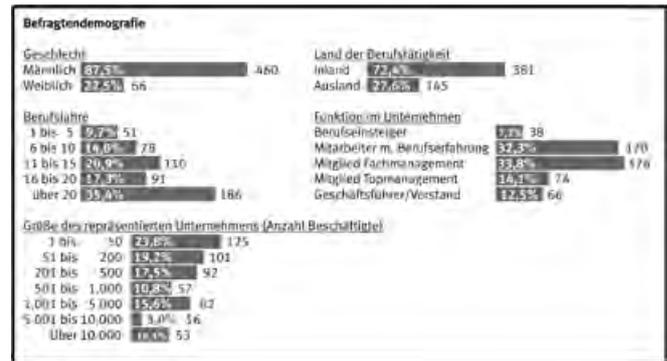
Fazit

Die Untersuchung hat gezeigt, dass eine positiv besetzte und bekannte Marke für B2B-Unternehmen, die sich als Aussteller an einer Fach- oder Branchenmesse beteiligen, von wesentlicher Bedeutung ist. Zum einen spielen Markenbekanntheit und Markenimage bereits vor Messebeginn eine sehr wichtige Rolle, da zwei von drei Messebesuchern ihren Besuch teils bis hin zu einem konkreten Laufwegeplan vorbereiten. Nur Aussteller, die/deren Marken beim sich vorbereitenden Besucher bekannt sind, können hier Berücksichtigung finden und Teil des sog. „Relevant Set“ werden. Erreichen sie das nicht, werden sie mit hoher Wahrscheinlichkeit auch nicht besucht und in Summe vergleichsweise niedrige Standbesucherkzahlen bekommen.

Markenbekanntheit ist zudem bei allen Besuchern das wichtigste Kriterium bei der Entscheidung, den Stand eines Ausstellers zu besuchen oder nicht.

Qualität und deren gleichbleibend hohes Niveau sind die entscheidenden Kriterien für eine gut oder schlecht bewertete Marke aus Besuchersicht. Damit wird auch im Hinblick auf Messen und B2B-Geschäft das klassische Postulat des Markenpioniers Hans Domizlaff bestätigt, dass Marken nahezu ein Synonym für Qualität sind und ohne Qualität eine Marke keine Marke mehr ist. Dies ist gerade in Zeiten, wo so oft der vordergründigen Orientierung am Profit und kurzfristigen Erfolgen gehuldigt wird und angeblich im Wettbewerb nur noch der niedrigste Preis zählt, eine besonders interessante Erkenntnis. Qualität ist der entscheidende Hebel zur Bildung einer starken Marke und einer damit verbundenen Differenzierung im Wettbewerb.

Tabelle 1: Befragten demografie



Quellenangaben

- [1] <http://www.handelsblatt.com/unternehmen/handel-konsumgueter/umstrukturierung-ikea-verkauft-seine-marke-fuer-neun-milliarden-euro/6981832.html>
- [2] <http://www.faz.net/aktuell/wirtschaft/unternehmen/geely-unterschreibt-volvo-kaufvertrag-fuer-volvo-soll-china-zweiter-heimatmarkt-werden-1953079.html>
- [3] <http://www.spiegel.de/wirtschaft/verkauf-an-tata-jaguar-wird-indisch-a-543457.html>
- [4] Perry, Jesko; Meyer, Thomas: Mega-Macht Marke: Erfolg messen, machen, managen. 3. Aufl. München: Redline Verlag, 2011, S. 146
- [5] <http://www.mckinsey.de/eink%C3%A4ufer-vertrauen-starken-marken-image-auch-im-b2b-bereich-ein-wichtiger-entscheidungsfaktor-0>
- [6] AUMA Messetrend 2015; repräsentative Befragung von 500 deutschen Ausstellern im Oktober 2014 durch TNS EMNID. Schriftenreihe Institut der deutschen Messwirtschaft. Edition 42, Seite 14, ISBN: 978-3-00-048673-9, 2015 downloadbar unter http://www.auma.de/de/DownloadsPublikationen/Seiten/AUMA_MesseTrend.aspx
- [7] <http://www.auma.de/de/Messemarkt/MessemarktDeutschland/Seiten/Default.aspx4>
- [8] http://www.fkm.de/Fachbesucher_bleiben_rund_1,5_Tage_auf_der_Messe,184.html

Kontakt:



Prof. Ralph E. Hartleben

Ostbayerische Technische Hochschule (OTH) Amberg-Weiden
 Fakultät Wirtschaftsingenieurwesen
 Internationales Marketing und Unternehmensführung
 Hetzenrichter Weg 15
 92637 Weiden

r.hartleben@oth-aw-de
 hartleben@irku.de

Zusammenfassung

In der Medizintechnik werden diagnostische Röntgensysteme mit Röntgenquellen, Detektoren und anderem Equipment ausgestattet. Diese Komponenten müssen flexibel zum ruhenden Patienten positioniert werden. Zur Anbindung und Führung der Komponenten dienen in der Regel mehrachsige mechatronische Gebilde, wie z. B. 6-Achs-Industrieroboter oder mehrachsige C-Bogenstative. Die Komponenten sind mit einem stationären Zentralsystem über Datenleitungen, Energieleitungen und Kühlleitungen verbunden. Diese Leitungen sind zu einem Bündel zusammengefasst und werden in einem Schutzschlauch am Stativ geführt. Die Entwicklung der Schlauchführung mit entsprechenden Stützstellen und Speichermöglichkeiten wurde bis heute dominierend experimentell durchgeführt. Um die Entwicklungszeiten zu verkürzen, alternative Lösungen zu konzipieren und die Entwicklungsqualität zu verbessern ist es notwendig spezifische Simulationsverfahren zu entwickeln und einzusetzen, mit denen die flexiblen Systeme in Echtzeit modelliert und am Computer optimiert werden können.

Abstract

Medical technology systems are usually outfitted with X-Ray tube assemblies, detectors and other equipment. These component parts must allow for the flexible placement on or around a prone patient. These are generally attached using multi-axis mechatronic mounts, using for example, a 6-axial robot or a multi-axis C-bow. The components are linked with a stationary control using multiple data, electrical and refrigeration cables. These leads are bundled together in a protective hose and fixed on the C-bow. Until now, a plodding and time-consuming experimentation was necessary to determine how these cables were best to be routed. In an effort to shorten this development time and to develop alternative potential solutions, it is necessary to use appropriate simulation procedure so flexible cable routing can be modeled in real time and optimized on the computer.

1 Einleitung

Die zunehmende Globalisierung der Märkte, die gestiegene Komplexität der Produkte mit einem erhöhten Funktionsumfang, die Einhaltung der spezifischen Regularien sowie der wachsende Wettbewerb führten in den letzten Jahrzehnten zur drastischen Verkürzung der Produktlebenszyklen. Diese Situation zwingt die Unternehmen zu kürzeren Entwicklungszeiten mit einer begleitenden Erhöhung der Entwicklungsgeschwindigkeit sowie niedrigeren Produktentwicklungskosten. Diese Anforderungen können nur durch die Integration der virtuellen Produktentwicklung in den Produktentwicklungsprozess sowie durch den konsequenten Einsatz innovativer Simulationsmethoden erfüllt werden. Je detaillierter die Kenntnis über die

Eigenschaften der virtuellen Bauteile und deren Einfluss auf das Systemverhalten des gesamten Produktes ist und je früher die Fertigungsaspekte in die Gestaltungskonzepte einbezogen werden, umso effizienter ist der gesamte Entwicklungsprozess.

Viele Herausforderungen, z. B. Strömungsanalysen, Lebensdaueranalysen und Crashtests, werden heutzutage schon in der Vorentwicklungsphase simuliert. Im Automobil-, Flugzeug- oder Schiffbau sowie in der Robotik treten Schläuche und Kabel als Konstruktionsbauteile auf. Gegenwärtig werden flexible Bauteile im Allgemeinen durch feste Geometrie dargestellt. Verlegewege, Kabellängen, Schlauchbefestigungen und ähnliche Themen werden in der Regel durch die Erfahrung des

Entwicklungsingenieurs bestimmt und in einem Prototyp überprüft. Eine Fehleinschätzung des realen Verhaltens durch unzureichende Simulation oder Hardwareabsicherung kann zu Problemen in der Fertigung oder im Betrieb führen.

Name der Bauteilkategorie	Bauteile	Material
Kraftstoffleitungen	• Benzinleitung	• meist Polyamide oder Ethylenoxidchloroepoxypropylenelastomer
Luftleitungen	• Luftleitung im Motor • Luftleitung in den Fahrgastraum	• mit Textilien ummantelte Metallspirale • Duroplaste
Steuerleitungen	• Unterdruckbremskraftverstärkerleitung	• Polyamide
Bremsleitungen	• Hydraulikbremsleitungen	• Elastomere: innen meist Styrolbutadienkautschuk; außen meist Chlorbutadienelastomere
Elektrische Leitungen	• Zündleitungen • Lautsprecherkabel etc.	• meist mit PVC ummantelter Metalldraht
Klimaleitungen	• Schlauch zum Transport von Kältemittel der Klimaanlage	• Elastomere
Kühlwasserleitungen	• Kühlwasserschläuche	• EPDM mit Gewebeeinlage
Bowdenzüge	• Gaszug • Kupplungszug etc.	• Kunststoffhülle mit eingefädeltm Stahldraht
Dichtungen	• Tür-, Fenster- oder Klappendichtungen	• Elastomere meist EPDM
Peilstäbe	• Ölmesstab	• Metall
Transmissionsriemen	• Keilriemen • Zahnriemen	• Elastomere mit Gewebeerstärkung

Abbildung 1.1: Liste flexibler Bauteile im Automobilbereich

In der Medizintechnik sind die Systeme mit Röntgenstrahlern, Detektoren und anderem Equipment ausgestattet. Diese Komponenten müssen flexibel zum ruhenden Patienten positioniert werden und werden in der Regel von mehrachsigen mechatronischen Gebilden, z. B. Industrierobotern oder mehrachsigen C-Bogenstativen, geführt. Die Komponenten sind mit einem stationären Zentralsystem über Datenleitungen, Energieleitungen und Kühlleitungen verbunden, wobei diese Leitungen zu einem Bündel zusammengefasst und in einem Schutzschlauch am Stativ außen geführt werden.



Abbildung 1.2: Röntgensysteme

Die Entwicklung der Schlauchführung mit entsprechenden Stützstellen und Speichermöglichkeiten wird bis heute überwiegend experimentell durchgeführt. Um die Entwicklungszeiten zu verkürzen und um alternative Lösungen zu konzipieren, müssen Simulationsverfahren verwendet werden, mit denen die flexiblen Bauteile – falls möglich – in Echtzeit modelliert und optimiert werden können.

Damit die Simulation flexibler Bauteile in den Entwicklungsprozess integriert wird, ist die Validierung der Simulationsergebnisse unerlässlich. Das zu simulierende flexible Bauteil muss sich entsprechend seiner inneren und äußeren Beschaffenheit realitätsgetreu verhalten. Gesucht ist dementsprechend ein Simulationsverfahren, das in der Lage ist, Deformationen zu berechnen, die sich aus dem Eingreifen des Benutzers, aus der Gravitation, aus der Massenträgheit und aus Kollisionen durch Selbstkontakt oder Fremdkörperkontakt ergeben. Ein geeignetes Simulationswerkzeug soll deswegen folgende Eigenschaften vorweisen:

- Echtzeitfähigkeit
- Berechnung der wirkenden Deformationskräfte
- Interaktionsmöglichkeiten mit dem Simulationsmodell
- Einschränkung der Deformationsursachen
- Wechselwirkungen von flexiblen Bauteilen und anderen starren Bauteilen
- Weiterführende Analyse- und Optimierungsmöglichkeiten



Abbildung 1.3: Kabel- und Kabelverbünde

2 Klassische Simulationsverfahren

2.1 Finite-Elemente-Simulation mit Volumenkörper

Bei der Simulation mit Volumenkörpern (3-dimensionale Elemente) kann eine sogenannte statische Analyse durchgeführt werden. Die Kabel und Schläuche werden mit einer Weg-Zeitinkrement-Tabelle unter Berücksichtigung des Kabeleigengewichtes und der hieraus resultierenden

Verformungen im Raum bewegt. Diese Simulation hat den Vorteil, dass auch Stabilitätseinflüsse, wie z. B. ein Durchschlagen, berücksichtigt werden können. Leider kann kein dynamisches Verhalten mit resultierenden Kabelschwingungen infolge der Beschleunigung und der Verzögerung simuliert werden. Eine realistische Materialmodellierung des Kabel- und Schlauchquerschnittes mit komplexen Materialmodellen könnte berücksichtigt werden, wobei aber aus Rechenzeitgründen ein homogener Kabel- oder Schlauchwerkstoff mit einem integralen Elastizitätsmodul aus experimentellen Untersuchungen verwendet werden sollte. Die notwendige Querkontraktionszahl für die Simulation wird aus den experimentellen Ergebnissen für den Schubmodul berechnet.

Die Simulation kann auch als dynamische Analyse durchgeführt werden. Dann können dynamische Effekte, wie z. B. Schwingungen bei Beschleunigungs- und Verzögerungsvorgängen, simuliert werden. Der Rechenaufwand wird hierdurch deutlich erhöht und ist für die Entwicklungstätigkeit nur bedingt geeignet. Für Grundsatzuntersuchungen oder bei abschließenden Bewertungen des Systems kann eine dynamische Simulation jedoch durchgeführt werden. Bei der statischen und dynamischen Simulation werden Eigenkontakt und Fremdkörperkontakt berücksichtigt.



Abbildung 2.1: FEM – Kabel vernetzt mit 54000 linearen Tetraederelementen

2.2 Finite-Elemente-Simulation mit Balkenelementen

Bei der Simulation mit Balkenelementen (eindimensionale Elemente) kann ebenfalls eine statische Analyse durchgeführt werden. Die Kabel und Schläuche werden mit einer Weg-Zeitinkrement-Tabelle unter Berücksichtigung des Kabeleigengewichtes und der hieraus resultierenden Verformungen im Raum bewegt. Diese Simulation hat den Vorteil, dass auch Stabilitätseinflüsse, wie z. B. ein Durchschlagen, berücksichtigt werden können. Leider kann auch hierbei kein dynamisches Verhalten mit resultierenden Kabelschwingungen infolge der Beschleunigung und der Verzögerung simuliert werden. Eine

realistische Materialmodellierung des Kabelquerschnittes ist jedoch nicht möglich. Es könnten aber richtungsabhängige Flächenträgheitsmomente (nicht kreisrunde Kabel oder Schläuche) berücksichtigt werden. Vorteilhaft ist die leichte Änderung des Kabel- oder Schlauchquerschnittes. Für den homogen angenommenen Kabel- oder Schlauchwerkstoff wird ein integraler Elastizitätsmodul aus experimentellen Untersuchungen verwendet. Die notwendige Querkontraktionszahl für die Simulation wird aus den experimentellen Ergebnissen für den Schubmodul berechnet. Der große Vorteil dieser Simulation ist die deutliche Ersparnis der Rechenzeit im Vergleich zum Volumenkörper. Die Simulation kann auch als dynamische Analyse – wie bereits unter 2.1 beschrieben – durchgeführt werden.



Abbildung 2.2: FEM – Kabel vernetzt mit 109 linearen Balkenelementen

2.3 Mehrkörpersimulation mit Balkenelementen

Die Mehrkörpersimulation (MKS) entspricht der dynamischen FE-Simulation mit Balkenelementen. Es werden dynamische Effekte berücksichtigt und für den homogen angenommenen Kabel- oder Schlauchwerkstoff wird ein integraler Elastizitätsmodul aus experimentellen Untersuchungen verwendet. Die notwendige Querkontraktionszahl für die Simulation wird aus den experimentellen Ergebnissen für den Schubmodul berechnet. Vorteilhaft ist die leichte Änderung des Kabel- oder Schlauchquerschnittes. Bei der Simulation werden Eigenkontakt und Fremdkörperkontakt berücksichtigt. Infolge des Rechenaufwandes ist die Simulation für die Entwicklungstätigkeit jedoch nur bedingt geeignet.



Abbildung 2.3: MKS – Kabel vernetzt mit 94 linearen Balkenelementen

2.4 Diskretisierung von Balkenelementen nach dem Cosserat-Modell

Die echtzeitfähige Software IPS Cable Simulation wurde am Fraunhofer-Chalmers Research Centre for Industrial Mathematics FCC in Göteborg, Schweden, und am Fraunhofer-Institut für Techno- und Wirtschaftsmathematik ITWM in Kaiserslautern entwickelt. Das Simulationsmodell basiert auf dem nichtlinearen Cosserat-Kontinuum für Balken und Schalen und wurde durch umfangreiche Finite Elemente Analysen und experimentellen Untersuchungen verifiziert. Die Forschungs- und Entwicklungsarbeiten sind durch wissenschaftliche Berichte, Dissertationen und Habilitationen dokumentiert. Die Vorgehensweise wird nachfolgend kurz dargestellt. Sie ist eine benutzerfreundliche und innovative Software zur Montagesimulation und zur interaktiven Verifikation und Visualisierung von Kabel- und Schlauchbewegungen. Der große Vorteil der Software ist die Echtzeitanalyse der Verformungen von Kabeln und Schläuchen mit unterschiedlicher Querschnittsfläche und Materialeigenschaften.

Folgende Funktionalitäten sind verfügbar: Die Berechnung der Reaktionskräfte und -momente an den Anschlusspunkten und die Ermittlung der Montagekraft, die Optimierung der Kabel- oder Schlauchlänge, die gezielte Integration von Befestigungsmöglichkeiten durch Clips mit unterschiedlichen Freiheitsgraden und die Bewertung der Bauteil- und Kabelbewegungen hinsichtlich Kontakt- und Kollisionsstellen. Die Beanspruchung der Kabel und Schläuche erfolgt durch die Darstellung des Biegeradius oder der auftretenden Spannungen (Normal-, Schub- und Vergleichsspannungen). Es können unterschiedlichste Leitungsarten untersucht werden, sowohl Einzelkabel, als auch Leitungsbündel und -stränge, mit und ohne Abzweigungen. Zusätzlich können Bauraum- und Abstandsanalysen mit der Darstellung des Hüllvolumens durchgeführt werden.

Nachfolgend wird exemplarisch die Prozesskette für die Simulation dargestellt:

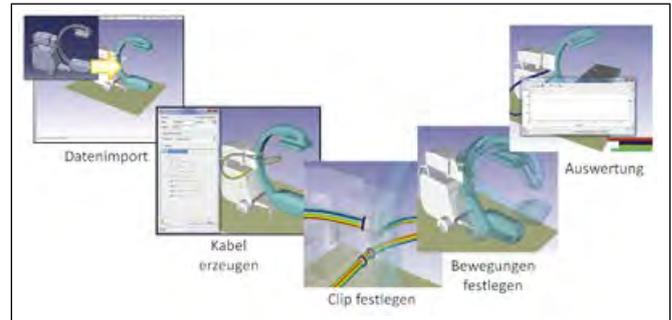


Abbildung 2.4: Darstellung der Prozesskette für die Kabel- und Schlauchsimulation

3 Auswahl und Ermittlung der relevanten Werkstoffparameter zur Kabel- und Schlauchsimulation

Bei der Bewegung von Kabeln und Schläuchen treten die klassischen Grundbeanspruchungsarten Zug/Druck, Biegung und Torsion auf. Zur Berechnung und Simulation der Verformungen basierend auf der klassischen linear-elastischen Theorie werden neben den Werkstoffparametern auch die Materialdichte und die geometrischen Abmessungen benötigt. Bei der Simulation werden nichtlinear-elastisches (Elastomere), plastisches (Metalle) und zeitabhängiges Werkstoffverhalten (z. B. Kriechen bei erhöhten Temperaturen) negiert. Diese Annahmen und Näherungen sind jedoch für eine realistische Simulation von Kabeln und Schläuchen gerechtfertigt. Für die Simulation werden neben den geometrischen Abmessungen und der Dichte, folgende Materialkennwerte benötigt, die mit einer Universalprüfmaschine bestimmt werden

- Dehnsteifigkeit
- Biegesteifigkeit in x- und y-Richtung
- Torsionssteifigkeit

Die Simulation mittels der Finiten-Elemente-Methode, der Mehrkörpersimulation oder einer Spezialsoftware von Kabel- und Schlauchbewegungen setzt also die Kenntnis des Elastizitätsmoduls E und des Schubmoduls G voraus. Zur Berechnung der Zug-, Biege- und Torsionssteifigkeiten von Kabeln und Schläuchen wurden ab 1900 analytische Gleichungssysteme entwickelt. Infolge der komplexen Kontaktmechanik bei Drahtseilen wurde erst seit 2000 die Finite-Elemente-Methode umfangreicher eingesetzt. Neben der Bestimmung der Steifigkeitskennwerte lag der Schwerpunkt bei der Spannungsberechnung in bereits verseilten Drähten unter verschiedenen äußeren Belastungen. Der analytischen Untersuchung sind jedoch enge Grenzen gesetzt, da z. B. plastische Verformungen nur schwer berücksichtigt werden können und keine Aussagen über die komplexe Kontaktmechanik und Spannungsverteilung im Seilinneren gemacht werden können. Erst durch den Einsatz der Finiten-Elemente-Methode können detailliertere Analysen durchgeführt werden. Nachfolgend werden die Ergebnisse von aktuellen

analytischen und numerischen Verfahren zur linear-elastischen Steifigkeitsuntersuchung vorgestellt.

3.1 Berechnung der Steifigkeitskennwerte mit analytischen Methoden

Die analytische Bestimmung des Litzenverhaltens erfolgte auf der Grundlage aus der Literatur bekannter Methoden. Gegenwärtig ist eine Reihe von unterschiedlichen analytischen Modellen zur Bestimmung der mechanischen Eigenschaften von Litzen verfügbar. Diese Modelle bestehen in vielen Fällen aus einem geraden Kerndraht, um den eine oder mehrere Schichten helixförmig gewundener Drähte angeordnet sind. Ein Überblick über bekannte analytische Modelle und ihre Besonderheiten wird von Alain Cardou (2006) gegeben.

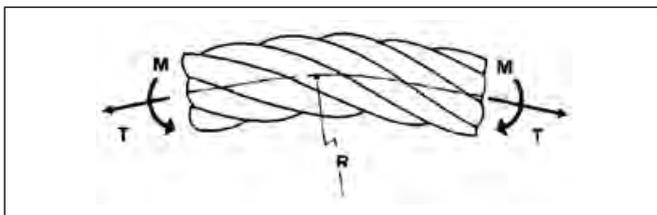


Abbildung 3.1: Analytische Berechnung eines Spiralseils

3.2 Berechnung der Steifigkeitskennwerte mit der Finiten-Elemente-Methoden

Da die betreffenden Drähte geometrisch bedingt schwer zugänglich sind, bietet die Finite-Elemente-Methode (FEM) hier als einziges Berechnungsverfahren die Möglichkeit, die Drahtspannungen auch lokal an verborgenen Stellen im Litzen- und Seilinneren und insbesondere über den gesamten Seilquerschnitt bezüglich deren Verteilung und Höhe zu berechnen. Die Basis der computergestützten Seilmodellierung bildet die Berechnung der Geometriekoordinaten. Hierfür wird eine parametrische Vorgehensweise angewandt, die mit nur wenigen Eingabedaten die Generierung von verschiedensten Seil- bzw. Litzenkonstruktionen in Standard- oder Parallelschlag sowie mit Rund- oder Formdrähten ermöglicht. Die Übertragung der Daten in ein Visualisierungsprogramm erlaubt anschließend eine präzise, dreidimensionale Darstellung und bei Bedarf die Durchführung einer geometrischen Analyse des Seilaufbaus.

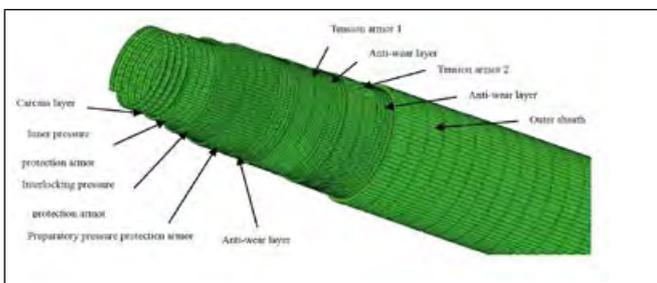


Abbildung 3.2: Ten layers of a riser

Neben den virtuellen Untersuchungen interessiert jedoch insbesondere die Beanspruchungsreaktion von Drahtseilen auf äußere Belastungen. Für derartige Spannungsberechnungen wird vor allem die Methode der Finiten Elemente (FEM) eingesetzt. Die bisherigen und auch die aktuellen Forschungsaktivitäten unter Verwendung der FEM zeigen, dass sich auch in der Drahtseilforschung durch die Berücksichtigung von Nichtlinearitäten sowie durch die uneingeschränkte Möglichkeit, sämtliche Seilquerschnittsbereiche zu untersuchen, signifikante Vorteile in der Spannungsanalyse ergeben. Mit der Simulation können kritische Spannungsanteile präzise lokalisiert und quantifiziert werden und ermöglichen schließlich eine rein beanspruchungsorientierte Beurteilung der Drahtseilgeometrie.

Die analytische Methode bietet einen guten Überblick über die dominierenden Einflussparameter zum Steifigkeitsverhalten und im gewissen Maße über die dominierenden Einflussfaktoren auf die Beanspruchung von Kabeln. Die Grenzen der unterschiedlichen Ansätze in Abhängigkeit von den Grundbelastungsfällen müssen dem Anwender jedoch genau bekannt sein.

Mit der Finiten-Elemente-Methode können sehr detaillierte Steifigkeits- und Spannungsanalysen unter Berücksichtigung der komplexen Kontaktzustände und einem nichtlinearen Materialverhalten durchgeführt werden. Bei der numerischen Analyse muss jedoch der beachtliche Simulationsaufwand beachtet werden. Dementsprechend ist es ein hervorragendes Werkzeug für die Kabelhersteller bei der Entwicklung und Bewertung von Kabeln und Schläuchen. Trotz der Herausforderung der Modellierung und der Verfügbarkeit von realistischen Materialkennwerten können Genauigkeiten von 5 % – 10 % im Vergleich zu experimentellen Untersuchungen erreicht werden.

Für den Anwender von unterschiedlichen Simulationsprogrammen zur Kabel- und Schlauchsimulation sollten die relevanten Kennwerte vom Kabelhersteller zur Verfügung gestellt oder durch experimentelle Versuche ermittelt werden, die zeitnah durchgeführt werden können. Die experimentellen Versuche haben den Vorteil, dass die Vorgeschichte aus der Verseilung und Verletzung und komplexe Reibungsvorgänge zwischen den Kabeln und Schläuchen berücksichtigt werden.

4 Zusammenfassung

Im Rahmen der Untersuchungen wurden unterschiedliche Methoden zur Simulation von Kabel- und Schlauchbewegungen dargestellt. Der Schwerpunkt bildet die Echtzeitsimulation zur Analyse, Bewertung und Optimierung von Kabel- und Schlauchbewegungen basierend auf einem nichtlinearen Cosserat-Balkenmodell. Der Unterschied zur klassischen Finite-Elemente-Methode mit Balken- und Volumenkörpern und zur Mehrkörpersimulation mit flexiblen eindimensionalen Körpern wird diskutiert

und bewertet. Eingangsparameter für die Analyse sind die Kabel- bzw. Schlauchabmessungen, die Biege-, Zug- und Torsionssteifigkeiten und die Materialdichte. Zur Bestimmung der Steifigkeiten und zur exemplarischen Verifikation wurde ein spezifischer Prüfstand entwickelt und aufgebaut. Für die Simulation spielt die Materialcharakterisierung eine dominierende Rolle. Deswegen wird empfohlen, eine umfangreiche Materialdatenbank unter Einbindung der Kabel- und Schlauchlieferanten aufzubauen. Basierend auf einem mit einem gängigen CAD-System entwickelten Verkabelungskonzept können damit umfangreiche quasistatische Analysen durchgeführt werden. Für den Anwender besteht die Möglichkeit, bereits in der frühen Entwicklungsphase umfangreiche Analysen und Absicherungen zur Kabel- und Schlauchsimulation zeitkritisch durchzuführen.

Kontakt:



Prof. Dr. Franz Magerl

Ostbayerische Technische
Hochschule (OTH) Amberg-Weiden
Fakultät Wirtschaftsingenieurwesen
Dekan
Hetzenrichter Weg 15
92637 Weiden

f.magerl@oth-aw.de



Dipl.-Ing. (FH) Martin Hofmann

Ostbayerische Technische
Hochschule (OTH) Amberg-Weiden
Fakultät Wirtschaftsingenieurwesen
Laboringenieur
Hetzenrichter Weg 15
92637 Weiden

m.hofmann@oth-aw.de

Changes in the functional connectivity of pain related brain areas during mental stress

Prof. Dr. Ralf Ringler
Prof. Dr. Clemens Forster

Erschienen in 243.04/EE8. 2014 Neuroscience Meeting Planner. Washington, DC: Society for Neuroscience, 2014. Online. R. RINGLER¹, P. V. D. KEYLEN², K. DETMAR³, R. LOOSE³, C. FORSTER²;

¹Univ. of Appl. Sci. Amberg-Weiden, Weiden, Germany; ²Inst. of Physiol. 1, Univ. of Erlangen, Erlangen, Germany;

³Radiology, Clin. Ctr. of Nuremberg, Nuremberg, Germany

Introduction

The cold pressure test (CP) induces a long lasting pain, which changes during its application from an acute to a deep and dull pain. This painful sensation of CP is accompanied by cardiovascular and other autonomic reflexes. Painful stimuli as well as stress induce autonomic responses which should depend on the type and duration of the painful or stress stimulus. It has been shown that mental stress as it is induced by a false color stroop task (ST) is able to change the pain perception. This is expressed by a change in the activation pattern of the affected brain areas. In this study stress was induced by a stroop task which was naming the print color of a written color name. In this work we further studied these changes regarding the functional connectivity between the affected brain areas. Our hypothesis was that the functional connectivity between pain related brain areas will be altered when the subjects were distracted from the pain by mental stress.

Keyword(s): CONNECTIVITY, FMRI, PAIN, STRESS, COLD-PRESSURE-TEST

Einleitung

Der „Cold Pressure Test“ (CP) löst einen lang anhaltenden Schmerz aus. Das schmerzhaft empfundene ändert sich im Laufe der Reizapplikation von einem akuten Schmerz zu einem Schmerzreiz, der als tief und dumpf empfunden wird. Diese schmerzhaft empfundene des CP wirkt sich reflektorisch auf das Herz-Kreislauf-System und das vegetative Nervensystem aus. Schmerzhaft Reize, ebenso wie Stress, induzieren autonome vegetative Reflexe, die von der Art und Dauer des schmerzhaften oder Stress-Reizes abhängen sollten. Es hat sich gezeigt, dass mentaler Stress, wie er von einem Falschfarben-Stroop-Test (ST) induziert wird, in der Lage ist, die Wahrnehmung von Schmerz zu verändern. Dies drückt sich durch eine Änderung des Aktivierungsmusters der betroffenen Hirnregionen aus. In dieser Studie wurde Stress durch eine Stroop-Aufgabe induziert, in der der Proband die Farbe des Wortes unabhängig von seiner Bedeutung benennen muss. In dieser Arbeit wird weiterhin untersucht, wie sich die schmerz- und stressinduzierten Änderungen in Bezug auf die funktionelle Konnektivität zwischen den betroffenen Hirnarealen niederschlagen. Unsere Arbeitshypothese war, dass sich die funktionelle Konnektivität zwischen den schmerzverarbeitenden Hirnarealen verändert, wenn die Probanden während des Schmerzreizes durch mentalen Stress abgelenkt werden.

Materials and methods

In this study 14 subjects including 3 males and 11 females participated. The average age of the participating subjects was 23.4 years \pm 2.9 years (mean \pm SD). Two different stimuli were presented. The cold pressure pain (CP) was applied in one round. As a second stimulus CP with stroop (CP+ST) were simultaneously presented. The experimental cold pressure is applied to the right foot. Therefore, the right foot was immersed into ice water with a temperature of about 4°C (39°F) initiating a deep and dull pain with a mean pain rating > 60% (on a closed scale from 0-100%). To perform the stroop task the subjects were asked to name the color -as quickly as possible- of the word while neglecting the meaning of the word itself.

During all runs the individual pain rating and psychophysical data were recorded. During a psychophysical pre-examination the subjects continuously gave pain ratings on a visual analogue scale (VAS) and blood pressure and heart rate were recorded. During fMRI sessions the subjects rated the mean pain intensity of CP and the CP+ST stimuli on VAS with their left hand. The psychophysical data were statistically analyzed by Wilcoxon matched pairs tests ($p < 0.05$). During the psychophysical pre-examination and the fMRI run each of the two tasks CP and CP+ST as described above lasted 120 seconds and was applied 2 times separated by baseline periods of 120 seconds (figure 1).



Figure 1: Protocol during psychophysical pre-examination and the fMRI run. The CP and CP+ST stimuli were repetitive applied for 120sec with a baseline period (no stimuli) in-between.

For functional MRI standard echo-planar-imaging (EPI) sequences with prospective motion correction were used. The fMRI data were analyzed with the standard software package BrainVoyager QX[®] applying the preprocessing slice scan time correction, 3D motion correction, linear de-trending and temporal high pass filtering to the MR-data. EPI-data were then co-registered to the subjects individual 3D-MPRAGE data set which was transformed by a rigid body transformation into the Tailarach space. The general linear model (GLM) approach offers a block designed group study using the predictors: CP and CP+ST. To the corresponding clusters of activation during the stimuli CP or CP+ST a threshold of $p < 0.000001$ for significance and a minimum cluster size: 150 mm³ was applied. For a further anatomical mapping the clusters had to be inside a defined volumes of interest (VOI).

The aim of the work was a network of functional connectivity between cortical areas. Therefore, the analysis of functional connectivity was performed by a pearsons correlation coefficient with the time course. To eliminate artifacts the BOLD-data time course was transformed to a standard normalized distribution.

Results

Change of rating during CP compared to CP+ST stimuli is shown in figure 2. The pain rating of CP+ST is significantly reduced to CP as stimulus alone during the first stimulus. Taking the second stimulus the difference is still reduced but no longer significant. The second painful stimulus was also less painful in rating compared to the first one. This effect is also significant.

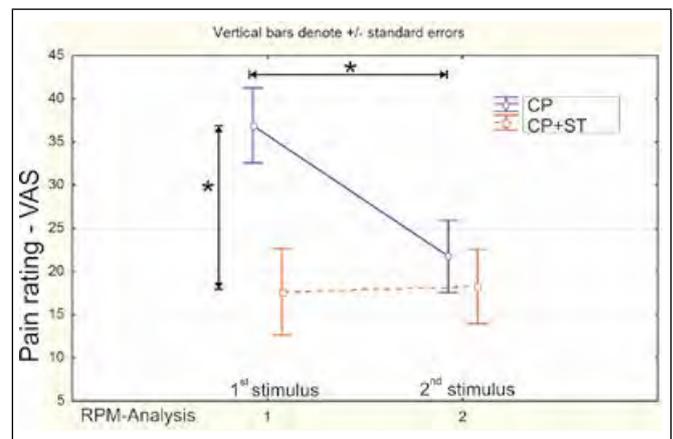


Figure 2: Pain rating during the two conditions CP and CP+ST. The first stimuli showed decreased and significant difference between the to conditions.

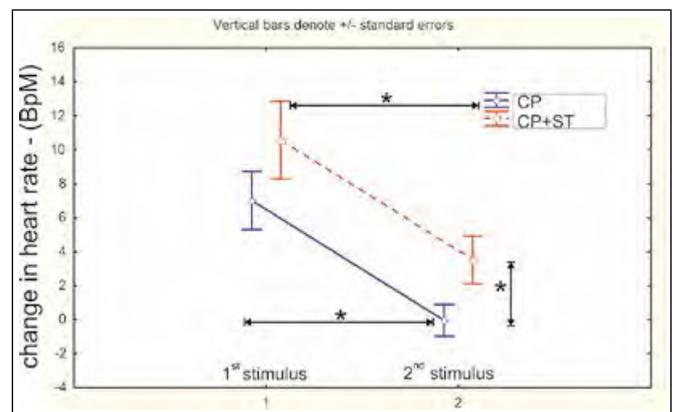


Figure 3: Heart rate is decreased by the distraction condition CP+ST compared to the CP but only during the second stimuli the effect is significant. There is also a decrease in heart rate by the repetition of the stimulus.

Figure 3 describes the decreased effect of the heart rate during the distraction to the pain which occurred by presenting the stroop task in parallel to the cold pressure pain. During the second stimulus the effect is also significant. The repetition of the stimulus either during CP or CP+ST lead to a significant decrease in heart reate.

Two typical specimen of the GLM-analysis of the fMRI-data are shown in figure 4. During the analysis the predictors could be chosen in different ways. To display the contrast of the two conditions of CP and CP+ST in the GLM-analysis the predictor CP was set to (+) and predictor CP+ST was set to (-). The typical pain network is activated and the contrast is shown in the two regions of interests ROI 2 and ROI 3. Both ROI present that the activation in the precentral gyrus is stronger for CP+ST compared to CP. ROI 4-5 present that the activation in the anterior insula is stronger for CP+ST compared to CP. The cluster size as well as the statistical t-values for the left or the right insula are about the same magnitude.

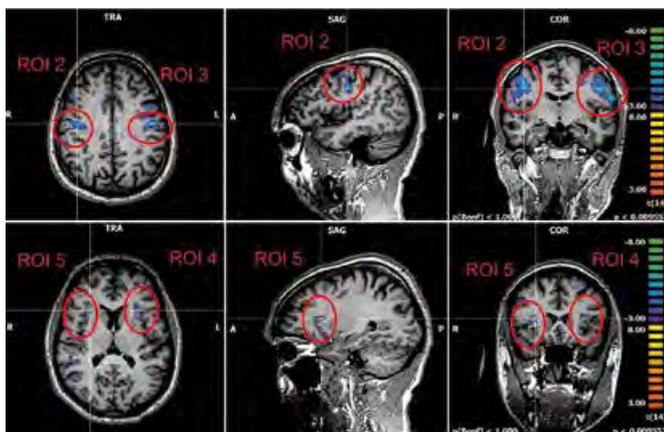


Figure 4: GLM-analysis with predictors CP(+) and predictor CP+ST(-). ROI 2-3: Activation in the precentral gyrus is stronger for CP+ST compared to CP. ROI 4-5: Activation in the anterior insula is stronger for CP+ST compared to CP

Nearly all connectivity values (pearsons r) were higher during CP than during CP+ST. The highest r values were found between primary somatosensory cortex S1 and secondary somatosensory cortex S2 (BA 40) on both hemispheres ($r > 0.8$, $p < 0.00$). Those high connectivity values decreased only slightly during CP+ST as compared with CP (figure 5).

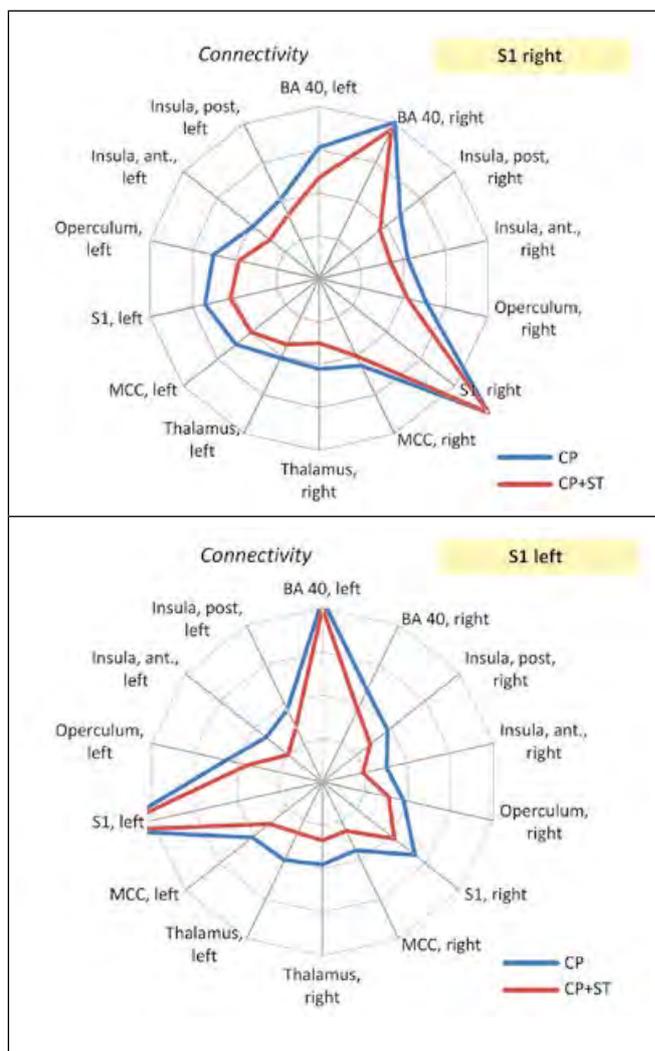


Figure 5: Connectivity between primary somatosensory cortex S1 and other pain processing areas in the brain

There were also high connectivity values ($r > 0.6$, $p < 0.00$) between the areas of the medial system (insular cortex, anterior cingulate cortex, amygdala). The most prominent decreases of connectivity (CP+ST compared to CP) were found in the network consisting of amygdala, caudate and BA 40. These areas are known to be involved in processing of the affective components of pain (figure 6).

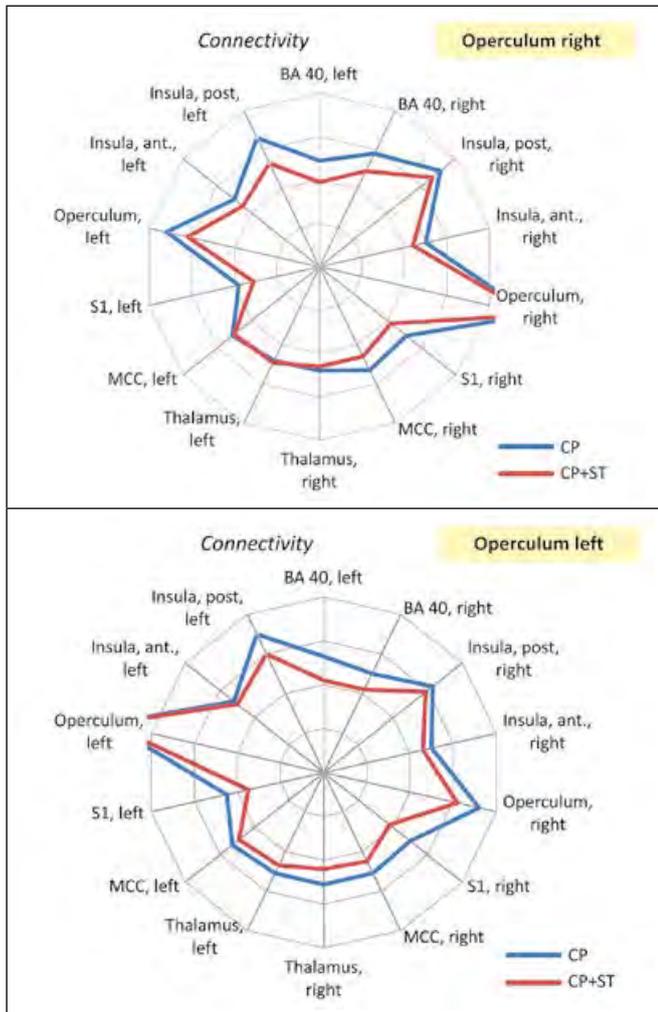


Figure 6: Decreased functional connectivity found in the network consisting of amygdala, caudate and BA 40

Conclusion

The study proved that during a distraction – in our case a stroop task – the rating of pain induced by a cold pressure test was significantly reduced. The arousal effect of the 1st stimulus lead to a pronounced increase in pain rating than during the 2nd stimulus. There was direct coupling to the heart rate which also increased more during the first stimulus than the repletion. In parallel to the cold pressure pain, the stress induced by simultaneous presentation of a stroop task and cold pressure pain significantly increased the heart rate.

Cortical areas which are involved in the processing of pain answered to the reduction of pain by stress. Those areas seem to be mediated by the insular cortex and frontal areas. The cold pressure pain stimulus activated the previously described network of pain related brain areas. The activation of pain processing was reflected by an increased functional connectivity between these areas of the network. In contrast to that a distraction from the pain by a stroop task reduces the synchronism of areas which are discussed to be involved in the affective components of pain.

Kontakt:



Prof. Dr. Ralf Ringler

Ostbayerische Technische Hochschule (OTH) Amberg-Weiden
 Fakultät Wirtschaftsingenieurwesen
 Medizintechnik / Medizinische Physik
 Hetzenrichter Weg 15
 92637 Weiden

r.ringler@oth-aw.de



Prof. Dr. Clemens Forster

Friedrich-Alexander-Universität
 Erlangen-Nürnberg
 Institut für Physiologie und
 Pathophysiologie
 Universitätsstraße 17
 91054 Erlangen

clemens.forster@fau.de

Europäische Potenziale am Beispiel länder- übergreifender Kooperations- projekte und auf Hochschul- ebene

Prof. Dr. Frank Schäfer

Zusammenfassung

In den teilweise strukturschwachen Regionen in Nordostbayern und Westböhmen bestehen besondere Potenziale einer wirtschaftlichen Weiterentwicklung im Rahmen der europäischen Integration. Mit dem Regionalmarketing sowie der generellen wirtschaftlichen Entwicklung dieses Untersuchungsraums beschäftigt sich ein hochschulübergreifendes Kooperationsprojekt der Hochschulen Pilsen, Hof, Amberg-Weiden und Regensburg, welches mit „Ziel 3“-Mitteln der EU gefördert wird. In diesem Beitrag wird dieses Forschungsprojekt im Überblick präsentiert. Ferner wird als Inspirationsquelle weiterer Überlegungen zur Kooperation der Länder im Untersuchungsgebiet die Euregio-PAMINA im deutsch-französischen Grenzgebiet analysiert und vorgestellt. Es handelt sich dabei um ein Beispiel gelungener länderübergreifender Integration auf höherem Intensitätsgrad.

Abstract

The partly structurally weak regions in North-East Bavaria and West Bohemia carry special potential for further economic development within the framework of European integration. A cross-university cooperative project between the Universities of Pilsen, Hof, Amberg-Weiden and Regensburg, which is supported by “Ziel 3” EU funds, focuses on regional marketing as well as on the general economic development of the target region. This paper will present an overview of the research project. In addition, the EURODISTRICT REGIO PAMINA in the French-German border region will be introduced and analysed to serve as a source of inspiration for further considerations regarding the cooperation of the countries in the target area. PAMINA is an example of successful cross-national integration at a higher level of intensity.

Vorwort und Hinführung

Auch wenn in der Wahrnehmung vieler EU-Bürger die Strahlkraft der europäischen Integration durch die gegenwärtige Griechenlandkrise und andere Herausforderungen (z. B. die gerechte Verteilung von Asylbewerbern innerhalb der EU) leidet und aktuell eher eine Defizitbetrachtung die öffentliche Diskussion bestimmt, so gibt es doch auch vielfältige Aktivitäten in unterschiedlichen Bereichen, die den europäischen Integrationsprozess positiv befördern wollen.

Auf Hochschulebene kann hier als ein Beispiel das auf ein länderübergreifendes Destinationsmarketing sowie auf eine verbesserte wirtschaftliche Zusammenarbeit zielende Kooperationsprogramm der Hochschulen in Nordostbayern (HS Hof, OTH Amberg-Weiden, OTH Regensburg) mit der Universität Pilsen benannt werden. Diese Forschungs-Kooperation wurde mit der

Konzeptphase 2012 begonnen. Das Programm wird aus „Ziel 3“-Mitteln der EU gefördert. Der räumliche Untersuchungsraum bezieht sich analog zum Haupteinzugsbereich der beteiligten Hochschulen auf Nord- und Ostbayern sowie auf Westböhmen. In 2013 folgte in erster Stufe zur Gewinnung einer belastbaren Datenbasis eine empirische Untersuchung mit jeweils ca. 1000 Befragten auf tschechischer und auf deutscher Seite. Aus diesen Daten wurden Erkenntnisse zu gegenseitigem Besucherverhalten, Reisemotivationen, Interessenfeldern und Ausgabeverhalten gewonnen.

Hieraus konnten Handlungsempfehlungen für das regionale Destinationsmarketing sowie für regional aktive Akteure unterschiedlicher Bereiche abgeleitet werden. Ab dem Jahr 2014 folgten dazu umfangreiche Veröffentlichungen.¹

Zur Förderung der grenzüberschreitenden Integration auf Hochschulebene wurden in 2015 mehrere Aktivitäten entfaltet. So wurde eine mehrtägige Exkursion im Untersuchungsgebiet mit Studierenden der Hochschulen aus beiden Ländern organisiert. Ferner fand eine internationale wissenschaftliche Tagung zum Untersuchungsthema an der Universität Pilsen statt.

Nachdem in Stufe 1 die Perspektive auf den Bewohnern der Untersuchungsregion selbst lag, wurde in der anschließenden Untersuchungsstufe 2 die Betrachtungsperspektive räumlich erweitert. So wurden in einer weiteren empirischen Untersuchung der Bekanntheitsgrad und das regionale Image der Untersuchungsregion bei Probanden aus weiter entfernt liegenden Gebieten (Baden-Württemberg und Rheinland-Pfalz) erhoben. Aus diesem „Außenbild“ lassen sich weitere Erkenntnisse auf dringende Handlungsbedarfe im Bereich der Verbesserung des überregionalen Images ableiten.

Ferner wird im Rahmen dieser Betrachtung auch eine Vergleichsregion im deutsch-französischen Grenzgebiet näher analysiert. Es handelt sich dabei um den EURO-DISTRICT REGIO „PAMINA“, der aus östlichen Teilen des Elsass sowie aus den westlichen Teilen Badens und südlichen Teilen von Rheinland-Pfalz besteht. Ähnlich wie das bayerisch-böhmische Grenzgebiet besitzt auch dieser Raum aus der Historie heraus vielfältige Beziehungen, die im Rahmen der europäischen Integration wiederbelebt und intensiviert wurden. Im Folgenden wird dieser PAMINA-Raum hier näher untersucht, um aus diesem Referenzbeispiel Inspiration für die Intensivierung der bayerisch-böhmischen Integration zu gewinnen.²

1 Die Struktur des EURODISTRICTS REGIO PAMINA

Der EURODISTRICT REGIO PAMINA bildet einen kommunalen deutsch-französischen Zweckverband, welcher die drei Teilräume Südpfalz, Baden (mittlerer Oberrhein) und Nordelsass umfasst. Wichtige Orte auf deutscher Seite sind beispielsweise Karlsruhe, Landau und Baden-Baden, während auf französischer Seite Haguenau und Saverne genannt werden können.

Der Raum umfasst ca. 1,6 Mio. Einwohner auf einer Fläche von etwa 6.000 km². Die Bevölkerungszahl ist seit 1990 um etwa 10 % angewachsen, auf deutscher Seite insbesondere durch Wanderungsgewinne. Die wachsende Tendenz gilt sowohl auf deutscher wie französischer Seite. Für die Zukunft wird eine weitere Zunahme prognostiziert. Im Gebiet befinden sich ca. 50.000 Unternehmen. Circa 16.000 Grenzgänger dokumentieren, als Beispiel aus der Perspektive „Arbeitsmarkt“, die gegebene Verflechtung.³

Der Name PAMINA ist ein Kunstwort und setzt sich aus Teilsilben der drei den Raum definierenden Einzelregionen zusammen. „PA“ für Palatinat du Sud (französisch

für Rheinpfalz), „MI“ für Mittlerer Oberrhein und „NA“ für Nord Elsass. Im Ergebnis steht ein wohlklingender, identitätsstiftender Kunstname, der unter interner und externer Marketingperspektive positiv zu bewerten ist. Der Name erinnert Opernliebhaber an die Figur Pamina, die Tochter der Königin der Nacht, aus der bekannten Oper „Die Zauberflöte“ von Wolfgang Amadeus Mozart. Der phonetisch angenehme Klang, der herstellbare Bezug zu den raumbildenden Einzelregionen und mögliche Assoziationen zu Mozarts Oper lassen diese Namenswahl unter einer Marketingperspektive sehr positiv erscheinen.



Abbildung 1: Die EUREGIO PAMINA

Der PAMINA-Raum wurde 2003 zu einem grenzüberschreitenden örtlichen Zweckverband aufgewertet, nachdem bereits ab Ende der 1980er-Jahre eine Kooperation auf niedrigerem Intensitätsniveau, z. B. auf dem touristischen Gebiet, initialisiert worden war.

2 Vergleichsidee grenzüberschreitender regionaler Integrationsvorhaben: REGIO PAMINA und nord-ostbayerisch-böhmischer Raum

In der Betriebswirtschaftslehre gibt es den Begriff des Wettbewerbsvergleiches, der als Nutzenstiftung häufig eine bessere Einschätzung der eigenen Leistungsfähigkeit und des Stärken-Schwächen-Profiles aus einem Vergleich zu anderen Referenzobjekten liefern soll. Ferner soll aus einem solchen Vergleich häufig eine Inspiration erfolgen, wie eigene Gestaltungsfelder, mit Blick auf Wettbewerbslösungen, verbessert umgesetzt werden können. Vor diesem Hintergrund ist es die Idee dieses Beitrags die bereits seit mehreren Jahrzehnten aktive Kooperation PAMINA im deutsch-französischen Grenzgebiet als Referenzbeispiel zu betrachten mit Blick auf Inspirationen für Handlungsmöglichkeiten speziell im hier fokussierten nordostbayerisch-böhmischen Grenzgebiet. Denn in diesem deutsch-tschechischen Grenzraum ist die politische Absicht zu erkennen, eine Intensivierung der Kooperation zu erreichen. Gedacht ist hier speziell z. B. an europäische Kooperationsprojekte im „Ziel 3“-Programm, siehe z. B. dazu auch die Euregio Egrensis.

Bereits kurz nach dem Fallen des „Eisernen Vorhangs“ bestehen seit Anfang der 1990er-Jahre Vorarbeiten zur Gründung einer grenzüberschreitenden Initiative, um die

Folgen der intensiven Trennung durch die über 40 Jahre dominante Grenze im innerdeutschen Bereich sowie zwischen Deutschland und Tschechien zu überwinden. Seit 1993 besteht die Euregio Egrensis, die räumlich etwas weiter als der hier betrachtete Untersuchungsraum gefasst ist, in welcher auch Teile von Sachsen und Thüringen inkludiert sind. Auf der anderen Seite ist das hier fokussierte Gebiet durch die südliche Oberpfalz, in südlicher Erstreckung, weiter definiert als die Euregio Egrensis und umfasst auch den Raum Regensburg. Die Erweiterung gilt ähnlich auch für Tschechien, wo auch der Raum Pilsen inkludiert ist. Das Gebiet der Euregio Egrensis umfasst etwa 2 Mio. Einwohner. Aus der Selbstbeschreibung der Euregio Egrensis als „Arbeitsgemeinschaft“ in (nur) drei Themenkomplexen wird der im direkten Vergleich niedrigere Intensitätsgrad der Kooperation deutlich. Im Vergleich dazu hat die Kooperation in der EUREGIO PAMINA, als grenzüberschreitender Planungsverband, beim Vernetzungsgrad gemeinsamer Aktivitäten einen größeren Eigenanspruch.⁴



Abbildung 2: Das Gebiet der Euregio Egrensis⁵
Quelle: Bayerisches Staatsministerium für Wirtschaft, Infrastruktur, Verkehr und Technologie

Nachdem politische Aktivitäten u. a. der Bayerischen Staatsregierung der letzten Jahre zeigen, dass ein aktiv formuliertes generelles Interesse an einer Intensivierung der Kooperation zwischen Bayern und Tschechien besteht, erscheint auch eine entsprechende Aktivierung der Anstrengungen im direkten Grenzraum naheliegend und zielführend. Aus der Betrachtung der bereits gelebten, ausgeprägten Kooperation in der EUREGIO PAMINA als Vergleichsregion sollen nun Hinweise und Inspiration für eine nachhaltige Intensivierung derselben im bayerisch-böhmischen Grenzgebiet abgeleitet werden.

Beobachtbare Rahmenbedingungen, Arbeitsschwerpunkte und Erfahrungen in der PAMINA-Region können dabei als Impulsgeber wirken.

3 Historischer Hintergrund grenzüberschreitender Interaktionen

Betrachtet man grenzüberschreitende Interaktionen, empfiehlt sich zunächst ein näherer Blick auf den Begriff der Grenze. „Grenze“ kann in drei Arten interpretiert werden: Es existieren parallel zueinander zum Ersten politische Grenzen, die z. B. Nationalstaaten voneinander abgrenzen. Ferner kulturelle Grenzen, die sich schwerer klar definieren lassen und sich z. B. in unterschiedlichen Sprachen und Brauchtum manifestieren. Als dritte Kategorie bestehen funktionale Grenzen, die durch den Einzugsbereich von zentralen Orten oder Institutionen gebildet werden.⁶ Betrachtet man den PAMINA-Raum und speziell das Elsass, so fällt eine definierte politische Grenze und eine, aus der historischen Entwicklung wesentlich weichere, kulturelle Grenze auf. Historisch stand das Elsass wechselnd unter französischem und deutschem Einfluss. Seit Ende des Zweiten Weltkriegs zielte die französische Politik zunächst auf eine Betonung der französischen Sprache und Kultur. Dennoch hat sich der germanischstämmige Dialekt, das Elsässisch, in weiten Teilen der Bevölkerung gehalten. So geben über 50 % der Elsässer an, noch über Kenntnisse der lokalen Mundart zu verfügen. Unter dem Aspekt der Förderung von Regional- und Minderheitensprachen der EU wird in den letzten Jahren etwas offener mit dem Thema „Deutsch“ bzw. „Elsässisch“ umgegangen. So wird Deutsch auf Basis der Daten von 2010 von 91 % der Kinder in der Grundschule als Fremdsprache gelernt, wobei in weiterführenden Schulen dieser Anteil deutlich rückläufig ist.⁷ Auf der anderen Seite besteht in den deutschen Grenzregionen ein höherer Anteil französischer Sprachangebote als Fremdsprache als in anderen Teilen Deutschlands. Dies erleichtert sprachlich die Interaktion der Menschen in dem PAMINA-Raum, da die Sprachgrenzen durch die Sprachkenntnisse weiter Teile der betreffenden Bevölkerung zumindest aufgeweicht sind.

Nach dem Zweiten Weltkrieg war der politische Wille einer Aussöhnung zwischen den historisch verfeindeten Ländern spürbar, wie etwa als erster Schritt an der Begründung des deutsch-französischen Freundschaftsvertrags 1963 durch den französischen Staatpräsidenten de Gaulle und den deutschen Bundeskanzler Adenauer deutlich wurde. In den folgenden vier Jahrzehnten folgten zahlreiche weitere Kooperationen auch in der Region des Oberrheins wie z. B. die Regio Basiliensis (1963), Euro-Region Oberrhein (1982) sowie TriRhena (1995).⁸

Im Gegensatz dazu konnte eine aktive Gestaltung der grenzüberschreitenden Aktivitäten zwischen Bayern und Böhmen erst nach dem Wegfall der Grenzen 1989 und dem EU-Eintritt Tschechiens 2004 wieder beginnen. Diese Gegend hat somit gegenüber dem PAMINA-Raum einen signifikanten Zeitnachteil von mehreren Jahrzehnten gemeinsamer Kooperationserfahrung. Ferner bestehen, als Folge der jüngeren Geschichte, deutliche

Sprachbarrieren zwischen Deutschland bzw. Bayern und Tschechien. Deutsch als Muttersprache ist in Tschechien praktisch nicht mehr vorhanden, aktuell zählen sich nur noch 0,4 % als deutschstämmig. Beide Seiten benötigen somit Fremdsprachenkenntnisse, um miteinander kommunizieren zu können.

Das Lernen der jeweiligen Nachbarsprache gehört in beiden Ländern nicht zum präferierten Standardprogramm an den Schulen. In beiden Ländern liegt das Erlernen der englischen Sprache vorne. Dennoch bestehen bemerkenswerte Angebote bei regionalen Bildungsträgern, wie z. B. der Bachelor-Studiengang „Internationales Technologiemanagement“ der OTH Amberg-Weiden mit seinem vertiefenden Sprachangebot in der tschechischen Sprache zeigt.⁹ Auch auf tschechischer Seite, z. B. an der Universität Pilsen, gibt es spiegelbildlich Fremdsprachengebote für Deutsch. Die Präferenz der Studierenden liegt aber auf der englischen Sprache, der „Marktanteil“ der deutschen Sprache ist im Vergleich niedrig und weiter rückläufig.

Die Kommunikation zwischen den Nachbarn in Ostbayern und Tschechien in den jeweiligen Landessprachen ist also nicht einfach und wird in der Praxis teilweise durch Verwendung von Englisch kompensiert. Dies bestätigen z. B. auch Leserbriefe in der Regionalpresse in Bayern¹⁰, die z. B. in Pilsen touristische Hinweise in Deutsch vermissen, gleichzeitig aber die Existenz derselben in englischer Sprache bestätigen.

4 Phasenmodell zur Beurteilung und Gestaltung der Intensität grenzüberschreitender Interaktion

Wie erwähnt präsentiert sich die grenzüberschreitende Kooperation im PAMINA-Raum heute bereits auf höherem Intensitätsniveau. In der Vergangenheitsbetrachtung zeigt sich dabei ein mehrstufiger Prozess der kontinuierlichen Weiterentwicklung der Beziehungsdichte.¹¹

Phase 1: Wiederannäherung und Vertrauensbildung

Phase 2: Informationsaustausch über informelle und offizielle Gremien

Phase 3: Zusammenarbeit in Projekten

Phase 4: Implementierung eines dauerhaften politisch-organisatorischen Rahmens

Die Kooperation in der PAMINA-Region präsentiert sich nach außen sichtbar organisatorisch dauerhaft verankert, wie die eigenen Räumlichkeiten („Haus der Kooperation“) seit 2011 im ursprünglichen Zollhaus in Lauterbourg zeigen.¹²

5 Typische Arbeitsfelder und Prioritäten beim Ausbau grenzüberschreitender Interaktion

Betrachtet man die Aufgaben des EURODISTRICTS REGIO PAMINA, so stehen heute die nachfolgend dargestellten Aspekte im Mittelpunkt¹³:

- Eine gemeinsame Raumentwicklung nach den Leitzielen des EURODISTRICTS
- Die Informationsvermittlung und Beratung bezüglich grenzüberschreitender Fragen im Rahmen INFOBEST-Aufgaben
- Die Vorbereitung und Betreuung grenzüberschreitender Projekte
- Die Verwaltung europäischer Fördermittel

Verfolgt man die durchgeführten Aktivitäten im Detail, dann können folgende Arbeitsschwerpunkte benannt werden:

- Raumentwicklung und Verkehr (thematische Beispiele: Ausbau der Rheinquerungen, grenzüberschreitendes Radwegenetz, Einladung des französischen Nachbarn zu regionalen Planungskonferenzen in Rheinlandpfalz)
- Naturparkprojekte (Beispiel: Gestaltung des Naturparks „Rheinauen“ mit Investitionen von gesamt 10 Mio. €, davon ca. 4 Mio. € aus Europäischem Fonds für regionale Entwicklung)¹⁴
- Energieversorgung (Beispiel: Gestaltungsfeld regenerative Energie)
- Wirtschaft (thematische Beispiele: grenzüberschreitende Zukunftswerkstatt; Pilotprojekt PAMINA-Arbeitsmarkt: grenzüberschreitende Ausbildungssysteme; Projekt im Rahmen des Europäischen Sozialfonds zum Thema Beschäftigung älterer Arbeitnehmer)^{15, 16}
- Soziales (Beispiele: „Seniorenbegegnungen ohne Grenzen“, Symposium „Zweisprachigkeit ab der frühen Kindheit – eine kulturelle Öffnung über die Grenzen“)
- Tourismus (Beispiel: grenzüberschreitende Radtour „Tour de PAMINA“)¹⁷
- Jugend (Beispiel: grenzüberschreitende Seminarreihe für aktive Jugendakteure, grenzüberschreitendes Projekt zur Gewalt-, Drogen- und Verkehrsprävention)
- Sport (Beispiele: Kooperation französischer und deutscher Fußballverbände, grenzüberschreitende Sportwettbewerbe auf Schulebene)
- Bildung und Kultur (Beispiele: Dialogforum für Kulturakteure, grenzüberschreitende Schultheaterwoche)¹⁸

Eine Reihe der dargestellten Beispiele wurden mit Mitteln aus dem „EURODISTRICT“ mit typischerweise jeweils niedrigen vierstelligen Eurobeträgen gefördert. Aus dem PAMINA21-Kleinprojektfonds konnten ferner im Bewilligungszeitraum 2011 – 2013 jährlich Fördermittel in Gesamthöhe von 150.000 € verausgabt werden. Interessant ist, dass die Möglichkeit von geförderten Kleinprojekten im gesamten PAMINA-Raum aktiv beworben wurde, um entsprechende Projektanträge zu motivieren.

Der laufende Haushalt der PAMINA-Organisationszentrale betrug 2011 ca. 0,75 Mio. €.

Insgesamt wurden allein zwischen 1989 und 2007 in über 100 Projekten, aus Mitteln der EU-Regionalförderprogramme, mehr als 30 Mio. € im PAMINA-Raum investiert. Dies zeigt, wie gerade mit dem Argument grenzüberschreitender Integrationsaktivitäten signifikante Fördermittel aktiviert werden können.¹⁹

Im Rahmen von INFOBEST werden ferner Beratungs- und Informationsleistungen für die Bürger erbracht, z. B. arbeits- und sozialrechtliche Fragen für Grenzgänger.



Abbildung 3: Beispiel grenzüberschreitende Tourismusförderung: Radeln im PAMINA-Raum²⁰

6 Handlungsempfehlungen für den Untersuchungsraum

Versteht man diesen Beitrag als Inspirationsquelle für eine Intensivierung der grenzüberschreitenden Kooperation im bayerisch-böhmischen Grenzgebiet, dann lassen sich aus dem langjährig bestehenden PAMINA-Raum einige erste ausgewählte Gedanken ableiten.

Zum einen wird deutlich, dass es sich um einen langfristig und nachhaltig angelegten Prozess der zunehmenden Intensivierung einer Zusammenarbeit handelt. Es empfiehlt sich ein „step by step“-Prozess, der den politischen und gesellschaftlichen Schwung der Akteure auf beiden Seiten der Grenze systematisch nutzt, ohne die Interessengruppen mit Blick auf ihre eigene Identität und den kulturellen Mainstream vorstellbarer Veränderungs- und Entwicklungsbereitschaft zu überfordern. Ein Beispiel dafür, im Bereich der gemeinsamen Raumplanung, bilden etwa signifikante historische Unterschiede, z. B. beim Thema Zersiedelung und Flächenverbrauch im PAMINA-Raum.²¹

Die europäischen Integrationsstrategien auf EU-Ebene dienen dabei als wichtiger übergeordneter politischer Anker, über welchen sich auch große Teile nötiger Budgets generieren lassen.

Eine intensivere Kooperation ist kein (politischer) Selbstzweck, sondern sollte die betreffenden Bürger und Interessengruppen in den Grenzregionen mitnehmen und ansprechen. Gerade die Erfahrung im PAMINA-Raum zeigt, dass Bürger sich häufig zu wenig informiert und zu wenig integriert fühlen sowie sich manchmal auch wenig aktiviert zeigen.^{22, 23} Eine gezielte Definition von Projekten mit Sichtbarkeit, greifbarem Nutzen sowie Symbolcharakter für die betreffende Bevölkerung empfiehlt sich aus einer Marketingperspektive für die in der Region lebenden Personen. Ein Beispiel zum Stichwort „Symbolcharakter“ bildet hier auch das Stichwort „Name“ für Untersuchungsregion. Vergleicht man den wohlklingenden Namen „Pamina“ mit der eher sperrigen Formulierung „bayerisch-böhmisches“ Grenzgebiet, erkennt man spontan den Handlungsbedarf, hier eine intern identitätsstiftende und zugleich extern attraktive Namensgebung anzustreben.

Eine weitere Zielsetzung kann in einer quasi externen Regionalmarketingperspektive liegen, die den grenzüberschreitenden Raum attraktiv für Menschen außerhalb des Untersuchungsgebietes machen soll.^{24, 25} Denken kann man hier etwa an eine größere touristische Attraktionskraft durch das gemeinsame Gestalten und Bewerben der Attraktionen im Destinationsgebiet. Im bayerisch-böhmischen Raum könnte man etwa an eine Kombination von Bäder-Tourismus, in Böhmen mit Naturparkerfahrungen, in der nördlichen Oberpfalz z. B. in Verbindung mit Fahrrad-, Motorrad- oder Cabrio-Events denken, die durchaus auch an internationale Zielgruppen herangezogen werden könnten. Als Referenz kann hier ebenfalls der PAMINA-Raum zitiert werden, wo z. B. auch das Adressieren asiatischer Zielgruppen thematisiert wird.²⁶ Gleichzeitig präsentiert sich diese Aufgabe im PAMINA-Raum aber auch mit vielfältigen Herausforderungen,²⁷ während die Auflage eines gemeinsamen Tourismus-Newsletters ein Beispiel für eine aktive grenzüberschreitende Regionalmarketingmaßnahme bildet.

Die Realität zeigt gerade in diesem Themenkomplex für die Untersuchungsregion aktuell eine ernüchternde Ausgangssituation. So zeigen im Rahmen dieser Forschungskoooperation durchgeführte überregionale Befragungen zum Thema Bekanntheitsgrad und Image der Untersuchungsregion eine weitgehende Unbekanntheit und sehr diffuse Vorstellungen zu den Highlights der Region. Echte „Leuchttürme“ sind in der überregionalen Bevölkerung kaum oder nur partiell bekannt. Dies gilt interessanterweise auch für grundsätzlich bedeutsame Assets, wie z. B. die Bayreuther Wagner-Festspiele, die Luisenburg-Festspiele oder die böhmische Bäderkultur. Allein der Regensburger Dom weist eine gewisse Bekanntheit auf. Hier gilt es gerade im überregionalen, primär touristischen „Vermarkten“ des Untersuchungsraumes neue kooperative Konzepte zu entwickeln, die überregional, national oder gar international ein Ausrufezeichen setzen, um auf die Region aufmerksam zu machen.

Es gilt dabei auch Chancen aktiv zu nutzen, wenn sie sich ergeben. Ein Beispiel aus dem Bereich der Produktionsorte für bekannte Kinofilme soll dies verdeutlichen. 2006 wurde der James Bond Film „Casino Royal“ teilweise in der Untersuchungsregion gedreht: z. B. in Karlsbad (Grandhotel Pupp sowie ehemaliges Kaiserbad Spa) sowie auf dem Marktplatz in Loket (Elbogen) und im alten Militärhospital in Plana. Das Grandhotel Pupp bewirbt zwar auf seiner Homepage „Auf den Spuren von 007“, ein großer Zustrom internationaler Touristen auf diesen Spuren wird aber bislang nicht wahrgenommen. Anders verhält es sich in anderen Teilen dieser Welt. So ist „James Bond Island“ im Andamanen-Meer ein „must have“-Ausflug für die internationalen Touristen im Süden Thailands. Die (unbewohnte) Felseninsel Khao Phing Kan ist bekannt aus dem James Bond Film „Der Mann mit dem goldenen Colt“ von 1974. Obwohl die Veröffentlichung des Films über 40 Jahre zurückliegt, strömen noch täglich Hunderte Touristen mittels Longtail-Bootstouren auf diese Insel. Tatsächlich werden diese Ausflüge sowohl über internationale sowie nationale Reiseveranstalter vermarktet und stärken die allgemeine Attraktivität der Destination für die Besucher. Solche kreativen Wege der touristischen Bewerbung sollten auch in Nordostbayern und Westböhmen eingeschlagen werden.

Auch auf bayerischer Seite zeigen sich Handlungsfelder. So wurde z. B. im Fichtelgebirge und Frankenwald bis heute keine ausreichende Substitution für die nach dem Fall der Mauer rückläufigen Besucherzahlen aus Berlin gefunden.

Um Inhalt und Zielsetzung ambitionierter Kooperationsprojekte zwischen den Beteiligten strukturiert zu kodifizieren, kann die Erarbeitung von Leitzielen eine sinnvolle strategische Maßnahme sein. Dies wurde im PAMINA-Raum z. B. auf der Ebene eines Zweckverbandes umgesetzt.²⁸ Auch für den Untersuchungsraum in Bayern und Böhmen kann dabei das Credo „Gemeinsamkeiten suchen, ohne Unterschiede zu negieren“ empfohlen werden.²⁹

Reflektiert man ferner die Struktur der nordbayerischen Gebietskörperschaften, wie z. B. im Rahmen einer grenzüberschreitenden Exkursion durchgeführt (EU-gefördertes „Ziel 3“-Projekt), so erkennt man zumindest auf bayerischer Seite häufig eine sehr autonome und auf die einzelne Gebietskörperschaft bezogene Interpretation der Gestaltungsaufgabe bei den politischen Willensträgern. Interkommunale Zusammenarbeit bildet hier ein wichtiges Stichwort, welches zunächst auf nationaler Ebene konsequenten Einzug halten sollte, um dann auf dieser Ebene auch grenzüberschreitende Kooperationsprojekte sinnvollerweise zu positionieren.^{30, 31, 32, 33}

Fußnoten

1. Vgl. z. B. Riedl, J. (2014); vgl. Riedl, J., Schäfer, F., Seidel, M., Wolfrum, B., Zips., S., Pleier, A. (2015)
2. Die folgenden Ausführungen sind in ähnlicher Form unter dem Titel: Schäfer, F.: „Der EURODISTRICT REGIO PAMINA: Ein Referenzobjekt für grenzüberschreitende Kooperationen im nordostbayrischböhmisches Grenzgebiet“ erschienen in: Riedl, J. (2015)
3. Vgl. o. V. (o. J.): Profil Économique.
4. Dieser Hinweis ist nicht als Kritik an der Arbeit und den Leistungen anderer Institutionen zu lesen.
5. Vgl. euregio-egrensis.eu.
6. Vgl. Ofer (2007), S. 16.
7. Vgl. wikipedia.org/wiki/Elsass.
8. Vgl. Brachat-Schwarz, W. (2006).
9. Vgl. www.oth-aw.de.
10. Vgl. z. B. Der Neue Tag, 15.5.2015.
11. Vgl. Ofer (2007), S. 79.
12. Vgl. o. V. (2011), S. 1.
13. Vgl. zu diesem Kapitel den PAMINA-Jahresbericht: o. V. (2011), S. 1 – 18.
14. Vgl. Pretting, G. (2007).
15. Vgl. dazu auch: Zajonc, H. (2006), S. 42 – 44.
16. Vgl. zu grenzüberschreitenden Arbeitsmarktinitiativen: Boitel, A. (2012).
17. Zum umfangreichen Zielkatalog und zu weiteren Maßnahmen: Vgl. Geyer, F. (2010).
18. Vgl. Bergmann, S. (2012).
19. Vgl. Pretting, G. (2007).
20. Vgl. www.radwanderland.de.
21. Vgl. Schultmann, F./Hiete, M./Zander, P./Neidlinger, D. /Rebmann, J./Vannieuwenhuysse, M. (2009).
22. Vgl. zu Herausforderungen dazu in der PAMINA-Region: Clev, K. (o. J.), S. 8.
23. Vgl. zu Erfahrungen im Bereich Kunst und Kultur im PAMINA-Raum: Lhoutellier, A. (o. J.).
24. Vgl. zu den in der Realität häufig unübersichtlichen Parallelstrukturen im Bereich der Tourismusverbände: Hager, G. (o. J.).
25. Vgl. zur guten grenzüberschreitenden Kooperation der Tourismusverbände im PAMINA-Gebiet: o. V. (2010): Aktuelle Situation.
26. Vgl. o. V. (2012).
27. Vgl. Sterz, M. (2006).
28. Vgl. o. V. (o. J.): Leitziele.
29. Vgl. zu diesbezüglichen Erfahrungen im PAMINA-Raum: Hager (o. J.).
30. Vgl. dazu z. B. die Strategie der Metropolregionen: Schäfer, R./Stellmacher, F./Lutter, H. (2007).
31. Vgl. zur interkommunalen Zusammenarbeit von Karlsruhe auch mit dem PAMINA-Raum vgl. o. V. (2015).
32. Vgl. zum Beispiel eines einheitlichen Regionalplanansatzes Rhein-Neckar: o. V. (2014).
33. Vgl. zu unterschiedlichen Integrationsgraden größerer Planungseinheiten: o. V. (2012): Sitzungsvorlage.

Literaturverzeichnis

- Bergmann, S. (2012): *Grenzüberschreitende Kulturkooperation – Beiträge und Ergebnisse des Regionalen Dialogforums Kultur*, EURODISTRICT REGIO PAMINA (Hrsg.), http://www.eurodistrict-regio-pamina.com/pamina/IMG/pdf/Themenheft_Kultur_web.pdf, Letzter Aufruf: 20.05.2015.
- Boitel, A. (2012): *EURODISTRICT REGIO PAMINA*, EURODISTRICT REGIO PAMINA (Hrsg.), <http://www.familienfreundliche-kommune.de/FFKom/Infomaterial/Datenbank/W1RKED-PAMINAPAMI45NACrapt-Carli.pdf>, Letzter Aufruf: 20.05.2015.
- Brachat-Schwarz, W. (2006): *Struktur und Entwicklung des deutsch-französisch-schweizerischen Oberrheingebiets*, in: Statistisches Monatsheft Baden-Württemberg Nr. 5, 2006, S. 32 – 35, https://www.statistik-bw.de/Veroeffentl/Monatshefte/PDF/Beitrag06_05_07.pdf, Letzter Aufruf: 20.05.2015.
- Clev, K. (o. J.): *EURODISTRICT REGIO PAMINA*, EURODISTRICT REGIO PAMINA (Hrsg.), http://www.landesentwicklung.sachsen.de/download/Landesentwicklung/04_Clev_28032012.pdf, Letzter Aufruf: 20.05.2015.
- Geyer, F. (2010): *Touristik-Gemeinschaft Baden-Elsass-Pfalz e. V. – 20 Jahre grenzüberschreitende touristische Zusammenarbeit im PAMINA-Raum*, Eurodistrict Regio Pamina (Hrsg.), <https://www.yumpu.com/de/document/view/31848125/grenza-1-4-berschreitender-tourismus-angebote-und-kennzahlen>, Letzter Aufruf: 20.05.2015.
- Hager, G. (o. J.): *Grenzüberschreitende Zusammenarbeit, Metropolregionen*, Karlsruher Institut für Technologie (Hrsg.), http://www.region-karlsruhe.de/fileadmin/files/Vorlesungen/SS_2012_KIT_Regionalplanung/120704_Grenzueberschreitende%20Zusammenarbeit_Metropolregionen.pdf, Letzter Aufruf: 20.05.2015.
- Hager, G. (o. J.): Übersicht über die Tourismusstrukturen im PAMINA-Raum, <http://www.region-karlsruhe.de/fileadmin/files/Projekte/Tourismusstrukturen%20im%20PAMINA-Raum.pdf>, Letzter Aufruf: 20.05.2015.
- Lhoutellier, A. (o. J.): *Les Études de L'agence – Ist eine Kulturpolitik auf der politischen Ebene des Oberrheinbereichs denkbar?*, Gelin, F. (Hrsg.), <http://www.culture-alsace.org/index.php?cmpref=35544&lang=fr&module=media&action=Display>, , Letzter Aufruf: 20.05.2015.
- Ofer, S. (2007): *Kulturelle Identität und Grenzen im Kontext von Nationsbildung, Globalisierung und Regionalisierung, Mit einer Fallstudie zum immateriellen kulturellen Erbe in der grenzüberschreitenden Region PAMINA*, Masterarbeit, http://www-docs.tu-cottbus.de/whs/public/alumni/master_theses/Ofer_Stefanie.pdf, Letzter Aufruf: 20.05.2015.
- o.V. (o. J.): *Leitziele für den PAMINA-Raum – PAMINA Zukunftsregion in Europa*, Eurodistrict Regio Pamina (Hrsg.), http://www.eurodistrict-regio-pamina.eu/pamina/IMG/pdf/Leitziele_PAMINA_Beschlussversion_Layout_120606.pdf, Letzter Aufruf: 20.05.2015.
- o. V. (o. J.): *Profil Économique – Wirtschaftsprofil*, EURODISTRICT REGIO PAMINA (Hrsg.), Flyer, http://www.eurodistrict-regio-pamina.eu/pamina/IMG/pdf/Profil_Eco_Eurodistrict.pdf, Letzter Aufruf: 20.05.2015.
- o. V. (2010): *Aktuelle Situation im Bereich Tourismus, Gastronomie & Hotellerie und Beschäftigungsentwicklung*, DEHOGA Rheinhessen-Pfalz (Hrsg.).
- o. V. (2010): *Newsletter 2010*, Tourismusmarketing für die Großregion, <http://www.cpi-ipr.com/Pdf/Q12/Antwort%20zu%20Anfrage%20Ries%203.pdf>, Letzter Aufruf: 20.05.2015.
- o. V. (2011): *Eurodistrict Regio Pamina, Jahresbericht – Rapport d'activités 2011*, Eurodistrict Regio Pamina (Hrsg.), http://www.eurodistrict-regio-pamina.eu/pamina/IMG/pdf/Jahresbericht_2011_web.pdf, Letzter Aufruf: 20.05.2015.
- o. V. (2012): *Mehr chinesische Touristen am Oberrhein und in Karlsruhe*, Regionalverband Mittlerer Oberrhein (Hrsg.), PresselInformation Vis-a-Vis Nr. 2, http://www.region-karlsruhe.de/detail/article/presseinformation-vis-a-vis-1.html?tx_ttnews%5BbackPid%5D=70&cHash=e8679aed35, Letzter Aufruf: 20.05.2015.
- o. V. (2012): *Sitzungsvorlage 80/VIII – Planungsausschuss (Ö) – TOP 3 Weiterentwicklung der Region Mittlerer Oberrhein*, Regionalverband Mittlerer Oberrhein (Hrsg.), http://www.region-karlsruhe.de/fileadmin/files/Sitzungsvorlagen/Planungsausschuss/14_01-02-2012/PA-80-VIII_Weiterentwicklung%20Region.pdf, Letzter Aufruf: 20.05.2015.
- o. V. (2014): *Einheitlicher Regionalplan Rhein-Neckar – Plansätze und Begründung*, http://www.m-r-n.com/fileadmin/user_upload/VRRN/ERP_verbindlich/ERP_Plansätze_und_Begründung.pdf, Letzter Aufruf: 20.05.2015.
- o. V. (2015): *Regionale/Überregionale Kooperation, Karlsruhe Masterplan 2015, Nr. 5*, http://www.karlsruhe.de/b4/buergerengagement/masterplan_2015/projekte/HF_sections/content/1326467528433/ZZkZLIXgFGJ8l/ZZkZLxi-B7iEDQR.pdf, , Letzter Aufruf: 20.05.2015.
- Pretting, G. (2007): *Kleine Schritte – große Politik*, in: brand eins Wissen, Nr. 1/2007, <http://www.brandeins.de/wissen/neuland/die-suedpfalz/kleine-schritte-grosse-politik/>, Letzter Aufruf: 20.05.2015.

- Riedl, J. (2014): Riedl, J. (Hrsg.): Empirische Daten für das Destinationsmarketing, Weidenberg 2014
- Riedl, J., Schäfer, F., Seidel, M., Wolfrum, B., Zips, S., Pleier, A.: Europäische Potentiale am Beispiel der deutsch-tschechischen Zusammenarbeit im Destinationsmarketing und auf Hochschulebene, in: Die Neue Hochschule (DNH), Heft 4 2015, S. 126 – 129.
- Schäfer, F.: Der EURODISTRICT REGIO PAMINA: Ein Referenzobjekt für grenzüberschreitende Kooperationen im nordost-bayrischböhmisches Grenzgebiet in: Riedl, J. (Hrsg.): Der Imagevergleich von Regionen als Basis für das Destinationsmarketing, Chemnitz 2015.
- Schäfer, R./Stellmacher, F./Lutter, H. (2007): *Initiativkreis Europäische Metropolregion in Deutschland*, Heft 52, Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (BMVBS) und Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung (BBR) (Hrsg.), http://www.bbsr.bund.de/BBSR/DE/Veroeffentlichungen/BMVBS/WP/2007/2007_Heft52_DL.pdf?__blob=publicationFile&v=2, Letzter Aufruf: 20.05.2015.
- Schultmann, F./Hiete, M./Zander, P./Neidlinger, D./Rebmann, J./Vannieuwenhuysse, M. (2009): *Flächenmanagement in kleineren und mittleren Kommunen am Oberrhein: Barrieren und Möglichkeiten*, Deutsch-Französisches Institut für Umweltforschung (DFIU) (Hrsg.), http://www.fachdokumente.lubw.baden-wuerttemberg.de/servlet/is/94670/BWR27005_GEE_Abschlussbericht_BWR%20final_korrigiert.pdf?command=downloadContent&filename=BWR27005_GEE_Abschlussbericht_BWR%20final_korrigiert.pdf, Letzter Aufruf: 20.05.2015.
- Sterz, M. (2006): *Eine Bilanz – Abgleich der Ziele und Angebote der Touristik-Gemeinschaft mit den Erwartungen ihrer Mitglieder*, Touristik-Gemeinschaft Baden-Elsass-Pfalz e.V. (Hrsg.), http://www.vis-a-vis-pamina.eu/IMG/pdf/Bilanz_Abgleich_der_Ziele_und_Angebote_Kurzfassung_D.pdf, Letzter Aufruf: 20.05.2015.
- Wikipedia.org/wiki/Elsass, Letzter Aufruf: 20.05.2015
- Zajonc, H. (2006): *PAMINA – Grenzüberschreitende Wirtschaftsregion*, in: Karlsruher Wirtschaftsspiegel, Nr. 42, 2005/2006, S. 42 – 44, <http://web3.karlsruhe.de/Wirtschaft/img/standort/profile/down173.pdf>, Letzter Aufruf: 20.05.2015.

Kontakt:



Prof. Dr. Frank Schäfer

Ostbayerische Technische
Hochschule (OTH) Amberg-Weiden
Fakultät Wirtschaftsingenieurwesen
Leitung Bachelorstudiengang Wirtschaftsingenieurwesen
Hetzenrichter Weg 15
92637 Weiden

f.schaefer@oth-aw.de

Inserentenverzeichnis

Herding GmbH Filtertechnik.....	U 2
DEPRAG Schulz GmbH u. CO.	5
F.EE GmbH.....	5
Flachglas Wernberg GmbH	5
Nexans autoelectric GmbH	U 3
Gerresheimer Regensburg GmbH	U 4

U = Umschlagseite

Impressum

Herausgeber:

Präsidentin
Ostbayerische Technische Hochschule Amberg-Weiden
Prof. Dr. Andrea Klug

Redaktion:

Ostbayerische Technische Hochschule Amberg-Weiden
Institut für Angewandte Forschung IAF
in Zusammenarbeit mit:
Technologie-Campus an der Ostbayerischen Technischen Hochschule Amberg-Weiden e. V.

Titelgestaltung:

Ostbayerische Technische Hochschule Amberg-Weiden
Prof. Dipl.-Kfm. Ralph E. Hartleben

Inhalt/Bildmaterial:

Die Verantwortung für Inhalt und Bildmaterial der Beiträge haben die jeweiligen Autoren der Fachbeiträge.

Gesamtherstellung:

Mundschenk Druck + Medien, Mundschenkstraße 5, 06889 Lutherstadt Wittenberg

Erscheinungstermin:

März 2016

ISSN-Nummer:

2365-1997

**Standort Amberg:**

Kaiser-Wilhelm-Ring 23
92224 Amberg
Tel.: 09621/482-0
Fax: 09621/482-4991
Mail: amberg@oth-aw.de
www.oth-aw.de

**Standort: Weiden**

Hetzenrichter Weg 15
92637 Weiden
Tel.: 0961/382-0
Fax: 0961/382-2991
Mail: weiden@oth-aw.de
www.oth-aw.de

Die Onlineversion des Forschungsberichtes finden Sie unter:
www.oth-aw.de/aktuelles/veroeffentlichungen/forschungsbericht



AUSSICHTEN MIT POWER

Wir entwickeln die **Technik** für **Fahrzeuge von morgen** – weltweit mit mehr als **9.000 Mitarbeitern**.



**„Hier spüre ich jeden Tag:
Wertschätzung motiviert“**

Mich beeindruckt das umfassende Einarbeitungsprogramm und die Offenheit und Wertschätzung, mit denen mir meine Kollegen begegnen. In ein paar Monaten werde ich in Projekten für unsere Kunden in Japan und Amerika mitarbeiten.

Amanda Thumbek, 24
Ingenieurin für Maschinenbau

Weitere Informationen unter:
www.autoelectric.de



Nexans autoelectric GmbH
Personalabteilung
Vohenstraußer Straße 20
D-92685 Floß

personalabteilung@autoelectric.de

Ihre Einstiegsmöglichkeiten:

- **Duales Studium**
- **Praktika und Werkstudententätigkeit**
- **Abschlussarbeiten**
- **Direkteinstieg nach Studium**

„Werde Ingenieur/in bei Gerresheimer und verwandle Ideen in die Wirklichkeit“



GUTE PERSPEKTIVEN IN EINEM HIGHTECH-UNTERNEHMEN

Wir suchen Ingenieure als Fach- und Führungskräfte, die Leidenschaft haben und durchstarten wollen!

Sie haben Ihren Studienabschluss in der Tasche und wollen nun endlich starten? Dann sind Sie bei uns genau richtig.

Als weltweit führendes Unternehmen unserer Branche suchen wir kontinuierlich nach Ingenieuren aus den unterschiedlichsten Fachbereichen, für die fachliches Know-How und eigenverantwortliches Arbeiten selbstverständlich sind.

Wir werfen Sie nicht ins kalte Wasser, sondern fördern und fordern Sie entsprechend Ihrer Qualifikation. Erfahrene Kolleginnen und Kollegen, die Ihnen zur Seite gestellt werden, und gezielte on-the-job Maßnahmen erleichtern Ihnen dabei den Übergang vom Hörsaal ins Berufsleben. Bei uns werden Sie somit unmittelbar in das Tagesgeschäft eingebunden und übernehmen früh Verantwortung. Regelmäßige Mitarbeitergespräche, in denen Ihre persönliche Entwicklungsmöglichkeiten, Ziele und Interessen im Mittelpunkt stehen, begleiten Ihre Entwicklung.



Gerresheimer Medical Systems ist ein weltweit führender Partner der Pharma- und Gesundheitsbranche. Mit über 2.900 Mitarbeitern rund um den Globus produzieren wir Spritzen aus Glas und Kunststoff, Karpulen sowie kundenspezifische, spritzgegossene Kunststoffbaugruppen und Medical Devices wie Inhalatoren, Insulinpens und Laboreinmalartikel.

In enger Zusammenarbeit mit unseren Kunden entwickeln wir Neues und optimieren Bewährtes. Zu unserem Full-Service Angebot gehören neben Produktdesign und Produktentwicklung auch Betriebsmittelkonstruktion, Werkzeugbau, Automatisierungstechnik, Spritzgießen und Glasformung im Reinraum, Montage, Produktveredelung und Logistik.

Fühlen Sie sich angesprochen? Dann starten Sie Ihre Karriere mit uns und nutzen Sie die Internationalität und Vielfältigkeit der Gerresheimer-Gruppe im In- und Ausland.

Kontakt:

Gerresheimer Regensburg GmbH
Sandra Bittermann
Oskar-von-Miller-Straße 6
92442 Wackersdorf
Telefon: +49 9431 639 6674
Email: s.bittermann@gerresheimer.com

Aktuelle Angebote finden Sie unter:
jobs.gerresheimer.com/stellenangebote/offene-stellen.html

